

**ASEAN
INDONESIA
2023**

PROSIDING

SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023

“Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Sumber Radiasi Pengion dalam Mendukung Daya Saing Produk Nuklir dan Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat”

**12 September 2023
Universitas Udayana
Bali**

ISSN: 1412-3258





SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023

“Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Sumber Radiasi Pengion untuk Mendukung Daya Saing Produk Nuklir dan Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat”

Bali, 12 September 2023

Diselenggarakan oleh

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10120

Telp. (021) 638 582 69-70, Fax. (021) 638 582 75

www.bapeten.go.id

Berkolaborasi dengan

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM -
UNIVERSITAS UDAYANA**

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali 80361

(0361) 701 954

www.unud.ac.id





PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh, Om Swastyastu, Namu Buddhaya, Salam Sejahtera untuk kita semua.

Puji syukur pada Tuhan Yang Maha Esa atas segala nikmat dan kemudahannya sehingga Seminar Keselamatan Nuklir (SKN) Tahun 2023 dapat diselenggarakan. SKN 2023 diselenggarakan oleh BAPETEN bekerja sama dengan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Udayana. Kegiatan SKN tahun ini dilaksanakan seiring dengan semangat KTT ASEAN dan HUT Proklamasi Kemerdekaan 2023. SKN merupakan kegiatan tahunan BAPETEN dan telah berlangsung pada tanggal 12 September 2023 secara luring di Gedung Widya Sabha, Universitas Udayana Kampus Jimbaran, Bali, serta secara daring melalui ruang virtual Zoom dan Youtube. BAPETEN mengangkat tema SKN 2023: **“Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Sumber Radiasi Pencion untuk Mendukung Daya Saing Produk Nuklir dan Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat”**. Dari tema tersebut didapatkan 4 kelompok topik yang mengemuka pada makalah yang masuk, yakni Keselamatan Instalasi dan Bahan Nuklir, Keselamatan Radiasi pada Modalitas Kesehatan, Keselamatan Radiasi pada Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif serta Keamanan, Garda Aman, Komunikasi dan Mineral Ikutan Radioaktif

Atas nama panitia penyelenggara, kami menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terselenggaranya SKN 2023. Kami berharap SKN ini sukses dan mampu menjadi forum pertemuan ilmiah para ilmuwan serta penggiat regulasi dan teknologi keselamatan nuklir yang berasal dari berbagai instansi dan pihak terkait, diantaranya instansi pemerintah, akademisi, pemerhati ketenaganukliran, industri, serta dari asosiasi profesi. Teknologi nuklir yang terus berkembang dengan mempertimbangkan keselamatan dan pemanfaatan yang lebih baik harus menjadi pertimbangan dalam menyusun peraturan.

Kami menyampaikan apresiasi kepada para pemakalah yang memiliki minat tinggi terhadap SKN 2023 sehingga tahun ini banyak sekali makalah yang masuk yakni terdaftar 65 makalah. Selanjutnya berdasarkan hasil revidi oleh tim perevidi yang berasal dari BAPETEN, BRIN, UNUD, UGM, dan UNDIP, terpilih 58 makalah, dengan 40 makalah disajikan dalam presentasi oral dan 18 makalah disajikan dalam bentuk poster. Dari 58 makalah yang lolos, terpilih pula 6 makalah yang didaftarkan ke Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir (JUPETEN) serta 2 pemakalah tidak menghadiri acara seminar sehingga jumlah makalah yang diterbitkan 50 makalah. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada tim perevidi makalah yang telah bekerja keras dalam merevidi makalah dan memberikan proses pembelajaran bagi pemakalah untuk memperbaiki makalahnya sehingga pada akhirnya prosiding SKN 2023 ini dapat memuat makalah yang berkualitas dan sesuai dengan tujuan pengawasan. Terakhir, kami

sampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada seluruh panitia dari BAPETEN dan Universitas Udayana atas kerja sama yang baik dan upaya yang maksimal untuk menyukseskan acara SKN 2023.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh, Om Swastyastu, Namu Buddhaya, Salam Sejahtera untuk kita semua.

Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng

Kepala Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi
Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



REKOMENDASI TEKNIS

SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023

TEMA: PENINGKATAN KESELAMATAN DAN KEAMANAN INSTALASI NUKLIR DAN SUMBER RADIASI PENGION UNTUK Mendukung Daya Saing Produk Nuklir dan Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat

Seminar Keselamatan Nuklir 2023 ini telah memberikan gambaran tantangan dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir dengan disampaikannya teknologi baru dan permasalahannya dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Demikian juga proses perizinannya melalui OSS juga memberikan tantangan tersendiri yang memerlukan koordinasi antar K/L terkait.

Beberapa rekomendasi yang dapat diperoleh dari kegiatan ini antara lain:

1. Pengawasan PLTN terutama jenis SMR perlu pengembangan dan penerapan:
 - Strategi kebijakan pengawasan pembangunan
 - Desain sistem pengungkung dan multimodul
 - Keamanan reaktor terapung
 - Keamanan siber
 - Pengawasan manufaktur
 - Budaya Keselamatan yang mempertimbangkan budaya lokal Indonesia
 - Penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS)
 - Ratifikasi Konvensi Espoo
 - Penanggulangan Bencana Nuklir melalui Kerjasama dengan BNPB/BPPD
2. Pada aspek peningkatan penerimaan publik terhadap pembangunan PLTN penting untuk diterapkan:
 - Manajemen persepsi masyarakat dengan pendekatan inklusi sosial
 - Penggunaan media film
3. Pengawasan bidang reaktor penelitian dan INNR perlu penerapan:
 - Pengembangan konsep *Possess or Control* perpanjangan izin operasi dan basis data terkait dekomisioning Reaktor TRIGA 2000 Bandung
 - Reevaluasi tapak reaktor
 - Karakteristik komponen reaktor
 - Ketentuan keselamatan operasi INNR
4. Pada bidang keselamatan radiasi dengan modalitas kesehatan diperlukan:
 - Optimisasi proteksi radiasi melalui *review protocol* dan berdasar Tingkat Panduan Diagnostik
 - Pengembangan metodologi estimasi dosis radiasi pasien terutama pada peralatan radiodiagnostik
 - Kendali mutu dan uji kesesuaian peralatan radiodiagnostik dan radioterapi
 - Pengembangan metodologi akurasi distribusi berkas pada modalitas instalasi radioterapi

5. Pada aspek keselamatan radiasi fasilitas radiasi dan zat radioaktif perlu ditingkatkan:
 - Kepatuhan terhadap persyaratan keselamatan radiasi
 - Inspeksi fasilitas berdasar rekaman dosis pasien dan modalitas
 - Identifikasi paparan potensial yang terjadi di fasilitas
 - Pengawasan perdagangan di Lokapasar (*Marketplace*)
 - Pemanfaatan radiasi non-medis untuk pencitraan manusia
 - Penerapan modalitas untuk beragam tujuan
 - Pengembangan metode untuk meningkatkan akurasi pengukuran dosis personal
 - Peningkatan infrastuktur dalam layanan kalibrasi modalitas
 - Sertifikasi kompetensi kerja pekerja radiasi

6. Pada manajemen MIR perlu diperhatikan:
 - Ketentuan/peraturan pemantauan dosis pekerja
 - Inventori daur hidup
 - Aspek *safeguards* pada perizinan penyimpanan

7. Pada aspek penegakan hukum perlu diperhatikan:
 - Kerangka hukum kebijakan pertahanan
 - Penegakan Hukum Pidana Ketenaganukliran pasca berlakunya *Omnibus Law* Cipta Kerja
 - Perlindungan hukum terhadap operator instalasi yang menderita kerugian nuklir
 - Penataan regulasi Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir
 - Nilai penting partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan
 - Validasi terhadap sertifikat persetujuan desain bungkusan lintas negara
 - Dampak revisi peraturan transportasi material radioaktif

Rekomendasi ini perlu ditindak lanjuti oleh kita semua untuk meningkatkan daya saing bangsa dalam pemanfaatan tenaga nuklir dalam bidang sumber radiasi maupun instalasi dan bahan nuklir.

Bali, 12 September 2023

Dahlia Cakrawati Sinaga

Plh. Deputi Bidang Pengkajian Keselamatan Nuklir



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



DEWAN REDAKSI

- Pengarah : Ir. Sugeng Sumbarjo, M.Eng
Ir. Zainal Arifin, M.T
Dra. Dahlia Cakrawati Sinaga, M.T
Prof. Dra. Ni Luh Watiniasih, M.T., Ph.D
- Penanggung Jawab : Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng
- Ketua : Ir. Bintoro Aji, M.T
- Sekretariat : Dr. Diah Hidayanti Sukarno
Muhammad Rifqi Harahap, S.T
Rahmat Edhi Harianto, M.Eng
Dr. Gusti Ngurah Sutapa
Dr. Ida Bagus Made Suryatika
Futri Septiyani Syam, Amd.
Imron, M.T
Dr. Lilis Susanti S., M.S
Fibra Rhoma Firmanda, S.T
Decky Dendy Dharmapewira, S.Mat.
- Pereviu : Ir. Sugeng Sumbarjo, M.Eng (BAPETEN)
Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng (BAPETEN)
Dr. Ir. Khoirul Huda, M.Eng (BAPETEN)
Haendra Subekti, S.T., M.T (BAPETEN)
Dr. Diah Hidayanti S., S.T., M.T (BAPETEN)
Dr. Lilis Susanti S., M.S (BAPETEN)
Dra. Dahlia Cakrawati Sinaga, M.T (BAPETEN)
Dra. Leily Savitri (BAPETEN)
Dr. Ida Bagus Made Suryatika S.Si., M.Si (Universitas Udayana)
Dr. Gusti Ngurah Sutapa, S.Si., M.Si (Universitas Udayana)
Prof. Ni Nyoman Rupiasih, S.Si., M.Si., Ph.D (Universitas Udayana)
Dr. Ing. Ir. Sihana (Universitas Gadjah Mada)
Ir. D.T. Sony Tjahyani, M.Eng (BRIN)
Dr. Choirul Anam, S.Si., M.Si (Universitas Diponegoro)
Drs. Suharyana, M.Sc (Universitas Sebelas Maret)

Alamat Redaksi : Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN)
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
Gedung B Lantai V, Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat 10120
Surel : seminar@bapeten.go.id



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
REKOMENDASI TEKNIS	iii
DEWAN REDAKSI	v
DAFTAR ISI.....	vii
STRATEGI KEBIJAKAN PENGAWASAN PEMBANGUNAN PLTN SMR DI INDONESIA <i>Djoko Hari Nugroho, dkk.</i>	1
REKOMENDASI TEKNIS STRATEGI MITIGASI BAHAYA HIDROGEN PADA DESAIN SISTEM PENGUNGKUNG REAKTOR DAYA <i>Rahmat Edhi Harianto dan Bintoro Aji</i>	13
URGENSI INDONESIA MERATIFIKASI <i>CONVENTION ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN A TRANSBOUNDARY CONTEXT (ESPOO CONVENTION)</i> <i>Bambang Eko Aryadi, Dewi Prima Meiliasari, dan Catur Febriyanto</i>	23
SINERGI BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA ATAU BADAN PENANGGULANGAN BENCANA DAERAH DENGAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR DALAM MANAJEMEN BENCANA NUKLIR <i>Dewi Prima Meiliasari, Dwi Cahyadi, dan Muhammad Rommy Ramadhan</i>	34
PERLINDUNGAN HUKUM TERHADAP OPERATOR BERDASARKAN <i>CONVENTION ON SUPPLEMENTARY COMPENSATION FOR NUCLEAR DAMAGE</i> <i>Mira Wahyu Nugraheni RP</i>	43
IDENTIFIKASI PERAN METODA ANALISIS SIKLUS HIDUP PRODUK (LCA) DALAM PENYUSUNAN KAJIAN LINGKUNGAN HIDUP STRATEGIS (KLHS) UNTUK KESESUAIAN KEGIATAN PEMANFAATAN RUANG PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR <i>Imron, Muhammad Rifqi Harahap, dan Ade Awalludin</i>	50
ANALISIS ASPEK HUKUM VALIDASI TERHADAP SERTIFIKAT PERSETUJUAN DESAIN BUNGKUSAN ZAT RADIOAKTIF <i>Muhammad Sujana Prawira dan Vatimah Zahrawati</i>	58
ANALISIS BAHAYA ABU VULKANIK GUNUNG SALAK DAN GUNUNG GEDE- PANGRANGGO PADA KAWASAN NUKLIR SERPONG <i>Abimanyu Bondan, dkk.</i>	68
KAJIAN KETENTUAN KESELAMATAN OPERASI INSTALASI NUKLIR NONREAKTOR <i>Tino Sawaldi Adi Nugroho dan Petit Wiringgali</i>	77

PENERAPAN KONSEP <i>POSSESS OR CONTROL</i> PADA DEKOMISIONING REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG <i>David Anggoro Putro</i>	84
ESTIMASI DOSIS RADIASI PASIEN DENGAN METODE <i>SIZE-SPECIFIC DOSE ESTIMATE</i> (SSDE) PADA PEMERIKSAAN <i>COMPUTED TOMOGRAPHY (CT) SCAN ABDOMEN</i> DI INSTALASI RADIOLOGI RSUD SANJIWANI GIANYAR <i>I Wayan Krisnanda dan Gusti Ngurah Sutapa</i>	89
PENGARUH VARIASI ARUS TABUNG SINAR-X (MA) TERHADAP NILAI <i>CONTRAST-TO-NOISE RATIO (CNR)</i> PESAWAT <i>CT-SCAN</i> <i>Dwinanda Vedani Putri, Ni Kadek Nova Anggarani, dan Rozi Irhas</i>	94
STUDI DISTRIBUSI DOSIS BERKAS RADIASI FOTON 6 MV DAN 10 MV PADA VOLUME TARGET DAN <i>ORGAN AT RISK</i> KASUS KANKER SERVIKS DENGAN TEKNIK <i>THREE DIMENTIONAL CONFORMAL RADIATION THERAPY (3DCRT)</i> DI SUB INSTALASI RADIOTERAPI RSUP PROF. DR. I.G.N.G. NGOERAH <i>Ni Kadek Udgitha Elsiani, Ni Nyoman Ratini, dan Rozi Irhas</i>	100
UJI KESESUAIAN STANDAR NILAI HVL FILTER ALUMINIUM TERHADAP KUALITAS PESAWAT SINAR-X KONVENSIONAL DI INSTALASI RADIOLOGI RSD MANGUSADA BADUNG <i>Lilian Fidyati Ningrum dkk.</i>	106
UJI KESESUAIAN LAPANGAN KOLIMASI DENGAN BERKAS SINAR-X PADA PESAWAT SINAR-X DI RSIY PDHI <i>Rohmawati Metaningrum dan Wahyu Murti Cahyo</i>	111
PENGARUH PERUBAHAN FAKTOR EKSPOSI TERHADAP <i>DOSE AREA PRODUCT (DAP)</i> PADA PEMERIKSAAN ABDOMEN DENGAN PESAWAT SINAR-X <i>I Gusti Bagus Triguna Sukma Putra dkk.</i>	120
PEMETAAN TINGKAT KEPATUHAN PERSYARATAN KESELAMATAN RADIASI DALAM PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X DI PROVINSI SULAWESI BARAT TAHUN 2022 <i>Nanang Triagung Edi Hermawan, Muhammad Sujana Prawira, dan Herry Irawan</i>	125
TINJAUAN INSPEKSI DALAM PENGAWASAN FASILITAS RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL DI INDONESIA <i>Sudradjat, Hermansyah, Iswandarini, dan Rusmanto</i>	133
TINJAUAN AWAL IDENTIFIKASI PAPARAN POTENSIAL YANG TERJADI DI FASILITAS RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL <i>Zulfahmi, dkk.</i>	141
TINJAUAN TERHADAP PENGAWASAN PERDAGANGAN PESAWAT SINAR-X PORTABEL RADIOLOGI DIAGNOSTIK DI LOKAPASAR (<i>MARKETPLACE</i>) <i>Titik Kartika, Rusmanto, dan Hermansyah</i>	149
<i>ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE REVISION OF SSR-6 2012 TO SSR-6 2018 TO INDONESIA TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS REGULATIONS</i> <i>Vatimah Zahrawati</i>	160
PEMANFAATAN NON-MEDIS RADIASI UNTUK PENCITRAAN MANUSIA DAN PROSPEK PENERAPANNYA DI INDONESIA <i>Hermansyah, Rusmanto dan Sudradjat</i>	169
DESAIN SISTEM TOMOGRAFI PENGANGKAT SUMBER RADIASI UNTUK UJI PROPELAN MENGGUNAKAN PESAWAT BETATRON SEA 7 <i>Totok Dermawan, Suroso, dan Renaldy Fikri Fachrudin</i>	177

TINJAUAN PELAKSANAAN SERTIFIKASI KOMPETENSI KERJA PEKERJA RADIASI PADA FASILITAS RADIASI DAN/ATAU KEGIATAN PEMANFAATAN SUMBER RADIASI PENGION <i>I Made Ardana</i>	183
ANALISIS PERBANDINGAN PENENTUAN DOSIS TLD DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGURANGAN DOSIS LATAR DAN <i>RESIDUAL DOSE</i> <i>Melly Risky Sarpriani, dkk.</i>	191
TINJAUAN INFRASTRUKTUR TEKNIS DALAM PENYEDIAAN LAYANAN KALIBRASI X-RAY <i>MULTIMETER</i> <i>Endang Kunarsih dan Rusmanto</i>	199
PENERAPAN MANAJEMEN PERSEPSI MASYAKARAT DENGAN PENDEKATAN INKLUSI SOSIAL DALAM MENINGKATKAN PENERIMAAN PLTN DI BANGKA BELITUNG <i>Andri Yanto, Hafizh Akbar, dan Aliefia Noor</i>	208
FILM SEBAGAI MEDIA KOMUNIKASI DALAM SOSIALISASI PEMANFAATAN DAN KESELAMATAN TEKNOLOGI NUKLIR DI INDONESIA <i>Maya Sumarna dan Maria Magdalena</i>	218
<i>THE DEVELOPMENT OF COUNTRY-SPECIFIC NUCLEAR SAFETY CULTURE FOR INDONESIA: A PRELIMINARY STUDY</i> <i>Reno Alamsyah dan Anggoro Septilarso</i>	225
ANALISIS KETENTUAN PEMANTAUAN DOSIS PEKERJA DI INDUSTRI YANG MELIBATKAN <i>NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL (NORM)</i> <i>Chrisantus A W Dwipayana dan Diella A Susanti</i>	235
ANALISIS PERUBAHAN PENGATURAN PENGELOLAAN MINERAL IKUTAN RADIOAKTIF BERDASARKAN PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 52 TAHUN 2022 <i>Vatimah Zahrawati dan Dahlia Cakrawati Sinaga</i>	245
ASPEK <i>SAFEGUARDS</i> PADA PERIZINAN PENYIMPANAN MINERAL IKUTAN RADIOAKTIF (MIR) <i>Yepi Yamani Yosa dan Agus Waluyo</i>	257
ANALISIS DOSIS DARI PENGGUNAAN TERAK TIMAH 2 SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DALAM PEMBUATAN MORTAR PADA BANGUNAN DENGAN RESRAD-BUILD <i>Hermawan Puji Yuwana</i>	265
ANALISIS DAN EVALUASI PERATURAN KEPALA BAPETEN NOMOR 1 TAHUN 2009 UNTUK Mendukung PROGRAM PENATAAN REGULASI DENGAN INSTRUMEN STANDAR BAKU PEDOMAN PHN-HN.01.03.07 <i>Suci Prihastuti dkk.</i>	275
KEAMANAN REAKTOR DAYA TERAPUNG <i>Liliana Pandi, Lilis Susanti Setianingsih, dan Petit Wiringgali</i>	285
KAJIAN REGULASI PENGAWASAN MANUFAKTUR KOMPONEN PLTN <i>Diah Hidayanti Sukarno</i>	293
KAJIAN RESIKO SEISMIK DI KAWASAN NUKLIR SERPONG DENGAN STUDI <i>HORIZONTAL VERTICAL SPECTRAL RATIO</i> <i>Agung Satriyo dkk.</i>	302
PENGUJIAN LINDI MORTAR DENGAN MENGGUNAKAN TERAK TIMAH 2 SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS <i>Hermawan Puji Yuwana, dkk.</i>	311

KARAKTERISTIK GARPU BATANG KENDALI REAKTOR RSG-GAS PASCA PENGANTIAN PERTAMA <i>Herdi Affrizal dan Tantri Prasetyani</i>	323
KONSEP RADIO-ECO WISATA: OPTIMALISASI MANFAAT DAN PENGELOLAAN RISIKO <i>Irwanuddin Irwanuddin dan Maarif Syamsul</i>	333
ANALISIS PENGARUH DESAIN MULTI MODUL PLTN SMR TERHADAP KETENTUAN KESELAMATAN REAKTOR DAYA DI INDONESIA <i>Muhammad Rifqi Harahap, Rahmat Edhi Harianto, dan Bintoro Aji</i>	342
PENTINGNYA PELAKSANAAN PARTISIPASI MASYARAKAT DALAM PEMBENTUKAN PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN BIDANG KETENAGANUKLIRAN DI BAPETEN <i>Rr. Silvi Habsari Duria Sumariyastuti</i>	352
TINJAUAN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK PENGUKURAN PARAMETER KESELAMATAN PADA <i>SMALL MODULAR REACTOR</i> <i>Zulfiandri dan Zakki Muhammad</i>	361
UJI KEBOCORAN TABUNG PESAWAT SINAR-X KONVENSIONAL DI INSTALASI RADIOLOGI RSD MANGUSADA <i>Yustina Carmelia dkk.</i>	368
PENGEMBANGAN RANCANGAN <i>ENTITY RELATIONSHIP DIAGRAM</i> (ERD) UNTUK BASIS DATA DEKOMISIONING BERBASIS <i>FILE INPUT DATA CERREX-D2</i> <i>Arif Isnaeni, dkk.</i>	372
KAJIAN DOSIS PEKERJA REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG TAHUN 2017-2021 <i>Fibra Rhoma Firmanda, Anggoro Septilarso, dan Afida Ikawati</i>	383
ANALISIS KERANGKA HUKUM KEBIJAKAN PERTAHANAN INDONESIA DALAM RANGKA PERSIAPAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR <i>Donni Taufiq, Anri Amaldi Ridwan, dan Sandi Wahyudi</i>	389
KAJIAN TERHADAP PENERAPAN PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR NOMOR 10 TAHUN 2016 TENTANG STANDAR KOMPETENSI DAN PEDOMAN PENDIDIKAN DAN PELATIHAN JABATAN FUNGSIONAL PENGAWAS RADIASI <i>Ratna Sari S., dkk.</i>	398
UJI KESESUAIAN KOLIMASI PESAWAT FLUOROSKOPI DI INSTALASI RADIOLOGI RSD MANGUSADA BADUNG <i>Nathaniel Marcellino, dkk.</i>	407
KENDALI MUTU (<i>QUALITY CONTROL</i>) GENERATOR PESAWAT SINAR-X SIMULATOR VARIAN RAD-14 DENGAN METODE <i>HALF VALUE LAYER</i> (HVL) ALUMINIUM DI SUBINSTALASI RADIOTERAPI RSUP PROF. DR. I.G.N.G NGOERAH <i>I Made Adi Pradnya Diputra, dkk.</i>	412



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Strategi Kebijakan Pengawasan Pembangunan PLTN SMR di Indonesia

Djoko Hari Nugroho¹, Rahmat Edhi Harianto¹, Bintoro Aji¹, Judi Pramono¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

d.harinugroho@bapeten.go.id

Abstrak

Untuk mengantisipasi perkembangan permohonan pembangunan PLTN jenis SMR (*Small Modular Reactor*) yang memiliki berbagai ukuran dan teknologi di Indonesia, dimana belum tersedia peraturan yang mendukung diperlukan pengembangan pengawasan yang komprehensif. Secara umum peraturan ketenaganukliran di Indonesia telah selaras dengan fitur teknologi reaktor berpendingin air ringan besar yang spesifik. Pengembangan peraturan perlu dilakukan mengingat Badan Pengawas tidak mungkin mengantisipasi semua kondisi unik dan mengatur masing-masing dari berbagai desain berbeda dan menetapkan persyaratan secara preskriptif dengan segera. Pendekatan yang disiapkan adalah pra lisensi sebelum dimulainya tahap perizinan dengan mengambil pelajaran dari proses perizinan reaktor berpendingin air ringan, serta pengembangan peraturan melalui perancangan perizinan secara *pipelining* dan pendekatan bertingkat. Untuk menjembatani permasalahan dalam pengawasan pemanfaatan teknologi baru PLTN tersebut diperlukan kebijakan dari Badan Pengawas. Kebijakan ini bisa diwujudkan dalam bentuk peraturan kebijakan. Dalam makalah ini dilakukan penyusunan kajian sebagai dasar usulan strategi kebijakan untuk mengantisipasi pembangunan PLTN jenis SMR di Indonesia dari aspek keselamatan. Strategi kebijakan disusun berdasarkan penerapan peraturan dengan referensi peraturan yang telah ada di Indonesia maupun dari negara lain. Strategi kebijakan diturunkan dari SWOT Bapeten. Strategi kebijakan merupakan artikulasi dari aspek peraturan untuk perizinan, regulasi PLTN terapan dan Kerjasama. Dengan adanya strategi kebijakan ini diharapkan pembangunan PLTN jenis SMR yang menggunakan teknologi baru tersebut dapat terjamin aspek keselamatannya.

Kata kunci: strategi, kebijakan, pengawasan, pembangunan, SMR, Indonesia

Abstract

It is necessary to develop a comprehensive supervision to anticipate developments in applications for the construction of SMR (Small Modular Reactor) type nuclear power plants which have various sizes and technologies in Indonesia where there are no supporting regulations yet. In general, nuclear regulations in Indonesia are aligned with the specific technological features of large light water-cooled reactors. Regulatory development is necessary given that the Regulatory Body cannot possibly anticipate all the unique conditions and regulate each of the different designs and set prescriptive requirements immediately. One of the prepared approaches is to conduct pre licensing prior to the commencement of the SMR licensing process by lesson learned from the licensing process for light water-cooled reactor as well as developing regulations through designing permits in a pipelining and graded approach. To bridge the problems in supervising the utilization of the new NPP technology, a policy from the Regulatory Agency is needed which can be performed in regulatory policy. This paper conducted a study as policy strategies proposal to anticipate the construction of SMR-type nuclear power plants in Indonesia from safety perspective. The policy strategy is prepared based on the existing regulations in Indonesia and other countries. The policy strategy is derived from Bapeten's SWOT. The policy strategy is an articulation of regulatory aspects for licensing, floating nuclear power plant regulations and cooperation. Hoped that the policy strategy can guarantee the safety aspects of the construction of SMR type nuclear power plants which utilize new technology.

Keywords: strategic, policies, supervision, construction, SMR, Indonesia

Pendahuluan

Dewasa ini banyak jenis PLTN ditawarkan ke Indonesia. Beberapa di antara reaktor yang ditawarkan merupakan jenis SMR (*Small Modular Reactor*) yang menggunakan berbagai teknologi baru dan ukuran. Pada saat ini peraturan terkait reaktor daya mengacu pada reaktor berpendingin air ringan, sehingga pengawasannya pun terkait reaktor daya berpendingin air ringan. Dengan mengacu pada potensi hadirnya SMR, maka diperlukan strategi pengawasan untuk mengantisipasi teknologi baru yang menerapkan konsep reaktor yang lebih kecil, bahan bakar dan pendingin konvensional atau non-konvensional. Untuk melakukan pengawasan secara komprehensif, maka konsep jenis reaktor baru perlu ditransformasikan ke peraturan yang ada saat ini. Untuk dapat mengantisipasi perkembangan cepat permohonan pembangunan PLTN jenis SMR di Indonesia dimana belum tersedianya peraturan yang mendukung, diperlukan pengembangan pengawasan. Pengawasan dalam hal ini terutama terkait dengan pengembangan peraturan dan pemberian izin.

Salah satu solusi yang disiapkan adalah pendekatan konsultasi sebelum dimulainya proses perizinan agar dapat menselaraskan desain dengan peraturan, sehingga memberikan proses evaluasi permohonan yang efisien dan menyediakan kepastian regulasi. Fase konsultasi ini mengambil pelajaran dari proses perizinan reaktor berpendingin air ringan yang dapat diterapkan untuk strategi perizinan SMR terkait aspek unik dari teknologi SMR.

Permasalahan lain yang perlu diselesaikan adalah kemungkinan hadirnya teknologi PLTN terapung ke Indonesia terkait kebutuhan pasokan energi di daerah ataupun pulau terpencil. PLTN terapung ini bisa terpasang di *barge* tertambat di dermaga, dibangun di *offshore*, diletakkan di dasar lautan. PLTN terapung terkait dengan kondisi tapak yang tentunya akan terpengaruh dari bahaya eksternal dan bahaya internal. Khusus untuk instalasi yang dipasang di tongkang, lisensi tongkang oleh regulator maritim akan diperlukan. Ada beberapa konvensi, protokol, dan resolusi internasional dalam regulasi PLTN terapung terutama terkait polusinya. Dalam konteks tersebut, melalui pendekatan analisis kebijakan, kerangka kerja internasional mengenai pengaturan PLTN terapung dan potensi risiko lingkungan lautnya dari perspektif hukum internasional perlu dikaji secara komprehensif.

Untuk menjembatani permasalahan dalam pengawasan pemanfaatan teknologi baru PLTN tersebut diperlukan kebijakan dari Badan Pengawas. Kebijakan ini bisa diwujudkan dalam bentuk peraturan kebijakan. Dalam makalah ini dilakukan penyusunan kajian sebagai dasar usulan strategi kebijakan untuk mengantisipasi pembangunan SMR di Indonesia dari aspek keselamatan. Strategi kebijakan disusun berdasarkan penerapan dan pengembangan peraturan dengan referensi peraturan yang telah ada di Indonesia maupun dari negara lain. Penerapan peraturan dilakukan melalui pra lisensi, sedangkan pengembangan peraturan dilakukan melalui perancangan perizinan secara *pipelining* dan pendekatan bertingkat. Dengan adanya strategi kebijakan ini diharapkan pembangunan SMR yang menggunakan teknologi baru tersebut lebih komprehensif dan dapat terjamin aspek keselamatannya. Sedangkan strategi kebijakan direncanakan untuk mempersiapkan hadirnya PLTN di Indonesia sesuai penjelasan Anggota Dewan Energi Nasional Agus Puji menyatakan bahwa pemerintah menargetkan 1 GW kapasitas terpasang berasal dari PLTN pada tahun 2032 [1].

Tahap Pra Lisensi

1. Pengantar

Penerapan konsultasi sebelum tahap perizinan atau sering disebut sebagai pra lisensi diharapkan mampu untuk memastikan bahwa persyaratan yang berlaku bagi desain yang diusulkan dapat dipahami oleh Badan Pengawas, sehingga permohonan izin akan berkualitas tinggi, lengkap dan siap untuk dievaluasi pada saat permohonan perizinan diterima. Hal ini juga dimaksudkan untuk memberi Badan Pengawas kesempatan mengenal fitur desain yang unik atau masalah utama lainnya untuk evaluasi permohonan secara efisien. Tahap pra lisensi juga dilakukan oleh CNSC dari Canada dengan tujuan untuk meningkatkan kepastian peraturan serta memastikan keselamatan [2].

2. Kriteria

Konten dan kriteria penerimaan permohonan perizinan yang akan menerapkan teknologi baru ini tidak sama dengan peraturan yang telah ada. Untuk itu diperlukan proses perizinan untuk evaluasi permohonan, sehingga dapat tercapai efisiensi proses berdasarkan peraturan yang ada.

Secara umum peraturan ketenaganukliran di Indonesia telah selaras dengan fitur teknologi reaktor berpendingin air ringan besar. Dengan munculnya konsep reaktor baru perlu dilakukan diskusi intensif antara Badan Pengawas dengan pihak pemohon perizinan dalam penerapan peraturan yang ada. Hal ini perlu dilakukan mengingat Badan Pengawas tidak mungkin mengantisipasi semua kondisi unik, kemudian secara rinci mengatur masing-masing dari berbagai desain berbeda yang sedang dikembangkan, dan menetapkan persyaratan yang sesuai secara preskriptif untuk tipe desain individual sebelum memiliki pengalaman dengan masing-masing tipe tersebut.

3. Reviu Dokumen

Reviu dokumen terkait dokumen kebijakan SMR terkait dengan metodologi penggunaan peraturan saat ini yang berbasiskan reaktor air ringan untuk dipergunakan bagi SMR jenis baru yang basis pendinginnya air ringan dan selain air ringan berdasarkan pengalaman penerapan antara lain:

- a) Permasalahan terkait perizinan sebagai masukan bagi perumusan peraturan terkait desain SMR untuk mendukung permohonan dan evaluasi perizinan;
- b) Metodologi perizinan yang memungkinkan desain SMR diajukan ke tahap perizinan dalam kerangka peraturan saat ini, dengan menggunakan peraturan saat ini yang dilengkapi elemen informasi risiko;
- c) Peraturan terkait desain yang ada digunakan sebagai panduan terkait fungsi desain teknologi SMR. Jika desain SMR tidak dapat diselesaikan oleh peraturan yang ada, maka perlu dikembangkan kriteria desain di area tersebut.
- d) Pendekatan perizinan berdasarkan informasi risiko untuk panduan sejauh mana peraturan berbasis reaktor air ringan diterapkan pada desain SMR, dan untuk mengembangkan kriteria baru desain SMR di mana peraturan yang ada tidak mencukupi

Adaptasi Peraturan Reaktor Air Ringan

1. Pengantar

Serangkaian peraturan dan pedoman saat ini yang berasal dari peraturan reaktor berpendingin air ringan harus ditinjau ulang untuk penerapannya pada desain SMR. Pendekatan berdasar pada penggunaan kombinasi analisis deterministik dan probabilistik dalam mendefinisikan fungsi keselamatan SMR dan kriteria keberhasilan, prediksi respons instalasi terhadap kejadian awal, dan pengembangan mekanika sumber.

2. Metodologi

Evaluasi SMR dilakukan dengan pendekatan berdasarkan informasi risiko dan berbasis kinerja [3]. Penggunaan informasi risiko antara lain untuk:

- a) membantu pengembangan kriteria dalam perizinan dan memaksimalkan pembentukan dasar keselamatan yang komprehensif dari desain fasilitas, ketidakpastian, dan margin keselamatan,
- b) integrasi konsep informasi risiko ke dalam permohonan dengan menyediakan sarana yang lebih terstruktur untuk memastikan deskripsi lengkap dari desain yang mungkin berbeda dari desain reaktor berpendingin air ringan,
- c) mengidentifikasi fitur desain baru atau unik yang perlu dijelaskan secara memadai dalam permohonan,
- d) membantu dalam memfokuskan sumber daya pemohon dan staf Badan Pengawas pada fitur spesifik yang signifikan dalam desain SMR.

3. Persyaratan

Persyaratan rinci untuk konten dan informasi teknis bagi permohonan persetujuan desain reaktor daya meliputi desain reaktor lengkap kecuali untuk elemen spesifik tapak, dan memenuhi persyaratan peraturan yang berlaku yang mensyaratkan bahwa desain reaktor tersebut akan disetujui hanya jika:

- a) Kinerja setiap fitur keselamatan desain telah ditunjukkan baik melalui analisis, program uji, pengalaman, atau kombinasinya, dan
- b) Keberterimaan efek dependensi antar fitur keselamatan desain telah ditunjukkan oleh analisis, program uji, pengalaman, atau kombinasinya, dan
- c) Terdapat data yang cukup tentang fitur keselamatan desain untuk menilai alat analisis yang digunakan untuk analisis keselamatan pada rentang operasi normal yang memadai, kondisi transien, dan urutan kecelakaan yang ditentukan, termasuk kondisi keseimbangan teras, atau
- d) Telah ada pengujian yang dapat diterima dari prototipe instalasi pada kondisi operasi normal, kondisi transien, dan skenario kecelakaan, termasuk kondisi keseimbangan teras.

PP 5/2021 berlaku bagi pelaku usaha jika mengajukan permohonan perizinan reaktor daya untuk desain modular, dan menetapkan bahwa pemohon harus menggambarkan dan menganalisis kemungkinan operasi konfigurasi modul reaktor dengan sistem umum, dan persyaratan antarmuka, dan menyertakan batasan apa pun yang diperlukan selama konstruksi dan *start-up* modul tersebut untuk memastikan operasi yang selamat dari setiap modul yang beroperasi.

Interaksi program konsultasi sebelum tahap perizinan antara pemohon dengan Badan Pengawas harus membahas bagaimana masing-masing persyaratan peraturan ini akan dipenuhi dan didokumentasikan dalam persyaratan perizinan. Juga penting bahwa kesepakatan dicapai pada program pengujian fisik karena program ini seringkali sangat ekstensif yang merupakan aktivitas panjang. Dokumen spesifik permohonan perizinan perlu menangkap komitmen untuk desain khusus SMR, dan komitmen jadwal terkait atau persyaratan yang mendukung evaluasi yang efisien.

Berdasarkan aspek unik dari teknologi SMR, maka perlu direkomendasi sebagai berikut:

- Melakukan analisis kesenjangan semua peraturan untuk mengidentifikasi masalah peraturan yang harus diselesaikan sebelum adanya permohonan izin,
- Menggunakan pendekatan perizinan berdasarkan informasi risiko untuk mengidentifikasi sejauh mana peraturan berbasis reaktor berpendingin air ringan dapat diterapkan pada desain SMR.
- Menggunakan pendekatan perizinan berdasarkan informasi risiko untuk melengkapi peraturan yang ada.
- Menggunakan pendekatan perizinan berdasarkan informasi risiko untuk mengembangkan kriteria baru di mana peraturan yang ada tidak berlaku.
- Diperlukan rujukan untuk jenis SMR tertentu yang dibangun secara modular.

Tahapan Perizinan secara *Pipelining*

1. Pengantar

Secara umum *pipelining* adalah tahap implementasi dengan beberapa instruksi dieksekusi dalam waktu yang bersamaan. Dengan demikian perizinan secara *pipelining* memungkinkan eksekusi beberapa tahapan perizinan secara bersamaan.

2. Tahap Perizinan Saat ini (Tanpa *Pipelining*)

Pada saat ini tahapan perizinan meliputi perizinan tapak, perizinan konstruksi, perizinan komisioning, perizinan operasi dan perizinan dekomisioning. Proses perizinan saat ini dilakukan secara sekuensial satu demi satu. Akibat yang ditimbulkan adalah memungkinkan terjadinya *idle* pada proses sehingga membuat penyelesaian proses berlangsung lama. Tentu saja hal ini menjadi preseden yang merugikan bila dikaitkan dengan kepuasan pelayanan kepada pelanggan dan publik.

Setiap langkah dari proses perizinan dapat dibagi menjadi beberapa sub-tahap atau dapat digabungkan. Menggabungkan otorisasi atau lisensi (misalnya untuk konstruksi dan operasi) dapat juga memberikan

lebih banyak prediktabilitas pada proses perizinan. Pada setiap tahap perizinan yang ditetapkan oleh badan pengawas, diperlukan otorisasi dari badan pengawas. Bagan perizinan sekuensial saat ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Perizinan Sekuensial

3. Tahap Perizinan secara *Pipelining*

Perizinan instalasi nuklir biasanya dilakukan dalam tahapan yang terpisah. Dalam peraturan Bapeten saat ini, tahapan perizinan dilakukan secara sekuensial. Dalam konteks seperti itu, badan pengawas dapat mempertimbangkan terlebih dahulu persetujuan lokasi dan sertifikasi desain instalasi standar. Kerjasama internasional juga dapat membantu dalam proses perizinan [4]. Perizinan secara *pipelining* dapat dilihat pada Gambar 2.

1) Perizinan Tapak

Tahapan untuk perizinan tapak instalasi nuklir umumnya terdiri dari (a) karakterisasi tapak (b) studi dan investigasi tapak, (c) reviu evaluasi tapak, (d) keputusan penerimaan tapak oleh Badan Pengawas. Badan pengawas memiliki kewenangan untuk menetapkan atau menolak lokasi yang diusulkan atas dasar masalah keselamatan.

2) Persetujuan Disain

Desain dasar instalasi nuklir yang diusulkan harus sedemikian rupa sehingga persyaratan keselamatan dapat dipenuhi sesuai dengan dasar desain. Tahapan persetujuan desain adalah (a) pra perizinan, (b) desain dasar, (c) permohonan persetujuan desain, (d) persetujuan disain oleh Badan Pengawas, dan (e) desain rinci.

Tahap pra perizinan memiliki komunitas internasional yang tergabung dalam NHSI (*Nuclear Harmonization and Standardization Initiative*) IAEA. Selama konstruksi instalasi nuklir, desain rinci dapat disetujui atau mungkin dibekukan. Persetujuan desain rinci harus dilakukan melalui instrumen peraturan, dan kondisi yang sesuai harus dilampirkan.

3) Perizinan Konstruksi

Pemegang izin (PI) melakukan reviu, audit dan bertanggung jawab untuk mensertifikasi pemasok dan kontraktor terkait fungsi keselamatan. Jika perlu, badan pengawas dapat melakukan reviu, menilai, dan memeriksa proses reviu, audit, dan sertifikasi tersebut kepada pemasok dan kontraktor sesuai dengan kerangka peraturan nasional.

Dalam tahapan konstruksi dilakukan kegiatan antara lain (a) reviu, penilaian dan inspeksi sistem manajemen organisasi, evaluasi tapak, fitur desain yang penting untuk keselamatan dan keamanan, pengaturan dekomisioning (b) pengendalian manufacturing SSK, (c) pengendalian kontraktor manufaktur, (d) reviu, menilai, dan memeriksa perkembangan desain dokumen PI oleh Badan Pengawas, (e) kondisi izin, (f) reviu Laporan Analisis Keselamatan, (g) persetujuan Badan Pengawas.

4) Perizinan Komisioning

Masuknya bahan radioaktif nuklir atau jenis tertentu ke instalasi nuklir menandai langkah signifikan dalam prosedur komisioning dan sering dianggap sebagai titik di mana keputusan peraturan utama dibuat. Ada beberapa tumpang tindih antara tahap konstruksi dan komisioning di mana struktur, sistem, dan komponen individu mungkin sudah dipasang sebelum pembangunan seluruh instalasi nuklir selesai

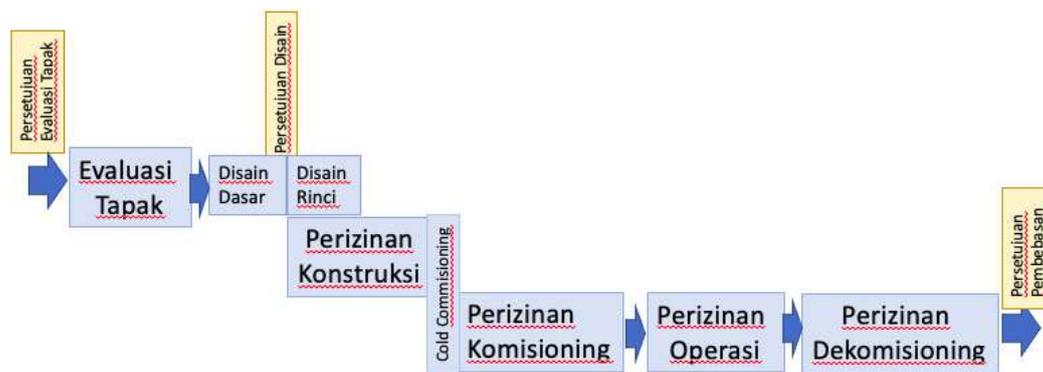
Dalam tahap perizinan komisioning dilakukan antara lain (a) perancangan program komisioning, (b) pengujian, inspeksi kesesuaian SSK dengan persyaratan yang sudah disetujui Badan Pengawas, (c) revidi, penilaian dan inspeksi status instalasi nuklir, aspek manajemen dan peraturan operasional, (d) persetujuan Badan Pengawas.

5) Perizinan Operasi

Operasi dapat dilaksanakan hanya ketika persyaratan peraturan dipenuhi, termasuk penyelesaian uji komisioning, pencatatan hasil dan pengajuannya ke badan pengawas untuk persetujuan. Tahapan untuk memperoleh izin operasi (a) pengujian komisioning non nuklir, (b) pengujian komisioning nuklir, (c) revidi, penilaian dan inspeksi status pengujian komisioning non-nuklir dan nuklir, (d) revidi Laporan Analisis Keselamatan (e) revidi program dekomisioning (f) persetujuan Badan Pengawas [5,6]. Pengujian non-nuklir sebagai bagian dari komisioning dilakukan untuk memastikan bahwa instalasi nuklir telah dibangun, dan perlengkapannya telah dibuat dan dipasang, dengan benar sesuai dengan spesifikasi desain untuk membuktikan kinerja desain. Hasil uji coba non-nuklir diverifikasi pada tahap uji coba nuklir selanjutnya. Sedangkan pengujian nuklir merupakan langkah utama dalam proses perizinan yang dilakukan untuk memastikan kinerja instalasi nuklir aman sebelum dilanjutkan ke tahap operasi rutin. Pelaksanaan pengujian nuklir memerlukan otorisasi dari badan pengawas.

6) Perizinan Dekomisioning

Tahapan untuk izin dekomisioning antara lain (a) rencana program dekomisioning rinci, (b) revidi program dekomisioning dari aspek keselamatan (c) persetujuan Badan Pengawas.



Gambar 2. Perizinan secara Pipelining

Pendekatan Perizinan secara Bertingkat

1. Pengantar

Proses perizinan harus dipahami oleh pihak-pihak yang berkepentingan dan harus dapat diprediksi (yaitu terdefinisi dengan baik, jelas, transparan, dan dapat dilacak). Proses perizinan harus ditetapkan secara sistemik untuk memfasilitasi regulasi secara efisien. Langkah-langkah proses perizinan harus terpisah dan harus mengikuti urutan yang logis. Dalam mengembangkan proses perizinan, dapat dipertimbangkan untuk melaksanakan proses pra lisensi, ataupun langkah-langkah yang memberikan persetujuan awal lokasi ataupun untuk mencapai persetujuan desain instalasi standar.

2. Pendekatan Bertingkat

Pendekatan bertingkat adalah metode yang diterapkan setiap proses atau produk yang memerlukan tingkat kendali tertentu. Saat menerapkan pendekatan bertingkat dipergunakan sumber daya yang seringkali terbatas, dengan cara yang mempertimbangkan risiko terkait. Pendekatan bertingkat digunakan dalam melaksanakan pengkajian keselamatan dan dalam mengeluarkan peraturan yang memadai untuk berbagai jenis instalasi nuklir dan berbagai tingkat potensi bahaya dan risiko yang ditimbulkannya. Penerapan pendekatan bertingkat oleh badan pengawas berfokus pada cara instalasi dan aktivitasnya dinilai, diperiksa dan disahkan berdasarkan risiko, tanpa membatasi pengoperasian instalasi nuklir atau pelaksanaan aktivitasnya.

Faktor utama yang dipertimbangkan dalam penerapan pendekatan bertingkat untuk diterapkan dalam peraturan adalah besarnya risiko yang terkait dengan kegiatan yang dilakukan di instalasi nuklir [7].

3. Pendekatan Bertingkat dalam Perizinan

Pendekatan bertingkat digunakan oleh badan pengawas dalam menentukan ruang lingkup, luas dan tingkat perincian dan upaya yang akan dilakukan untuk meninjau, menilai dan memeriksa, dan jumlah otorisasi untuk setiap instalasi nuklir dan kegiatannya.

Pendekatan bertingkat untuk penilaian keselamatan juga mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti kematangan organisasi pemegang izin, dan kompleksitas dan isu-isu terkait penuaan instalasi nuklir. Kematangan terkait dengan: penggunaan prosedur, desain dan pengalaman operasi pada instalasi nuklir yang serupa; ketidakpastian kinerja instalasi; ketersediaan staf yang kompeten dan manajer yang berpengalaman, kontraktor dan pemasok. Kompleksitas berkaitan dengan: tingkat dan kesulitan upaya yang diperlukan untuk membangun, memelihara, mengoperasikan, dan menonaktifkan instalasi nuklir atau untuk melakukan suatu kegiatan; jumlah proses terkait yang perlu dikendalikan; bentuk fisik dan kimia bahan radioaktif dan sejauh mana bahan radioaktif harus ditangani; waktu paruh dari radionuklida yang bersangkutan; dan keandalan serta kompleksitas sistem dan komponen dan aksesibilitasnya untuk pemeriksaan pemeliharaan, pengujian, dan perbaikan. Demikian pula, pendekatan bertingkat harus diterapkan pada instalasi nuklir yang berkembang secara dinamik [7].

Permasalahan PLTN Terapung

1. Pengantar

Banyak negara telah mengembangkan reaktor daya terapung dengan konsep reaktor inovatif yang berbeda dalam ukuran pada berbagai tahap desain dan pengembangan di seluruh dunia dengan tujuan pemanfaatan yang berbeda-beda. Keselamatan operasi reaktor daya terapung (RDT) di lingkungan laut selama peristiwa cuaca ekstrem bisa sangat menantang [8]. Ketika RDT miring secara statis di lautan karena pengaruh lingkungan sekitar, beberapa mekanisme keselamatan dapat bekerja dengan tidak semestinya, dan di luar tingkat kemiringan tertentu, sistem pendingin inti darurat platform tidak dapat lagi berfungsi yang akan menyebabkan kerusakan yang parah atau menimbulkan risiko keamanan [9]. Pemeliharaan jangka panjang untuk mencegah RDT dan komponennya mengalami pengaruh korosi air laut merupakan masalah keamanan lainnya.

2. Tinjauan Aspek Teknis

Reaktor daya terapung memiliki banyak kesamaan dengan PLTN berbasis darat dan kapal bertenaga nuklir, namun ada beda yang mewakili kategori baru dimana norma, standar, atau praktik keselamatan nuklirnya perlu dikembangkan. Implementasi reaktor daya terapung juga perlu mempertimbangkan pengangkutan instalasi reaktor yang telah difabrikasi, berbahan bakar, diuji dan dioperasikan.

Lokasi reaktor daya yang biasanya berbasis darat ke laut akan menimbulkan pertanyaan tentang keselamatan, lingkungan, dan peraturan yang berbeda. Kekhawatiran tentang tabrakan kapal, permasalahan tempat penangkapan ikan lepas pantai, tenggelamnya tongkang, dan tantangan untuk menciptakan pengaturan baru untuk reaktor terapung merupakan masalah yang dihadapi oleh regulator.

Masalah teknis khusus sehubungan dengan PLTN yang dipasang di tongkang adalah:

- Definisi desain dasar yang terkait dengan tapak dan kondisi operasi khusus;
- Implikasi dari desain dasar untuk desain aktual sistem, struktur dan komponen reaktor daya terapung;
- Sistem pengungkung dan struktur penahan beban;
- Koneksi ke jaringan yang sangat kecil dan tidak stabil
- Pasokan energi darurat;
- Perlindungan terhadap banjir dan tsunami;
- Modalitas dan peralatan untuk penggantian bahan bakar;
- Kemungkinan tenggelamnya reaktor terapung

- Kesiapsiagaan dan kedaruratan

3. Analisis Kebijakan

Melalui beberapa pertimbangan, Badan Pengawas mempertimbangkan kemungkinan penerapan reaktor daya terapung di Indonesia dengan menetapkan standar nasional untuk pembangkit nuklir, dan untuk memastikan bahwa standar dipenuhi untuk penempatan/tapak dan selama desain, manufaktur dan komisioning, dan operasi.

Sebagian besar, masalah perizinan untuk RDT akan tergantung pada tingkat inovasi yang diterapkan dalam desain instalasi. Jika RDT menjadi subyek transaksi ekspor, perizinan akan dilakukan baik di negara pemasok dan di negara pengguna. RDT inovatif yang merupakan reaktor bukan berpendingin air, yang berbahan bakar dan diuji di instalasi dan berbagai jenis reaktor RDT dipasang di tongkang memasukkan inovasi-inovasi penting yang memerlukan pengembangan norma-norma peraturan yang diperlukan untuk mendukung perizinan. Lisensi tongkang oleh regulator maritim diperlukan untuk instalasi yang dipasang di tongkang.

Strategi Kebijakan

1. Pengertian Umum

I Gde Pantja Astawa menjelaskan bahwa peraturan negara (*staatsregelings*) atau keputusan dalam arti luas (*besluiten*) dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu [10]:

- a) *Wettelijk regeling* (peraturan perundang-undangan);
- b) *Beleidsregels* (peraturan kebijakan);
- c) *Beschikking* (penetapan).

Pada dasarnya kewenangan pemerintah atau pejabat administrasi negara dalam pembentukan peraturan perundang-undangan merupakan kewenangan yang bersifat pelimpahan (*delegated authority*) karena kewenangan asli (*original authority*) pembentukan peraturan perundang-undangan ada pada badan legislatif. Pendelegasian kewenangan legislatif kepada pemerintah (eksekutif) atau pejabat administrasi negara tersebut membuat pejabat pemerintah atau pejabat administrasi negara memiliki kewenangan legislatif seperti halnya pembentuk undangundang asli (badan legislatif) [10].

Kebijakan yang ditetapkan oleh pejabat administrasi negara berdasarkan wewenang yang bersumber dari peraturan perundang-undangan, kemudian dituangkan dalam berbagai bentuk-bentuk hukum yang ada di Indonesia dapat dikategorikan termasuk dalam golongan peraturan perundang-undangan. Kebijakan dapat bersifat terikat (*gebonden beleids*) berdasarkan peraturan perundang-undangan. Pemerintah atau pejabat administrasi negara juga dapat menetapkan kebijakan-kebijakan yang bersifat bebas (*vrijbeleid*) berdasarkan kewenangan kebebasan bertindak (*freies ermessen*). Kebijakan yang bersifat bebas ditetapkan dan dijalankan oleh pejabat administrasi negara dalam rangka menyelesaikan suatu keadaan masalah konkret yang pada dasarnya belum ada aturannya atau belum diatur dalam peraturan perundang-undangan [10].

2. Kebijakan Umum

Untuk memastikan terselenggaranya persetujuan dan perizinan yang efisien, maka isi permohonan, format, kelengkapan, tingkat rinci, dan kriteria evaluasi dan jadwal permohonan perizinan dan proses evaluasi perlu didefinisikan dengan baik. Persyaratan ini berlaku umum untuk semua jenis reaktor.

Permasalahan khusus yang mungkin memerlukan penilaian awal atau lanjutan antara lain desain komponen tertentu, metode analisis, kualifikasi bahan bakar, suku sumber, desain dasar, *defense-in-depth* (DiD), pemilihan kecelakaan, klasifikasi SSK, perlakuan regulasi untuk sistem non-keselamatan, serta penerapan kode dan standar.

Hasil yang diinginkan kebijakan adalah mekanisme umum untuk menetapkan gambaran yang jelas dan terdokumentasi dari ekspektasi Badan Pengawas untuk kelengkapan dan tingkat rinci permohonan persetujuan desain SMR yang baru dan unik, cocok untuk setiap desain yang diberikan di area yang

secara material berbeda dari aturan yang ada saat ini yang berbasiskan ke reaktor berpendingin air ringan.

Tujuan dibuatnya kebijakan adalah untuk memberikan jaminan yang cukup bahwa:

- ada kriteria dasar penerimaan perizinan dan dokumentasinya yang jelas dan tegas;
- ada kepastian peraturan yang lebih luas untuk proses evaluasi permohonan izin dengan minimal iterasi pada siklus permohonan, penilaian, dan perbaikan; namun dengan hasil yang lebih dapat diprediksi.

Pendekatan perizinan memiliki empat prinsip panduan yaitu:

- a) menyesuaikan dengan peraturan saat ini yang didasarkan pada teknologi reaktor air ringan besar;
- b) menggunakan proses pengambilan keputusan yang sistematis dengan tetap menerapkan peraturan yang ada;
- c) menggunakan proses informasi risiko untuk melengkapi peraturan yang ada; dan
- d) menyediakan persyaratan permohonan termasuk revisi yang terdokumentasi serta diringkaskan dalam format khusus desain dan implementasinya

3. SWOT Pengawasan Pembangunan SMR

Kebijakan diperlukan sebelum dilakukannya permohonan perizinan yang digunakan untuk menggambarkan permasalahan tingkat tinggi, meringkas persyaratan peraturan yang ada atau panduan yang membantu kontekstualisasi masalah, menggambarkan pendekatan yang diusulkan untuk mengatasi masalah, dan menentukan tujuan hasil yang diinginkan untuk mencapai permohonan atau keselarasan dengan industri. Sedangkan manajemen strategi adalah proses pembuatan keputusan terkait penggunaan sumber-sumber perusahaan yang terbatas dalam lingkungan bisnis yang cepat berubah [11]. Dengan demikian strategi kebijakan meliputi bagaimana menerapkan keputusan dan bentuk kebijakan yang ditetapkan oleh pimpinan.

Sesuai Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001, Bapeten mempunyai tugas untuk melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengawasan tenaga nuklir sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku [12]. Sedangkan visi dan misi Bapeten adalah menjadi Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang andal, inovatif, dan berintegritas dalam pelayanan kepada Presiden dan Wakil Presiden untuk mewujudkan Visi dan Misi Presiden dan Wakil Presiden [13].

Untuk menyusun rancangan strategi kebijakan, diperlukan analisis SWOT seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. SWOT Pengawasan Pembangunan SMR

Faktor Internal	
Kekuatan (<i>Strength</i>)	Kelemahan (<i>Weaknesses</i>)
1. Struktur organisasi Bapeten kuat secara hukum	1. Infrastruktur untuk pengawasan SMR belum tersedia
2. SDM Pengawas Bapeten sudah ada	2. Anggaran untuk mendukung pengawasan pembangunan SMR belum memadai
3. Komunikasi yang baik dengan K/L lain dan Pemda	3. Peraturan yang ada kurang sesuai untuk SMR
Faktor Eksternal	
Peluang (<i>Opportunity</i>)	Ancaman (<i>Threat</i>)
1. Kebijakan pemerintah tentang NZE dan bauran energi yang mengakomodasi nuklir	1. Beragamnya jenis teknologi baru SMR yang ditawarkan ke Indonesia, termasuk PLTN terapung
2. Ketersediaan dokumen IAEA dan negara lain tentang pembangunan SMR	2. Keinginan pelaku usaha untuk membangun PLTN mulai dari tahap riset sampai komersial
3. Ketersediaan forum reactor a bilateral maupun multi lateral	3. Keinginan pelaku usaha untuk komersialisasi reaktor prototipe
4. Ketersediaan TSO di tingkat nasional maupun internasional	4. Permasalahan penerimaan reacto terhadap pembangunan PLTN

Berdasarkan SWOT di atas dapat disusun strategi pembangunan SMR di Indonesia seperti tampak pada Tabel 2.

Tabel 2. Strategi Pengawasan Pembangunan SMR

Faktor Internal	Kekuatan (S)	Kelemahan (W)
Faktor Eksternal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Struktur organisasi BAPETEN kuat secara hukum 2. SDM Pengawas BAPETEN sudah ada 3. Komunikasi yang baik dengan K/L lain dan Pemda 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Infrastruktur H/W dan S/W untuk pengawasan SMR belum tersedia 2. Anggaran untuk mendukung pengawasan pembangunan SMR belum memadai 3. Peraturan yang ada kurang sesuai untuk SMR
Peluang (O)	Strategi S-O	Strategi W-O
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kebijakan pemerintah tentang NZE dan bauran energi yang mengakomodasi nuklir 2. Ketersediaan dokumen IAEA dan negara lain tentang pembangunan SMR 3. Ketersediaan forum reaktor, baik bilateral maupun multilateral 4. Ketersediaan TSO di tingkat nasional maupun internasional 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kontribusi SDM Pengawas BAPETEN dalam forum kerjasama bilateral dan multilateral 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dukungan TSO untuk penguatan infrastruktur H/W dan S/W 2. Pengembangan peraturan yang mengakomodasi SMR 3. Peningkatan reaktor untuk mengatasi kendala anggaran
Ancaman (T)	Strategi S-T	Strategi W-T
<ol style="list-style-type: none"> 1. Beragamnya jenis teknologi baru SMR yang ditawarkan ke Indonesia, termasuk PLTN terapung 2. Keinginan pelaku usaha untuk membangun PLTN mulai dari tahap riset sampai komersial 3. Keinginan pelaku usaha untuk komersialisasi reaktor prototipe 4. Permasalahan penerimaan reaktor terhadap pembangunan PLTN 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsultasi Calon Pemegang Izin SMR dengan SDM Pengawas BAPETEN melalui media pra lisensi 2. Peningkatan pemahaman publik tentang pengawasan pembangunan PLTN melalui Kerjasama dengan K/L lain dan Pemda 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengembangan peraturan tentang kemungkinan pelaku usaha diizinkan membangun PLTN mulai tahap riset sampai komersial 2. Pengembangan peraturan yang mempertimbangkan komersialisasi reaktor prototipe

4. Strategi Kebijakan

Berdasarkan analisis di atas, maka strategi kebijakan pengawasan pembangunan SMR sebagai berikut:

1. Peraturan untuk Perizinan;

- 1.1. Pada prinsipnya, semua jenis reaktor dapat dibangun di Indonesia, sepanjang memenuhi persyaratan keselamatan, keamanan dan garda-aman (*safeguards*);
- 1.2. Untuk mengantisipasi permasalahan desain reaktor terhadap pemenuhan ketentuan keselamatan, keamanan dan garda-aman, pengembang reaktor daya dapat mengajukan pra lisensi kepada BAPETEN sebelum masuk tahap perizinan.
- 1.3. Pelaku Usaha dapat mengajukan permohonan izin untuk pembangunan reaktor daya, baik berupa reaktor daya eksperimental, demo/prototipe, maupun komersial;
- 1.4. Reaktor daya prototipe dapat diajukan status perizinannya menjadi reaktor daya komersial

melalui proses persetujuan Badan Pengawas, dengan syarat jika teknologi yang digunakan telah mencapai bentuk akhir dan telah dioperasikan secara selamat seperti tercantum dalam Laporan Analisis Keselamatan pada berbagai kondisi operasi dalam kurun waktu paling kurang 3 tahun.

- 1.5. Reaktor daya yang diajukan perubahan status perizinannya dari prototipe ke komersial dengan syarat harus memiliki Laporan Analisis Keselamatan Probabilistik dan memenuhi persyaratan administrasi pada saat diajukan perubahan status izin kepada BAPETEN.

2. Regulasi PLTN Apung

- 2.1. Penerapan ketentuan untuk reaktor daya terapung perlu diselaraskan dengan aturan Hukum Nasional dan Internasional di bidang keselamatan nuklir, keamanan nuklir, garda-aman, Hukum Laut, Hukum Lingkungan, dan *nuclear liability*.
- 2.2. Untuk instalasi yang dipasang di tongkang harus melalui proses perizinan tongkang oleh regulator maritim. Perlu tersedia *active agreement* dengan negara pemasok.
- 2.3. Reaktor daya terapung yang dioperasikan di Indonesia harus memiliki izin pengoperasian dari Badan Pengawas negara asal

3. Kerja sama

- 3.1. Bapeten bekerja sama dengan badan pengawas tenaga nuklir dari berbagai negara yang berpengalaman dalam mengawasi reaktor nuklir teknologi baru, baik dalam hal penyusunan kebijakan, standar keselamatan sampai dengan penyelenggaraan perizinan
- 3.2. Bapeten bekerja sama dengan TSO internasional dan nasional dalam melakukan pengawasan pembangunan SMR
- 3.3. Kolaborasi antar institusi dengan Pemerintah Daerah untuk melakukan sosialisasi pengawasan guna meningkatkan penerimaan publik terhadap pembangunan SMR

Kesimpulan

Dalam makalah ini dilakukan penyusunan kajian sebagai dasar usulan strategi kebijakan untuk mengantisipasi pembangunan PLTN jenis SMR di Indonesia dari aspek keselamatan. Strategi kebijakan disusun berdasarkan penerapan peraturan dengan referensi peraturan yang telah ada di Indonesia maupun dari negara lain. Strategi kebijakan diturunkan dari SWOT Bapeten. Strategi kebijakan pengawasan pembangunan SMR disusun dari aspek (a) peraturan untuk perizinan, (b) regulasi PLTN terapung dan (c) kerjasama. Dengan adanya strategi kebijakan ini diharapkan pembangunan PLTN jenis SMR dapat terjamin aspek keselamatannya

Daftar Pustaka

- [1] <https://www.den.go.id/index.php/dinamispage/index/1450-den-bahas-penyiapan-sosialisasi-pembangunan-pltn.html>
- [2] CNSC. GD-385: Pre-licensing Review of a Vendor's Reactor Design. Diunduh pada tanggal 8 Agustus 2023 dari <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/acts-and-regulations/regulatory-documents/published/html/gd385/index.cfm>
- [3] NRC. 10 CFR part 53. "Risk-Informed, Technology-Inclusive Regulatory Framework for Commercial Nuclear Plants. Diunduh pada tanggal 8 Agustus 2023 dari <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/advanced/rulemaking-and-guidance/part-53.html>
- [4] IAEA, SSG-12. Licensing Process for Nuclear Installations. Vienna. 2010
- [5] Stéphan Calpéna, Licensing process for Nuclear Installations. CNRA International Workshop on "New Reactor Siting, Licensing and Construction Experience". Prague, Czech Republic. 2010
- [6] WNA, Licensing and Project Development of New Nuclear Plants Licensing & Permitting Task Force. England. 2015
- [7] IAEA. Use of a Graded Approach in the Application of the Management System Requirements for Facilities and Activities. Vienna. 2014
- [8] Zhang, Y.; Buongiorno, J.; Golay, M.; Todreas, N. Safety analysis of a 300-MW (electric) Offshore Floating Nuclear Power Plant in Marine Environment. *Nucl. Technol.* **2018**, *203*, 129–145

- [9] Standing, W.J.F.; Dowdall, M.; Amundsen, I.; Strand, P. Floating Nuclear Power Plants: Potential Implications For Radioactive Pollution Of The Northern Marine Environment. *Mar. Pollut. Bull.* **2009**, *58*, 174–178
- [10] Arif Christiono Soebroto, Kedudukan Hukum Peraturan/Kebijakan di bawah Peraturan Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Bappenas. WORKSHOP Peraturan kebijakan di Kementerian PPN Bappenas. Diunduh pada tanggal 5 Juni 2023 dari [https://jdih.bappenas.go.id/data/file/WORKSHOP Peraturan kebijakan di Kementerian PPN b appenas.pdf](https://jdih.bappenas.go.id/data/file/WORKSHOP%20Peraturan%20kebijakan%20di%20Kementerian%20PPN%20bappenas.pdf)
- [11] Supriyono, R.A. Manajemen Strategi dan Kebijaksanaan Bisnis. BPPE, Yogyakarta, 1998
- [12] Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001, 2001
- [13] Keputusan Kepala Bapeten No 0528/K/III/2022 Tentang Peta Jalan Pengawasan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Tahun 2022–2035, 2022



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Rekomendasi Teknis Strategi Mitigasi Bahaya Hidrogen pada Desain Sistem Pengungkung Reaktor Daya

Rahmat Edhi Harianto¹, Bintoro Aji¹

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

r.eharianto@bapeten.go.id

rahmatedhi@gmail.com

Abstrak

Pengungkung reaktor nuklir adalah sistem keselamatan penting dengan fungsi penghalang utama untuk mencegah lepasan produk fisi radioaktif ke lingkungan jika terjadi kecelakaan parah. Kejadian ledakan hidrogen di tiga unit pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) Fukushima telah mengakibatkan kerusakan parah pada fasilitas dan struktur pengungkung primer dan sekunder. Telah dilakukan studi terhadap strategi dan manajemen pengendalian hidrogen pada PLTN berdasarkan standar nasional, badan energi atom internasional (*International Atomic Energy Agency-IAEA*) dan komparasi penerapan di beberapa negara pengoperasi PLTN jenis reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor-PWR*) dan reaktor air didih (*Boiling Water Reactor-BWR*) pasca kecelakaan Fukushima, antara lain di Amerika Serikat, Belgia, Finlandia, Jerman, Korea Selatan, Prancis, Spanyol, dan Swedia. Tujuan studi adalah mengidentifikasi muatan teknis terkait strategi dan penanganan bahaya hidrogen pada kecelakaan parah PLTN yang selanjutnya akan diusulkan sebagai isi rekomendasi teknis desain sistem pengungkung reaktor daya. Studi dilakukan pada desain PLTN dan reaktor daya kecil dan modular (*Small Modular Reactor-SMR*) berpendingin air. Studi menyimpulkan bahwa strategi mitigasi hidrogen memiliki keragaman antara satu negara dengan negara lain dan bergantung pada desain pengungkung. Sistem pemantauan gas pada pengungkung mutlak diperlukan, dan terdapat peningkatan fitur keselamatan khususnya pada desain BWR Mark I dan Mark II. Selain itu, pada desain terkini SMR umumnya telah mengakomodasi mitigasi bahaya hidrogen dalam desain reaktor. Substansi teknis dan norma yang perlu diakomodir dalam peraturan BAPETEN terkait desain pengungkung, yaitu: (1) proses pembentukan gas mudah terbakar meliputi seluruh sumber-sumber termasuk lokasi yang menghasilkan H₂ di dalam dan di luar bejana reaktor pada kondisi DBA, dan BDBA/SA; (2) proses moda pembakaran H₂; (3) kriteria/parameter nilai desain pengungkung; dan (4) upaya mitigasi dan pencegahan pembakaran H₂ yang membahayakan integritas pengungkung.

Kata Kunci: Desain sistem pengungkung, ledakan hidrogen, kecelakaan parah

Abstract

The containment of a nuclear reactor is a safety important system with the main barrier function to preventing radioactive fission product release to the environment in a severe accident. The hydrogen explosion events in three Fukushima nuclear power plant units resulted in the facility and primary and secondary containment structures building severe damage. A study on the strategy and control management of hydrogen in nuclear power plants based on national standards, IAEA, and comparative practice in several operating countries for PWR and BWR-type nuclear power plants after the Fukushima accident, including the United States, Belgium, Finland, Germany, South Korea, France, Spain, and Sweden, has been conducted. The purpose of the study is to identify the technical contents related to the strategy and management of hydrogen hazards in severe accidents of nuclear power plants which will then be proposed as the contents of technical recommendations for the design of power reactor confinement systems. The study was conducted on designs of nuclear power plants and water-cooled SMRs. The study concluded that mitigation strategies for hydrogen vary from country to country

and depend on the design of the containment. A gas monitoring system in the containment is absolutely necessary, and there are improved safety features, especially in BWR Mark I and Mark II reactor designs. In addition, the latest SMR designs have generally accommodated hydrogen hazard mitigation in the reactor design. Technical substance and norms that need to be accommodated in BAPETEN regulations related to containment design, namely: (1) combustible gas formation process covering all sources including locations that produce H_2 inside and outside the reactor vessel under DBA, and BDBA/SA conditions; (2) H_2 combustion mode process; (3) criteria/parameters of confinement design values; and (4) mitigation and prevention efforts for H_2 combustion that jeopardize confinement integrity.

Keywords: Design of containment system, hydrogen explosions, severe accident

Pendahuluan

Tujuan manajemen kecelakaan parah (*severe accident*-SA) pada pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) adalah perlindungan integritas pengungkung yang menjadi penghalang akhir terhadap lepasan produk fisi ke lingkungan. Terdapat beragam kemungkinan potensial terhadap integritas pengungkung ketika terjadi SA di PLTN, namun kejadian paling signifikan adalah pembakaran hidrogen (H_2). H_2 dihasilkan terutama sebagai hasil dari reaksi pemanasan zirkonium (Zr) dengan uap. Pembakaran H_2 dapat menghasilkan tekanan dalam jangka pendek maupun kekuatan ledakan yang melampaui kekuatan struktur pengungkung dan menjurus pada kegagalan awal pengungkung. Pada sebagian besar PLTN, SA memicu lepasan H_2 yang melampaui kapasitasnya pada kecelakaan dasar desain (*Design Basis Accident*-DBA) [1]. Secara lokal, konsentrasi H_2 dapat meningkat dengan cepat mengarah pada terbentuknya campuran gas mudah terbakar dalam pengungkung. Selain itu, peningkatan tekanan dalam jangka panjang dapat terjadi karena pembangkitan uap dari panas peluruhan dan/atau melalui pembentukan gas yang tidak terkondensasi dari interaksi lelehan teras dengan alas beton pengungkung.

Oleh karena itu upaya mempertahankan integritas pengungkung menjadi sangat penting pada kecelakaan reaktor untuk menghindari lepasan produk fisi, termasuk mempelajari sumber, fenomena, dan mitigasi H_2 pada pengungkung. Hal ini menjadi tujuan badan pengawas tenaga nuklir (BAPETEN) melakukan studi rekomendasi teknis strategi dan mitigasi bahaya H_2 pada kondisi SA khususnya pada PLTN termasuk reaktor daya kecil dan modular (*Small Modular Reactor*-SMR) berpendingin air ringan dengan tipe desain reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*-PWR) dan reaktor air didih (*Boiling Water Reactor*-BWR).

Saat ini ketentuan persyaratan khusus desain pengungkung telah tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya [2], akan tetapi ketentuan mengenai desain sistem penyungkup diatur tersendiri dengan Peraturan Kepala BAPETEN. Studi rekomendasi teknis ini menjadi dasar dalam penyusunan regulasi BAPETEN terkait desain sistem pengungkung khususnya pada bagian manajemen gas mudah terbakar dan strategi mitigasi bahaya hidrogen kecelakaan parah.

Metodologi

Makalah ini berisi studi literatur dengan cara komparasi praktik strategi mitigasi bahaya hidrogen kecelakaan parah dari regulasi nasional, standar IAEA dan praktik di negara pengoperasi PLTN seperti Amerika Serikat, Belgia, Finlandia, Jerman, Korea Selatan, Prancis, Spanyol, Swiss, dan Swedia.

Pokok Bahasan

1. Desain Pengungkung PLTN [3]

1) Tipe BWR

Ukuran dan konstruksi pengungkung tipe reaktor ini sangat beragam. Desain terdahulu memiliki daya rendah (sekitar 100 MWe) hingga daya besar setara PWR pada desain terkini. Desain pengungkung terbuat dari baja diantara bangunan beton reaktor atau beton pra-tekan dengan lapisan

baja di bagian dalam mengelilingi oleh gedung reaktor. Pengungkung terdiri dari bagian *drywell* yang mewadahi reaktor dan *wetwell* (sebagai pendingin pasif) dengan volume air sebesar ~ 2000 - 3500 m³.

Desain reaktor memiliki tiga tipe pengungkung: Mark I, Mark II, dan Mark III, yang bervariasi terutama pada bagian *wetwell*. Pada sebagian besar pengungkung, sistem penyemprot dipasang setidaknya di bagian *drywell* meskipun tidak semua terkait keselamatan. Kebanyakan pengungkung reaktor ini pada bagian *drywell* dan *wetwell* didesain dalam kondisi inert (sulit bereaksi) ketika operasi normal reaktor dengan cara mengisi gas nitrogen (N₂) untuk mencegah risiko H₂.

Jika pengungkung Mark III didesain tanpa kondisi inert maka terpasang fitur pemantik (*igniter*) dan recombiner pasif (*Passive Autocatalytic Recombiner*-PAR) di sisi *drywell* dan *wetwell*. Tersedia juga sistem perpipaan dengan atau tanpa filter, yang terkoneksi dalam bentuk fase gas pada dua sisi tersebut, dan memiliki sisa pipa *off-gas* terpisah menuju cerobong untuk mengantisipasi kegagalan tekanan berlebih pengungkung secara jangka panjang pada kecelakaan di luar dasar desain (*Beyond Design Basis Accident*-BDBA) atau SA. Upaya lain mencegah potensi erosi beton setelah kegagalan bejana tekan reaktor adalah mengaliri air pada rongga yang terletak di bawah bejana reaktor.

2) Tipe PWR

Daya operasi memiliki rentang 365 MWe (2 *loop*) hingga 1650 MWe (4 *loop*) dengan volume pengungkung 36.000-90.000 m³. Reaktor ini memiliki tiga desain pengungkung: 1) baja dikelilingi bangunan beton reaktor, 2) beton pra-tekan dengan lapisan dalam baja namun di bagian atas tidak ditutup gedung reaktor, dan 3) beton dinding ganda.

Fitur sistem mitigasi pengungkung antara lain sistem penyemprot untuk menurunkan tekanan pada kondisi DBA. Sistem pemindah panas jangka panjang setelah kondisi DBA menggunakan beragam desain, seperti sistem ventilasi udara. Mitigasi H₂ kondisi DBA melalui pemasangan recombiner panas/PAR atau pemantik pijar (*glow plug igniters*) beroperasi ketika konsentrasi H₂ sangat dekat dengan batas mudah terbakarnya [4]. Pada banyak desain PWR juga dilengkapi sistem pengembosan tekanan (*venting system*) berfilter untuk mencegah kegagalan tekanan berlebih.

2. Pembentukan Hidrogen [4]

- a) Terdapat dua sumber pembangkitan H₂ selama kondisi SA yaitu di dalam dan luar bejana reaktor. Sumber H₂ di dalam bejana berasal dari fenomena reaksi uap-zirkonium, reaksi uap-logam baja, dan reaksi uap-boron karbida (B₄C). Pada saat SA, pendingin dapat hilang karena peluruhan panas bahan bakar akibat teras tidak tertutupi air. Suhu tinggi ini memudahkan oksidasi logam kelongsong Zr dan H₂ membentuk panas. Reaksi oksidasi zirkonium dan uap sangat cepat dengan laju 0,1-5 kg/s serta kecepatannya 10 kali lipat dari sumber H₂ lainnya. Dalam beberapa jam pertama kecelakaan, PWR menghasilkan 150-200 kg H₂ dimana nilai ini adalah dua hingga lima kali lebih besar dari BWR. Jika seluruh Zr teroksidasi sempurna, massa H₂ terbentuk pada 1000 MWe PWR adalah 1000-1100 kg. Jumlah O₂ terbentuk di BWR hampir tiga kali lipat jumlah PWR. Sementara reaksi oksidasi uap-baja menghasilkan 10-15% total H₂. B₄C digunakan sebagai batang penyerap neutron desain BWR dan beberapa PWR. Oksidasi B₄C secara signifikan menyumbang tidak hanya pada produksi H₂ per gram material jauh lebih banyak daripada oksidasi Zr, tetapi juga terhadap pelepasan panas di dalam teras. Efek ini tergantung pada kuantitas massa B₄C dalam reaktor. Produksi H₂ sekitar 0,15-0,3 kg per 1 kg oksidasi B₄C. Pada PWR, kuantitas hidrogen dari oksidasi B₄C adalah sekitar 10% lebih rendah dari oksidasi Zr.
- b) Sumber H₂ di luar bejana berasal dari reaksi beton-lelehan korium, radiolisis air, dan korosi bahan logam. Interaksi beton dan lelehan korium (*molten corium-concrete interaction*-MCCI) terjadi ketika integritas bejana reaktor gagal dan lelehan korium suhu tinggi jatuh ke dalam rongga reaktor terbuat dari beton, menghasilkan reaksi kimia eksotermik antara material korium dan gas yang dihasilkan dari pengendapan beton seperti H₂O dan CO₂ sementara beton mengalami ablasi. Laju pembentukan H₂ pada reaksi ini 2 mol/s. Radiolisis air terjadi pada kondisi normal dan kecelakaan, namun tingkat produksi H₂ diperkirakan sangat rendah dalam kondisi kecelakaan. Produksi H₂ sekitar 100 kg dalam tiga bulan dan dimitigasi melalui recombiner hidrogen. Pada korosi bahan logam, logam seng (Zn) dan aluminium menjadi sumber utama reaksi korosi menghasilkan H₂. Reaksinya bergantung pada nilai derajat keasaman (pH). Proses korosi bahan logam dapat menghasilkan sekitar 100

kg hidrogen dalam beberapa jam, yang nilainya tetap jauh lebih rendah dari sumber produksi H₂ lainnya.

3. Pembakaran Hidrogen [1,4]

Kecepatan produksi H₂ sekitar 2 kg/detik berasal dari sumbangan berbagai sumber saat degradasi teras. Kuantitas H₂ dalam pengungkung biasanya lebih dari 1000 kg dalam tujuh jam pertama kecelakaan. Jika H₂ terdistribusi secara homogen maka kemungkinan terjadinya ledakan membahayakan pengungkung sangat kecil. Namun, distribusi H₂ cenderung tidak merata karena terdapat beragam fenomena pada lingkungan multi komponen. Sehingga konsentrasi H₂ dapat lebih tinggi secara lokal daripada nilai batas mudah terbakar yang mengakibatkan pembakaran. Oleh karena itu, perkiraan distribusi H₂ menjadi hal penting dalam proses penilaian.

Pembakaran H₂ terjadi di pengungkung karena dua kondisi, yaitu terjadi pencampuran gas mudah terbakar mencapai konsentrasi tertentu dan terdapat sumber pemantik. Ketika terjadi pembakaran pada kondisi DBA/SA, reaksi tidak dapat dikendalikan sampai jumlah H₂ di dalam atmosfer pengungkung seluruhnya terbakar.

Proses moda pembakaran H₂ meliputi deflagrasi, detonasi, penyebaran nyala api, dan transisi deflagrasi ke detonasi. Perbedaan utama keempat moda ini adalah kecepatan rambatan gelombang pembakaran. Seluruh moda pembakaran tersebut berpotensi terjadi pada skenario SA dengan konsekuensi sebagai berikut: (1) jika konsentrasi H₂ kurang dari 8% maka perkiraan nyala api lambat dan deflagrasi menghasilkan beban tekanan kuasi-statis, (2) jika konsentrasi H₂ di atas 8% maka proses pembakaran sempurna dan pembakaran dapat meningkatkan beban tekanan lebih tinggi, (3) jika konsentrasi H₂ di atas 10% maka gelombang penyebaran api melewati kecepatan suara sehingga menciptakan gelombang kejut bertekanan tinggi dan potensi lebih tinggi untuk menyebabkan kerusakan struktural, dan (4) pada kondisi ekstrim penyebaran nyala api didukung oleh kondisi turbulensi dapat mencapai kondisi ledakan (detonasi). Kondisi terakhir adalah fenomena dalam campuran gas yang mudah terbakar dan udara (atau oksigen) ketika terjadi transisi tiba-tiba dari jenis pembakaran deflagrasi ke jenis ledakan detonasi, dikenal *Deflagration to Detonation Transition (Deflagration-to-Detonation Transition-DDT)*. Berkenaan dengan keselamatan reaktor, penyebaran nyala api dan DDT ini memiliki potensi tinggi dan sangat merusak struktur pengungkung internal, termasuk sistem keselamatan dalam manajemen SA.

Pembahasan

1. Regulasi Nasional

Strategi dan mitigasi bahaya hidrogen SA termasuk dalam substansi persyaratan khusus desain reaktor daya, yaitu pada desain sistem pengungkung [5]. Isi persyaratan teknis desain sistem pengungkung termuat dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang ketentuan keselamatan desain reaktor daya. Pada pasal 90 ayat 3 Perka tersebut diuraikan bahwa: desain sistem penyungkup harus memiliki paling sedikit: a) struktur kedad (*leaktighness*); b) sistem pengendali level tekanan, temperatur, dan kelembaban; dan c) fitur untuk mengisolasi, mengolah, mengendalikan dan memindahkan produk fisi, hidrogen, oksigen, dan zat radioaktif yang mungkin terlepas dari penyungkup ke lingkungan [3]. Pemohon izin akan menguraikan pemenuhan persyaratan teknis ini dalam dokumen laporan analisis keselamatan [6], pada tahap izin konstruksi (termasuk persetujuan desain), komisioning, dan/atau operasi. Sistem pengungkung terletak pada bab 2: sistem pengungkung sebagai persyaratan khusus desain, dan bab 7: sistem pengungkung menjadi bagian fitur keselamatan teknis, yaitu "...sistem untuk mengendalikan hidrogen dan gas mudah terbakar lainnya dalam pengungkung".

2. Standar IAEA

IAEA No. SSR-2/1 (Rev.1) - *Safety of Nuclear Power Plant: Design* diterbitkan pada tahun 2016 lalu merupakan hasil pembelajaran dari kecelakaan nuklir di PLTN Fukushima Daiichi. Dokumen ini dinilai sebagai salah satu persyaratan dalam memenuhi Prinsip ke-1 dari *Vienna Declaration on Nuclear Safety*, suatu perjanjian internasional yang dibentuk untuk mencegah berulangnya kecelakaan besar sebagaimana yang terjadi di PLTN Fukushima tersebut [7].

Dalam dokumen tersebut, fungsi keselamatan dan pendekatan desain pengungkung menjadi keharusan bagi pemegang izin memenuhi persyaratan 5, 17, 54 dan 55 bahwa sistem pengungkung harus disediakan untuk memastikan pemenuhan fungsi-fungsi keselamatan PLTN berikut: (i) penyungkup zat radioaktif pada kondisi operasional dan kecelakaan; (ii) proteksi reaktor terhadap kejadian eksternal dan kejadian akibat ulah manusia; dan (iii) perisai radiasi pada kondisi operasional dan kecelakaan.

Selain empat persyaratan itu, desain pengungkung juga harus memenuhi persyaratan 58 dan 73 tentang pencegahan dan mitigasi bahaya hidrogen, dan penyediaan sistem pengembosan tekanan (*venting system*) dan sistem filter. Selanjutnya, panduan dan pedoman teknis sistem pengungkung lebih rinci diatur pada IAEA SSG 53: *Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants* [8]. Desain pengungkung dan sistem terkait, salah satunya berisi pengaturan mengenai manajemen gas mudah terbakar, yang terdiri dari: pembentukan gas mudah terbakar, risiko gas mudah terbakar dalam kondisi perluasan desain dengan teras meleleh, dan upaya mitigasi dan pencegahan pembakaran hidrogen yang membahayakan integritas pengungkung.

3. Praktik penerapan strategi mitigasi bahaya hidrogen di beberapa negara pengoperasi PLTN

Setiap negara pengoperasi PLTN memiliki persyaratan umum maupun khusus untuk memitigasi bahaya H₂. Pilihan strategi ini bergantung jenis reaktor, desain pengungkung, dan persyaratan yang diadopsi di masing-masing negara tersebut. Kriteria manajemen H₂ desain pengungkung terangkum pada Tabel 1-2 [3]. Pendekatan preskriptif diterapkan negara Belgia, Jepang, Korea Selatan, Prancis, Spanyol dan Amerika Serikat, sementara kriteria kualitatif dilaksanakan oleh Finlandia, Republik Ceko, dan Swedia.

Keputusan Pemerintah Belgia Tahun 2011 mengatur persyaratan keselamatan PLTN bahwa risiko H₂ harus dilakukan pada kondisi DBA dan SA dengan kriteria konsentrasi H₂ lokal dan rata-rata. Di Prancis, standar keselamatan dan kriteria mitigasi H₂ dilakukan sebagai berikut: (1) pada seluruh SA, jika terjadi kondisi dimulainya penyalaan (*ignition*), tekanan karena pembakaran isokorik adiabatik sempurna (*Adiabatic Isochoric Complete Combustion-AICC*) harus di bawah tekanan desain (sekitar 5 bar untuk PWR900-PWR1300-PWR 1450); (2) pada kondisi transien SA, konsentrasi hidrogen rata-rata berada di bawah 8% volume agar proses pembakaran H₂ tidak sempurna dan konsentrasi hidrogen lokal harus berada di bawah 10% volume untuk menghindari fenomena penyebaran api (*flame acceleration-FA*) dan potensi beban tekanan dinamis tinggi. Pada kondisi FA, kecepatan api kira-kira 500m/s yang lebih tinggi dari kecepatan suara reaktan tetapi lebih rendah dari kecepatan produk, serta memberikan dampak peningkatan tekanan sekitar 10 kali tekanan awal [9].

Otoritas Jepang menerbitkan persyaratan baru sejak tahun 2013 yang memasukkan kriteria sebagai berikut: (1) pemilihan skenario urutan kegagalan pengungkung berdasarkan analisis keselamatan probabilistik; (2) jumlah produksi H₂ sebelum kegagalan bejana reaktor setara dengan reaksi 75% Zirkaloy di teras; (3) memperhitungkan pembentukan gas mudah terbakar dan tidak mudah terbakar karena kondisi MCCI; (4) memperhitungkan produksi H₂ dan O₂ akibat radiolisis termasuk faktor-faktor lain yang signifikan; (5) menggunakan kode komputer tervalidasi untuk memprediksi distribusi hidrogen di dalam pengungkung; (6) konsentrasi H₂ lokal dan rata-rata $\leq 13\%$ volume tanpa kondisi uap atau $\leq 5\%$ volume dengan uap.

Persyaratan pengendalian gas mudah terbakar kondisi SA di Korea Selatan mengadaptasi peraturan badan pengawas Amerika Serikat dengan kriteria sebagai berikut: (1) Konsentrasi H₂ $\leq 10\%$ volume selama dan setelah SA dengan asumsi produksi H₂ berasal dari reaksi 100% logam kelongsong-air dan terdistribusi seragam di dalam pengungkung; (2) Konsentrasi gas mudah terbakar pada setiap kompartemen gedung pengungkung harus rendah untuk menghindari kondisi FA dan DDT; (3) terpasang sarana untuk melindungi bangunan pengungkung dari kerusakan akibat pembakaran gas mudah terbakar di dalam pengungkung; (4) integritas struktural gedung pengungkung harus dipertahankan utuh selama dan setelah SA dengan asumsi produksi H₂ dari reaksi 100% logam kelongsong-air, dan tekanan meningkat. Kriteria lainnya adalah pengungkung baja harus memenuhi persyaratan standar kelas C KEPIC MNE 3220 dan pengungkung beton memenuhi standar KEPIC SNB 3720.

Tabel 1. Persyaratan manajemen hidrogen desain pengungkung negara pengoperasi PLTN [3]
(Belgia, Finlandia, Jepang, Korea, Prancis)

Batasan nilai & ketersediaan Fitur mitigasi	Negara/ Jenis PLTN					
	Belgia /PWR	Finlandia/ EPR	Jepang/ PWR-BWR	Jerman/ BWR-72	Korea/ PWR-PHWR	Prancis / PWR 900,1300, 1450
Kriteria umum	-	√	-	-	-	-
konsentrasi volume rerata H ₂	< 4%, <5% (DBA,SA)	-	≤5%,≤13% (dengan & tanpa uap)	-	< 10%	< 8%
konsentrasi volume lokal H ₂	-	-	≤5%,≤13% (dengan & tanpa uap)	-	rendah	< 10%
Konsentrasi O ₂	-	-	-	< 4% (<i>drywell & wetwell</i>)	-	-
Tekanan AICC	-	-	-	-	KEPIC /ASME III	< 5,<4,8-5,2, < 5,3 bar
Fitur mitigasi	PAR	Inert N ₂ , PAR	PAR, pemantik pijar	PAR, pemantik pijar	PAR	PAR
Sistem penyemprot otomatis	P > 2,1-3,1 bar	SA: manual	√	√	SA: manual > 0,28-2,4 bar	P > 2,5-2,6 bar
Sistem venting	-	manual	-	P > 7 bar	√	P > 5 bar

Tabel 2. Persyaratan manajemen hidrogen desain pengungkung negara pengoperasi PLTN [3]
(Rep. Ceko, Spanyol, Swedia, Swiss, dan USA)

Batasan nilai & ketersediaan Fitur mitigasi	Negara/ Jenis PLTN					
	Republik Ceko	Spanyol/ PWR-BWR	Swedia PWR-BWR	Swiss	USA/BWR Mark I,II,III/ PWR kondensator es	USA/ desain maju (PWR-BWR)
Kriteria umum	√	√	-	√	-	-
konsentrasi volume rerata H ₂	-	-	-	-	-	10% (100% pendingin-clad)
konsentrasi volume lokal H ₂	-	-	-	-	-	-
Konsentrasi O ₂	-	-	BWR <1-2%	-	-	-
Tekanan AICC	-	-	-	-	-	-
Fitur mitigasi	PAR, <i>Ignition system</i>	Inert N ₂ , PAR	Inert N ₂ , PAR	Inert N ₂ , <i>Ignition system, Passive mixing</i>	Inert N ₂ , <i>Ignition system</i>	Inert N ₂ , <i>Ignition system, PAR</i>
Sistem penyemprot	N/A	√ (tekanan di <i>wetwell & drywell</i>)	√	P > 1.31 bar	SA: manual	√
Sistem venting	N/A	√	√	√	√	√

Spanyol menetapkan persyaratan mitigasi H₂ sebagai berikut: (1) seluruh pemegang izin harus memiliki sistem yang diperlukan untuk mengontrol konsentrasi H₂ agar integritas pengungkung dipertahankan pada kondisi DBA; (2) pengungkung tipe BWR Mark I dikondisikan pada lingkungan inert dan BWR Mark III harus memiliki kemampuan untuk mengendalikan gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari reaksi logam-air yang melibatkan 75% bahan bakar kelongsong sehingga tidak kehilangan integritas struktural pengungkung pada kondisi DBA dan BDBA; (3) peralatan pemantau H₂ harus berfungsi, andal, dan mampu mengukur secara terus menerus konsentrasi H₂ dalam pengungkung pada kondisi DBA dan BDBA; (4) khusus pengungkung PWR-KWU, harus tersedia fitur aktif yang memastikan pencampuran aliran secara paksa berdasarkan hasil perhitungan bahwa konsentrasi H₂ melampaui batas mulai terbakar (*ignition*) di daerah tertentu pada kondisi DBA dan sistem PAR untuk menurunkan konsentrasi H₂ agar tidak tercapai batas kemungkinan kondisi deflagrasi pada kondisi SA.

Badan pengawas Amerika Serikat merevisi persyaratan kendali H₂ namun peraturan tersebut tetap mempertahankan persyaratan yang ada untuk memastikan proses pencampuran gas di pengungkung, mengkondisikan lingkungan inert pengungkung BWR Mark I dan II, serta menyediakan sistem kendali yang mampu mengendalikan jumlah H₂ yang dihasilkan dari reaksi logam-air dengan 75% kelongsong bahan bakar yang mengelilingi wilayah bahan bakar aktif pada pengungkung BWR Mark III dan PWR kondensor es.

Peraturan tersebut juga menetapkan persyaratan pengendalian gas mudah terbakar untuk reaktor berpendingin air di masa depan yang serupa dengan persyaratan PLTN saat ini. Perbedaan utamanya adalah kebutuhan untuk mengakomodasi jumlah H₂ setara dengan yang akan dihasilkan dari 100 % reaksi pendingin dengan kelongsong bahan bakar. Jika pengungkung tidak memiliki atmosfer *inert* (lembam), maka konsentrasi H₂ dalam pengungkung harus dibatasi selama dan setelah kecelakaan yang melepaskan H₂ (setara dengan 100% reaksi bahan bakar-pendingin) dengan distribusi H₂ seragam hingga kurang dari 10% (berdasarkan volume), mempertahankan integritas struktur pengungkung dan menyediakan fitur mitigasi kecelakaan yang tepat. Konsekuensinya saat ini, pengungkung PWR dengan volume besar berisi udara harus memasang sistem kendali H₂ untuk memenuhi batasan yang ditentukan.

Finlandia menetapkan persyaratan baru di tahun 2013 namun persyaratan manajemen H₂ tidak berubah dan telah ditetapkan jauh sebelum kecelakaan Fukushima. Beberapa kriteria yang ditambahkan antara lain: (1) pengungkung harus dirancang sedemikian rupa sehingga tahan terhadap kedap bocor pada SA dengan asumsi reaksi oksidasi 100% bahan teras reaktor dengan air; (2) nilai kedap bocor pengungkung pada SA harus ditunjukkan dalam nilai tekanan dan suhu yang diperoleh melalui analisis deterministik sesuai panduan dalam dokumen YVL B.3, dengan memperhitungkan margin keselamatan peningkatan tekanan maksimum 50% dan peningkatan tekanan karena pembakaran H₂ berdasarkan prinsip tekanan pembakaran isokorik adiabatik sempurna; (3) struktur dan sistem pengungkung yang digunakan untuk menangani kecelakaan harus mencegah gas terbakar, ledakan gas, atau fenomena energik lainnya yang dapat membahayakan kekedapan kebocoran pengungkung maupun pengoperasian komponen yang diperlukan untuk penanganan kecelakaan; (4) sistem dan komponen yang berada di dalam pengungkung harus mampu mengelola gas mudah terbakar tanpa catu daya eksternal.

Republik Ceko tidak menerbitkan persyaratan khusus, panduan peraturan maupun dokumen lain mengenai manajemen H₂ namun menggunakan kriteria kualitatif, seperti kriteria desain sistem penghilangan H₂ didasarkan pada evolusi konsentrasi H₂, kriteria untuk FA dan DDT, dan tekanan AICC. Di samping itu, terdapat ketentuan melaksanakan analisis probabilistik menggunakan skenario realistis pada level 1 dan 2 termasuk pertimbangan pengoperasian sistem penyemprotan, lokasi sumber di dalam pengungkung, massa absolut potensial H₂ dan perilaku kecelakaan di dalam pengungkung.

Swedia juga tidak memuat persyaratan khusus mengenai manajemen H₂. Namun isu tersebut dicakup secara umum bahwa pengungkung harus dirancang dengan mempertimbangkan fenomena dan beban yang dapat terjadi terkait dengan kejadian yang sangat tidak mungkin terjadi untuk mengurangi lepasan zat radioaktif ke lingkungan.

Tabel 1 dan 2 juga menunjukkan keragaman penerapan mitigasi manajemen H₂. Pada umumnya pada PWR menggunakan fitur PAR, pemantik pijar, penggunaan pengungkung dengan volume besar, atau kombinasinya. Sementara BWR yang memiliki pengungkung lebih kecil dari PWR dilakukan upaya pengisian gas inert N₂ dan/atau dipadukan dengan sistem pengembosan (*venting*). H₂ sangat reaktif ketika berada pada konsentrasi 4%-90% dalam campuran udara pengungkung dengan oksigen dan meledak pada kisaran konsentrasi ini, sehingga pada desain pengungkung BWR diisi N₂ agar konsentrasi rendah O₂ dapat dipertahankan [10].

Beberapa sistem terekayasa lainnya misalnya, sistem penyemprot, pendingin udara lokal, sistem venting, dll, telah dipasang di banyak PLTN untuk mengurangi tekanan dan suhu pengungkung selama kecelakaan, antara lain [3]:

1. Sistem penyemprot. Pengoperasian sistem penyemprot dapat berdampak pada distribusi dan pembakaran H₂ jika terjadi penyalaan/ignition. Sistem penyemprot dapat menurunkan konsentrasi maksimum H₂ akibat terjadi peningkatan pencampuran atau peningkatan volume total, tetapi di sisi lain, sistem ini dapat meningkatkan konsentrasi H₂ karena menghilangkan uap.

Manajemen SA Prancis merekomendasikan untuk menunda aktivasi sistem semprotan setidaknya 6 jam setelah dimulainya degradasi teras. Selama durasi waktu tersebut konsentrasi H_2 akan dikurangi dengan rekombinasi.

2. Sistem pengembosan tekanan dengan filter. Fitur ini merupakan sistem lain yang dianggap sebagai langkah penting mengurangi tekanan pengungkung di luar tekanan desain selama kecelakaan. Sistem ini juga memungkinkan menahan produk fisi menggunakan sistem penurunan tekanan yang disaring.
3. Pendingin Udara Lokal/Kipas Angin untuk proses pencampuran. Pendingin udara lokal digunakan di banyak reaktor nuklir untuk menghilangkan panas selama kondisi operasi normal dengan pendingin udara, tetapi sistem juga dapat menghilangkan panas setelah kecelakaan melalui kondensasi uap. Penggunaan pendingin udara selama kecelakaan dapat menghasilkan konsentrasi H_2 lokal yang lebih tinggi setelah kondensasi uap namun dapat juga mengurangi risiko awan H_2 karena proses pencampuran yang lebih baik.

4. Fitur Mitigasi Hidrogen pada SMR

Pengembangan reaktor SMR telah menarik banyak perhatian di seluruh dunia dalam beberapa tahun terakhir. SMR menyediakan pilihan energi daya rendah dan menengah menghasilkan emisi karbon rendah, kemudahan konstruksi dan operasi, dan peningkatan fitur keselamatan mempertimbangkan kecelakaan Fukushima [11].

Mitigasi bahaya H_2 telah dirancang oleh sejumlah desain SMR berpendingin air ringan. Laporan [10] menunjukkan opsi pengendalian H_2 dilakukan dengan beberapa cara, yaitu: (1) mengendalikan konsentrasi H_2 pada pengungkung, melalui pemasangan rekombiner, PAR, dan gas N_2 untuk menurunkan konsentrasi O_2 hingga di bawah 5%, pemantauan dan pencegahan akumulasi H_2 pada sistem pengembosan; (2) mengurangi produksi H_2 selama kecelakaan melalui desain dengan cara mengganti kelongsong paduan zirkonium dengan senyawa keramik, seperti silikon karbida (SiC); (3) mencegah kecelakaan teras leleh melalui penyediaan sistem pembuangan panas alternatif yang memadai untuk menjamin kejadian teras leleh dapat dihindari. Desain reaktor maju dan SMR yang menggunakan peralatan/perangkat kombinasi, antara lain adalah SMART, mPower, IRIS, dan CAREM25. Sementara desain reaktor menggabungkan perangkat kontrol hidrogen dengan atmosfer pengungkung pra-inerting dengan nitrogen untuk menghilangkan oksigen, adalah IRIS, ABWR dan ESBWR.

Berkaitan dengan peningkatan sistem pengembosan tekanan dan sistem filter, opsi yang dilakukan adalah memastikan kekuatan kemampuan desain sistem venting dan berfungsi aman menjalankan penurunan tekanan, dengan cara: sistem ventilasi dirancang mengakomodasi kemungkinan campuran aliran uap/udara sehingga mampu mengurangi tekanan di dalam reaktor sebelum teras belum tertutup pendingin (*core uncover*), (misalnya, selama satu jam untuk BWR), desain instalasi harus memungkinkan dengan tepat waktu terjadi pengembosan tekanan sekalipun dengan hilangnya kehilangan daya atau pendorong paksa, seperti udara terkompresi, dan pemasangan sistem pengembosan manual agar H_2 tidak terakumulasi pada lokasi tertentu.

Dengan fitur desain tersebut, maka SMR telah memenuhi persyaratan standar desain PLTN terkini pada artikel 58 dan 73 SSR 2.1 Rev 1 tentang pencegahan dan mitigasi bahaya hidrogen, dan penyediaan sistem pengembosan tekanan (*venting system*) dan sistem filter.

5. Usulan Substansi Teknis Mitigasi Hidrogen

Berdasarkan praktik penerapan strategi dan mitigasi bahaya H_2 di beberapa negara pengoperasi PLTN terdapat substansi teknis dan norma yang perlu diakomodir dalam peraturan BAPETEN terkait desain pengungkung, yaitu: (1) proses pembentukan gas mudah terbakar meliputi seluruh sumber-sumber termasuk lokasi yang menghasilkan H_2 di dalam dan di luar bejana reaktor pada kondisi DBA, dan BDBA/SA; (2) proses moda pembakaran H_2 ; (3) kriteria/parameter nilai desain pengungkung; dan (4) upaya mitigasi dan pencegahan pembakaran H_2 yang membahayakan integritas pengungkung.

Proses moda pembakaran tergantung pada kecepatan perambatan gelombang pembakaran dan akan memberikan konsekuensi berbeda beban tekanan statis dan dinamis serta beban panas pada pengungkung. Beban tekanan karena fenomena dinamis sangat merusak struktur pengungkung dan

menyebabkan fungsi pengungkungan gagal. Dua kriteria yang ditetapkan sebagai batasan dalam memperkirakan moda pembakaran adalah kriteria FA dan kriteria DDT;

Kriteria desain pengungkung dapat ditetapkan secara kuantitatif maupun kualitatif. Kriteria nilai preskriptif seperti konsentrasi rata-rata dan lokal H₂, konsentrasi O₂, dan tekanan AICC dapat ditetapkan sebagai kriteria desain pengungkung. Apabila menerapkan kriteria kualitatif maka nilai konsentrasi rata-rata dan lokal H₂, konsentrasi O₂, tekanan AICC, FA, dan DDT harus dicantumkan dalam batasan dan kondisi operasi reaktor sebagai nilai aktuasi untuk fitur mitigasi keselamatan.

Penerapan fitur mitigasi PLTN termasuk SMR di beberapa negara pengoperasi pada pembahasan di atas cukup beragam tergantung desain pengungkung. Secara teknis desain pengungkung telah menggunakan prinsip memanfaatkan ruang kosong dengan volume luas, pemindahan dan penghilangan H₂, homogenisasi, dan pengembosan/penurunan tekanan, untuk mengurangi, memitigasi, dan/atau menurunkan kondisi pembakaran H₂.

Kesimpulan

Terdapat beragam strategi dan manajemen pengendalian hidrogen pada PLTN jenis PWR dan BWR pasca kecelakaan Fukushima di negara Amerika Serikat, Belgia, Finlandia, Jerman, Korea Selatan, Prancis, Spanyol, dan Swedia. Teknologi SMR PWR dan BWR terkini umumnya telah mengakomodasi mitigasi bahaya hidrogen dalam desain reaktor. Substansi teknis strategi manajemen hidrogen yang perlu diatur rinci dalam peraturan BAPETEN adalah: (1) proses pembentukan gas mudah terbakar meliputi seluruh sumber-sumber termasuk lokasi yang menghasilkan H₂ di dalam dan di luar bejana reaktor pada kondisi DBA, dan BDBA/SA; (2). proses moda pembakaran H₂; (3). Kriteria pengungkung; dan (4) Upaya mitigasi bahaya H₂.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Manajemen P2STPIBN untuk seluruh fasilitasi sehingga makalah ini dapat tersusun, serta dukungan teknis dari Dr (Ing) Ir. Sihana-UGM. Makalah ini merupakan bagian dari keluaran Laporan Rekomendasi Teknis Sistem dan Struktur Pengungkung Tahun Anggaran 2023.

Daftar Pustaka

- [1] International Atomic Energy Agency, 2011, *Mitigation of Hydrogen Hazards in Severe Accidents in Nuclear Power Plants*, Tecdoc 1661, IAEA, Vienna Austria.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2011, *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya*. Jakarta Indonesia.
- [3] Nuclear Energy Agency, 2014, *Status Report on Hydrogen Management and Related Computer Codes*, Nuclear Safety NEA/CSNI/R(2014)8, [Online]. Available: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_19516/status-report-on-hydrogen-management-and-related-computer-codes?details=true, OECD-NEA.
- [4] International Atomic Energy Agency, 2021, *Hydrogen Phenomena During Severe Accidents in Water Cooled Reactors*, Training Course Series 72, IAEA, Vienna Austria.
- [5] Pemerintah Republik Indonesia, 2012, *Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Ketentuan Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*, Jakarta Indonesia.
- [6] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2020, *Peraturan BAPETEN Nomor 11 Tahun 2020 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya*. Jakarta Indonesia.
- [7] International Atomic Energy Agency, 2016, *Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements*, SSR-2/1 (Rev.1), IAEA, Vienna Austria.
- [8] International Atomic Energy Agency, 2019, *Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants*, SSG-53, IAEA, Vienna Austria.
- [9] Mikel Kevin Fernandez-Cosials, 2017, *Analysis and Improvement of Hydrogen Mitigation Strategies During A Severe Accident in Nuclear Containments*, DOI: 10.20868/UPM.thesis.47657, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

- [10] International Atomic Energy Agency, 2016, *Design Safety Considerations for Water Cooled Small Modular Reactors Incorporating Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident*, Tecdoc 1785, IAEA, Vienna Austria.
- [11] Z. Liu and J. Fan, 2014, Technology readiness assessment of Small Modular Reactor (SMR) designs, *Progress in Nuclear Energy*, vol. 70, pp. 20–28, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2013.07.005>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Urgensi Indonesia Meratifikasi *Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (Espoo Convention)*

Bambang Eko Aryadi¹, Dewi Prima Meiliasari², Catur Febriyanto Sutopo³

^{1,2,3}Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

b.aryadi@bapeten.go.id

dewiprime1982@gmail.com

dhen.bagoese@gmail.com

Abstrak

Urgensi Indonesia Meratifikasi *Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (Espoo Convention)*. Pembangunan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) memiliki banyak manfaat signifikan bagi suatu negara, namun pembangunan mega proyek seperti PLTN tidak lepas dari dampak terhadap lingkungan hidup yang bersifat lintas batas/*transboundary*. Untuk mempertimbangkan dampak lingkungan lintas batas secara komprehensif dapat dilakukan pelibatan kerjasama dan koordinasi antara negara-negara terkait serta memperhatikan kerangka kerja hukum internasional yang relevan, seperti kerjasama bilateral dalam bidang lingkungan atau meratifikasi Konvensi Espoo. Pendekatan yang digunakan dalam penulisan ini adalah yuridis normatif melalui studi pustaka yang menelaah data sekunder berupa dokumen-dokumen internasional terkait dampak terhadap lingkungan hidup yang bersifat lintas batas/*transboundary*. Penyusunan makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi pentingnya meratifikasi Konvensi Espoo dalam rangka melindungi lingkungan, meminimalkan risiko kesehatan, dan memastikan partisipasi masyarakat serta kerjasama internasional yang efektif dari dampak terhadap lingkungan hidup yang bersifat lintas batas/*transboundary* dalam pengembangan dan operasional PLTN. Dari tinjauan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan Amdal yang bersifat lintas batas negara, negara-negara dapat bekerja sama dalam mencegah dampak buruk bagi lingkungan, mengelola limbah radioaktif dengan aman, dan menjaga keberlanjutan lingkungan untuk generasi mendatang dalam pembangunan dan pengoperasian PLTN.

Kata Kunci: Konvensi Espoo, Amdal, lintas batas

Abstract

The Urgency of Indonesia Ratifying The Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (Espoo Convention). The development of Nuclear Power Plants (NPPs) brings significant benefits to a country, but mega projects like NPPs are not without their impacts on the environment that extend across borders. To comprehensively consider transboundary environmental impacts, it is necessary to engage in cooperation and coordination among relevant countries, while also taking into account relevant international legal frameworks, such as bilateral cooperation in the field of environment or ratification of the Espoo Convention. The approach used in this paper is normative juridical through literature review, examining secondary data in the form of international documents related to transboundary environmental impacts. The preparation of this paper is to protect the environment, minimize health risks, and ensure effective participation of the community and international cooperation in addressing transboundary environmental impacts in the development and operation of NPPs. From the conducted review, it can be concluded that by conducting Environmental Impact Assessments (EIAs) that encompass cross-border considerations, countries can work together to prevent adverse environmental impacts, safely manage radioactive waste, and preserve environmental sustainability for future generations in the development and operation of NPPs.

Keywords: *Espoo Convention, EIA, transboundary*

Pendahuluan

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) memiliki beberapa manfaat besar bagi suatu negara. Pertama, PLTN mampu menyediakan pasokan energi listrik yang berkelanjutan, dapat diandalkan dan ramah lingkungan bagi masyarakat [1]. Ramah lingkungan karena sumber energi ini dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin langka dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan adanya PLTN, negara dapat mencapai keberlanjutan energi dengan mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Selain itu, pembangunan PLTN juga dapat meningkatkan keberlanjutan ekonomi suatu negara [2]. Industri nuklir dapat menciptakan lapangan kerja baru dalam berbagai sektor, seperti konstruksi, operasi, dan pemeliharaan PLTN. Selain itu, sektor industri terkait seperti pengolahan bahan bakar nuklir, penelitian, dan teknologi juga akan berkembang, memberikan kontribusi positif terhadap pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kemampuan inovasi suatu negara.

Pembangunan mega proyek seperti PLTN tidak lepas dari dampak terhadap lingkungan hidup [3]. Dalam konteks PLTN, terdapat beberapa dampak yang perlu diperhatikan. Salah satu dampak utama adalah pengelolaan limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan operasional PLTN. Limbah radioaktif ini memiliki potensi bahaya jangka panjang terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Selain itu, kemungkinan terjadinya insiden atau kecelakaan nuklir juga harus diperhitungkan. Meskipun kecelakaan nuklir yang parah jarang terjadi, dampaknya dapat sangat merusak dan berjangka panjang. Beberapa contoh kecelakaan nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima telah menunjukkan dampak serius terhadap lingkungan, termasuk kesehatan manusia dan kerusakan ekosistem. Selain dampak lokal, pembangunan PLTN juga berpotensi menimbulkan dampak lintas batas negara atau *transboundary release*. Jika terjadi insiden nuklir di suatu negara, partikel radioaktif dapat tersebar melalui udara atau air, membawa dampak negatif bagi negara tetangga. Oleh karena itu, perlu dilakukan kerjasama lintas batas negara dalam mencegah dan mengatasi dampak buruk yang mungkin terjadi akibat pembangunan PLTN. Dampak lintas negara dapat menjadi salah satu alasan keberatan dari negara tetangga yang berdekatan dengan tapak PLTN sehingga patut menjadi pertimbangan dalam membangun PLTN Bersama dengan faktor lainnya, antara lain ketersediaan grid listrik dan jenis PLTN yang akan dibangun.

Untuk mencegah dampak buruk bagi lingkungan, perlu dilakukan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (Amdal) yang bersifat lintas batas negara sangat penting dalam pembangunan PLTN. Amdal yang melibatkan negara-negara tetangga akan membantu dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan mengelola potensi dampak lingkungan yang terkait dengan pembangunan PLTN. Dalam kerangka Amdal lintas batas negara, negara-negara terlibat dapat saling berbagi informasi, melakukan kajian bersama, serta menyepakati tindakan pengelolaan dampak lingkungan secara efektif. Hal ini akan memastikan bahwa semua pihak yang terlibat memahami konsekuensi lingkungan yang mungkin terjadi dan dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat. Selain itu, Amdal lintas batas negara juga dapat menjadi forum bagi masyarakat sipil, organisasi non-pemerintah, dan para ahli untuk berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan terkait pembangunan PLTN. Keterlibatan mereka dalam proses ini akan memastikan adanya transparansi, akuntabilitas, dan menjaga kepentingan bersama dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.

Saat ini Indonesia telah memiliki perangkat hukum lingkungan hidup dari tingkat Undang-undang sampai tingkat peraturan Menteri. Perangkat hukum lingkungan di Indonesia juga telah mewajibkan dilakukannya Amdal dalam suatu proyek pembangunan. Namun dari perangkat hukum yang ada, belum mewadahi pengaturan proyek pembangunan yang mempunyai dampak lintas batas. Celah peraturan ini, dapat merugikan Indonesia, antara lain dalam bentuk:

- hilangnya kesempatan untuk terlibat dalam upaya kolaboratif dengan negara lain, yang berpotensi menyebabkan hubungan yang tegang dan tidak adanya pengetahuan dan keahlian bersama.
- pengabaian dampak lingkungan yang signifikan, seperti pelepasan radioaktif, perusakan habitat, atau pencemaran air dimana hal ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan jangka panjang dan risiko kesehatan bagi penduduknya sendiri dan negara tetangga.
- turunnya transparansi dan akuntabilitas akibat pembatasan kesempatan untuk keterlibatan publik, dimana hal ini dapat mengakibatkan kurangnya kepercayaan dan meningkatnya penentangan publik terhadap proyek tenaga nuklir.
- timbulnya tantangan dalam menghadapi potensi konflik yang timbul dari pembangunan dan pengoperasian pembangkit listrik tenaga nuklir.

- turunya reputasi dan kredibilitas suatu negara di panggung global, khususnya terkait komitmennya terhadap perlindungan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan.

Di Indonesia, pengaturan evaluasi dampak lingkungan bagi pembangunan fasilitas atau instalasi nuklir diatur dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH) dan peraturan pelaksanaannya. Berikut adalah beberapa aspek pengaturan evaluasi dampak lingkungan untuk pembangunan fasilitas atau instalasi nuklir di Indonesia:

- **Penilaian Dampak Lingkungan (PDL):** Sebelum memulai pembangunan fasilitas atau instalasi nuklir, pihak yang berkepentingan harus melakukan Penilaian Dampak Lingkungan (PDL) sesuai dengan ketentuan dalam UU PPLH. PDL bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi dampak lingkungan yang mungkin terjadi selama siklus hidup proyek nuklir.
- **Studi Amdal:** Amdal adalah salah satu instrumen yang digunakan dalam PDL untuk proyek yang berpotensi memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan. Amdal mengharuskan penyusunan dokumen studi yang meliputi identifikasi dan analisis dampak lingkungan, serta langkah-langkah mitigasi untuk mengurangi dampak negatif.
- **Keterbukaan dan partisipasi publik:** proses evaluasi dampak lingkungan juga mencakup keterbukaan dan partisipasi publik. Para pihak yang berkepentingan, termasuk masyarakat luas, memiliki hak untuk memperoleh informasi, memberikan masukan, dan berpartisipasi dalam pengambilan keputusan terkait pembangunan fasilitas atau instalasi nuklir. Keterlibatan publik ini mendukung transparansi dan akuntabilitas dalam proses pengambilan keputusan.
- **Koordinasi dan kerjasama lintas sektor:** evaluasi dampak lingkungan untuk pembangunan fasilitas atau instalasi nuklir melibatkan koordinasi antara berbagai pihak terkait, seperti badan pemerintah terkait, lembaga pengatur, dan ahli terkait. Kerjasama lintas sektor ini penting untuk memastikan bahwa dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proyek nuklir dikelola dengan baik dan sesuai dengan regulasi yang berlaku [4].

Pada umumnya, Amdal yang dipersyaratkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup di Indonesia fokus pada dampak lingkungan di dalam wilayah Indonesia. Amdal dirancang untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi dampak yang mungkin ditimbulkan oleh suatu proyek terhadap lingkungan hidup di tingkat lokal, regional, dan nasional. Namun, penting untuk diingat bahwa Amdal pada dasarnya merupakan alat pengelolaan dampak lingkungan di tingkat nasional dan fokus utamanya adalah perlindungan lingkungan dalam wilayah Indonesia. Upaya untuk mempertimbangkan dampak lingkungan lintas batas secara komprehensif perlu melibatkan kerjasama dan koordinasi antara negara-negara terkait serta memperhatikan kerangka kerja hukum internasional yang relevan, seperti Konvensi Espoo atau kerjasama bilateral dalam bidang lingkungan.

Penyusunan makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi pentingnya meratifikasi Konvensi Espoo dalam rangka melindungi lingkungan, meminimalkan risiko kesehatan, dan memastikan partisipasi masyarakat serta kerjasama internasional yang efektif dari dampak terhadap lingkungan hidup yang bersifat lintas batas/*transboundary* dalam pengembangan dan operasional PLTN. Lingkup dari makalah ini dibatasi hanya untuk dampak lintas batas negara atau *transboundary release* yang diakibatkan oleh pembangunan PLTN.

Landasan Teori/Pokok Bahasan

Dalam penulisan ini menggunakan yuridis normatif yaitu meninjau dan menganalisis obyek penelitian dengan pendekatan berdasarkan bahan hukum utama dengan cara menelaah teori-teori melalui studi kepustakaan baik terhadap bahan hukum primer, sekunder, dan tersier terkait Penilaian Dampak Lingkungan dalam Konteks Lintas Batas. Penelitian kepustakaan yaitu mengkaji bahan-bahan kepustakaan untuk mengumpulkan sumber data sekunder yang dilakukan dengan cara menelaah buku-buku literatur, peraturan-peraturan, kasus, dan dokumen-dokumen yang relevan guna mendapatkan landasan teoritis dan memperoleh informasi dalam bentuk ketentuan formal dan data melalui naskah resmi yang ada. Landasan Teori atau Pokok Bahasan berisi studi pustaka yang mendukung makalah:

Undang-Undang (UU) Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup diundangkan di Jakarta pada tanggal 3 Oktober 2009. UU ini diterbitkan karena kesadaran terhadap potensi dampak negatif yang ditimbulkan sebagai konsekuensi dari pembangunan, sehingga perlu dikembangkan upaya pengendalian dampak secara dini. Analisis mengenai dampak lingkungan hidup (Amdal) merupakan salah satu upaya preventif pengelolaan lingkungan hidup yang diperkuat melalui peningkatan akuntabilitas dalam pelaksanaan penyusunannya, dengan mempersyaratkan lisensi bagi penilainya, dan diterapkannya sertifikasi bagi penyusun dokumennya, serta dengan memperjelas sanksi hukum bagi pelanggar di bidang Amdal [4]. Amdal juga menjadi salah satu persyaratan utama dalam memperoleh izin lingkungan yang mutlak dimiliki sebelum diperoleh izin usaha.

UU ini juga mendayagunakan berbagai ketentuan hukum, baik hukum administrasi, hukum perdata, maupun hukum pidana. Ketentuan hukum perdata meliputi penyelesaian sengketa lingkungan hidup di luar pengadilan dan di dalam pengadilan. Penyelesaian sengketa lingkungan hidup di dalam pengadilan meliputi gugatan perwakilan kelompok, hak gugat organisasi lingkungan, ataupun hak gugat pemerintah. Melalui cara tersebut diharapkan selain akan menimbulkan efek jera juga akan meningkatkan kesadaran seluruh pemangku kepentingan tentang betapa pentingnya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup demi kehidupan generasi masa kini dan masa depan.

UU ini telah mengatur pembentukan Tim Uji Kelayakan Lingkungan Hidup yang berkedudukan di pusat dan bertugas melakukan kelayakan Amdal untuk jenis rencana Usaha dan/atau Kegiatan yang berlokasi di lintas negara, namun belum mengatur ketentuan pelaksanaan Amdal lintas batas seperti: keterlibatan negara tetangga yang lingkungannya akan terkena dampak, pemberian akses kepada negara tetangga terhadap hasil Amdal, Kerjasama dan konsultasi dalam penilaian dampak lingkungan, pertukaran informasi dan pengalaman terkait penilaian dampak lingkungan.

UU Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti UU Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi UU

UU Nomor 6 Tahun 2023 ditetapkan dan diberlakukan pada tanggal 31 Maret 2023. UU ini menetapkan Peraturan Pemerintah pengganti UU Nomor 2 Tahun 2022 menjadi UU Cipta Kerja. UU ini mengubah beberapa ketentuan dalam UU 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, antara lain:

- Amdal yang dibuat oleh pemrakarsa yang bersertifikat (penyusun Amdal) dijadikan sebagai dasar uji kelayakan lingkungan dalam penyelenggaraan usaha dan/atau kegiatan. Uji kelayakan lingkungan dilakukan oleh sebuah tim yang dibentuk oleh lembaga uji kelayakan lingkungan hidup pemerintah pusat. Tim tersebut terdiri atas usur pemerintah pusat, pemerintah daerah, dan ahli bersertifikat. Ouput dari uji kelayakan tersebut berupa rekomendasi mengenai kelayakan atau ketidaklayakan lingkungan. Berdasarkan rekomendasi tersebut, Pemerintah Pusat atau Pemerintah Daerah menetapkan keputusan tentang kelayakan lingkungan, dan penetapan kelayakan lingkungan tersebut digunakan sebagai persyaratan penerbitan perizinan berusaha.
- UU Cipta Kerja mengubah salah satu syarat dokumen mengenai saran masukan serta tanggapan dari masyarakat dalam proses penyusunan Amdal. Dalam UU Cipta Kerja diatur bahwa dokumen Amdal salah satunya harus memuat saran masukan serta tanggapan dari masyarakat yang terkena dampak langsung yang relevan terhadap rencana usaha/kegiatan [5]. Sedangkan dalam UU Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH), saran masukan serta tanggapan dari masyarakat tidak harus berasal dari masyarakat yang terkena dampak langsung, dapat dari pemerhati lingkungan hidup; dan/atau yang terpengaruh atas segala bentuk keputusan dalam proses Amdal, sehingga dapat dihasilkan masukan atau tanggapan yang tidak relevan.
- Perubahan mengenai mekanisme keberatan atas Amdal bahwa UU PPLH menyediakan ruang bagi masyarakat yang keberatan dengan dokumen Amdal untuk dapat mengajukan keberatan atau upaya hukum, sedangkan dalam UU Cipta Kerja tidak diatur mengenai mekanisme keberatan atas Amdal. UU Cipta Kerja menghapus ketentuan mengenai mekanisme keberatan tersebut, yaitu dengan menghapus ketentuan mengenai komisi penilai Amdal yang diatur dalam Pasal 29, Pasal 30 dan Pasal 31 UU PPLH.

Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

PP 22/2021 ini mengatur secara mendetail mengenai:

- Persetujuan Lingkungan;
- Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Air;
- Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara;
- Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Laut;
- Pengendalian Kerusakan Lingkungan Hidup;
- Pengelolaan Limbah B3 dan Pengelolaan Limbah nonB3;
- Dana penjaminan untuk pemulihan fungsi Lingkungan Hidup;
- Sistem Informasi Lingkungan Hidup;
- Pembinaan dan Pengawasan; dan
- Pengenaan Sanksi Administratif.

Selain mengatur tentang Tim Uji Kelayakan Lingkungan Hidup seperti yang telah diatur dalam UU 32/2009, PP ini juga mengatur tentang penyusunan rencana perlindungan dan pengelolaan mutu air yang diterapkan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) lintas negara, Cekungan Air Tanah (CAT) lintas negara. PP ini tidak mengatur mekanisme kerjasama pelaksanaan Amdal antar negara yang bersebelahan.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2021 tentang Sertifikasi Kompetensi Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup, Lembaga Penyedia Jasa Penyusun Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup, dan Uji Kelayakan Lingkungan Hidup

Permen LHK No. 18 Tahun 2021 mengatur tentang Sertifikasi Kompetensi Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (Amdal), Lembaga Penyedia Jasa Penyusun Amdal, dan Uji Kelayakan Lingkungan Hidup (UKL). Tujuan dari Permen LHK ini adalah untuk meningkatkan kualitas dan kinerja penyusunan Amdal, lembaga penyedia jasa penyusunan Amdal, dan UKL, serta untuk menjamin terpenuhinya ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang lingkungan hidup.

Sertifikasi kompetensi Amdal adalah proses pemberian sertifikat kompetensi kepada seseorang yang telah memenuhi persyaratan dan lulus uji kompetensi Amdal. Uji kompetensi Amdal dilakukan oleh Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) yang terakreditasi oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP). Lembaga penyedia jasa penyusunan Amdal adalah lembaga yang menyediakan jasa penyusunan Amdal. Lembaga penyedia jasa penyusunan Amdal harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Uji kelayakan lingkungan hidup adalah proses penilaian terhadap kelayakan lingkungan hidup dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Uji kelayakan lingkungan hidup dilakukan oleh Lembaga Pengkajian Kelayakan Lingkungan Hidup (LPKL) yang terakreditasi oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Seperti halnya UU 32/2009 dan PP 22/2021, Permen LHK ini mengatur pembentukan Tim Uji Kelayakan Lingkungan Hidup yang berkedudukan di pusat dan bertugas melakukan kelayakan Amdal untuk jenis rencana Usaha dan/atau Kegiatan yang berlokasi di lintas negara, namun belum mengatur ketentuan kerjasama pelaksanaan Amdal antar negara yang bersebelahan.

The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal (Konvensi Basel 1989)

Konvensi Basel adalah perjanjian internasional yang bertujuan untuk mengontrol pergerakan lintas batas limbah berbahaya dan pengurangan produksi limbah berbahaya. Indonesia telah menjadi pihak yang meratifikasi Konvensi Basel pada tahun 1994 dan juga mengadopsi amandemen Konvensi Basel pada tahun 2019. Isi utama Konvensi Basel mencakup beberapa poin penting yang telah diratifikasi oleh Indonesia, antara lain:

- Definisi limbah berbahaya: Konvensi Basel memberikan definisi lengkap tentang limbah berbahaya untuk menghindari penyalahgunaan istilah tersebut. Indonesia telah menerima definisi ini dan menggunakannya dalam hukum dan peraturan nasional terkait limbah berbahaya.
- Larangan pergerakan lintas batas limbah berbahaya: Konvensi Basel melarang pergerakan lintas batas limbah berbahaya antara negara-negara yang telah meratifikasi konvensi ini dan negara-negara non-pihak yang belum menyatakan persetujuan tertulis. Indonesia telah mengadopsi larangan ini dalam peraturan nasionalnya.
- Sistem pemberitahuan dan izin: Konvensi Basel mengharuskan negara-negara pihak untuk memberlakukan sistem pemberitahuan dan izin untuk setiap pergerakan limbah berbahaya yang

melintasi batas negara. Indonesia telah menetapkan sistem ini dalam hukum nasionalnya dan memastikan adanya persyaratan pemberitahuan dan izin sebelum limbah berbahaya dapat diperdagangkan atau dibuang.

- Tanggung jawab penghasil limbah: Konvensi Basel menekankan prinsip bahwa negara penghasil limbah bertanggung jawab untuk mengelola limbahnya dengan cara yang aman dan ramah lingkungan. Indonesia mengakui tanggung jawab ini dan memiliki peraturan nasional yang mengatur pengelolaan limbah berbahaya oleh pihak-pihak yang menghasilkan limbah tersebut.
- Pengurangan produksi dan promosi pengolahan limbah: Konvensi Basel mendorong negara-negara untuk mengurangi produksi limbah berbahaya dan mempromosikan pengolahan limbah yang ramah lingkungan. Indonesia telah mengadopsi prinsip ini dalam hukum nasionalnya dan melakukan upaya untuk mengurangi produksi limbah berbahaya serta mendorong pengolahan yang tepat [6].

Konvensi tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Lintas Batas Negara/*Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (Konvensi Espoo/ Espoo Convention 1991)*

Dari tinjauan terhadap UU no 32 Tahun 2009 beserta aturan teknis turunannya, UU no. 6 tahun 2023 serta konvensi Basel terlihat bahwa masih belum tersedianya instrumen hukum yang dapat memayungi pelaksanaan analisis dampak lingkungan yang bersifat lintas batas. Konvensi Basel telah menjadi instrumen hukum dampak lingkungan yang bersifat lintas batas namun lingkupnya terbatas hanya untuk limbah berbahaya. Untuk itu perlu dipertimbangkan untuk menggunakan instrumen hukum lain untuk pelaksanaan analisis mengenai dampak lingkungan lintas batas negara, dalam hal ini *Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context/ Konvensi tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Lintas Batas Negara*.

Analisis Dampak Lingkungan dalam istilah asing disebut dengan *Enviromental Impact Analysis; Enviromental Impact Statement; Enviromental Impact Assessment; atau Enviromental Impact and Statement*. Istilah Amdal tidak saja berkaitan dengan istilah teknis akan tetapi juga aspek hukum dan aspek administratif. Semua istilah tersebut menunjuk pada pengertian bahwa setiap rencana aktivitas manusia, khususnya dalam kerangka pembangunan yang selalu membawa dampak dan perubahan terhadap lingkungan perlu dikaji terlebih dahulu dengan seksama. Setiap negara memiliki pengaturan mengenai Amdal sesuai dengan kebijakan dari negara itu sendiri. Secara Internasional, pengaturan Amdal lintas batas diatur dalam *Convention on Environmental Assessment in Transboundary Context 1991* atau disebut juga *Espoo Convention 1991*.

Konvensi tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Lintas Batas Negara atau yang sering disebut *Espoo Convention/Konvensi Espoo* memuat ketentuan Amdal yang bersifat lintas batas. Konvensi Espoo, secara resmi dikenal sebagai Konvensi tentang Penilaian Dampak Lingkungan Antar Negara dalam Konteks Transfrontier adalah perjanjian internasional yang disepakati oleh negara-negara anggota Komisi Ekonomi Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Eropa (UNECE). Konvensi ini dinamai dari kota Espoo di Finlandia, tempat pertemuan pertama untuk membahas perjanjian ini pada tahun 1991.

Konvensi Espoo mengatur mengenai dampak lingkungan pada suatu wilayah yang berada dalam yurisdiksi sebuah negara, dan disebabkan oleh kegiatan fisik yang dilakukan baik seluruh maupun sebagian di wilayah yang tunduk pada yurisdiksi negara lain. Pada dasarnya, Konvensi mewajibkan negara-negara pesertanya untuk mengambil segala tindakan yang dianggap perlu, serta memberikan standar ukuran yang baik untuk mencegah, mengurangi dan melakukan pengawasan terhadap dampak lingkungan lintas batas negara pada tahap sedini mungkin.

Konvensi ini membebaskan juga kewajiban bagi setiap negara untuk memberikan pemberitahuan serta saling berkonsultasi dalam semua jenis proyek ataupun segala tindakan yang dapat menyebabkan dampak lingkungan lintas batas negara. Konvensi ini merupakan suatu pengaturan yang bersifat global untuk mencegah, mengurangi, mengawasi dampak lingkungan yang mungkin timbul serta memberikan perlindungan terutama bagi negara yang mengalami kerugian akibat kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh negara lain atau di negara lain.

Tujuan utama Konvensi Espoo adalah untuk mempromosikan perlindungan lingkungan melalui penilaian dampak lingkungan (*Environmental Impact Assessment/EIA*) dalam konteks transnasional. Konvensi ini mengakui bahwa tindakan yang diambil di satu negara dapat memiliki dampak lintas

batas terhadap negara lain, terutama dalam hal lingkungan [7]. Oleh karena itu, perlu adanya kerja sama dan koordinasi antar negara untuk melindungi dan memperbaiki lingkungan.

Beberapa prinsip penting dari Konvensi Espoo adalah:

- Penilaian dampak lingkungan transnasional: konvensi ini menekankan perlunya negara-negara untuk melakukan penilaian dampak lingkungan terhadap rencana atau proyek yang mungkin memiliki dampak signifikan terhadap lintas batas. Hal ini memungkinkan negara lain yang mungkin terpengaruh untuk terlibat dalam proses pengambilan keputusan.
- Informasi dan partisipasi publik: konvensi ini mengakui pentingnya melibatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan lingkungan. Negara-negara diharapkan memberikan akses yang memadai kepada masyarakat untuk mendapatkan informasi dan berpartisipasi dalam penilaian dampak lingkungan.
- Kerjasama dan konsultasi antar negara: Konvensi Espoo mendorong negara-negara untuk bekerja sama dan berkonsultasi satu sama lain dalam hal penilaian dampak lingkungan. Hal ini mencakup pemberitahuan tentang rencana dan proyek yang mungkin memiliki dampak lintas batas serta pertukaran informasi terkait.
- Pertukaran data dan pengembangan kapasitas: konvensi ini mendorong negara-negara untuk saling bertukar informasi dan pengalaman terkait dengan penilaian dampak lingkungan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan pemahaman dan kapasitas negara-negara dalam melaksanakan penilaian dampak lingkungan yang efektif.

Hingga saat ini, Konvensi Espoo telah ditandatangani oleh sejumlah besar negara di wilayah Eropa dan luar Eropa. Negara-negara anggota berkewajiban untuk mengadopsi undang-undang nasional atau tindakan lain yang sesuai untuk memenuhi persyaratan konvensi dan memastikan implementasinya secara efektif.

Hasil dan Pembahasan

Konsep Amdal merupakan bagian dari ilmu ekologi pembangunan yang mempelajari hubungan timbal balik atau interaksi antara pembangunan dan lingkungan. Berdasarkan kajian Amdal dapat diidentifikasi dampak-dampak yang timbul, baik yang bermanfaat maupun yang merugikan pada suatu kegiatan. Amdal merupakan salah satu instrumen kebijaksanaan lingkungan, merupakan proses yang meliputi penyusunan berbagai dokumen. Analisis mengenai dampak lingkungan juga merupakan salah satu alat bagi pengambil keputusan untuk mempertimbangkan akibat yang mungkin ditimbulkan oleh suatu rencana usaha dan atau kegiatan terhadap lingkungan hidup guna mempersiapkan langkah untuk menanggulangi dampak negatif dan mengembangkan dampak positif. Penanggulangan dampak negatif dan pengembangan dampak positif ini merupakan konsekuensi dan kewajiban setiap orang untuk memelihara kelestarian fungsi lingkungan hidup serta mencegah dan menanggulangi pencemaran dan perusakan lingkungan.

Kesulitan yang dihadapi terkait dengan Amdal dalam proyek yang sifatnya lintas batas adalah banyaknya negara yang terlibat didalamnya. Berdasarkan pada prinsip 17 dalam *The Rio Convention* sudah menjadi kebiasaan internasional untuk melakukan EIA terhadap suatu rancangan kegiatan yang akan memberikan dampak kepada lingkungan [8]. Dalam proyek yang bersifat lintas batas ini seperti yang telah diuraikan dalam tinjauan makalah ini terhadap instrument hukum internasional dan nasional maka Indonesia dapat menggunakan ketentuan yang terdapat dalam *Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context 1991 (Espoo Convention 1991)* dengan meratifikasi konvensi tersebut.

Keuntungan Meratifikasi Konvensi Espoo:

1. Perlindungan lingkungan yang lebih baik: meratifikasi Konvensi Espoo menunjukkan komitmen suatu negara untuk melindungi lingkungan hidup secara lebih baik. Konvensi ini mendorong negara-negara untuk melakukan penilaian dampak lingkungan yang komprehensif sebelum memulai proyek yang berpotensi berdampak signifikan pada lingkungan. Hal ini memastikan bahwa proyek-proyek seperti pembangunan PLTN dipertimbangkan secara menyeluruh, dan langkah-langkah mitigasi dapat diambil untuk mengurangi dampak negatifnya.
2. Transparansi dan partisipasi publik yang meningkat: Konvensi Espoo menekankan pentingnya transparansi dan partisipasi publik dalam pengambilan keputusan lingkungan. Dengan meratifikasi konvensi ini, pemerintah diharapkan melibatkan masyarakat, organisasi non-

- pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya dalam proses pengambilan keputusan terkait proyek seperti pembangunan PLTN. Ini memungkinkan masyarakat untuk berpartisipasi aktif, memberikan masukan, keprihatinan, dan pemikiran mereka terkait dampak lingkungan yang terkait dengan proyek tersebut.
3. Kerjasama trans-nasional yang ditingkatkan: Konvensi Espoo mendorong kerjasama antar negara dalam penilaian dampak lingkungan lintas batas. Dalam konteks pembangunan PLTN, hal ini menjadi penting jika lokasi PLTN berdekatan dengan batas negara. Meratifikasi konvensi ini memastikan bahwa negara-negara tetangga terlibat dalam proses evaluasi dampak lingkungan PLTN dan dapat berpartisipasi dalam pengambilan keputusan terkait proyek tersebut.
 4. Penggunaan standar Internasional: Konvensi Espoo menetapkan standar internasional untuk penilaian dampak lingkungan. Dengan meratifikasi konvensi ini, negara-negara menunjukkan komitmennya terhadap prinsip-prinsip dan praktik terbaik dalam melindungi lingkungan dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan. Hal ini dapat meningkatkan reputasi internasional negara dan memperkuat kerjasama dengan negara lain.
 5. Kepatuhan terhadap Hukum Internasional: meratifikasi Konvensi Espoo menunjukkan komitmen negara terhadap hukum internasional dalam bidang lingkungan. Dengan menjadi pihak dalam konvensi ini, negara-negara mengikatkan diri untuk mematuhi persyaratan dan kewajiban yang ditetapkan oleh konvensi, serta bekerja sama dengan negara-negara lain dalam melaksanakan tujuan konvensi tersebut [9].

Implementasi Konvensi Espoo di suatu negara melibatkan beberapa langkah penting. Berikut adalah beberapa tahapan umum yang terlibat dalam implementasi Konvensi Espoo:

- Para pihak untuk bekerja sama satu sama lain sebelum kegiatan dilakukan.
- Negara-negara Pihak disyaratkan untuk menetapkan prosedur Amdal nasional serta prosedur perizinan yang mengintegrasikan pengaturan tentang dampak lintas batas
- Negara asal pertama-tama diminta untuk memberi tahu Negara yang berpotensi terkena dampak tentang kemungkinan dampak lintas batas merugikan yang signifikan dan untuk memberikan informasi dasar mengenai kegiatan yang diusulkan.
- Negara yang terkena dampak selanjutnya harus mengkonfirmasi bahwa ia ingin berpartisipasi dalam prosedur tersebut.
- Negara asal kemudian berkewajiban untuk mempelajari dampak lintas batas bersama dengan Negara yang terkena dampak dan mengizinkan publik dari Negara tersebut untuk berpartisipasi dalam proses.
- Setelah penilaian dampak, Negara yang terkena dampak memiliki kesempatan untuk mengomentari kegiatan yang diusulkan dan kemungkinan dampaknya, melalui konsultasi dengan Negara asal. Publik Negara yang terkena dampak berhak untuk memberikan komentarnya tentang kegiatan yang diusulkan dengan persyaratan yang sama seperti yang berlaku untuk publik Negara asal.
- Keputusan akhir yang diambil tentang kegiatan yang diusulkan di Negara asal harus mempertimbangkan komentar tersebut dari Negara yang berpotensi terkena dampak dan publiknya, dan harus disampaikan kepada Negara yang terkena dampak [10].

Secara keseluruhan, meratifikasi Konvensi Espoo menunjukkan bahwa suatu negara menghargai perlindungan lingkungan, partisipasi publik, dan kerjasama internasional dalam konteks penilaian dampak lingkungan. Hal ini juga merupakan langkah untuk membangun kepercayaan dengan negara-negara tetangga dan mempromosikan praktik pembangunan yang berkelanjutan secara global.

Kesesuaian peraturan lingkungan hidup nasional Indonesia dengan ketentuan-ketentuan yang terdapat dalam Konvensi Espoo diuraikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kesesuaian peraturan nasional terhadap Konvensi Espoo

No.	Konvensi Espoo	Peraturan Nasional
1.	Para Pihak wajib, baik secara sendiri-sendiri atau bersama-sama, melakukan upaya yang tepat dan efektif untuk mencegah, mengurangi dan mengendalikan dampak lingkungan lintas batas yang merugikan dari kegiatan yang diusulkan	UU 32/2009 mewajibkan Setiap usaha dan/atau kegiatan yang berdampak penting terhadap lingkungan hidup wajib memiliki Amdal untuk dicapainya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup

2. Untuk tujuan memastikan komunikasi/konsultasi yang memadai dan efektif, Pihak asal (<i>Party of origin</i>) wajib, memberi tahu Pihak mana pun yang dianggapnya sebagai Pihak yang terkena dampak sedini mungkin dan tidak lebih dari saat memberi tahu publiknya sendiri tentang kegiatan yang diusulkan.	Telah diatur dalam UU 32/2009.
3. Dokumentasi Amdal yang akan diserahkan kepada otoritas yang berwenang dari Pihak asal harus memuat, sekurang-kurangnya, informasi: <ol style="list-style-type: none"> uraian kegiatan yang diusulkan dan tujuannya; uraian pilihan alternatif lain yang masuk akal (misalnya, lokasi atau teknologi) untuk kegiatan yang diusulkan dan juga bila tidak ada pilihan alternatif lain; uraian tentang lingkungan yang kemungkinan besar akan terdampak secara signifikan oleh kegiatan yang diusulkan dan alternatifnya; deskripsi potensi dampak lingkungan dari kegiatan yang diusulkan dan alternatifnya serta tingkat signifikansinya/ keparahannya; deskripsi langkah-langkah mitigasi untuk meminimalkan dampak lingkungan yang merugikan; penjelasan tentang metode prediktif dan asumsi dasar serta data lingkungan relevan yang digunakan; identifikasi kesenjangan dalam pengetahuan dan ketidakpastian yang dihadapi dalam menyusun informasi yang dibutuhkan; outline program pemantauan dan pengelolaan dan setiap rencana untuk analisis paska proyek; dan ringkasan non-teknis termasuk gambaran visual yang sesuai (peta, grafik, dll.). 	Telah diatur dalam UU 32/2009.
4. Setelah menyelesaikan dokumentasi Amdal, Pihak asal wajib, berkonsultasi dengan Pihak yang terkena dampak mengenai potensi dampak lintas batas dari kegiatan yang diusulkan dan langkah-langkah untuk mengurangi atau menghilangkan dampaknya.	UU 32/2009 mengatur bahwa hasil konsultasi dengan masyarakat lokal menjadi muatan dokumen Amdal, namun tidak mengatur konsultasi dengan Masyarakat dari negara lain yang terdampak.
5. Pihak asal wajib memberitahukan kepada Pihak yang terkena dampak tentang keputusan akhir dari kegiatan yang diusulkan beserta alasan dan pertimbangan yang menjadi dasarnya.	Belum diatur
6. Para Pihak terkait, atas permintaan Pihak lainnya, harus menentukan apakah analisis pasca proyek harus dilakukan, dengan mempertimbangkan kemungkinan dampak lintas batas merugikan yang signifikan dari kegiatan yang menimbulkan dampak lingkungan.	UU 32/2009 telah mengatur perlu dilakukannya analisis risiko lingkungan hidup, namun tidak eksplisit dilakukan paska proyek
7. Kerjasama bilateral dan multilateral	UU 32/2009 telah mengatur pengembangan standar kerja sama namun tidak eksplisit untuk antar negara.
8. Para Pihak wajib memberikan pertimbangan khusus untuk pelaksanaan atau peningkatan program-	Belum diatur

program penelitian khusus yang ditujukan untuk:

- a. Meningkatkan metode kualitatif dan kuantitatif yang ada untuk menilai dampak kegiatan yang diusulkan;
 - b. Mencapai pemahaman yang lebih baik tentang hubungan sebab-akibat dan perannya dalam pengelolaan lingkungan terpadu;
 - c. Menganalisis dan memantau pelaksanaan keputusan yang efisien atas kegiatan yang diusulkan dengan tujuan meminimalkan atau mencegah dampak;
 - d. Mengembangkan metode untuk merangsang pendekatan kreatif dalam mencari alternatif yang berwawasan lingkungan untuk usulan kegiatan, pola produksi dan konsumsi;
 - e. Mengembangkan metodologi penerapan prinsip-prinsip analisis dampak lingkungan pada tingkat ekonomi makro.
-

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemanfaatan tenaga nuklir dalam bidang energi berupa mega proyek pembangunan dan pengoperasian PLTN dapat memberikan manfaat positif bagi peningkatan kesejahteraan bangsa Indonesia, namun juga memiliki risiko bahaya yang mungkin timbul baik sejak dalam tahap pembangunannya maupun pada tahap pengoperasiannya bukan hanya berdampak secara nasional, dapat juga berdampak pada lintas batas negara;
2. Amdal menjadi salah satu persyaratan utama dalam memperoleh izin lingkungan yang mutlak dimiliki sebelum diperoleh izin usaha dan merupakan salah satu perangkat preventif pengelolaan lingkungan hidup yang terus diperkuat melalui peningkatan akuntabilitas dalam pelaksanaan penyusunan Amdal dengan mempersyaratkan lisensi bagi penilai Amdal dan diterapkannya sertifikasi bagi penyusun dokumen Amdal, serta dengan memperjelas sanksi hukum bagi pelanggar di bidang Amdal, sehingga memberikan jaminan keselamatan bagi lingkungan dan masyarakat.
3. Amdal pada dasarnya merupakan alat pengelolaan dampak lingkungan di tingkat nasional dan fokus utamanya adalah perlindungan lingkungan dalam wilayah Indonesia, dengan meninjau risiko PLTN dapat berdampak ke lingkungan lintas batas negara maka secara komprehensif maka Pemerintah Indonesia perlu mempertimbangkan untuk meratifikasi Konvensi Espoo.
4. Dalam kaitannya dengan pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia, meratifikasi Konvensi Espoo menjadi penting karena menunjukkan komitmen Indonesia dalam melindungi lingkungan hidup, meningkatkan transparansi dan partisipasi public dalam pengambilan keputusan lingkungan, dan menunjukkan kepatuhan Indonesia terhadap hukum internasional bidang lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Kepala P2STPIBN dan jajarannya, tim penilai makalah, serta Kedeputian PKN yang telah mendukung dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada penulis untuk melakukan kajian dalam penulisan ini.

Daftar Pustaka

- [1] Susiati, Heni etc, 2023, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia (Upaya Berkelanjutan Menuju Net Zero Emission), DOI:10.5281/zenodo.7905583, diakses pada 16 Juli 2023;

- [2] Anindita, Ratya, Sriyana, Nasrullah, Dampak Pembangunan PLTN-Desalinasi Terhadap Ekonomi Nasional dan Jawa Timur, <https://jurnal.batan.go.id>, diakses pada 16 Juli 2023;
- [3] Sukir, Sunaryo Soenarto, Bahaya Nuklir PLTN Terhadap Lingkungan: Suatu Antisipasi Pencegahan, DOI: <https://doi.org/10.21831/cp.v2i2.8967>, diakses pada 16 Juli 2023;
- [4] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- [5] Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang.
- [6] Basel Convention 1989. The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. Done at Basel (Switzerland), on 5 May 1992.
- [7] Espoo Convention 1991. Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. Done at Espoo (Finland), on 25 February 1991.
- [8] Rio Declaration 1992. The Rio Declaration on Environment and Development. Done at Rio de Janeiro (Brazil) on 3-14 June 1992.
- [9] Kaja Peterson, 2007, The Russian Federation and the Espoo Convention: Current Situation and Future Challenges, Stockholm Environment Institute Tallinn Centre, <https://www.researchgate.net/publication/237713550> diakses pada 16 Juli 2023
- [10] Timo Koivurova, 2020, The Northern Institute for Environmental and Minority Law/ University of Lapland, The convention on environmental impact assessment in a transboundary context , (Espoo convention), <https://www.researchgate.net/publication/292572507> diakses pada 16 Juli 2023.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Sinergi Badan Nasional Penanggulangan Bencana atau Badan Penanggulangan Bencana Daerah dengan Badan Pengawas Tenaga Nuklir dalam Manajemen Bencana Nuklir

Dewi Prima Meiliasari¹, Dwi Cahyadi², Muhamad Rommy Ramadhan¹

^{1&3}Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

²Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

dewiprimal982@gmail.com

dwicay@gmail.com

m.rommy@bapeten.go.id

Abstrak

Sinergi Badan Nasional Penanggulangan Bencana atau Badan Penanggulangan Bencana Daerah dengan Badan Pengawas Tenaga Nuklir dalam manajemen bencana nuklir. Gempa bumi yang diikuti tsunami di Fukushima Daiichi menghasilkan pemikiran terhadap manajemen bencana nuklir untuk dipahami dan diimplementasikan oleh semua pihak. Dalam Undang-Undang Penanggulangan Bencana, manajemen bencana merupakan tanggung jawab dan wewenang Pemerintah dan pemerintah daerah, yang dilaksanakan secara terencana, terpadu, terkoordinasi, dan menyeluruh. Dalam Undang-Undang yang sama juga ditegaskan bahwa manajemen bencana dalam tahap tanggap darurat dilaksanakan sepenuhnya oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana atau Badan Penanggulangan Bencana Daerah. Dalam penulisan ini menguraikan peran Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana atau Badan Penanggulangan Bencana Daerah, serta sinergi antara keduanya dalam manajemen bencana nuklir. Dengan menggunakan pendekatan yuridis normatif, mengkaji obyek makalah manajemen bencana nuklir dengan mengacu pada hukum positif dan relevan dengan permasalahan hukum yang menjadi fokus dalam makalah ini, dengan teknik pengumpulan data kepustakaan. Dihasilkan bahwa manajemen bencana nuklir berbeda penanggulangannya dibanding bencana non-alam lainnya, diperlukan kompetensi khusus dalam manajemen bencana nuklir. Sehingga, Badan Nasional Penanggulangan Bencana atau Badan Penanggulangan Bencana Daerah tidak bisa sepenuhnya melaksanakan manajemen bencana nuklir sendiri, perlu bersinergi dengan Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

Kata Kunci: Sinergi, Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Badan Penanggulangan Bencana Daerah, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Manajemen Bencana Nuklir.

Abstract

Synergy of the National Disaster Management Agency or the Regional/Local Disaster Management Agency with the Nuclear Energy Regulatory Agency in the implementation of nuclear disaster management. The earthquake followed by a tsunami phenomena in Fukushima Daiichi resulted an idea of nuclear disaster management to be understood and implemented by all parties. Disaster management as stipulated in the Indonesian Disaster Management Law is the responsibility and authority of the government and provincial governments, which are carried out in an integrated, integrated, coordinated and comprehensive manner. In the same law it is also emphasized that the implementation of disaster management in the emergency response stage is carried out entirely by the National Disaster Management Agency and the Regional Disaster Management Agency. This paper analyze the role of the Nuclear Energy Regulatory Agency and the National Disaster Management Agency or the Regional Disaster Management Agency, as well as the synergy between the two in each stage of organizing nuclear disaster management. Using a normative juridical approach, this paper also examines

the object of the paper on the implementation of nuclear disaster management with reference to positive law and is relevant to the legal issues that are the focus of research, using library data collection techniques. The result is that a nuclear disaster management is different from other non-natural disasters, requiring special competence in handling a nuclear disaster. Thus, the National Disaster Management Agency or the Regional Disaster Management Agency cannot fully carry out nuclear disaster management on their own, but instead synergizes with the Nuclear Energy Regulatory Agency.

Keywords: Synergy, National Disaster Management Agency, Regional Disaster Management Agency, Nuclear Energy Regulatory Agency, Nuclear Disaster Management.

Pendahuluan

Indonesia menyadari bahwa bencana nuklir harus ditangani secara serius, sejak terjadinya gempa bumi yang diikuti tsunami di Fukushima Daiichi pada tanggal 11 Maret 2011 yang masuk dalam peringkat ke 7 (tujuh) atau major accident dalam *International Nuclear Event Scale* (INES) [1]. Kebencanaan merupakan pembahasan yang sangat komprehensif dan multi dimensi. Menyikapi kebencanaan yang frekuensinya terus meningkat setiap tahun, dari kejadian bencana 2015 terjadi 25,487 hingga 2021 lebih dari 74,10% terjadi bencana [2]. Pemikiran terhadap penanggulangan bencana harus dipahami dan diimplementasikan oleh semua pihak, mengingat Indonesia dan Jepang memiliki karakteristik geografis dan ancaman bencana yang relatif sama, antara lain terletak di Cincin Api Pasifik dan merupakan negara yang sangat terdampak secara seismik, terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik, dan gunung api. Gunung api sering disebut sebagai zona aktif atau dikenal dengan istilah busur depan (*fore arc*), di wilayah ini umumnya banyak terdapat patahan aktif dan sering terjadi gempa bumi [3]. Dari sisi legislasi sebelum terjadi bencana Fukushima, Pemerintah Indonesia telah mengesahkan Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana (UU PB). Dalam UU PB, bencana nuklir disebutkan ledakan nuklir dikategorikan sebagai bencana nonalam yaitu bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa nonalam yang antara lain berupa gagal teknologi. Kegagalan teknologi diartikan sebagai kejadian bencana yang diakibatkan oleh kesalahan desain, pengoperasian, kelalaian, dan kesengajaan manusia dalam penggunaan teknologi [4].

Bencana Fukushima yang didahului gempa dan kemudian tsunami merupakan bencana yang harus dihadapi pembangkit listrik tenaga nuklir. Diperlukan upaya pengurangan risiko, salah satunya adalah reaktor yang didesain handal terhadap bahaya internal dan eksternal [5] yang mungkin timbul. Upaya tersebut dilakukan sebelum terjadinya bencana, dalam UU PB dikenal dengan tahapan pra bencana. Prabencana merupakan tahapan awal dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana (manajemen bencana), setelah itu dilakukan tahapan saat tanggap darurat, dan pascabencana. UU PB menyebutkan bahwa penyelenggaraan penanggulangan bencana (manajemen bencana) merupakan tanggung jawab dan wewenang Pemerintah dan pemerintah daerah, yang dilaksanakan secara terencana, terpadu, terkoordinasi, dan menyeluruh. Dalam UU PB juga menyebutkan bahwa penyelenggaraan penanggulangan bencana dalam tahap tanggap darurat dilaksanakan sepenuhnya oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD). Dari pengertian tersebut, dimanakah posisi Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan BNPB atau BPBD dalam manajemen bencana nuklir agar tercipta sistem manajemen bencana nuklir yang sinergis dalam mencapai keselamatan lingkungan, pekerja, dan masyarakat dari bahaya radiasi yang dapat ditimbulkan dalam bencana PLTN.

Landasan Teori/Pokok Bahasan

Penulisan ini menggunakan pendekatan yuridis normatif, mengkaji obyek makalah penyelenggaraan penanggulangan bencana nuklir dengan mengacu pada hukum positif (peraturan perundang-undangan yang berlaku) dan relevan dengan permasalahan hukum yang menjadi fokus makalah. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan telaah kepustakaan, dengan mengkaji bahan kepustakaan untuk mengumpulkan sumber data sekunder yang dilakukan dengan cara menelaah literatur, peraturan, kasus, dan dokumen yang relevan guna mendapatkan landasan teoritis

dan memperoleh informasi dalam bentuk ketentuan formal dan data melalui naskah resmi yang ada. Teori yang mendukung dalam penulisan ini:

1. Manajemen Bencana

Manajemen bencana dalam UU PB dikenal dengan penyelenggaraan penanggulangan bencana dari tahap pra bencana, tanggap bencana, dan pasca bencana. Penyelenggaraan penanggulangan bencana dimulai dengan serangkaian upaya yang meliputi penetapan kebijakan pembangunan yang berisiko timbulnya bencana, kegiatan pencegahan bencana, upaya tanggap darurat, dan upaya rehabilitasi. Kegiatan pencegahan bencana diatur dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir (Perba KKN) pada tahapan kesiapsiagaan nuklir sedangkan upaya tanggap darurat, dan upaya rehabilitasi masuk dalam tahapan penanggulangan kedaruratan nuklir. Setiap tahapan dengan jelas diatur dalam Perba KKN mengenai tanggung jawab dan kewenangan PI dalam manajemen bencana nuklir, tanggung jawab dan kewenangan pemerintah daerah atau nasional diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir (PP 54). PP 54 membagi dengan jelas tanggung jawab dan kewenangan untuk PI pada kecelakaan di instalasi nuklir, sedangkan kecelakaan di luar instalasi nuklir menjadi tanggung jawab dan kewenangan dari pemerintah daerah atau nasional sesuai dengan jarak lepasan radiasi yang diterima masyarakat.

Dalam rangka memberikan perlindungan kepada masyarakat dari ancaman, risiko, dan dampak bencana dilakukan penyelenggaraan penanggulangan bencana secara terencana, terpadu, terkoordinasi, dan menyeluruh pada tahapan prabencana, saat tanggap darurat dan tahapan pasca bencana dilakukan rehabilitasi dan rekonstruksi. Dalam tiga tahapan ini, BAPETEN dan BNPB dapat bersinergi dalam menciptakan keselamatan.

2. Mitigasi

Mitigasi bencana dalam UU PB adalah “serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana”. Upaya mitigasi bencana pada pengelolaan risiko (*Risk Treatment*) menjadi bagian dari Manajemen Bencana, tepatnya pada manajemen risiko bencana dalam tahap Pra bencana. Pada tahap prabencana, kegiatan mitigasi bencana diawali dengan pengkajian risiko berupa identifikasi risiko dari faktor bahaya dan faktor kerentanan atau kapasitas, penilaian risiko, serta evaluasi risiko. Hasil pengkajian risiko pada wilayah tersebut menjadi landasan dalam strategi mitigasi bencana yang tepat dan akurat agar risiko bencana yang ada dapat dikurangi.

Dalam Peraturan BNPB (Perba BNPB) Nomor 4 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana, kegiatan mitigasi digolongkan menjadi mitigasi yang bersifat nonstruktural berupa peraturan, penyuluhan, pendidikan, dan yang bersifat struktural berupa bangunan dan prasarana. Mitigasi nonstruktural dilakukan untuk meningkatkan kemampuan serta penyadaran masyarakat melalui pendidikan dalam hal mengurangi risiko bencana. Agak berbeda dengan mitigasi dalam Perba KKN bahwa upaya mitigasi dilakukan untuk mengurangi eskalasi bahaya radiologi. Walaupun sama-sama bertujuan untuk mengurangi risiko namun mitigasi dalam Perba KKN dilakukan pada saat kedaruratan sedangkan mitigasi Peraturan BNPB dilakukan jauh sebelum kedaruratan terjadi.

3. PLTN

PLTN adalah pembangkit yang memanfaatkan energi nuklir untuk menghasilkan listrik. Energi nuklir dihasilkan dari reaksi nuklir antara partikel neutron dengan inti atom bahan bakar nuklir (Uranium-235), listrik dihasilkan dari perputaran turbin-generator yang digerakkan oleh uap air hasil pemanasan air pendingin, pembangkitan panas inilah yang dimanfaatkan untuk menghasilkan uap.

PLTN menjadi solusi dalam penyediaan listrik di Indonesia karena uranium alam sebagai bahan bakar nuklir banyak tersedia di alam Indonesia memiliki cadangan uranium sekitar 70.000 ton dalam bentuk yellow cake (U₃O₈) yang kebanyakan berada di Kalimantan Barat, Papua, Bangka Belitung dan Sulawesi Barat dan kandungan energinya sangat tinggi (energi yang dihasilkan setengah kilogram

uranium sama dengan energi yang dihasilkan 6 ton batubara) [6]. Dari segi biaya (*cost*), biaya per kilowatt (kWh) yang diperlukan untuk PLTN relatif lebih rendah dibandingkan dengan batubara. Studi kelayakan yang dilakukan oleh PT PLN (Persero) menunjukkan bahwa harga listrik dari PLTN di Indonesia bisa serendah US \$ 7 sen per kWh sehingga dapat bersaing dengan listrik yang dihasilkan dari bahan bakar fosil seperti batubara dan minyak. Penggunaan PLTN menjadi solusi, mengingat persediaan sumber energi fosil semakin menipis, selain itu pengoperasian PLTN tidak menghasilkan emisi gas karbondioksida (CO₂) [7].

Selain bermanfaat, PLTN juga memiliki risiko apabila tidak diawasi dengan ketat yaitu terjadinya lepasan radiasi yang dihasilkan dari bencana nuklir pada PLTN > 1000 MWt dengan lepasan radiasi sampai 25 km [8]. Dengan upaya manajemen bencana yang sinergis antara BAPETEN dan BNPB atau BPBD, risiko dan kegagalan penanggulangan kedaruratan nuklir dapat diminimalisir.

4. Sinergi

Sinergi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah kegiatan atau operasi gabungan. Dalam melakukan kegiatan penyelenggaraan penanggulangan bencana bersama-sama, berkoordinasi untuk mencapai tujuan yang sama yaitu keselamatan. Peningkatan sinergi antar kementerian/lembaga dan pemangku kepentingan dalam penanggulangan bencana, BAPETEN dalam hal ini bertugas memastikan dan memantau Pemegang Izin (PI) melaksanakan kewajiban manajemen bencana dari pra bencana sampai pasca bencana untuk menjamin keselamatan pekerja dan masyarakat. Dimulai dari memastikan PI membuat program kesiapsiagaan nuklir berdasarkan hasil kajian potensi bahaya radiologi sampai PI melakukan tindakan perlindungan pada kedaruratan, antara lain berupa mengendalikan, mencatat dosis, dan menangani dosis yang diterima oleh petugas penanggulangan dan masyarakat[8]. Sedangkan BNPB memiliki tugas dan fungsi untuk melakukan perumusan dan penetapan kebijakan penanggulangan bencana dan penanganan pengungsi dengan bertindak cepat dan tepat serta efektif dan efisien. Selain itu, BNPB juga melakukan kegiatan koordinasi pelaksanaan kegiatan penanggulangan bencana secara terencana, terpadu dan menyeluruh sesuai dengan kewenangannya[9]. Koordinasi dilakukan dari pra bencana, bencana, dan pasca bencana yang baik dan saling mendukung.

Dalam pelaksanaan penyelenggaraan penanggulangan bencana yang baik dilakukan saling menghargai perbedaan, membangun kekuatan, dan mengimbangi kelemahan. Bersinergi bertujuan memadukan bagian-bagian yang terpisah. Sinergi dalam penanggulangan bencana berarti keterpaduan berbagai unsur pelaku kebencanaan yang dapat menghasilkan keluaran lebih baik dan lebih besar [10] dengan indikator mampu kerja sama dan koordinasi secara cepat dan tepat.

Dalam Perba KKN, BAPETEN berkoordinasi dengan instansi lain dalam pelaksanaan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir dan memastikan bahwa PI melakukan langkah koordinasi dalam pelaksanaan penanggulangan kedaruratan nuklir, tindakan mitigasi, dan tindakan perlindungan segera. Apabila dampak kedaruratan meluas sampai ke luar instalasi, BAPETEN berkoordinasi dengan instansi lain antara lain dengan pemerintah daerah, BPBD, kepolisian, dinas pemadam kebakaran, rumah sakit dan instansi lainnya.

Hasil dan Pembahasan

Manajemen bencana nuklir berbeda penanganannya dibanding bencana non-alam lainnya, mengingat sifat dari bencana nuklir dapat melepaskan radiasi ke lingkungan maka diperlukan penanganan yang khusus mulai dari tahapan prabencana, tanggap darurat, dan pascabencana:

1. Prabencana

Pada tahap prabencana dimana situasi tidak terjadi bencana, BAPETEN dan BNPB telah melakukan koordinasi jauh sebelum kegiatan Indonesia *Center of Excellent for Nuclear Security and Emergency Preparedness* (ICoNSEP). Pada koordinasi tersebut, BAPETEN dan BNPB membangun kerangka koordinasi dan elaborasi [12] yang diwujudkan dalam penandatanganan Memorandum of Understanding (MoU) pada 5 Februari 2013 sebagai upaya mengantisipasi terjadinya bencana nuklir [13].

Penandatanganan MoU tersebut, menggambarkan bahwa penyelenggaraan penanggulangan bencana nuklir pada tahap prabencana dilakukan terkoordinasi.

Penyelenggaraan penanggulangan bencana nuklir juga dilakukan terencana yaitu pada setiap kegiatan pembangunan yang mempunyai risiko tinggi menimbulkan bencana dilengkapi dengan analisis risiko bencana yang diatur dalam Pasal 40 UU PB. Kegiatan pembangunan yang mempunyai risiko tinggi menimbulkan bencana adalah kegiatan pembangunan yang memungkinkan terjadinya bencana, dalam hal ini PLTN. Dalam UU PB, analisis risiko bencana atau rencana kontinjensi disusun dan ditetapkan oleh BNPB. Contohnya pada Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessi (RSG-GAS) di Tangerang Selatan, BNPB telah menetapkan analisis risiko pada tahun 2013 dalam dokumen perencanaan kontinjensi untuk menghadapi ancaman kedaruratan nuklir kota Tangerang Selatan. Dokumen ini disusun BNPB bersama-sama dengan BAPETEN dan pemerintah daerah Tangerang Selatan, isi dokumen melingkupi gambaran keadaan RSG-GAS termasuk penilaian risiko dan penentuan kejadian serta pengembangan skenario apabila terjadi bencana. Tentu saja dokumen perencanaan kontinjensi tersebut selalu dibutuhkan evaluasi secara berkala untuk mengetahui keefektifan isi perencanaan dengan tanggap darurat apabila bencana nuklir terjadi, misalnya dengan mengevaluasi berdasarkan data pertumbuhan penduduk yang terus bertambah sehingga dapat berdampak pada kesulitan evakuasi apabila bencana nuklir terjadi. Ke depannya jika PLTN dibangun di Indonesia maka BNPB, BAPETEN, dan pemerintah daerah lokasi dibangunnya PLTN berkoordinasi untuk menyusun analisis risiko bencana PLTN dan mengevaluasi penerapannya secara berkala. Hal tersebut, sesuai dengan Instruksi Presiden Nomor 4 Tahun 2019 bahwa BNPB sebagai koordinator rencana aksi prioritas pelaksanaan uji rencana kontinjensi penanganan darurat menghadapi kedaruratan nuklir.

Analisis risiko bencana PLTN salah satunya didapat dari pembelajaran bencana Fukushima, diawali oleh gempa bumi diikuti tsunami merupakan bencana yang perlu diidentifikasi dalam pembangunan PLTN. Diperlukan upaya untuk mengurangi dampak dari risiko tersebut, salah satunya reaktor di desain handal terhadap bahaya internal dan eksternal [14] yang mungkin dapat terjadi. Dalam UU PB upaya mitigasi untuk mengurangi risiko bencana, antara lain dilakukan kehandalan desain. Desain PLTN dijabarkan dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) [11] yang diserahkan ke BAPETEN sebagai persyaratan dalam pemenuhan izin. BAPETEN dalam hal ini memastikan desain PLTN yang dirancang aman dan selamat, dengan melakukan reвью LAK secara keseluruhan sebagai persyaratan dalam pemberian izin. Bukan hanya desain yang menjadi pengawasan BAPETEN untuk menjamin keselamatan PLTN, evaluasi tapak sebelum menetapkan lokasi tapak PLTN juga menjadi pengawasan BAPETEN dan menjadi persyaratan dasar di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Evaluasi tapak dilakukan antara lain terhadap aspek kegempaan, aspek kegunungapian, aspek geoteknik, aspek meteorologi dan hidrologi, aspek kejadian eksternal ulah manusia, serta aspek dispersi zat radioaktif. Aspek tersebut, dijabarkan secara rinci dalam dokumen yang diserahkan ke BAPETEN untuk di evaluasi apakah tapak tersebut layak digunakan untuk pembangunan PLTN.

BAPETEN juga mengatur penyelenggaraan penanggulangan bencana nuklir dalam Perba KKN, menitikberatkan tanggung jawab PI dari pra bencana sampai pasca bencana. Di pra bencana, PI diminta untuk menetapkan program kesiapsiagaan nuklir yang didalamnya mencakup infrastruktur dan fungsi penanggulangan. Program kesiapsiagaan nuklir didasarkan atas hasil kajian potensi bahaya radiologi sehingga dapat dihasilkan kategori bahaya radiologi dan zona kedaruratan nuklir yang dapat digunakan dalam proses evakuasi pekerja dan masyarakat sekitar reaktor pada tahapan penanggulangan kedaruratan nuklir.

Zona kedaruratan nuklir ditetapkan salah satunya dapat dari sistem peringatan dini yang berfungsi memberikan informasi peringatan bahaya lepasan radiasi ke lingkungan. Sistem peringatan dini berupa peralatan deteksi dini dan alarm harus tersedia dalam PLTN [8]. Pemasangan sistem peringatan deteksi perubahan status sistem PLTN, deteksi kebakaran dan deteksi kebocoran pendingin PLTN menjadi bagian persyaratan izin yang dikeluarkan oleh BAPETEN dalam pengoperasian PLTN.

Untuk menghindari kegagalan dalam penanggulangan bencana dan untuk memastikan personil mampu menjalankan fungsi tanggap darurat yang menjadi tugasnya secara efektif, dilakukan pengorganisasian, penyuluhan, pelatihan, dan geladi tentang mekanisme tanggap darurat. Pelatihan dan/atau geladi merupakan saatnya untuk mengimplementasikan kemampuserapan dokumen rencana kontinjensi yang sudah disusun BNPB dan BAPETEN pada saat prabencana, apabila terjadi

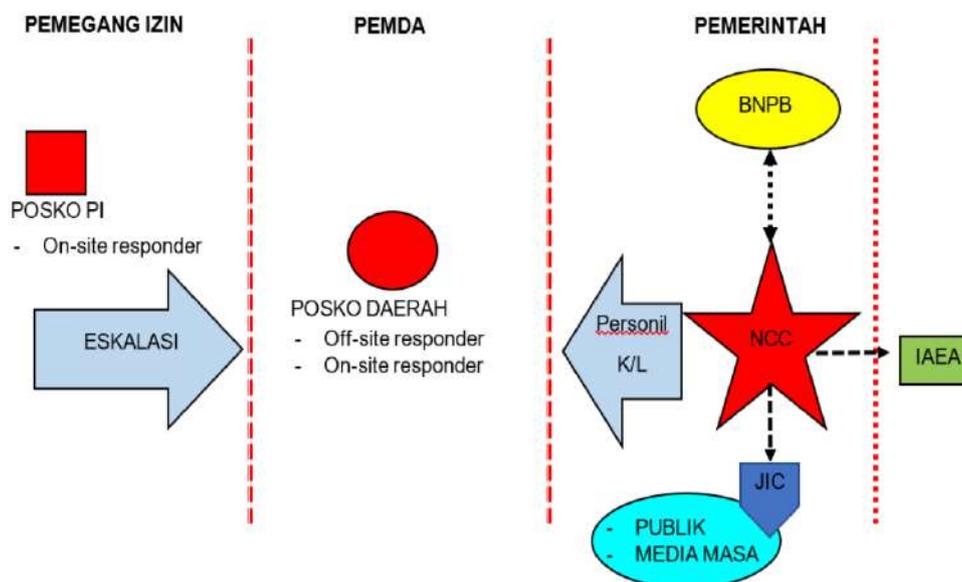
ketidaksihesuaian maka dokumen rencana kontinjensi harus direvisi. Pelatihan atau geladi kedaruratan nuklir yang dilaksanakan di fasilitas nuklir dilaksanakan secara berkala minimal 1 (satu) tahun sekali oleh PI melibatkan pekerja dan petugas penanggulangan fasilitas, untuk pelatihan atau geladi kedaruratan nuklir tingkat daerah dilakukan secara berkala oleh BPBD melibatkan BAPETEN dilakukan minimal 1 (satu) kali dalam 2 (dua) tahun, sedangkan pelatihan atau geladi kedaruratan nuklir tingkat nasional dilakukan oleh BNPB secara berkala minimal 1 (satu) kali dalam 4 (empat) tahun [15]. Pelatihan atau geladi kedaruratan nuklir daerah dan nasional melibatkan PI, kementerian/lembaga terkait bukan hanya BAPETEN dan BPBD/BNPB saja [16]. Oleh karena itu, diperlukan kerjasama, koordinasi, konsistensi, evaluasi yang kuat untuk bersinergis dalam upaya pengurangan risiko bencana nuklir.

Mengingat sifat dari bencana nuklir dapat melepaskan radiasi ke lingkungan maka diperlukan penanganan khusus. Pada tahap kesiapsiagaan ini, baik BAPETEN dan petugas instalasi nuklir mendapatkan pengembangan kompetensi penanggulangan kedaruratan nuklir, juga mendapatkan pengembangan kompetensi terkait proteksi radiasi guna meningkatkan pengetahuan radiasi dan dasar-dasar proteksi dan keselamatan radiasi serta aplikasinya untuk menunjang pelaksanaan tugasnya. Meningkatkan pengetahuan dan wawasan terkait nuklir dan radiasi menjadi program utama untuk menjamin keselamatan pekerja dan masyarakat terhadap risiko radiasi. Sehingga penanggulangan kedaruratan nuklir tidak dapat dilakukan oleh personil yang tidak memiliki dasar kompetensi proteksi radiasi.

2. Tanggap Darurat

Penyelenggaraan penanggulangan bencana pada saat tanggap darurat meliputi:

- Identifikasi dengan segera kedaruratan nuklir dan menentukan tingkat penanggulangan yang sesuai dengan kelas kedaruratannya: pada tahapan ini, PI melakukan identifikasi kedaruratan nuklir PLTN dan menentukan tingkat penanggulangannya segera setelah mengetahui adanya kejadian abnormal dalam gedung pada fasilitas sebelum terjadi kedaruratan yang meluas dan melaporkan kedaruratan nuklir kepada Kepala BAPETEN secara lisan paling lama 1 (satu) jam dan secara tertulis paling lama 2 (dua) kali 24 (dua puluh empat) jam sejak adanya kejadian abnormal [16] juga menyampaikan informasi upaya tanggap darurat dan perkembangannya ke Kepala Daerah Cq. Kepala BPBD dan/atau kepada Presiden Cq. Kepala BNPB.
- Kedaruratan di fasilitas: BAPETEN memastikan bahwa PI mengaktifkan tim tanggap darurat fasilitas untuk mengendalikan fasilitas dan mencegah eskalasi dampak dengan melakukan monitoring radiasi.
- Eskalasi meluas terjadi kedaruratan nuklir tingkat daerah: BPBD mengaktifkan organisasi Pos Komando Kedaruratan Nuklir Daerah (Fasilitas untuk mengoordinasi dan mengarahkan tanggap darurat dekat lokasi kedaruratan) apabila terjadi kondisi laju dosis 5 mikroSv/jam atau lebih yang terukur selama 10 menit atau lebih di batas Tapak instalasi, dan/atau terdapat lepasan radioaktif abnormal dengan konsentrasi aktivitas udara setara dengan atau melebihi laju dosis 5 mikroSv/jam di batas Tapak instalasi yang terdeteksi dari jalur lepasan normal [15] dan memimpin serta mengkoordinasikan penanggulangan kedaruratan nuklir di luar fasilitas sesuai rekomendasi BAPETEN.
- Eskalasi meluas sampai ke kedaruratan nuklir tingkat nasional: Presiden c.q Kepala BNPB menetapkan kedaruratan tingkat nasional apabila terjadi kondisi laju dosis 500 mikroSv/jam atau lebih yang terukur selama 10 menit atau lebih di batas Tapak instalasi, dan /atau terdapat lepasan radioaktif abnormal dengan konsentrasi aktivitas udara setara dengan atau melebihi laju dosis 500 mikroSv/jam di batas tapak instalasi yang terdeteksi dari jalur lepasan normal. Presiden c.q Kepala BNPB mengaktifkan organisasi Pos Komando Kedaruratan Nuklir Nasional serta sebagai pemimpin koordinasi penanggulangan kedaruratan di luar fasilitas. BAPETEN memberikan rekomendasi kedaruratan nuklir dan terminasi kedaruratan nuklir tingkat nasional kepada Presiden c.q Kepala BNPB. Koordinasi antara pos komando instalasi/fasilitas, daerah, dan nasional diberikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema Mekanisme Koordinasi Tanggap Darurat Nuklir [16]

- Pengkajian secara cepat dan tepat: dalam Pos Komando Kedaruratan Nuklir Nasional dilakukan kajian cepat dan tepat untuk menentukan kebutuhan dan tindakan yang tepat dalam penanggulangan bencana pada saat tanggap darurat nuklir. BNPB bersama tim kaji cepat termasuk BAPETEN melakukan pengkajian secara cepat dan tepat terhadap cakupan lokasi bencana, jumlah korban bencana, kerusakan, prasarana dan sarana, gangguan terhadap fungsi pelayanan umum dan pemerintahan, serta kemampuan sumber daya alam maupun buatan, serta melakukan pengaktifan Satuan Tanggap Darurat (STD) dalam beberapa tingkatan mulai dari Siaga, Aktif Parsial, dan Aktif Total untuk menentukan kebutuhan dan tindakan yang tepat.
- Penyelamatan dan evakuasi masyarakat terkena bencana, pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan terhadap kelompok rentan: BNPB mempunyai kewenangan berupa komando dalam mengerahkan sumber daya baik manusia, peralatan, logistik, maupun instansi/lembaga, sesuai Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2019 tentang peningkatan kemampuan dalam mencegah, mendeteksi, dan merespons wabah penyakit, pandemi, global, dan kedaruratan nuklir, biologi, dan kimia. Pada tahapan ini, BNPB juga tidak dapat lepas koordinasi dengan BAPETEN karena BAPETEN tetap bertanggung jawab melakukan pengawasan penyebaran lepasan radiasi.

3. Pascabencana

Pada tahap ini dilakukan rehabilitasi dan rekonstruksi. Rehabilitasi adalah tahapan perbaikan dan pemulihan terhadap semua aspek pelayanan publik atau masyarakat sampai ditingkat yang memadai, melalui kegiatan perbaikan lingkungan perbaikan prasarana dan sarana umum; pemulihan sosial psikologis; pelayanan kesehatan; rekonsiliasi dan resolusi konflik; pemulihan sosial ekonomi budaya; Pemulihan keamanan dan ketertiban; pemulihan fungsi pemerintahan; dan pemulihan fungsi pelayanan publik. Pada kasus bencana akibat nuklir, rehabilitasi seperti perbaikan lingkungan daerah bencana, perbaikan prasarana dan sarana umum sampai rekonstruksi dilakukan setelah berkoordinasi dengan BAPETEN dengan memastikan masyarakat sekitar PLTN sudah tidak menerima dosis radiasi melebihi 20 mSv/tahun. Pada tahapan ini, PI berkoordinasi dengan BAPETEN dalam menetapkan terminasi kedaruratan nuklir, terminasi Kedaruratan Nuklir tingkat daerah/nasional ditetapkan oleh Presiden/Kepala Daerah berdasarkan rekomendasi Kepala BAPETEN dengan mempertimbangkan dampak radiologik dan non-radiologik, dan justifikasi serta optimisasi strategi proteksi radiasi lebih lanjut. Hal ini dilakukan setelah BPBD/BNPB berkonsultasi dan berkoordinasi dengan seluruh pihak terkait pada kedaruratan tingkat daerah/nasional. Setelah terminasi ditetapkan, seluruh petugas yang melakukan pekerjaan rehabilitasi dan rekonstruksi mengikuti persyaratan paparan kerja. PI, BAPETEN, BRIN, Kemenkes dan K/L terkait melakukan pemantauan personil, lingkungan dan kesehatan berdasarkan persyaratan dalam situasi paparan normal atau situasi paparan berkelanjutan [16].

Lingkungan hidup juga menjadi faktor pengawasan BAPETEN, oleh karenanya penanganan limbah radioaktif pada saat tanggap darurat nuklir dicatat/direkam oleh PI dilaporkan ke BAPETEN untuk diriview dan dievaluasi agar tidak mencemari lingkungan. Apabila eskalasi terjadi sampai ke daerah/nasional maka PI dan BAPETEN berkoordinasi dengan BPBD/BNPB, dinas lingkungan hidup, serta KLHK dalam melakukan penanganan limbah radioaktif. Dalam melaksanakan rehabilitasi lahan, Kepala Daerah berkoordinasi dengan BAPETEN, KLHK, dan kementerian atau lembaga terkait menetapkan Rencana Tahunan Rehabilitasi Lahan (RTnRL) yang memuat sasaran lokasi kegiatan untuk memulihkan, mempertahankan dan meningkatkan fungsi lahan guna meningkatkan daya dukung, produktivitas dan peranannya dalam menjaga sistem penyangga kehidupan [17].

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir; Koordinator Reaktor Daya; Tuan rumah Kepala Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir dan jajarannya; serta Tim penilai makalah yang telah mendukung dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada penulis untuk melakukan penulisan ini.

Kesimpulan

1. Manajemen bencana nuklir berbeda penanganannya dibanding bencana non-alam lainnya, mengingat sifat dari bencana nuklir dapat melepaskan radiasi ke lingkungan maka diperlukan penanganan yang khusus mulai dari tahapan prabencana, tanggap darurat, dan pascabencana,
 - a. Prabencana: BAPETEN dan BNPB bersinergi dalam upaya mengantisipasi terjadinya bencana nuklir dengan melakukan penandatanganan Mou, dibentuknya ICoNSEP untuk langkah ke depan dalam upaya pengurangan risiko bencana nuklir. BNPB, BAPETEN, pemerintah daerah, dan kementerian/lembaga berkoordinasi untuk menyusun analisis risiko bencana dalam dokumen perencanaan kontinjensi dan mengevaluasinya secara berkala. Evaluasi dokumen perencanaan kontinjensi antara lain dilakukan dengan melaksanakan pelatihan atau geladi kedaruratan nuklir dengan melibatkan BAPETEN, PI, BPBD/BNPB, dan Kementerian/Lembaga terkait untuk menghindari kegagapan dalam penanggulangan bencana dan untuk memastikan personil mampu menjalankan fungsi tanggap darurat yang menjadi tugasnya secara efektif
 - b. Tanggap darurat: Identifikasi kedaruratan nuklir dengan segera diikuti dengan pelaporan langkah awal dalam upaya pengurangan risiko. BAPETEN dan BPBD/BNPB berkoordinasi dalam penanggulangan kedaruratan nuklir tingkat daerah/nasional dengan mengaktifkan organisasi Pos Komando Kedaruratan Nuklir Daerah/Nasional yang dipimpin/dikomando oleh Kepala Daerah/Presiden dengan mengikuti hasil rekomendasi kedaruratan nuklir dan terminasi kedaruratan nuklir dari BAPETEN.
 - c. Pascabencana: BAPETEN, BNPB, KLHK, dan seluruh pihak berkoordinasi dalam upaya perbaikan dan pemulihan terhadap semua aspek dengan memastikan masyarakat sudah tidak menerima dosis radiasi melebihi 20 mSv/tahun dan seluruh petugas yang melakukan pekerjaan rehabilitasi dan rekonstruksi mengikuti persyaratan paparan kerja yang ditetapkan dan slalu dalam pemantauan.
2. Manajemen bencana nuklir merupakan tanggung jawab bersama, diperlukan koordinasi antar pihak dan kompetensi khusus dalam penanggulangan bencana nuklir sehingga personil mampu menjalankan fungsi tanggap darurat yang menjadi tugasnya secara efektif untuk mencapai tujuan yang sama yaitu keselamatan.

Daftar Pustaka

- [1] INES. (2013). User's Manual 2008 Edition. Vienna: IAEA.
- [2] BNPB. (2023). Risiko Bencana Indonesia: Memahami Risiko Sistemik di Indonesia. Jakarta: BNPB.

- [3] Robi Amri, Mohd, Gita Yluanti, dkk. (2016). Risiko Bencana Indonesia. Jakarta: BNPB.
- [4] BNPB. (2012). Buku Saku Tanggap Tangkas Tangguh Menghadapi Bencana. Jakarta: BNPB.
- [5] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya.
- [6] Bastori, Imam. Moch Joko Birmano. (2017). Analisis Ketersediaan Uranium di Indonesia untuk Kebutuhan PLTN Tipe PWR 1000 Mwe. Retrieved from jurnal.batan.go.id/index.php/jpen. Diakses pada 3 Juli 2023.
- [7] Kemenristek. (2008). Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir: Manfaat dan Potensi Bahayanya. Jakarta: Ristek.
- [8] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2010 Tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir.
- [9] BNPB. (2020). Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2020-2024. Jakarta: BNPB.
- [10] Wahyudi, Yoyok. (2017). Sinergi Satuan Komando Kewilayahan. Retrieved from <https://jurnalprodi.idu.ac.id/index.php/SMK/article/view/151>, diakses pada 13 Juli 2023.
- [11] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 tahun 2020 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya
- [12] Rapat Koordinasi BAPETEN dan BNPB. (2009). Retrieved from <https://BAPETEN.go.id/berita/rapat-koordinasi-BAPETEN-dan-bnpb-134714?lang=id>, diakses pada 13 Juli 2023.
- [13] Penandatanganan Nota Kesepahaman antara BAPETEN dengan BNPB. (2013). Retrieved from <https://BAPETEN.go.id/berita/penandatanganan-nota-kesepahaman-antara-BAPETEN-dengan-bnpb-134721?lang=id>, diakses pada 13 Juli 2023.
- [14] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya.
- [15] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
- [16] BAPETEN. (2021). Pedoman Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir Nasional.
- [17] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2022 tentang Penyusunan Rencana Umum Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai dan Rencana Tahunan Rehabilitasi Hutan dan Lahan.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Perlindungan Hukum terhadap Operator Berdasarkan *Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage*

Mira Wahyu Nugraheni RP

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

m.nugraheni@bapeten.go.id

Abstrak

Perlindungan hukum merupakan hak bagi masing-masing subjek hukum. Dalam kaitannya dengan pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir, operator menjadi subjek hukum yang paling bertanggung jawab untuk memastikan keselamatan dan keamanan agar tidak menimbulkan kerugian bagi masyarakat dan lingkungan hidup. Terkait dengan hal tersebut, operator memerlukan suatu perlindungan hukum sehingga dapat memperoleh hak dan dapat melaksanakan kewajiban dengan baik. Perlindungan hukum harus diberikan kepada semua pihak, tidak hanya diberikan kepada masyarakat atau pihak-pihak yang menderita kerugian nuklir. Di tingkat internasional, terdapat rezim pengaturan pertanggungjawaban kerugian nuklir. Salah satunya adalah *Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage (CSC)*. Indonesia telah menandatangani CSC, namun belum meratifikasinya. Sebagai salah satu cara untuk memberikan pertimbangan hukum kepada pemerintah untuk melanjutkan langkah ke depan, perlu dilakukan analisis mengenai substansi pengaturan dalam CSC, khususnya terkait dengan perlindungan hukum. Mengingat semakin nyata keinginan dari calon operator PLTN untuk membangun PLTN di Indonesia, analisis difokuskan pada apakah ketentuan dalam CSC ini sudah memberikan perlindungan hukum yang cukup bagi operator. Tujuan penulisan makalah ini untuk menganalisis apakah pengaturan dalam CSC sudah memberikan perlindungan hukum yang memadai bagi operator. Makalah ini berupa tinjauan sehingga dilengkapi dengan teori hukum terutama mengenai perlindungan hukum dan hukum internasional. Berdasarkan analisis, diperoleh hasil bahwa CSC telah memberikan perlindungan hukum yang memadai bagi operator untuk dapat memperoleh hak dan melaksanakan kewajibannya dengan baik. Dengan demikian, pemerintah dapat mempertimbangkan untuk meratifikasi CSC sebagai salah satu bentuk keikutsertaan dalam mewujudkan rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir secara global dan upaya untuk meningkatkan pengawasan ketenaganukliran.

Kata Kunci: perlindungan hukum, operator, CSC.

Abstract

*Each legal subject is entitled to legal protection. In relation to the construction and operation of nuclear installations, operator is the legal subject who most responsible for ensuring safety and security in order to not lead harm to society and the environment. In this regard, operators need legal protection so that they can obtain rights and carry out their obligations properly. Legal protection must be given to all parties, not only given to the public or parties who suffer nuclear losses. At the international level, there are nuclear damage liability regulatory regimes. One of them is the *Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage (CSC)*. Indonesia has signed the CSC, but has not ratified it. As a way to provide legal considerations to the government to continue moving forward, it is necessary to carry out an analysis of the substance of the regulations in CSC, particularly in relation to legal protection. Considering the increasingly desire of prospective NPP operators to build NPPs in Indonesia, the Analyze is focused on whether the provisions in this CSC provide sufficient legal protection for operators. The purpose of this paper is to analyze whether the regulation in CSC has provided adequate legal protection for operator. This paper is in the form of a review so that it is equipped with legal theory, especially regarding legal protection and international law. Based on the*

analysis, the results show that CSC has regulated adequate legal protection for operator to be able to obtain and carry out their obligations properly. Thus, the government may consider to ratify the CSC as a form of participation in realizing a global nuclear liability regime and efforts to enhance nuclear oversight.

Keywords: *legal protection, operator, CSC*

Pendahuluan

Penggunaan energi nuklir selain memberikan manfaat juga dapat menimbulkan kerugian. Untuk mengatasi risiko dan mencegah timbulnya kerugian, penggunaan energi nuklir harus dilaksanakan sesuai dengan kaidah hukum dan standar keselamatan.

Saat ini sudah ada beberapa perusahaan dengan modal asing yang menyampaikan niatnya untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai lembaga pemerintah yang bertugas mengawasi pemanfaatan tenaga nuklir mulai membuka peluang bagi perusahaan terkait untuk melakukan konsultasi 3S (safety, security, dan Safeguards). Sejalan dengan kebijakan pemerintah untuk mewujudkan Net Zero Emission, pembangunan PLTN merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan.

Untuk mendukung pembangunan PLTN, diperlukan berbagai kesiapan. Mulai dari kesiapan regulasi, sarana dan prasarana, pendanaan, serta keberterimaan dari masyarakat. Regulasi merupakan hal utama yang terlebih dahulu harus dipersiapkan sebab hal ini yang menjadi dasar dalam perlindungan hukum. Perlindungan hukum merupakan sarana untuk memberikan kepastian hukum kepada pihak tertentu yang berpotensi menjadi korban dalam suatu hubungan hukum. Dalam kaitannya dengan pembangunan dan pengoperasian PLTN, perlindungan hukum ini lebih ditekankan dalam hal terjadi suatu kecelakaan yang menimbulkan kerugian nuklir. Subjek yang akan diberikan perlindungan hukum pada situasi tersebut yaitu masyarakat atau pihak-pihak yang menderita kerugian. Sementara itu, operator PLTN menjadi pihak yang wajib membayar ganti kerugian akibat kecelakaan nuklir tersebut. Pada kasus kecelakaan nuklir, tanggung jawab operator bersifat mutlak, artinya tidak perlu dilakukan pembuktian oleh pihak yang meminta ganti kerugian.

Tanggung jawab yang bersifat mutlak bagi operator menjadi beban tersendiri karena terdapat kemungkinan, bahwa suatu kecelakaan nuklir terjadi akibat tindakan disengaja dari oknum tertentu, misalnya sabotase terhadap instalasi nuklir. Kemungkinan juga dapat terjadi, bahwa pihak tertentu menderita kerugian nuklir karena disebabkan oleh kelalaiannya sendiri.

Terkait dengan hal tersebut, operator juga memerlukan suatu perlindungan hukum sehingga dapat memperoleh hak dan dapat melaksanakan kewajiban dengan baik. Perlindungan hukum harus diberikan kepada semua pihak, tidak hanya diberikan kepada masyarakat atau pihak-pihak yang menderita kerugian nuklir.

Sehubungan dengan pertanggungjawaban kerugian nuklir, Indonesia telah menandatangani Konvensi tentang Tambahan Kompensasi untuk Kerugian Nuklir (The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage) atau CSC, namun belum meratifikasinya. Sebagai salah satu cara untuk memberikan pertimbangan hukum kepada pemerintah untuk melanjutkan langkah ke depan, perlu dilakukan analisis mengenai substansi pengaturan dalam CSC, khususnya terkait dengan perlindungan hukum. Mengingat semakin nyata keinginan dari calon operator PLTN untuk membangun PLTN di Indonesia, analisis difokuskan pada apakah ketentuan dalam CSC ini sudah memberikan perlindungan hukum yang cukup bagi operator.

Dalam makalah ini akan dilakukan tinjauan mengenai perlindungan hukum bagi operator berdasarkan CSC. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk menganalisis apakah CSC telah memberikan perlindungan hukum yang memadai bagi operator sehingga dapat terjamin hak dan kewajibannya.

Landasan Teori

Perlindungan hukum merupakan upaya hukum yang harus diberikan oleh aparat penegak hukum untuk memberikan rasa aman, baik secara pikiran maupun fisik dari gangguan dan berbagai ancaman dari pihak manapun. Perlindungan hukum adalah tindakan atau upaya untuk melindungi masyarakat dari perbuatan sewenang-wenang oleh penguasa yang tidak sesuai dengan aturan hukum, untuk

mewujudkan ketertiban dan ketentraman sehingga memungkinkan manusia untuk menikmati martabatnya sebagai manusia [1].

Pengertian perlindungan hukum adalah suatu perlindungan yang diberikan kepada subyek hukum dalam bentuk perangkat hukum baik yang bersifat preventif maupun yang bersifat represif, ada yang tertulis maupun tidak tertulis. Dengan kata lain perlindungan hukum sebagai suatu gambaran dari fungsi hukum itu sendiri, yaitu konsep dimana hukum dapat memberikan suatu keadilan, ketertiban, kepastian, kemanfaatan dan kedamaian.

Berikut beberapa pendapat dari para ahli mengenai perlindungan hukum:

1. Menurut Philipus Hardjo, perlindungan hukum bagi rakyat ada dua yaitu:
 - a. Perlindungan hukum preventif artinya rakyat diberi kesempatan mengajukan pendapatnya sebelum keputusan pemerintah mendapat bentuk yang definitif yang bertujuan untuk mencegah terjadinya sengketa;
 - b. Perlindungan hukum refrensif yang bertujuan menyelesaikan sengketa. Perlindungan hukum adalah suatu jaminan yang diberikan oleh negara kepada semua pihak untuk dapat melaksanakan hak dan kepentingan hukum yang dimilikinya dalam kapasitasnya sebagai subjek hukum [2].
2. Menurut Satjipto Rahardjo, perlindungan hukum adalah adanya upaya melindungi kepentingan seseorang dengan cara mengalokasikan suatu Hak Asasi Manusia kekuasaan kepadanya untuk bertindak dalam rangka kepentingannya tersebut [3].
3. Menurut Muchsin, perlindungan hukum adalah kegiatan untuk melindungi individu dengan menyasrakan hubungan nilai-nilai atau kaidah-kaidah yang menjelma dalam sikap dan tindakan dalam menciptakan adanya ketertiban dalam pergaulan hidup antara sesama manusia [4].

Dalam konteks hukum nasional, perlindungan hukum dapat diartikan sebagai upaya melindungi yang dilakukan pemerintah atau penguasa dengan sejumlah peraturan yang ada. Pentingnya perlindungan dan penegakan hukum adalah untuk menciptakan tatanan masyarakat yang adil, damai yang sejahtera dengan tanpa adanya pelanggaran Hak Asasi Manusia dan pelanggaran hukum lainnya seperti pembunuhan, penipuan dan lain sebagainya.

Di tataran internasional, hubungan antar negara diatur dengan hukum internasional. Hukum internasional merupakan sebuah sistem aturan, prinsip, dan konsep mengatur hubungan antar-negara, organisasi internasional, individu, dan aktor lainnya dalam politik dunia. Pengertian lainnya mengenai hukum internasional yaitu keseluruhan kaedah-kaedah dan asas-asas yang mengatur hubungan atau persoalan yang melintasi batas-batas negara-negara antara negara dengan negara serta negara dengan subjek hukum lain bukan negara atau subyek hukum bukan negara satu sama lain [5].

Perlindungan hukum dalam konteks hukum internasional diartikan sebagai perlindungan hak dan kewajiban yang dilaksanakan berdasarkan sumber hukum internasional. Menurut Pasal 38 (1) Statuta Mahkamah Internasional, sumber hukum internasional terdiri atas perjanjian internasional, kebiasaan internasional, prinsip hukum umum, serta keputusan pengadilan dan pendapat para ahli yang telah diakui kepakarannya [6].

Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage atau CSC merupakan salah satu bentuk perjanjian internasional. Oleh karena itu, CSC menjadi salah satu sumber hukum internasional. CSC diadopsi pada tanggal 12 September 1997 oleh Konferensi Diplomatik yang dilaksanakan pada tanggal 8 – 12 September 1997, dan terbuka untuk ditandatangani pada tanggal 29 September 1997 dalam Konferensi Umum IAEA ke-41. Konvensi ini akan tetap terbuka untuk ditandatangani sampai dinyatakan berlaku efektif. Pada tanggal 15 April 2015, konvensi ini mulai berlaku setelah terpenuhinya persyaratan yang telah ditentukan yaitu sekurang-kurangnya 5 negara dengan minimal 400.000 satuan kapasitas nuklir terpasang telah menyimpan instrumen sebagaimana dimaksud dalam Pasal XVIII konvensi.

CSC dimaksudkan untuk membuat sistem pertanggungjawaban kerugian nuklir bagi seluruh dunia. CSC merupakan salah satu konvensi yang mengatur pertanggungjawaban kerugian nuklir yang lahir untuk melengkapi konvensi yang telah ada sebelumnya yaitu The Paris Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy, 1960 (Konvensi Paris) dan The Vienna Convention on Civil

Liability for Nuclear Damage, 1963 (Konvensi Wina). CSC mengatur penyediaan tambahan dana ganti rugi dari dana publik dalam hal kerugian melebihi jumlah pertanggungjawaban operator. Konvensi ini didesain untuk menarik negara-negara yang memiliki PLTN dan negara-negara tanpa PLTN. Meskipun konvensi ini terbuka untuk negara yang bukan pihak Konvensi Paris maupun Konvensi Wina, namun negara-negara yang akan menjadi pihak CSC diharapkan memiliki hukum nasional yang memenuhi kriteria dasar sesuai dengan yang diatur dalam CSC.

Hasil dan Pembahasan

Pada prinsipnya, perlindungan hukum merupakan hak dari semua pihak. Terkait dengan pertanggungjawaban kerugian nuklir dalam kegiatan pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir, operator merupakan subjek hukum yang berhak memperoleh perlindungan hukum.

Pengaturan pertanggungjawaban kerugian nuklir dalam CSC sangat terkait dengan ketentuan yang diatur dalam Konvensi Paris dan Konvensi Wina. CSC terdiri dari batang tubuh dan lampiran (annex). Pengaturan dalam batang tubuh berupa ketentuan-ketentuan yang harus dipatuhi oleh Negara Pihak, diantaranya mengenai tujuan dan keberlakuan, kompensasi, perhitungan kontribusi, pengalokasian dana, dan yurisdiksi. Sedangkan dalam lampiran, diatur mengenai ketentuan-ketentuan teknis yang harus dipenuhi atau sejalan dengan pengaturan hukum nasional suatu Negara Pihak (yang bukan merupakan pihak dari Konvensi Paris ataupun Konvensi Wina). Dengan demikian, untuk melihat kecukupan pengaturan mengenai perlindungan hukum bagi operator dapat didasarkan pada pengaturan dalam Lampiran CSC.

Pengertian "operator" diatur dalam lampiran CSC Pasal 1 angka 1 huruf d, sebagai berikut: "...Operator", in relation to a nuclear installation, means the person designated or recognized by the Installation State as the operator of that installation. Operator yang dimaksud dalam CSC adalah operator instalasi nuklir yaitu orang yang ditunjuk atau diakui oleh Negara Instalasi sebagai operator instalasi tersebut. Dalam hukum positif Indonesia, yang dimaksud dengan operator adalah pengusaha instalasi nuklir yaitu orang perseorangan atau badan hukum yang bertanggung jawab dalam pengoperasian instalasi nuklir [7]. Berdasarkan Pasal 3 Lampiran CSC, operator instalasi nuklir wajib bertanggung jawab terhadap kerugian nuklir berdasarkan bukti bahwa kerugian tersebut disebabkan oleh kecelakaan nuklir di instalasi tersebut, atau yang melibatkan bahan nuklir yang berasal atau bersumber dari instalasi nuklir tersebut, serta melibatkan bahan nuklir yang dikirim ke instalasi nuklir tersebut.

Terkait dengan bahan nuklir yang berasal atau bersumber dari instalasi tersebut, operator wajib bertanggung jawab jika kecelakaan nuklir terjadi sebelum pertanggungjawabannya berpindah kepada operator instalasi lain sesuai dengan persyaratan kontrak tertulis; jika tidak ada kesepakatan, sebelum operator instalasi nuklir lain mengambil alih bahan nuklir; atau jika bahan nuklir tersebut digunakan dalam reaktor nuklir yang digunakan sebagai sumber tenaga untuk sarana transportasi, baik sebagai penggerak maupun untuk tujuan lainnya, sebelum orang yang berwenang untuk mengoperasikan reaktor tersebut telah mengambil alih bahan nuklir. Operator tidak bertanggung jawab jika bahan nuklir telah dikirim ke seseorang di dalam wilayah suatu Negara bukan Pihak, sebelum diturunkan dari sarana transportasi yang telah tiba di wilayah Negara bukan pihak tersebut.

Terkait bahan nuklir yang dikirim ke instalasi nuklir tersebut, operator wajib bertanggung jawab jika pertanggungjawaban sehubungan dengan kecelakaan nuklir yang melibatkan bahan nuklir diterima oleh operator sesuai dengan persyaratan kontrak tertulis dari operator instalasi nuklir lain; atau jika tidak ada persyaratan yang secara tegas disepakati, setelah operator mengambil alih bahan nuklir; atau setelah operator mengambil alih dari seseorang yang mengoperasikan reaktor nuklir sebagai sumber tenaga untuk sarana transportasi, baik sebagai penggerak maupun untuk tujuan lainnya. Operator tidak bertanggung jawab jika bahan nuklir, dengan persetujuan tertulis dari operator, telah dikirim dari seseorang di dalam wilayah suatu Negara bukan Pihak, hanya setelah bahan nuklir dimuat pada sarana transportasi yang akan digunakan untuk mengangkut dari wilayah Negara itu. Pengecualian tanggung jawab oleh operator salah satunya dikarenakan, bahan nuklir berasal dari atau dikirim ke negara bukan pihak CSC.

Berdasarkan Lampiran CSC Pasal 3 angka 3, disebutkan bahwa pertanggungjawaban operator atas kerugian nuklir bersifat mutlak. Pertanggungjawaban mutlak adalah pertanggungjawaban pidana

tanpa kesalahan (liability without fault). Hal itu berarti bahwa si pelaku sudah dapat dipidana jika ia telah melakukan perbuatan sebagaimana yang telah dirumuskan dalam undang-undang tanpa melihat bagaimana sikap batinnya. Penerapan asas pertanggungjawaban mutlak itu sangat penting terhadap kasus-kasus tertentu yang menyangkut atau membahayakan sosial atau anti sosial, membahayakan kesehatan dan keselamatan, serta moral publik. Kasus-kasus seperti pencemaran lingkungan hidup, perlindungan konsumen, serta yang berkaitan dengan minuman keras, kepemilikan senjata, dan kepemilikan obat-obatan terlarang merupakan kasus yang sangat memungkinkan untuk diterapkan asas pertanggungjawaban mutlak.

Dalam pertanggungjawaban terkait kecelakaan nuklir diberlakukan tanggung jawab mutlak sebab berpotensi menimbulkan kerugian yang berdampak pada kesehatan, keselamatan masyarakat, juga lingkungan hidup.

Pasal I huruf (f) CSC mendefinisikan kerugian nuklir sebagai berikut:

“Nuclear Damage” means:

- i. loss of life or personal injury;
- ii. loss of or damage to property;
and each of the following to the extent determined by the law of the competent court:
- iii. economic loss arising from loss or damage referred to in sub-paragraph (i) or (ii), insofar as not included in those sub-paragraphs, if incurred by a person entitled to claim in respect of such loss or damage;
- iv. the costs of measures of reinstatement of impaired environment, unless such impairment is insignificant, if such measures are actually taken or to be taken, and insofar as not included in sub-paragraph (ii);
- v. loss of income deriving from an economic interest in any use or enjoyment of the environment, incurred as a result of a significant impairment of that environment, and insofar as not included in sub-paragraph (ii);
- vi. the costs of preventive measures, and further loss or damage caused by such measures;
- vii. any other economic loss, other than any caused by the impairment of the environment, if permitted by the general law on civil liability of the competent court, in the case of sub paragraphs (i) to (v) and (vi) above, to the extent that the loss or damage arises out of or results from ionizing radiation emitted by any source of radiation inside a nuclear installation, or emitted from nuclear fuel or radioactive products or waste in, or of nuclear material coming from, originating in, or sent to, a nuclear installation, whether so arising from the radioactive properties of such matter, or from a combination of radioactive properties with toxic, explosive or other hazardous properties of such matter.

Kerugian nuklir dalam CSC diartikan secara luas. Selain berupa kehilangan jiwa atau cedera, kehilangan atau kerugian harta benda termasuk juga kerugian ekonomi yang ditimbulkan dari kehilangan atau kerugian sebagaimana diuraikan pada subparagraf (i) atau (ii), dan yang tidak termasuk dalam subparagraf tersebut, jika dilakukan oleh seseorang yang berhak untuk menuntut terhadap kehilangan atau kerugian. Kerugian nuklir juga meliputi biaya atas upaya pemulihan kerugian lingkungan, hilangnya pendapatan dari kepentingan ekonomi pada setiap penggunaan atau pengambilan manfaat dari lingkungan, biaya atas upaya pencegahan dan kehilangan atau kerugian lebih jauh yang ditimbulkan oleh upaya tersebut, dan setiap kerugian ekonomi lainnya, selain yang disebabkan oleh kerugian lingkungan, apabila diperbolehkan oleh hukum umum pada pertanggungjawaban sipil dari pengadilan yang berwenang.

Dalam Lampiran CSC Pasal 3 angka 5, diatur bahwa operator tidak bertanggung jawab atas kerugian nuklir yang ditimbulkan oleh kecelakaan nuklir yang secara langsung disebabkan oleh konflik bersenjata, kerusuhan (hostilities), perang saudara, atau pemberontakan. Kecuali hukum Negara Instalasi menentukan sebaliknya, operator juga tidak bertanggung jawab atas kerugian nuklir yang ditimbulkan oleh kecelakaan nuklir yang secara langsung disebabkan oleh bencana alam parah yang bersifat luar biasa.

Lampiran CSC Pasal 3 angka 6 mengatur bahwa hukum nasional dapat membebaskan operator dari seluruh atau sebagian kewajiban untuk membayar ganti rugi atas kerugian nuklir yang diderita seseorang jika operator membuktikan kerugian nuklir tersebut disebabkan seluruh atau sebagian oleh

kelalaian atau tindakan atau pengabaian orang tersebut yang dilakukan dengan maksud untuk menimbulkan kerugian.

Lampiran CSC Pasal 3 angka 7 mengatur bahwa operator tidak bertanggung jawab atas kerugian nuklir terhadap instalasi nuklir itu sendiri dan instalasi nuklir lainnya termasuk instalasi nuklir yang sedang dibangun, di tapak instalasi itu berada; dan untuk setiap properti di tapak yang sama yang digunakan atau akan digunakan sehubungan dengan instalasi tersebut. Operator juga tidak bertanggung jawab atas kerugian terhadap sarana transportasi yang mengangkut bahan nuklir pada saat kecelakaan nuklir, kecuali ditentukan lain oleh hukum nasional. Selanjutnya dalam Lampiran CSC Pasal 3 angka 10 disebutkan bahwa operator tidak bertanggung jawab atas kerugian yang disebabkan oleh kecelakaan nuklir di luar ketentuan hukum nasional.

Sesuai dengan ketentuan Pasal III.1(a)(ii), tanggung jawab operator dapat dibatasi oleh Negara Instalasi untuk setiap kecelakaan nuklir, yaitu tidak kurang dari 300 juta SDR; atau tidak kurang dari 150 juta SDR dengan ketentuan bahwa apabila lebih dari jumlah tersebut hingga paling sedikit 300 juta SDR, dana publik harus disediakan oleh Negara instalasi untuk mengkompensasi kerugian nuklir. Untuk kecelakaan nuklir selama pengangkutan, jumlah maksimum tanggung jawab operator diatur oleh hukum nasional Negara Instalasi.

Mengingat jumlah pertanggungjawaban yang cukup besar, berdasarkan ketentuan yang diatur dalam Lampiran CSC Pasal 5, operator wajib memiliki dan mempertahankan asuransi atau jaminan finansial lainnya yang melingkupi tanggung jawabnya atas kerugian nuklir dalam jumlah, jenis dan persyaratan yang ditentukan oleh Negara Instalasi.

CSC secara jelas menyebutkan apa saja dan dalam hal apa, operator wajib bertanggung jawab atas kerugian nuklir yang terjadi. Kewajiban operator untuk membayar ganti kerugian terhadap korban akibat kecelakaan nuklir dirumuskan dengan berbagai kondisi sesuai dengan tempat kejadian kecelakaan maupun pada proses kegiatannya. Kecelakaan dapat terjadi dalam instalasi nuklir dan dapat juga terjadi pada saat pengangkutan bahan nuklir.

Kerugian nuklir dalam CSC telah diberikan batasan secara jelas sehingga memperkecil terjadinya perselisihan dalam penafsirannya. Kerugian bukan hanya berupa kehilangan nyawa, cedera, kehilangan harta benda, namun melingkupi juga kerugian ekonomi yang antara lain berupa biaya atas upaya pemulihan kerugian lingkungan serta biaya atas upaya pencegahan dan kehilangan atau kerugian lebih jauh yang ditimbulkan oleh upaya tersebut

Pengaturan yang paling berat yaitu mengenai pertanggungjawaban yang bersifat mutlak. Dalam hal ini, operator wajib bertanggung jawab tanpa dibuktikan unsur kesalahannya. Meskipun demikian, dalam ketentuan selanjutnya diatur bahwa operator dibebaskan dari seluruh atau sebagian kewajiban untuk membayar ganti rugi atas kerugian nuklir yang diderita seseorang jika operator membuktikan kerugian nuklir tersebut disebabkan seluruh atau sebagian oleh kelalaian atau tindakan atau pengabaian orang tersebut yang dilakukan dengan maksud untuk menimbulkan kerugian. Selain itu, operator juga tidak bertanggung jawab atas kerugian nuklir yang ditimbulkan oleh kecelakaan nuklir yang secara langsung disebabkan oleh konflik bersenjata, kerusuhan (hostilities), perang saudara, atau pemberontakan. Kecuali hukum Negara Instalasi menentukan sebaliknya, operator juga tidak bertanggung jawab atas kerugian nuklir yang ditimbulkan oleh kecelakaan nuklir yang secara langsung disebabkan oleh bencana alam yang bersifat luar biasa.

Pengaturan dalam CSC mengenai kewajiban bagi operator dalam hal terjadi kecelakaan nuklir telah dilengkapi juga dengan pengaturan mengenai hak operator untuk memperoleh pembebasan sesuai dengan persyaratan dan kondisi tertentu. Dengan demikian, perlindungan hukum bagi operator berdasarkan CSC telah terpenuhi

Kesimpulan

1. Ketentuan CSC khususnya dalam Lampiran, memuat hak dan kewajiban bagi operator. Rumusan pengaturan antara hak dan kewajiban yang seimbang menunjukkan bahwa CSC telah memberikan

perlindungan hukum yang memadai bagi operator. Di satu sisi, operator harus bertanggung jawab atas kerugian yang disebabkan oleh kecelakaan nuklir. Di sisi lain, hukum nasional dapat membebaskan operator dari seluruh atau sebagian kewajiban untuk membayar ganti rugi atas kerugian nuklir yang diderita seseorang jika operator membuktikan kerugian nuklir tersebut disebabkan seluruh atau sebagian oleh kelalaian atau tindakan atau pengabaian orang tersebut yang dilakukan dengan maksud untuk menimbulkan kerugian.

2. Pengaturan dalam CSC terutama terkait perlindungan hukum bagi operator sejalan dengan ketentuan dalam hukum nasional Indonesia, yaitu Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran beserta peraturan pelaksanaannya. Dengan demikian, pemerintah dapat mempertimbangkan untuk meratifikasi CSC sebagai salah satu bentuk keikutsertaan dalam mewujudkan rezim pertanggungjawaban nuklir secara global dan upaya untuk meningkatkan pengawasan ketenaganukliran.

Daftar Pustaka

- [1] Setiono, 2004, Supremasi Hukum, UNS, Surakarta.
- [2] Philipus.M. Hardjo, 1988, Perlindungan Hukum bagi Rakyat Indonesia, Bina Ilmu, Surabaya.
- [3] Satjipto Rahardjo, 2003, Sisi-Sisi Lain dari Hukum di Indonesia, Kompas, Jakarta.
- [4] Muchsin, 2003, Perlindungan dan Kepastian Hukum bagi Investor di Indonesia, Fakultas Hukum, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [5] Mochtar Kusumaatmadja, 2003, Pengantar Hukum Internasional, Sinar Grafika.
- [6] Statute of the International Court of Justice
- [7] Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Identifikasi Peran Metoda Analisis Siklus Hidup Produk (LCA) dalam Penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) untuk Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Imron¹, Muhammad Rifqi Harahap¹, Ade Awalludin²

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

²Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

i.imron@bapeten.go.id

Abstrak

Identifikasi Peran Metoda Analisis Life Cycle Assessment (LCA) dalam Penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) untuk Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR) Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah didiskusikan. Salah satu persyaratan dasar perizinan berusaha ialah Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR) mengacu pada ketentuan Undang-Undang Cipta Kerja Nomor 11 Tahun 2020 dan Peraturan Pemerintah Tahun 2021 Nomor 5 tentang Perizinan Berusaha Berbasis Resiko. Pembangunan PLTN memiliki kode KBLI 43294 dengan persyaratan dasar harus memiliki Persetujuan kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang untuk Kegiatan yang Bersifat Strategis Nasional Melalui Kementerian ATR/BPN. Untuk penetapan ruang kegiatan, Pemerintah daerah akan membentuk forum penataan ruang yang salah satu tugasnya melakukan penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS). Ada kemungkinan forum tersebut meminta BAPETEN selaku instansi pengawas ketenaganukliran menjadi anggota tim penyusun. Kemudian setelah KLHS tersebut divalidasi oleh KLHK maka Pemerintah Daerah melalui forum Penataan Ruang akan menjabarkan ke dalam lingkup Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR). Selanjutnya pelaku usaha akan mengajukan persyaratan dasar Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR). Tujuan kajian ini adalah untuk menilai kemampooterapan pendekatan Siklus Hidup Produk (LCA) digunakan dalam pembuatan dokumen Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS). Metode tinjauan identifikasi ini dengan menggunakan studi literatur dengan membandingkan format yang baku kajian integrasi *spatial landscape* dalam KLHS di Indonesia dibandingkan dengan praktik penggunaan metoda LCA dalam penyusunan LHKS di negara lain seperti Prancis, Swedia dan Taiwan. Dari hasil tinjauan ini Pendekatan Siklus hidup produk LCA PLTN dapat menjelaskan kelayakan desain PLTN tertentu terhadap persyaratan lingkungan dengan penjelasan kelebihan maupun kekurangan penggunaan metoda Siklus hidup produk PLTN. Selain itu tinjauan ini menjelaskan beberapa parameter penting sebagai input metoda Siklus hidup produk beserta kisaran kriteria keberterimaan berdasarkan berbagai hasil perhitungan.

Kata Kunci: Forum Penataan Ruang, kelayakan desain, Siklus hidup produk PLTN

Abstract

Identification of the Role of the Life Cycle Assessment (LCA) Analysis Method in the Preparation of a Strategic Environmental Assessment (KLHS) for the Suitability of Space Utilization Activities (KKPR) for the Development of Nuclear Power Plants (PLTN) has been discussed. One of the basic requirements for business licensing is Compatibility for Space Utilization Activities (KKPR) referring to the provisions of the Job Creation Law Number 11 of 2020 and Government Regulation of 2021 Number 5 concerning Risk-Based Business Licensing. The PLTN construction has the KBLI code 43294 with the basic requirements that it must have an Approval for the suitability of Space Utilization Activities for National Strategic Activities through the Ministry of ATR/BPN. To determine the space for activities, the Regional Government will form a Spatial Planning

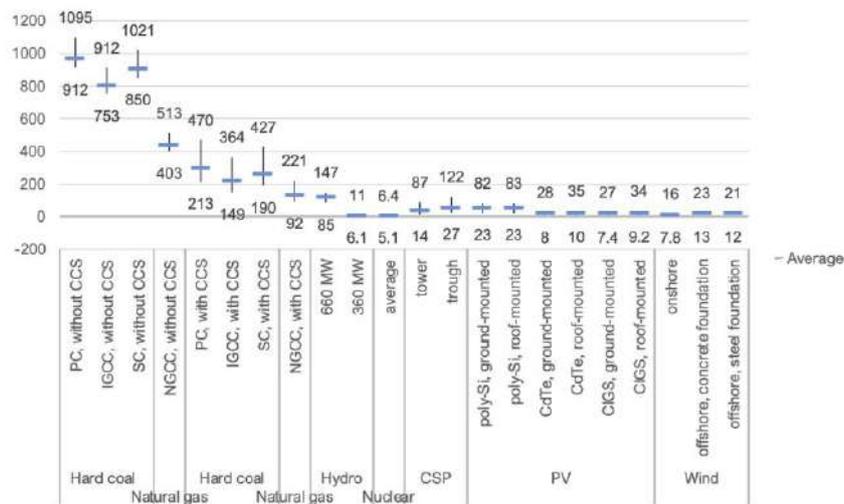
Forum, one of whose duties is to prepare a Strategic Environmental Study (KLHS). There is a possibility that the forum may ask BAPETEN as the nuclear monitoring agency to become a member of the drafting team. Then after the KLHS has been validated by the KLHK, the Regional Government through the Spatial Planning forum will elaborate it into the scope of Suitability of Spatial Utilization Activities (KKPR). Furthermore, business actors will submit basic requirements for suitability of space utilization activities (KKPR). The purpose of this study is to assess the applicability of the Product Life Cycle (LCA) approach used in the preparation of the Strategic Environmental Assessment (KLHS) document. This identification review method uses a literature study by comparing the standard format for spatial landscape integration studies in KLHS in Indonesia compared to the practice of using the LCA method in preparing LKHS in other countries such as France, Sweden and Taiwan. From the results of this review the LCA PLTN product life cycle approach can explain the feasibility of certain NPP designs against environmental requirements by explaining the advantages and disadvantages of using the NPP product life cycle method. In addition, this review explains several important parameters as inputs to the product life cycle method along with the range of acceptance criteria based on various calculation results.

Keywords: *Spatial Planning Forum, design feasibility, NPP product life cycle*

Pendahuluan

Berdasarkan Undang-Undang Cipta Kerja Nomor 11 tahun 2020[1] dan Peraturan Pemerintah Tahun 2021 Nomor 5 tentang Perizinan Berusaha Berbasis Resiko[2], Pembangunan PLTN memiliki kode KBLI 43294 dengan persyaratan dasar harus memiliki persetujuan kesesuaian kegiatan pemanfaatan ruang kegiatan yang bersifat strategis nasional melalui kementerian ATR/BPN. Berdasarkan Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup[3], KLHS merupakan serangkaian analisis yang sistematis, komprehensif, dan partisipatif untuk memastikan bahwa prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan terintegrasi dalam kebijakan, rencana, dan/atau program pengembangan wilayah. Disamping itu, mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 46 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kajian Lingkungan Hidup Strategis[4], Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah diwajibkan untuk membuat KLHS guna memastikan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan telah menjadi dasar dan terintegrasi dalam pembangunan suatu wilayah dan/atau kebijakan, rencana, dan/atau program (KRP). Selain itu terdapat Peraturan menteri Agraria/Kepala BPN No. 5 Tahun 2022 tentang Tata Cara Pengintegrasian Kajian Lingkungan Hidup Strategis dalam penyusunan rencana tata ruang yang mengamanahkan bahwa dalam penyusunan rencana tata ruang wajib menyusun Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS)[5]. Dalam Penetapan Ruang Kegiatan Pemerintah Daerah akan membentuk Forum Penataan Ruang yang salah satu tugasnya melakukan penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS). Ada kemungkinan forum tersebut meminta BAPETEN selaku instansi pengawas ketenaganukliran menjadi anggota tim penyusun KLHS. BAPETEN akan berkomunikasi langsung dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Sebagaimana yang diamanahkan dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan hidup, bahwa setiap dokumen yang mengandung unsur kebijakan, rencana, dan program wajib didasarkan pada Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS). Posisi BAPETEN dalam proses pembangunan PLTN pertama di Indonesia adalah menyiapkan kerangka koordinasi antar kementerian yang berwenang mengatur perizinan Pembangunan PLTN. Kerangka ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan pemerintah dalam memutuskan dan membangun PLTN melalui pembentukan *Nuclear Energy Program Implementation Organization* (NEPIO) sebagai organisasi yang mengkoordinasikan program tenaga nuklir. Keputusan ini didasarkan pada data Rentang Emisi Karbon untuk berbagai tipe pembangkit Energi dimana PLTN adalah salah satu jenis Pembangkit dengan net emisi yang kecil, sesuai data di gambar 1 putusan ini didasarkan pada data. Keputusan Pemerintah melalui NEPIO mengenai *Go Nuclear* harus dijaga keberlanjutan program tersebut dengan menyiapkan infrastruktur kerangka pengwasan antar lembaga yang berwenang. Saat ini peraturan pembentukan NEPIO sedang dalam pembahasan di kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.



Gambar 1. Rentang Emisi Karbon untuk berbagai tipe pembangkit Energi [7]

Kajian ini mengidentifikasi kemampooterapan LCA dalam pembuatan KLHS yang didalamnya ada rencana pembangunan PLTN Penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) berdasarkan peraturan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.69/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2017 Tentang Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kajian Lingkungan Hidup Strategis.[5] Kemudian membandingkan metoda kajian yang telah ada di lingkungan kementerian KLHK sesuai format yang baku kajian integrasi *spatial landscape*.kajian ini adalah untuk menilai kemampooterapan pendekatan Siklus Hidup Produk (LCA) digunakan dalam pembuatan dokumen Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS).

Identifikasi peran LCA diperlukan mengingat perlunya metoda yang lebih kuantitatif dan transparan dalam penyusunan KLHS. Selain itu di beberapa praktik di negara seperti di Swedia, Prancis dan Taiwan telah menggunakan pendekatan Siklus hidup produk (LCA) dalam pembuatan dokumen Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) dengan batasan batasan tertentu. Pendekatan Siklus hidup produk LCA PLTN juga dapat menjelaskan kelayakan desain PLTN sebagai suatu produk yang mengalami pengembangan desain. Pengembangan desain ini tentunya harus memenuhi persyaratan lingkungan. Dari hasil kajian ini diharapkan terdapat identifikasi kelebihan maupun kekurangan penggunaan metoda Siklus hidup produk PLTN. Selain itu akan dijelaskan parameter penting sebagai input metoda Siklus hidup produk.

Dari berbagai alternatif pembangkitan energi pada Gambar 1, Pembangkit Listrik Tenaga nuklir menunjukkan variabilitas yang lebih kecil karena regionalisasi model yang terbatas, dengan 5,1–6,4 g CO₂ eq./ kWh, seperti pada Gambar 1. Rantai bahan bakar (*“front-end”*) berkontribusi paling besar terhadap keseluruhan emisi. LCA pada PLTN akan menginformasikan jalur berkelanjutan untuk pengembangan dan pertimbangan sistem energi rendah karbon sumber daya alam yang tersedia dan aspek peraturan, sosial, teknis, lingkungan dan ekonomi dari program. Tidak terkecuali, setiap teknologi pembangkit listrik menghasilkan dampak lingkungan selama siklus hidupnya; dan dampak ini dapat sangat bervariasi tergantung dari desain reaktor. Potensi dampak lingkungan mereka terhadap kesehatan manusia, ekosistem, dan kebutuhan sumber daya dengan Analisis cradle-to-grave dari sistem kelistrikan sangat penting untuk mengidentifikasi potensi pergeseran masalah di sepanjang rantai pasokan dan siklus hidup teknologi (misalnya mengurangi dampak operasi sambil meningkatkan dampak konstruksi), atau lintas jenis beban lingkungan (misalnya mengurangi emisi gas rumah kaca sambil meningkatkan kebutuhan material atau penggunaan lahan).

Metodologi

Metode yang digunakan dalam kajian ini dilakukan dengan studi literatur dengan menggunakan referensi yang relevan. Referensi dibandingkan dengan deskripsi yang sesuai dalam peraturan atau standar. Referensi yang digunakan dalam tinjauan ini adalah mengacu pada format kajian integrasi spasial dalam penyusunan KLHS dibandingkan dengan praktik penggunaan metoda LCA dalam penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) PLTN di negara lainnya. Dengan

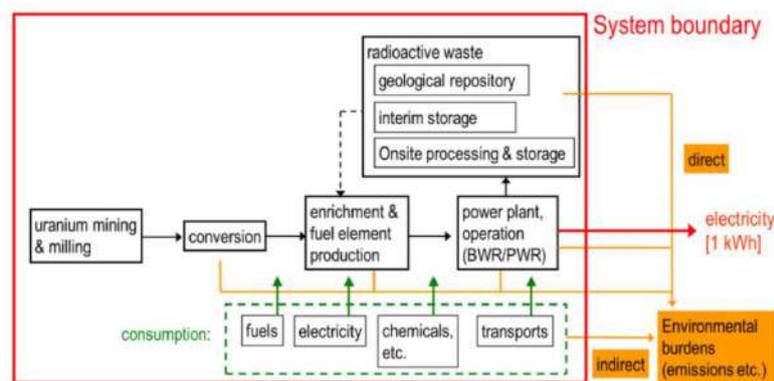
membandingkan referensi-referensi yang relevan, diharapkan akan diperoleh kajian yang lebih komprehensif.

Hasil dan Pembahasan

Metoda LCA telah digunakan para ahli dalam analisis dampak Lingkungan pengembangan berbagai jenis PLTN. Indikator lingkungan yang dapat ditampilkan dalam analisis LCA yaitu output emisi gas rumah kaca untuk mengukur dampak perubahan iklim, radiasi pengion, pembentukan partikel (primer dan sekunder), penggunaan lahan, pengasaman, ekotoksitas air tawar, toksisitas manusia. Perhitungan LCA mempunyai tiga aspek penting yaitu pemodelan rantai generasi tenaga nuklir, kerangka waktu referensi yang digunakan dalam menyusun data inventaris, dan rentang data mentah yang digunakan untuk membuat inventarisasi proses. Faktor yang mendominasi kinerja lingkungan adalah masalah konsentrasi uranium serta teknologi dan pembawa energi yang digunakan untuk menambang dan memproses sumber daya uranium. Sebagian besar beban lingkungan disebabkan oleh sisa dari penambangan dan penggilingan uranium.

Metodologi yang diterapkan untuk evaluasi LCA dilakukan sebagai proses berbasis dan analisis atribusi dengan skema perhitungan di Gambar 2. Batas sistem dan beban lingkungan pembangkit listrik tenaga nuklir. Contoh data ecoinvent versi 3.3 (ecoinvent, 2016) sebagian besar telah digunakan sebagai data inventori. Salah satu contoh Perangkat lunak yang digunakan untuk model dan analisis LCA adalah Simapro 8.0.4.30 (PRÉ, 2014). Sebagian kecil dari ecoinvent versi 3.1 (ecoinvent, 2014) digunakan karena database latar belakang di Simapro telah diperbarui dari versi 3.1 ke versi 3.3. Sistem mencakup seluruh siklus nuklir, termasuk penambangan dan penggilingan uranium, konversi, pengayaan, produksi elemen bakar, operasi pembangkit listrik tenaga nuklir (operasi selama pembangkit listrik dan periode pemadaman) dan penonaktifan, serta limbah pengolahan dan pembuangan. Rantai produksi bahan, energi, dan layanan transportasi juga diperhitungkan. Semua proses tersebut membuat langsung atau tidak langsung ke beban lingkungan.

Aliran input dan output yang terukur dari proses sistem disebut Life Cycle Inventory (LCI), terdiri dari pertukaran dalam hal sumber daya, material, aliran energi, penggunaan lahan dan emisi ke air, udara dan tanah. Parameter kunci proses dalam rantai nuklir seperti bahan bakar tingkat *burn up*, tingkat pengayaan, pembangkitan bahan bakar bekas, pasokan bahan bakar yang dihasilkan dari berbagai fasilitas, umur pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tahunan, efisiensi pabrik, dimasukkan ke dalam LCI.



Gambar 2 Skema LCA – batas sistem dan beban lingkungan pembangkit listrik tenaga nuklir.

Parameter umum yang diasumsikan untuk model PLTN tercantum dalam Tabel 1. Parameter Utama dalam Model LCA PLTN Konvensional. Estimasi global front-end menggunakan inventarisasi dari database ecoinvent versi 3.7 dengan parameter input LCA untuk pengoperasian Instalasi PLTN adalah *Burn rate* berkisar sebesar 42%, Efisiensi sebesar 34%, *Nameplate Capacity* 1000 MW, dan *Lifetime* 60 tahun.

Tabel 1 Parameter Utama dalam Model LCA PLTN Konvensional

No	Kegiatan	Parameter	Unit	Nilai
1.	Penambangan	Waste to ore ratio	-	5
		Ore grade	t U/t ore	0,21%
			t U238/t ore	0,25%
2.	Milling	Extraction Losses	-	4,05%
3	Konversi	Losses	-	0,00%
4.	Pengayaan	Enrichment Rate	-	4,21%
		Tail Assay	-	0,22%
		Cut	Kg U/kg U	0,12
		SWU/kg feed	SWU/kg	0,82
		SWU/kg product	SWU/Kg	6,67
5.	Fabrikasi bahan Bakar	Losses	-	0%
		SWU/KWh	SWU/Kg	6,74
6.	Instalasi Pembangkit	Burnup rate	GW-day/ton	42
		Efficiency	-	34%
		Nameplate Capacity	MW	1000
		Life time	years	60

Batasan lingkup dari *front to end* pada LCA PLTN dinilai terlalu luas jika akan diterapkan untuk KLHS PLTN di Indonesia. Pada Gambar 2, Batasan kajian akan lebih spesifik jika menghitung emisi untuk pembangkitan tenaga listrik saja dengan asumsi bahwa bahan bakar nuklir semuanya diimpor dan bahan bakar bekas akan diekspor kembali ke negara asal. Sedangkan asumsi proses dekomisioning hanya berfokus pada material yang teriradiasi dan terkontaminasi yang jika dikonversikan ke nilai CO₂ tidak berpengaruh signifikan ke total emisi dari pembangkitan energi listrik.

LCA di nilai dapat diterapkan dalam penyusunan KLHS yang didalamnya ada rencana pembangunan PLTN, namun titik berat analisis lingkungan hanya berfokus pada seberapa besar konversi emisi karbon pada saat pembangkitan energi terutama jika dibandingkan dengan pembangkit fosil yang menghasilkan emisi karbon sangat besar. Sedangkan untuk menganalisis dampak terlepasnya zat radioaktif ke luar, LCA tidak bisa mewartakan analisis dampak ini. Analisis ini tetap memerlukan metoda lain seperti analisis suku sumber dan estimasi dosis lingkungan yang menggunakan perangkat lunak seperti PC Cream atau PC Cosyma.

Dalam peraturan mengenai KLHS tidak tercantum secara eksplisit mengenai penggunaan pendekatan, metoda analisis daur hidup dalam perkiraan mengenai dampak dan risiko lingkungan hidup. Namun dalam lampiran 4 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.69/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2017 Tentang Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kajian Lingkungan Hidup Strategis dijelaskan mengenai tata Cara Pengkajian Pengaruh Kebijakan, Rencana Dan/Atau Program Terhadap Kondisi Lingkungan Hidup. Dalam melaksanakan pengkajian, urutan langkah-langkah pembuatan dan pelaksanaan akan lebih efektif bila selaras dengan urutan penyusunan Kebijakan, Rencana, dan/atau Program. Atas dasar itu, pembuatan dan pelaksanaan KLHS dapat menggunakan metoda:

1. Iteratif (berulang), atau Linier.

Pembuatan dan pelaksanaan KLHS yang dimulai pada Kebijakan, Rencana, atau Program yang masih belum berwujud dapat mengulang beberapa kali proses analisis sejalan dengan makin terbentuknya muatan kebijakan tersebut. Pembuatan dan pelaksanaan KLHS yang dimulai menjelang akhirnya penyelesaian kebijakan, rencana, atau program dilakukan linier, atau setiap tahap hanya dilakukan satu kali.

2. Menggunakan metoda baku, atau modifikasi

Pada saat proses analisis ditemukan bahwa isu yang harus dikaji jauh lebih kompleks dari perkiraan awal, sehingga dilakukan penyesuaian teknik analisis di tengah proses kajian. KLHS yang disusun dalam kondisi data tidak memadai lebih tepat menggunakan metoda proxy atau analisis yang kualitatif, sementara KLHS yang datanya cukup lengkap bisa menggunakan teknik analisis kuantitatif atau pembuatan model yang lebih kompleks. Pengkajian pengaruh Kebijakan, Rencana, dan/atau Program yang bersifat umum, konseptual, dan/atau makro dapat menggunakan pendekatan Strategis. Pengkajian pengaruh Kebijakan, Rencana, dan/atau Program yang bersifat fokus, detail, terikat, terbatas dan/atau teknis seringkali lebih sesuai bila menggunakan pendekatan dampak.

Dari informasi mengenai Tata Cara Pengkajian Pengaruh Kebijakan, Rencana Dan/Atau Program tersebut untuk kajian LHKS pembangunan PLTN bisa digunakan metoda Penilaian Daur Hidup PLTN, mengingat bahwa beberapa jenis PLTN konvensional, untuk penyusunan dokumen KLHS yang datanya cukup lengkap bisa menggunakan teknik analisis kuantitatif, sedangkan untuk PLTN yang dalam tahap pengembangan seperti SMR maka perlu dikaji jauh lebih kompleks dari perkiraan awal, sehingga dilakukan penyesuaian teknik analisis di tengah proses kajian. KLHS yang disusun dalam kondisi data tidak memadai lebih tepat menggunakan metoda proxy atau analisis yang kualitatif.

Secara metodologis, informasi kualitatif dari skenario ditransformasikan menjadi data kuantitatif, yang berturut-turut dimasukkan ke dalam life cycle inventory (LCI) dari pendekatan LCA. Perubahan di latar belakang LCA dan perubahan kerangka kerja yang dinyatakan melalui database inventarisasi dapat menjadi sangat penting untuk dampak lingkungan dari teknologi yang sedang berkembang.

Beberapa kajian integrasi metoda LCA dalam penyusunan LHKS antara lain dari Eléonore Loiseau, Philippe Roux, Guillaume Junqua, Pierre Maurel dengan judul “ *Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning*” tahun 2013[8]. Pada saat melakukan penilaian lingkungan strategis, mereka dihadapkan pada kurangnya metodologi yang seragam. Oleh karena itu, diusulkan kerangka metodologi untuk tahapan penilaian lingkungan yang diperlukan dalam perencanaan lahan. Metode Penilaian siklus hidup (LCA) telah diidentifikasi sebagai alat yang menjanjikan untuk melakukan penilaian lingkungan pada tingkat wilayah. Salah satu adaptasi utama yang diperlukan menyangkut fase definisi tujuan dan ruang lingkup. Selanjutnya, asosiasi suatu wilayah dan skenario perencanaan lahan yang dipelajari, ditentukan oleh batas-batas geografisnya dan interaksinya dengan wilayah lain, akan ditetapkan sebagai alur referensi dalam LCA.

Kajian dari Anna Björklund dengan judul, “*Life cycle assessment as an analytical tool in strategic environmental assessment*”[9]. Lessons learned from a case study on municipal energy planning in Sweden”, Artikel ini menjelaskan penggunaan LCA untuk pengkajian lingkungan dalam konteks ini, dengan fokus pada metodologi dan pengalaman praktis. Sementara LCA memberikan kerangka sistematis untuk penilaian lingkungan dan perspektif sistem yang lebih luas dari apa yang dibutuhkan dalam KLHS, namun terdapat catatan yang menyatakan bahwa LCA tidak dapat menangani semua aspek dampak lingkungan yang diperlukan, dan oleh karena itu perlu dilengkapi dengan alat lain. Integrasi LCA dengan alat untuk partisipasi publik dan perencanaan skenario menimbulkan tantangan metodologis tertentu, tetapi memberikan pendekatan inovatif untuk merancang ruang lingkup penilaian lingkungan dan menentukan serta menilai alternatif.

Kajian dari Beatriz Vidal-Legaz, Serenella Sala, Assumpció Antón, Danielle Maia De Souza, Marco Nocita, Ben Putman, Ricardo F.M., Teixeira “ *Land-use related environmental indicators for Life Cycle Assessment, Analysis of key aspects in land use modelling*”[10]. Kajian ini mengidentifikasi pendekatan yang berharga dan menyoroti kekuatan dan keterbatasan model LCA. Dalam penilaian dampak penggunaan lahan pada tanah dengan konteks LCA perlu juga diidentifikasi antara lain adopsi rantai sebab akibat penggunaan lahan bersama dan klasifikasi penggunaan lahan, akuntansi untuk praktik pengelolaan lahan yang berbeda, menilai dampak penggunaan lahan terhadap tanah, konsistensi dari indikator titik tengah hingga titik akhir, Panduan perhitungan faktor normalisasi; dan penilaian ketidakpastian hasil model secara sistematis.

Dalam kajian *Analysis of strategic environmental assessment in Taiwan energy policy and potential for integration with life cycle assessment*, Oleh Yen-yu Wu, Hwong-wen Ma, proses KLHS berorientasi dampak[11]. Selama tahap awal pengembangan KLHS, metode kualitatif biasanya diterapkan yaitu, pendekatan matriks atau penilaian ahli, namun keterbatasan penilaian subjektif dan ketidakpastian evaluasi telah menghasilkan penggunaan metode yang lebih kuantitatif seperti penilaian siklus hidup (LCA). Integrasi metode LCA dilakukan untuk memberikan hasil evaluasi yang lebih lengkap. LCA telah diterapkan dalam KLHS proyek-proyek Industri untuk mengatasi kekurangan dampak umum lokasi dalam proses AMDAL tradisional.

Perbandingan antara AMDAL dan LCA berfokus pada keuntungan dan keterbatasan penilaian dampak yang berbeda dari setiap metode; LCA memberikan evaluasi siklus hidup yang lengkap dan keunggulan batas sistem global, sedangkan AMDAL menilai dampak sosial-ekonomi dan lingkungan. Jenis dan sifat metode juga berbeda; EIA adalah metode berbasis proses dan LCA adalah metode analitik.[11]

Saat ini telah banyak PLTN yang telah beroperasi terutama jenis PLTN air ringan. Penilaian dampak siklus hidup pembangkit tenaga nuklir jenis Generasi 3 dan sebelumnya PLTN air ringan telah banyak dipublikasikan. Selain itu kajian penilaian siklus hidup untuk berbagai jenis PLTN Generasi 4 juga mulai dikembangkan dengan berbagai tipe teknologi, misal SMR PWR, Molten Salt Reaktor, HTGR dan lainnya. Pengembangan desain PLTN juga akan menuntut persyaratan lingkungan dan memerlukan analisis daur hidup yang lebih kompleks mengingat data terkait analisis ini masih belum tersedia di lapangan. Karena keterbatasan kajian untuk analisis LCA untuk PLTN Generasi 4 maka akan menjadi masalah jika Indonesia membangun PLTN Generasi 4 terutama dalam hal penyusunan KLHS.

Beberapa kajian untuk memahami potensi dampak lingkungan PLTN sehingga dapat berkomunikasi kepada publik dan pemangku kepentingan utama lainnya. Standar yang digunakan dalam analisis LCA adalah ISO 14040 dan ISO 14044. Penilaian siklus hidup memungkinkan evaluasi produk selama siklus hidupnya, dan di berbagai indikator lingkungan, metode ini dipilih untuk melaporkan profil lingkungan dari berbagai teknologi.

Kekurangan Metode LCA berdasarkan ISO 14040 dan ISO 14044 terkadang muncul ketika berbicara tentang Penilaian Siklus Hidup. Dalam hal Pemikiran Sistem dan batasan, LCA mencari perbaikan dalam produk yang ada. Pada skala yang lebih besar, peningkatan ini seringkali hanya kecil. PLTN mungkin misalnya memilih bahan baku yang lebih berkelanjutan untuk satu produk – padahal pada kenyataannya rantai pasokan produk yang sama sekali berbeda membuat dampak terbesar. Pada analisis LCA, rata-rata dan sampel, bukan data aktual, Seringkali, LCA mengandalkan rata-rata industri karena kurangnya data aktual. Ini dikritik karena tidak akurat. Pada analisis LCA terdapat kemungkinan Implikasi sosial hilang, LCA tidak memasukkan implikasi sosial. Akan tetapi, aspek sosial seringkali saling berhubungan dengan aspek kelestarian lingkungan. Ini tidak diperhitungkan dalam LCA. Namun, LCA sosial saat ini sedang dalam pengembangan.

Kesimpulan

Reviu ini telah menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain:

- a. LCA di nilai dapat diterapkan dalam penyusunan KLHS yang didalamnya ada rencana pembangunan PLTN, Namun titik berat analisis lingkungan berfokus pada seberapa besar konversi emisi karbon pada saat pembangkitan energi terutama jika dibandingkan dengan pembangkit fosil yang sangat besar menghasilkan emisi karbon.
- b. LCA tidak bisa mewadahi analisis dampak sebaran radioaktif ke lingkungan dan masyarakat secara spasial. Jadi Fungsi LCA hanya akan menjadi pelengkap dalam analisis global dan strategis.
- c. Peraturan yang berlaku dalam penyusunan KLHS masih membuka ruang untuk metoda KLHS tanpa menghilangkan metoda baku kajian integrasi *spatial landscape*. Penyusunan dokumen KLHS yang datanya cukup lengkap bisa menggunakan teknik analisis kuantitatif, sedangkan untuk PLTN yang dalam tahap pengembangan seperti SMR maka perlu dikaji jauh lebih kompleks dari perkiraan awal.

- d. Dalam hal Pemikiran Sistem dan batasan, LCA mencari perbaikan dalam produk yang ada. Pada skala yang lebih besar, peningkatan ini seringkali hanya kecil. PLTN mungkin misalnya memilih bahan baku yang lebih berkelanjutan untuk satu produk, padahal pada kenyataannya rantai pasokan produk yang sama sekali berbeda membuat dampak terbesar.
- e. Kelemahan pendekatan LCA, Input data LCA hanya mengandalkan rata-rata industri PLTN karena kurangnya data aktual. Ini dikritik karena tidak akurat. Pada analisis LCA terdapat kemungkinan Implikasi sosial hilang, LCA tidak memasukkan implikasi sosial.
- f. Parameter input LCA untuk pengoperasian Instalasi PLTN adalah *Burn rate* berkisar sebesar 42%, Efisiensi sebesar 34%, *Nameplate Capacity* 1000 MW, dan *Lifetime* 60 tahun.

Daftar Pustaka

- [1] Undang-Undang Cipta Kerja Nomor 11 tahun 2020
- [2] Peraturan Pemerintah Tahun 2021 Nomor 5 tentang Perizinan Berusaha Berbasis Resiko.
- [3] Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- [4] Peraturan Pemerintah No. 46 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kajian Lingkungan Hidup Strategis
- [5] Peraturan menteri Agraria/Kepala BPN No. 5 Tahun 2022 tentang Tata Cara Pengintegrasian Kajian Lingkungan Hidup Strategis Dalam Penyusunan Rencana Tata Ruan
- [6] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.69/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2017 Tentang Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kajian Lingkungan Hidup Strategis
- [7] *Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options, United Nations Economic Commission For Europe, 2021*
- [8] Eléonore Loiseau, et al, *Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning, 2013*
- [9] Anna Björklund, *Life cycle assessment as an analytical tool in strategic environmental assessment. Lessons learned from a case study on municipal energy planning in Sweden, Elsevier 2012,*
- [10] Beatriz Vidal-Legaz et al,, *Land-use related environmental indicators for Life Cycle Assessment, Analysis of key aspects in land use modelling, JRC Technical Report, 2016*
- [11] Yen-yu Wu et al, *Analysis of strategic environmental assessment in Taiwan energy policy and potential for integration with life cycle assessment, Elsevier, 2018*



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Aspek Hukum Validasi terhadap Sertifikat Persetujuan Desain Bungkusan Zat Radioaktif

Muhammad Sujana Prawira¹, Vatimah Zahrawati²

¹*Analisis Hukum, Biro Hukum, Kerja Sama, dan Komunikasi Publik, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
Jakarta, Indonesia*

²*Pengawas Radiasi Muda, Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif,
Badan Pengawas Tenaga Nuklir
Jakarta, Indonesia*

Korespondensi penulis:

s.prawira@bapeten.go.id
v.zahrawati@bapeten.go.id

Abstrak

Indonesia telah memiliki regulasi yang mengatur mengenai pengangkutan zat radioaktif melalui Peraturan Pemerintah No. 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif. Selain mengatur ketentuan pengangkutan zat radioaktif antar wilayah di dalam negeri, peraturan ini juga mengatur ketentuan kapal asing yang mengangkut bahan nuklir (bahan fisil) melalui perairan Indonesia. Pengirim bahan nuklir lintas negara wajib memiliki validasi terhadap sertifikat persetujuan desain bungkusan. Pengirim harus telah memiliki sertifikat persetujuan desain bungkusan yang diterbitkan oleh otoritas pengawas negara asal desain bungkusan yang merupakan bentuk jaminan aspek keselamatan bungkusan sudah memenuhi persyaratan desain dan pengujian. Validasi ini kemudian diatur untuk menjadi alat kontrol negara dalam memastikan keabsahan sertifikat persetujuan desain bungkusan yang diterbitkan oleh otoritas pengawas negara asal desain bungkusan. Permasalahan timbul saat implementasi dari ketentuan ini yang kemudian dikenakan tarif Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) dalam Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 2022. Makalah menganalisis implementasi mekanisme validasi terhadap sertifikat bungkusan zat radioaktif dengan menggunakan studi literatur. Dapat disimpulkan bahwa validasi terhadap sertifikat persetujuan desain bungkusan bagi pengirim yang akan melewati perairan Indonesia yang dikenakan biaya PNBP belum mampu terap. Hal ini dikarenakan belum tersedianya sistem dan prosedur untuk mengajukan proses validasi termasuk belum tersedianya mekanisme pembayaran PNBP sebelum kendaraan angkut masuk ke wilayah Indonesia. Oleh karena itu, makalah ini merekomendasikan agar badan pengawas segera membuat prosedur yang jelas serta sistem yang memadai mengingat ketentuan ini sudah diatur dalam peraturan pemerintah sejak tahun 2015.

Kata kunci: Pengangkutan zat radioaktif, bahan nuklir, validasi bungkusan.

Abstract

Indonesia already has regulations governing the transportation of radioactive materials through Government Regulation No. 58 in 2015 on Radiation Safety and Security in the Transportation of Radioactive Materials. Besides regulating the transportation of radioactive material from places in the country, this regulation also regulates provisions for transporting packages containing nuclear material (fissile material) from other countries into or through Indonesian territory. The cross-border shipment of nuclear materials by ship is required to have validation of the package design approval certificate. The consignor has to have the package design approval certificate issued by the competent authority of the country of origin of the package design which is a form of guarantee that the safety aspect of the package meets the design and testing transport requirements. The validation is then regulated to become a means of state control in ensuring the validity of the package design approval certificate issued by the authority of the country of origin of the package design.

Problems arise during the implementation of this provision, which later is subject to Non-Tax State Revenue (PNBP) fees stated in Government Regulation No. 42 of 2022. This paper analyses the implementation of the validation mechanism for radioactive package certificates using a literature study. It can be concluded that the validation of the package design approval certificate for consignors who will pass through Indonesian waters, which are subject to PNBP fees, has not been able to implement. It is due to the unavailability of a system and procedures to apply the validation process, including the absence of the non-tax revenue payment mechanism before the transport vehicle enters Indonesian territory. Therefore, this paper recommends the competent authority establish clear procedures and an adequate system, considering that this provision has been regulated in a government regulation since 2015.

Keywords: *Transportation of radioactive materials, nuclear materials, package validation.*

Pendahuluan

Setiap aspek yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir, selain memiliki manfaat juga memiliki potensi bahaya radiasi. Pemanfaatan tenaga nuklir tidak terlepas dari kegiatan pengangkutan zat radioaktif yang telah diatur dalam kerangka hukum yang memadai yang mampu dilaksanakan untuk memberikan keselamatan bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Untuk itu, IAEA selaku organisasi internasional yang memiliki tugas pokok dan fungsi di bidang ketenaganukliran menerbitkan seri keselamatan, termasuk tentang transportasi zat radioaktif. IAEA mengeluarkan *Specific Safety Requirements No. SSR-6* agar pihak-pihak yang terlibat dalam proses pengangkutan zat radioaktif memiliki acuan dalam melakukan pengangkutan guna menjamin keselamatan pengangkutan zat radioaktif.

Selanjutnya, Peraturan Pemerintah No. 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif (PP 58/2015) yang merupakan peraturan perundang-undangan pengganti Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif, sebagai peraturan pelaksana UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. PP 58/2015 menggabungkan dua aspek yaitu keselamatan radiasi dan aspek keamanan dalam satu peraturan. Walaupun IAEA membedakan dokumen standar keselamatan yang dimuat dalam SSR-6 dan standar keselamatan dalam IAEA Nuclear Security Series No. 9, peraturan ini melakukan *interface* antara sudut pandang keselamatan dan keamanan.

Sama halnya dengan SSR-6, PP 58/2015 ini membedakan jenis zat radioaktif menjadi zat radioaktif aktivitas jenis rendah (AJR) yang dibagi menjadi AJRI, II dan II, kemudian benda terkontaminasi permukaan (BTP I dan BTP II), zat radioaktif bentuk khusus, zat radioaktif daya sebar rendah, dan bahan fisil. Bahan fisil ini dalam peraturan lain disebut dengan bahan nuklir, namun khusus dalam pengangkutan, penamaan jenis-jenis zat radioaktif tersebut digunakan supaya sejalan dengan *term* yang digunakan di pengangkutan internasional. Peraturan ini memuat ketentuan keselamatan dan keamanan yang harus dipenuhi oleh pengirim, pengangkut, dan penerima, sebelum proses pengiriman, dalam pelaksanaan pengiriman dan setelah pengiriman. Juga diatur ketentuan tata laksana mendapatkan persetujuan pengiriman, notifikasi dan validasi serta ketentuan jika terjadi keadaan darurat [1].

Dalam bagian tata laksana, sejalan dengan standar IAEA, untuk zat radioaktif dan bungkusan tertentu diperlukan proses notifikasi dan validasi persetujuan pengiriman, sertifikat zat radioaktif dan sertifikat desain bungkusan. Proses validasi ini diperuntukan untuk pengangkutan bungkusan tipe B(M) dan tipe lainnya yang berisi bahan fisil (bahan nuklir) di atas batas bahan fisil dikecualikan atau uranium heksafluorida (UF₆) lebih dari 0,1 kg yang dikirim dari luar wilayah Indonesia menuju atau melalui wilayah negara republik Indonesia melalui moda transportasi laut ataupun darat [1]. Pelaksanaan validasi terhadap sertifikat persetujuan tersebut dilakukan untuk zat radioaktif, bungkusan dan persetujuan pengiriman tertentu yang berdasarkan SSR 6-2012 memerlukan *multilateral approval*. Pelaksanaan dari *multilateral approval* itu sendiri dapat dilakukan dengan melakukan validasi sertifikat asli yang dikeluarkan oleh otoritas yang berwenang dari negara asal desain atau pengiriman. Pengesahan tersebut dapat berupa pengesahan pada sertifikat asli atau penerbitan pengesahan terpisah, seperti lampiran, oleh otoritas yang berwenang dari negara yang menjadi tujuan pengiriman [2].

Pengangkutan zat radioaktif selain memperhatikan ketentuan keselamatan dan keamanan dalam PP 58/2015, perlu juga melihat bagaimana ketentuan pengangkutan dalam hal lalu lintas melalui moda

transportasi darat, laut, dan udara. Adapun lalu lintas pengangkutan bahan nuklir telah diatur dalam Konvensi Hukum Laut [3] yang telah disahkan oleh Pemerintah Indonesia melalui UU 17/1985 tentang Pengesahan *United Nations Convention on The Law of The Sea* (Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Hukum Laut) [4]. Oleh karena itu, Indonesia terikat dengan Konvensi Hukum Laut, termasuk dalam hal pengaturan mengenai pengangkutan bahan nuklir.

Dalam studi ini dilakukan analisis aspek hukum dari persyaratan validasi bungkusan di Indonesia yang merupakan adopsi terhadap peraturan transportasi IAEA, SSR-1 2012 dan memberikan rekomendasi terhadap perbaikan yang dapat dilakukan.

Metodologi

Studi ini melakukan analisis terhadap peraturan perundang-undangan mengenai pengangkutan zat radioaktif di Indonesia dan kaitannya dengan aturan pengangkutan lintas batas pada umumnya termasuk standar dari IAEA mengenai keselamatan dalam pengangkutan zat radioaktif.

Landasan Teori

1. Kerangka Regulasi Lalu Lintas Pengangkutan Nasional dan Standar Internasional

Setiap kapal dari negara manapun memiliki hak lintas damai untuk melintasi laut teritorial suatu negara. Hal ini diatur dalam Pasal 17 Konvensi Hukum Laut yang menyatakan bahwa semua negara kapal memiliki hak lintas damai melalui laut teritorial negara lain [4]. Tidak ada keraguan dalam Konvensi Hukum Laut mengenai hak lintas damai ini yang terkesan melanggar kedaulatan suatu negara karena dapat saja melewati perairan suatu negara sepanjang untuk tujuan damai.

Namun, Pasal 23 ayat (2) Konvensi Hukum Laut mengenai alur pelayaran yang boleh dilalui oleh kapal yang membawa bahan nuklir menyatakan kapal bertenaga nuklir dan kapal pengangkut nuklir perlu membatasi lintasnya pada alur laut. Pelaksanaannya di Indonesia kemudian diatur dalam PP 36/2002 [5].

Pasal 11 PP 36/2002 yang mengatur empat alur laut kepulauan Indonesia untuk pengangkutan bahan nuklir yang melewati perairan Indonesia menyatakan kapal asing, kapal bertenaga nuklir, atau kapal pengangkut nuklir asing, dalam melakukan hak lintas damai hanya diperbolehkan untuk melewati alur laut kepulauan Indonesia dan harus melalui jalur laut yang biasa dilalui pelayaran internasional.

Selain itu, untuk aspek nuklir mengenai kapal yang membawa bahan nuklir, Konvensi Hukum Laut juga mengatur dalam Pasal. 23 yang menyatakan bahwa kapal asing bertenaga nuklir dan kapal pengangkut nuklir harus menunjukkan dokumen dan mempertimbangkan tindakan pencegahan khusus yang ditetapkan untuk kapal tersebut oleh perjanjian internasional ketika melakukan hak lintas damai melalui laut teritorial suatu negara.

Dalam konteks Indonesia, Pasal 23 Konvensi Hukum Laut diterapkan dalam Pasal 85 PP 58/2015 yang mengatur tentang penanggung jawab pengangkutan zat radioaktif mengajukan permohonan pemberitahuan dengan beberapa persyaratan yang membuktikan adanya bahan nuklir yang diangkut. Dalam konteks IAEA, ketentuan ini sejalan dengan paragraf 557 sampai 559 dari SSR-6 yang mensyaratkan pemberitahuan dari otoritas yang berwenang.

Selain itu, penanggung jawab pengangkutan zat radioaktif harus memiliki validasi sertifikat persetujuan desain bungkusan sebagaimana diatur dalam Pasal 94 PP 58/2015. Ketentuan ini sejalan dengan paragraf 838 dan 840 dari SSR-6 yang mensyaratkan adanya sertifikat persetujuan desain bungkusan dan validasi sertifikat persetujuan desain bungkusan.

2. Lalu Lintas Pengangkutan Indonesia sebagai Negara Kepulauan

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki posisi geografis yang sangat strategis. Perairan Indonesia yang sangat luas yang lebih luas dari daratan memiliki potensi yang sangat besar, termasuk dalam hal ini jalur pelayaran baik dalam skala nasional maupun internasional.

Indonesia diapit oleh dua benua dan dua samudera. Dalam kaitan ini, Indonesia terhubung langsung melalui darat dan laut dengan beberapa negara di sekitarnya, antara lain melalui laut dengan Australia, Filipina, India, Malaysia, Singapura, Timor Leste, Thailand, Vietnam, dan Papua Nugini.

Keberadaan air di muka bumi sangat memengaruhi peradaban manusia, bahkan sebagai sumber kehidupan, baik sebagai sarana penunjang kehidupan berupa sarana air minum maupun sarana transportasi air untuk kemudahan mobilitas manusia. Landasan yuridis utama atas fakta bahwa Indonesia adalah negara kepulauan, sehingga perlu diatur kekhususan wilayah kepulauan dimuat dalam Pasal 25A UUD 1945 [6].

Indonesia adalah negara kepulauan yang bercirikan kepulauan dengan wilayah-wilayah yang oleh undang-undang ditentukan hak-hak dan batas-batasnya. Keunggulan lainnya, perairan Indonesia merupakan jalur transportasi strategis yang dilalui oleh kapal kargo dari negara-negara Asia dan Eropa yang akan menuju ke Asia Tenggara dan Australia, atau sebaliknya. Selain itu, perairan Indonesia terletak di antara negara-negara penghasil minyak di sebelah barat dan negara-negara konsumen di sebelah Timur, dan Indonesia memiliki ratusan anjungan eksplorasi dan eksploitasi minyak lepas pantai. Posisi strategis ini berdampak besar pada budaya, sosial, politik, dan ekonomi di Indonesia.

Negara kepulauan seperti Indonesia sebagaimana diatur dalam Bagian IV Konvensi Hukum Laut memiliki hak dan kewajiban pemanfaatan perairan kepulauan termasuk laut teritorialnya. Walaupun hak lintas damai diatur dalam Konvensi Hukum Laut, namun tetap harus mengedepankan prinsip keselamatan dengan pendekatan kepercayaan melalui verifikasi.

Indonesia dapat membangun kepercayaan dengan memverifikasi dokumen yang diserahkan oleh penanggung jawab pengangkutan bahan nuklir. Dengan mempraktikkan ketentuan tersebut, selain melindungi keamanan nasional, Indonesia juga menjamin keselamatan barang yang diangkut oleh penanggung jawab pengangkutan bahan nuklir meskipun hanya melewati perairan Indonesia.

Pasal 46 Konvensi Hukum Laut menyepakati bahwa negara kepulauan adalah suatu negara yang seluruh wilayahnya terdiri dari sekurang-kurangnya satu pulau atau lebih dan mencakup pulau-pulau lain. Beberapa negara kepulauan lain selain Indonesia antara lain Filipina, Papua Nugini, Fiji, dan Bahama. Sekitar dua puluh negara mengaku mengklaim negara kepulauan: Vanuatu, Tuvalu, Trinidad & Tobago, Kepulauan Solomon, Seychelles, Sao Tome & Principe, Saint Vincent & the Grenadines, Filipina, Papua Nugini, Kepulauan Marshall, Maladewa, Kiribati, Jamaika, Indonesia, Fiji, Republik Dominika, Komoro, Tanjung Verde, Bahama, dan Antigua & Barbuda [7].

Karena termasuk kualifikasi negara kepulauan, maka laut teritorial Indonesia disebut juga perairan kepulauan Indonesia. Dalam hal ini, kapal yang membawa bahan nuklir memiliki hak lintas damai ketika melintasi perairan kepulauan Indonesia berdasarkan Pasal 52 ayat (1) Konvensi Hukum Laut.

Namun, Pasal 19 Konvensi Hukum Laut mendefinisikan hak lintas damai jika tidak mengganggu perdamaian, ketertiban, atau keamanan negara pantai. Apabila diketahui suatu pelayaran yang melintasi perairan kepulauan Indonesia bukan untuk tujuan damai, Indonesia dapat menanggukahkan hak lintas damai kapal asing di wilayah tertentu perairan kepulauan Indonesia jika hal itu penting untuk perlindungan keamanan. Ketentuan ini diatur dalam Pasal 52 ayat (2) Konvensi Hukum Laut.

3. Alur Laut Kepulauan Indonesia

Merujuk pada Pasal 11 PP 36/2002, kapal asing yang membawa bahan nuklir dalam melakukan hak lintas damai hanya untuk melintasi laut antar laut lepas melalui perairan Indonesia harus melalui jalur laut yang biasa dilalui untuk pelayaran internasional. Oleh karena itu, Indonesia memiliki alur laut kepulauan.

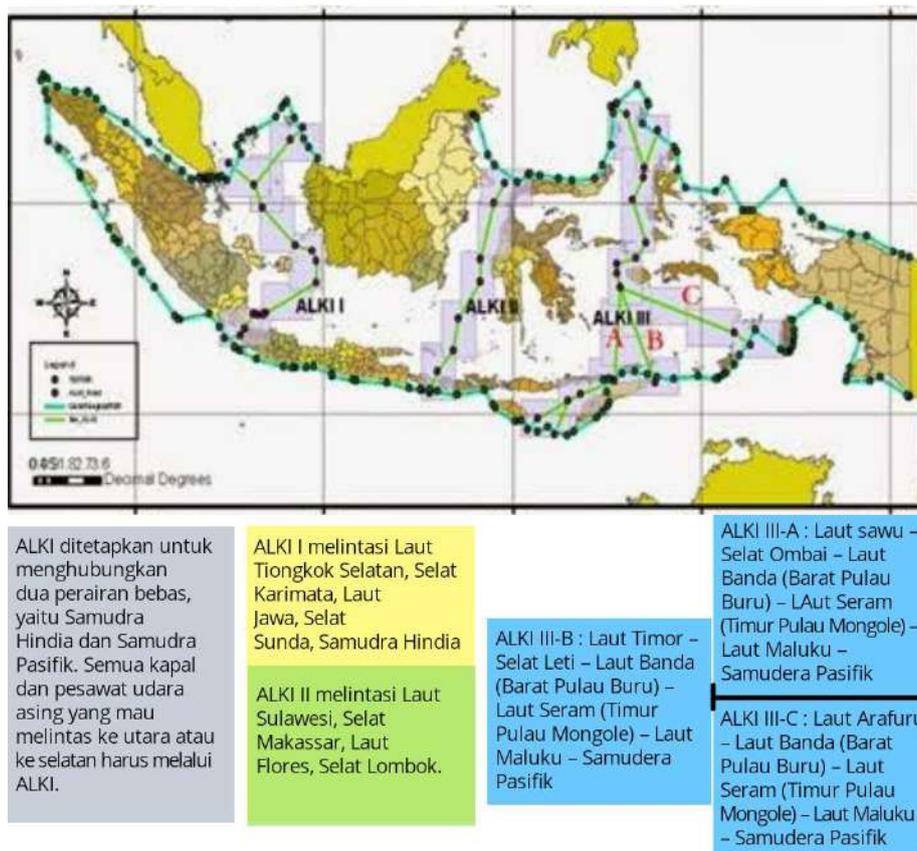
Alur laut kepulauan adalah alur-alur laut yang dilalui oleh pesawat udara asing di atas alur-alur tersebut atau kapal-kapal yang melewati alur-alur tersebut, untuk melakukan penerbangan dan pelayaran dengan cara yang lazim, hanya untuk langsung atau transit, tidak terhalang atau melintas melalui perairan kepulauan dan laut teritorial yang berdampingan antar laut lepas melalui perairan Indonesia. Ketentuan penetapan alur laut kepulauan Indonesia diatur dalam Pasal 53 Konvensi Hukum Laut.

Alur laut kepulauan Indonesia yang telah diputuskan sebagai hak untuk melaksanakan lintas alur laut kepulauan berdasarkan Konvensi Hukum Laut adalah alur penerbangan dan pelayaran yang dapat digunakan oleh pesawat udara asing di laut atau kapal yang melintas untuk melakukan penerbangan dan pelayaran damai dengan cara yang umum. Penetapan alur laut kepulauan Indonesia dimaksudkan agar penerbangan dan pelayaran internasional dapat dilakukan secara langsung, terus menerus, dan secepat mungkin serta tidak terhalang oleh ruang udara dan perairan Indonesia. Alur laut kepulauan Indonesia dirancang untuk menjadi saluran melalui dua laut lepas di sekitar Indonesia. Oleh karena itu, semua pesawat dan kapal asing yang ingin melintas ke selatan atau utara harus melewati alur laut kepulauan Indonesia.

Alur laut kepulauan Indonesia menjadi jalur pelayaran bagi perekonomian dunia yang rentan terhadap kejahatan di laut, seperti pembajakan terhadap kapal dagang dan kapal lain yang bermuatan ekonomi. Dengan penetapan alur laut kepulauan Indonesia, terdapat konsekuensi yang harus dilakukan Pemerintah Indonesia untuk menjamin keselamatan pelayaran dan penerbangan di alur laut kepulauan Indonesia yang telah ditetapkan. Meski dikenal ada empat alur laut kepulauan Indonesia, pada dasarnya terdapat tiga alur laut kepulauan Indonesia yang utama berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 37 tahun 2002 tentang Hak dan Kewajiban Kapal dan Pesawat Udara Asing dalam Melaksanakan Hak Lintas Alur Laut Kepulauan melalui Alur Laut Kepulauan yang Ditetapkan [8]. Jalur percabangan ketiga memungkinkan jalur ini dianggap sebagai satu, dua, atau tiga subjalur.

Sebagai contoh, Selat Lombok merupakan jalur alur laut kepulauan Indonesia kedua (ALKI II) yang digunakan untuk dan sebaliknya pelayaran dari Samudera Hindia di selatan Indonesia ke Samudera Pasifik di utara Indonesia melewati Laut Flores, Selat Makassar, dan Laut Sulawesi. Masing-masing alur laut kepulauan Indonesia memiliki risiko dan ancamannya masing-masing seperti penangkapan ikan secara ilegal dan sumber daya alam lainnya. Selain itu, ada ancaman penyelundupan barang ilegal dan kemungkinan klaim teritorial baru. Alur laut Indonesia disajikan dalam Gambar 1.

ALKI (Alur Laut Kepulauan Indonesia)



Gambar 1. Alur laut kepulauan Indonesia. Sumber <https://geohepi.hepidev.com/>

Keberadaan alur laut kepulauan Indonesia menjadikan hak dan kewajiban yang berlaku bagi kapal asing ketika melewati alur laut kepulauan Indonesia sebagai wilayah hukum Indonesia untuk memenuhi persyaratan yang telah disepakati. Kapal asing yang melakukan hak lintas damai melalui alur laut kepulauan Indonesia harus melintas secepat mungkin dengan cara yang umum, hanya untuk transit langsung, terus menerus, cepat, dan tidak terhalang. Selain itu, kapal asing selama melintas tidak boleh melebihi 25 mil laut dari alur laut kepulauan Indonesia, artinya kapal asing tidak boleh berlayar lebih dekat ke pantai kurang dari 10% jarak terpendek antar pulau di sekitar alur laut kepulauan Indonesia.

Selanjutnya, kapal asing tidak boleh melakukan tindakan apapun yang mengandung ancaman atau perilaku yang berkaitan dengan tindakan kekerasan terhadap kedaulatan Indonesia, atau cara lain yang mendekati atau cenderung melanggar prinsip-prinsip hukum internasional dalam Piagam Perserikatan Bangsa-Bangsa.

Sementara itu, kapal perang militer asing selama berada di jalur alur laut kepulauan Indonesia tidak boleh melakukan latihan perang atau latihan menggunakan segala jenis senjata serta menyiarkan secara tidak sah atau mengganggu sistem telekomunikasi dan komunikasi langsung dengan subjek yang tidak berhak di wilayah Indonesia. Namun demikian, ada pengecualian-pengecualian tertentu yang dapat dilakukan oleh kapal asing apabila berada dalam keadaan yang tidak terduga atau terjadi kecelakaan, sehingga kapal asing yang melewati jalur hak lintas damai dapat bersandar di wilayah Indonesia. Pengecualian ini hanya diperbolehkan jika ada keadaan di luar kemampuan kapal asing tersebut.

Kemungkinan terjadinya kecelakaan inilah yang dapat mengakibatkan situasi berbahaya di sekitar lokasi kecelakaan. Misalnya, ketika terjadi kecelakaan kapal yang mengakibatkan pelepasan radioaktif di Selat Lombok, bukankah akan terjadi sesuatu yang merugikan setidaknya bagi lingkungan di Selat Lombok? Mengingat Bali merupakan salah satu provinsi yang berbatasan langsung dengan Selat Lombok dan juga mempertimbangkan aspek keselamatan dan keamanan karena Bali merupakan kawasan wisata utama di Indonesia, bagaimana peran pemerintah daerah di

Bali dalam menghadapi kemungkinan tersebut? Koordinasi dengan instansi terkait, terutama instansi pemerintah pusat, mutlak diperlukan dalam hal ini, termasuk menaati semua peraturan perundang-undangan mengenai penanggulangan kecelakaan radiasi.

Hasil dan Pembahasan

Ketentuan mengenai hak lintas damai dalam Konvensi Hukum Laut membuktikan bahwa selain memiliki kebebasan untuk melintas, kapal asing juga harus menghormati kedaulatan suatu negara. Karena kata kunci yang menjadi poin utama dalam pelayaran ini adalah keamanan, maka ketika suatu negara merasa ada ancaman keamanan terhadap kedaulatannya, maka negara tersebut berhak untuk mempertahankan diri.

Ini adalah suatu hal yang penting karena kedaulatan negara di atas segalanya. Hal ini juga menegaskan hubungan hukum nasional dan hukum internasional. Hukum internasional seperti perjanjian internasional misalnya, hanya berlaku bagi suatu negara apabila mengesahkannya ke dalam peraturan nasional negara tersebut.

Jalur pengangkutan zat radioaktif termasuk bahan fisil atau bahan nuklir tidak berbeda dengan jalur pengangkutan lainnya. Perbedaannya hanya pada tingkat keselamatan dan keamanan yang harus dipenuhi untuk memastikan bahwa bahan nuklir dan zat radioaktif yang diangkut memenuhi standar keselamatan dan keamanan tertentu sehingga tidak menimbulkan bahaya radiasi selama pengangkutan berlangsung.

Dalam pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif dengan hak lintas damai melalui alur laut kepulauan Indonesia, terdapat beberapa ketentuan pengiriman yang memerlukan pemberitahuan dari pengirim kepada Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), antara lain: bungkusan tipe B(U) berisi zat radioaktif dengan aktivitas lebih dari 3000A1 atau 3000A2 atau 1000 TBq. Ketentuan ini diatur dalam Pasal 84 PP 58/2015 yang sejalan dengan paragraf 558 dari SSR-6. Adapun untuk penerbitan surat pemberitahuan, telah diatur mengenai persyaratan-persyaratan, antara lain uraian zat radioaktif dan bungkusan yang diangkut.

Selain itu, terdapat ketentuan mengenai sertifikat persetujuan desain bungkusan dan validasi sertifikat persetujuan desain bungkusan, sebagaimana diatur dalam Pasal 94 PP 58/2015, antara lain: bungkusan tipe B(M). Hal ini sejalan dengan paragraf 838-840 dari SSR-6. Sebagai penegasan, jenis zat radioaktif yang diatur dalam PP 58/2015 meliputi bahan fisil yang didefinisikan sebagai bahan yang mengandung salah satu nuklida fisil: plutonium-241, plutonium-239, uranium-235 dan/atau uranium-233 lebih dari total 0,25gram seperti dalam Pasal 1 angka 8 PP 58/2015 dan sejalan dengan paragraf 222 dari SSR-6 [2].

Kewajiban untuk memiliki sertifikat persetujuan desain bungkusan dan validasi sertifikat persetujuan desain bungkusan bagi pengangkut zat radioaktif dan bahan nuklir yang akan melewati perairan Indonesia telah sesuai dengan peraturan perundang-undangan dan standar internasional. Akan tetapi, terdapat amanat lain di peraturan perundang-undangan yang menetapkan adanya tarif PNBP sebesar Rp 2.200.000,00 untuk setiap validasi sertifikat persetujuan desain bungkusan.

PP 42/2022 [9] disusun untuk pengenaan tarif pada kegiatan pelayanan yang dilakukan oleh BAPETEN. Penyusunan dan penetapan PNBP pada BAPETEN dirumuskan oleh BAPETEN sebagai pemrakarsa berkoordinasi dengan Kementerian Keuangan. Berdasarkan Peraturan Menteri Keuangan No. 113 Tahun 2021 (PMK No. 113/PMK.02/2021) tentang Tata Cara Penyusunan Usulan, Evaluasi Usulan dan Penetapan PNBP yang merupakan turunan dari Peraturan Pemerintah No. 69 Tahun 2020 tentang Tata Cara Penetapan PNBP objek PNBP dapat berasal dari pemanfaatan sumber daya alam, pelayanan, pengelolaan barang milik negara berupa penggunaan barang milik negara, pengelolaan dana, dan hak negara lainnya [10]. PNBP pada BAPETEN ini berasal dari kegiatan pelayanan dan juga pengelolaan barang milik negara berupa penggunaan barang milik negara. Komponen perhitungan tarif dilakukan dengan mempertimbangkan biaya langsung seperti biaya tenaga, bahan, daya dan jasa dan pemeliharaan serta biaya tidak langsung seperti biaya pengawasan, administrasi, dan pengembangan sistem.

Validasi terhadap suatu sertifikat yang dikeluarkan negara asal adalah suatu kegiatan perizinan atau persetujuan yang membutuhkan evaluasi atas kebenaran atas sertifikat yang diajukan. Ini merupakan suatu bentuk pengakuan dari badan pengawas bahwa benar menyetujui bungkusan dengan sertifikat persetujuan desain tersebut dapat masuk ke dalam wilayah Indonesia karena telah sesuai dengan standar internasional. Sehingga penetapan tarif terhadap biaya layanan ini valid dilakukan, namun tentu harus didukung dengan prosedur serta sistem yang memadai. Dasar hukum dalam pelaksanaan kegiatan validasi terhadap sertifikat persetujuan pengiriman negara asal, sertifikat desain zat radioaktif, dan bungkusan zat radioaktif dalam PP 58/2015 sudah jelas namun saat ini belum tersedia prosedur atas pelaksanaan kegiatan tersebut.

Skema layanan untuk proses pengajuan validasi harus disusun sedemikian rupa sehingga sebelum barang kiriman tersebut masuk ke daerah pabean Indonesia, pengirim dapat mudah dalam mengajukan layanan hingga pembayaran PNBP dari luar Indonesia. Proses validasi menurut PP 58/2015 dilakukan sebelum barang kiriman tersebut memasuki kawasan pabean Negara Kesatuan Republik Indonesia. Dokumen yang perlu dilengkapi harus disampaikan secara tertulis yang meliputi identitas pemohon, jadwal kedatangan, rute pengangkutan, sertifikat atau salinan sertifikat yang diterbitkan otoritas pengawas negara asal atau negara yang sudah dilalui sebelumnya, dan deskripsi bungkusan. Setelah menerima permohonan ini, BAPETEN melakukan proses penilaian selama 5 (lima) hari kerja kemudian jika diterima maka dalam jangka waktu maksimal 3 (tiga) hari kerja, BAPETEN menerbitkan validasi terhadap persetujuan desain bungkusan tersebut. Juga ditentukan bahwa validasi sertifikat ini berlaku paling lama 3 (tiga) bulan namun hanya untuk satu kali transit, melalui, dan/atau singgah. Gambar 2 memberikan ilustrasi bagaimana proses alur validasi menurut PP 5/2015.



Gambar 2. Ilustrasi proses pengajuan validasi berdasarkan PP 58/2015. Sumber gambar bungkusan, kapal dan peta: by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC](#) and [CC BY-SA](#)

Melihat pengaturan negara lain, contohnya India, yang juga mengadopsi standar keselamatan pengangkutan IAEA, terdapat pengaturan *multilateral approval* yang memuat persyaratan yang sama dengan yang terdapat dalam dokumen keselamatan pengangkutan zat radioaktif IAEA. Namun dalam dokumen yang diterbitkan tahun 2016 tersebut tidak dijelaskan bagaimana proses untuk mendapatkan persetujuan pengiriman *multilateral approval* dan tidak disebutkan bagaimana penerbitan *multilateral approval* dilakukan, apakah melalui proses validasi seperti halnya di Indonesia atau tidak [11].

Dari Gambar 2 dapat terlihat bahwa pengajuan aplikasi tertulis dari pengirim dari luar negeri dilakukan sebelum bungkusan masuk ke dalam wilayah NKRI. Mekanisme bagaimana pengajuan

permohonan ini belum tersedia dan juga bagaimana mereka harus melakukan pembayaran tersebut dari luar negeri. Proses ini mungkin bisa melihat dari proses pembayaran visa elektronik dimana orang asing dapat melakukan pengajuan permohonan dari luar Indonesia dan melakukan pembayaran untuk setiap permohonan tersebut [12]. Untuk itu diperlukan koordinasi instansi berwenang diantaranya BAPETEN, Kementerian Perhubungan c.q. Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Kementerian Keuangan c.q. Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Badan Keamanan Laut, Kepolisian Republik Indonesia c.q. Direktorat Polisi Perairan, dan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut untuk membuat mekanisme yang jelas dan sistem yang memudahkan pengirim asing untuk melakukan proses permohonan dan pembayaran PNBP. Koordinasi ini juga penting dalam rangka merespons kemungkinan terjadinya kecelakaan di jalur alur laut kepulauan Indonesia. Koordinasi dengan instansi pemerintah pusat adalah kunci dalam konteks ini untuk memastikan keselamatan dan keamanan bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan.

Kesimpulan

Pelaksanaan pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif melalui perairan kepulauan berdasarkan Konvensi Hukum Laut dan peraturan perundang-undangan nasional Indonesia tidak dapat dipisahkan dari keselarasan hukum nasional dan internasional. Konvensi Hukum Laut telah sejalan dengan peraturan perundang-undangan nasional Indonesia yang mengacu pada standar IAEA SSR-6. Pengangkutan zat radioaktif termasuk bahan nuklir merupakan kegiatan yang sering dilakukan mengingat luasnya cakupan pemanfaatan tenaga nuklir baik dalam skala nasional maupun internasional. Dengan penyelarasan kerangka hukum internasional dan nasional tentang pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif melalui perairan kepulauan berdasarkan Konvensi Hukum Laut, peraturan perundang-undangan nasional Indonesia dan SSR-6, diharapkan proses pengangkutan oleh kapal asing benar-benar dapat dilakukan dalam konteks hak lintas damai. Kapal asing yang akan melakukan pengangkutan zat radioaktif dan bahan nuklir melalui perairan Indonesia telah diwajibkan untuk memenuhi persyaratan sebagaimana diatur dalam PP 58/2015. Kewajiban untuk memiliki sertifikat persetujuan desain bungkusan dan validasi sertifikat persetujuan desain bungkusan bagi pengangkut zat radioaktif dan bahan nuklir yang akan melewati perairan Indonesia telah sesuai dengan peraturan perundang-undangan dan standar internasional. Namun untuk penerapannya perlu dibangun prosedur proses validasi yang jelas baik dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris sebagaimana yang sudah diatur dalam PP 58/2015. Ini termasuk membangun sistem yang memungkinkan pengirim dari luar negeri dapat mengajukan permohonan dan melakukan pembayaran PNBP. Koordinasi antar instansi berwenang terkait di antaranya BAPETEN, Ditjen Hubla Kemenhub, DJBC Kemenkeu, Bakamla, Ditpolair Korpolaairud Baharkam Polri, dan TNI AL diperlukan dalam penyusunan dan penerapan dalam penyusunan dan penerapan sistem otorisasi atau validasi ini.

Daftar Pustaka

- [1] Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif*. 2015.
- [2] *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - 2012 Edition*. 2012, Vienna: International Atomic Energy Agency.
- [3] PBB, *Konvensi Hukum Laut*. 1982(10 Desember 1982).
- [4] Indonesia, *UU No. 17 Tahun 1985 tentang Pengesahan United Nations Convention on The Law of The Sea (Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Hukum Laut)* 1985.
- [5] Indonesia, *PP No. 36 Tahun 2002 tentang Hak Dan Kewajiban Kapal Asing Dalam Melaksanakan Lintas Damai Melalui Perairan Indonesia*. 2002.
- [6] Indonesia, *Undang-undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945*. 1945: t.
- [7] *International Law Studies, Negara Kepulauan*. Vol. 12. 2021, in *Studi Hukum Internasional*. 2021.
- [8] Indonesia, *Peraturan Pemerintah No. 37 tahun 2002 tentang Hak dan Kewajiban Kapal dan Pesawat Udara Asing dalam Melaksanakan Hak Lintas Alur Laut Kepulauan melalui Alur Laut Kepulauan yang Ditetapkan*. 2002.
- [9] Indonesia, *PP No. 42 Tahun 2022 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir*. 2022.

- [10] Indonesia, *Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia No. 113/PMK.02/2021 tentang Tata Cara Penyusunan Usulan, Evaluasi, dan Penetapan Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak*. 2021.
- [11] India, G.o., *AERB Safety Code No. AERB/NRF-TS/SC-1 (Rev.1) on Safe Transport of Radioactive Material* 2016.
- [12] *Direktorat Jenderal Imigrasi Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia, Visa Kunjungan Saat Kedatangan Elektronik (B213)*. Available from: <https://www.imigrasi.go.id/en/e-voa/>.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Bahaya Abu Vulkanik Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango pada Kawasan Nuklir Serpong

Abimanyu Bondan WS¹, Sufiana Solihat¹, Yuni Indrawati¹, Akhmad Muktaf Haifani¹

¹*Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Serpong*

Korespondensi penulis:

abim002@brin.go.id

Abstrak

Kawasan Nuklir Serpong adalah salah satu kawasan pusat penelitian dan pengembangan ketenaganukliran. Pada radius kurang dari 50 km dari kawasan ini terdapat 2 gunung api aktif dengan tipe A yaitu Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango yang menyebabkan kawasan tersebut rawan akan bencana vulkanik dari kedua gunung tersebut. Bahaya yang mungkin dapat mencapai Kawasan Nuklir Serpong adalah bahaya abu vulkanik (*tephra*), sehingga diperlukan analisa sebaran dan bahaya yang mungkin terjadi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah memodelkan pola sebaran abu vulkanik yang terjadi dengan pemodelan numerik dengan perangkat lunak Ash3D. Hasil pemodelan meliputi *Airborne Simulation* dan *Deposit Simulation*. Analisis yang telah dilakukan menghasilkan pola sebaran abu vulkanik yang cenderung mengarah ke Utara-Barat Laut. Abu vulkanik hasil erupsi Gunung Salak berkisar antara 10-30 mm dengan waktu tiba 5 jam setelah erupsi terjadi, sedangkan abu vulkanik Gunung Gede-Pangrango berkisar antara 3-10 mm dengan waktu tiba di Kawasan Nuklir Serpong 4.5 jam setelah erupsi terjadi. Bahaya yang mungkin terjadi pada Kawasan Nuklir Serpong adalah kekuatan dukung atap bangunan akibat pembebanan abu, sistem kelistrikan dan mesin untuk beberapa instalasi dan laboratorium yang berada di Kawasan Nuklir Serpong

Kata Kunci: bahaya, abu vulkanik, kawasan nuklir serpong

Abstract

Serpong Nuclear Area is a center for nuclear research and development. Mount Salak and Mount Gede-Pangrango are 2 active volcanoes at a radius less than 50 km from the area, which makes the area prone to volcanic disasters from these two mountains. The hazard that might reach the Serpong Nuclear Area is volcanic ash (tephra), it is necessary to analyze the distribution and hazards that may occur. The method used in this research is to perform numerical simulation to describe the pattern of distribution of volcanic ash with the Ash3D software. Modeling results include airborne simulation and deposit simulation. The result of the analysis produces a pattern of distribution of volcanic ash that tends to lead to the North-Northwest. Volcanic ash resulting from the eruption of Mount Salak ranged from 10-30 mm, arrived in the Serpong Nuclear Area 5 hours after the eruption and 3-10 mm for Mount Gede-Pangrango, and arrived 4.5 hours after eruption. The danger that may occur in the Serpong Nuclear Area is the bearing strength of the roof of the building due to ash loading, electrical systems and machines for several installations and laboratories located in the Serpong Nuclear Area.

Keywords: *tephra, hazard, serpong nuclear area*

Pendahuluan

Kawasan Nuklir Serpong (KNS) merupakan salah satu pusat penelitian dan pengembangan yang didalamnya terdapat fasilitas penelitian dan pengembangan teknologi nuklir. Fasilitas ini didirikan

untuk mendukung pengembangan industri nuklir di Indonesia dan mempersiapkan pembangunan dan pengoperasian pembangkit listrik tenaga nuklir. Kawasan ini memiliki banyak fasilitas penting, termasuk didalamnya Reaktor Serbaguna GA Siwabessy (RSG-GAS) dengan kapasitas 30 MW. Selain itu terdapat juga Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif, Instalasi Radioisotop dan Radiofarmaka, Instalasi Perakitan Bahan Bakar Eksperimental, Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif dan Instalasi Nuklir Bekas untuk bahan bakar, radio metalurgi. Fasilitas penelitian di Kawasan Nuklir Serpong dibangun dan didesain sesuai dengan keselamatan yang telah diatur oleh standar peraturan yang ada pada peraturan nasional maupun internasional[1][2][3].

Aspek keselamatan dalam teknologi reaktor nuklir meliputi tapak, konstruksi dan pemilihan teknologi [4]. Satu dari aspek keamanan tapak yang penting adalah aspek vulkanologi, karena peristiwa vulkanik dapat terjadi sebelum, pada saat, dan sesudah letusan gunung berapi yang berpotensi menimbulkan ancaman bahaya terhadap salah satu kawasan nuklir[5]. Peristiwa vulkanik adalah fenomena vulkanik yang dapat terjadi sebelum, selama, dan setelah erupsi yang berpotensi menimbulkan ancaman bahaya. Fenomena gunung api yang menghasilkan potensi ancaman terhadap keselamatan tapak atau instalasi nuklir, secara umum dapat dikategorikan menjadi 14 jenis potensi bahaya, potensi ancaman tersebut diantaranya adalah bahaya abu vulkanik/tephra[2]. Evaluasi bahaya vulkanologi biasanya dilakukan dengan pendekatan deterministik maupun probabilistik untuk mengetahui potensi bahaya dari suatu gunung api. Karakteristik vulkanisme dan evolusi dari suatu gunung api diperlukan untuk memahami sistem magmatisme, diatrema, karakteristik kimiawi magma dan kekuatan erupsi. Karakteristik vulkanisme dan evolusi gunung berapi bisa menjadi dasar penentuan bahaya gunung api dan evaluasi potensi reaktivasi vulkanisme di masa mendatang. Jika gunung berapi memiliki kemampuan untuk meletus di masa depan, maka serangkaian investigasi yang lebih detail harus dilakukan sebagai perkiraan penilaian atau evaluasi bahaya gunung berapi[2]. Analisa sebaran dan bahaya abu vulkanik sudah banyak dikaji oleh peneliti terdahulu, seperti sebaran dan bahaya abu vulkanik terhadap calon tapak di Semenanjung Muria[6], efek abu vulkanik oleh erupsi Gunung Kelud terhadap infrastruktur[7], serta efek abu vulkanik yang dihasilkan erupsi Gunung Pinatubo terhadap wilayah sekitarnya[8], oleh karena itu analisa sebaran abu vulkanik terhadap fasilitas nuklir juga perlu dilakukan.

Pada radius 50 km dari Kawasan Nuklir Serpong terdapat beberapa gunung api dengan umur diatas Miosen sampai Holosen atau berumur 10 juta tahun. beberapa gunung api merupakan gunung api aktif[9][10]. Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango merupakan 2 gunung api aktif dengan tipe A dengan riwayat letusan eksplosif yang pernah tercatat. Gunung Salak memiliki jarak 45 km dari Kawasan Nuklir Serpong. sejarah erupsi Gunung Salak yang pernah tercatat adalah letusan pada tahun 1668-1699, 1780, 1902-1903, 1935, 1938[11]. Sedangkan Gunung Gede-Pangrango memiliki riwayat vulkanisme yang lebih intensif. setidaknya gempa vulkanik swarm tercatat pada periode tahun 1990, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2000, 2007, 2010, 2011, dan 2012[12]. Diperkirakan Gunung Gede meletus dan melontarkan ~0,3 km³ magma selama 10.000 tahun terakhir. hal itu menunjukkan kemungkinan volume besar di masa depan ($VEI \geq 5$). Misalnya, letusan terkuat gunung berapi di Holosen adalah VEI 3-4 dengan 0,15 km³ material piroklastik yang dikeluarkan[13]. Tujuan dari penelitian ini adalah memodelkan sebaran abu vulkanik yang bersumber dari Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango dan mengidentifikasi bahaya abu vulkanik terhadap Kawasan Nuklir Serpong. Berdasarkan dari lokasi Kawasan Nuklir Serpong yang terletak jauh dari kedua Gunung ini menyebabkan bahaya sekunder produk erupsi berupa abu vulkanik hasil erupsi sampai ke Kawasan Nuklir Serpong yang berpotensi mengganggu operasional dari Kawasan penelitian ini. Sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai bahaya abu vulkanik terhadap fasilitas penelitian yang berada pada kawasan penelitian ini untuk mengantisipasi letusan besar dari Gunung Gede dan Gunung Gede-Pangrango di masa mendatang.

Teori

Tephra, atau abu vulkanik, adalah material lepas dari semua ukuran yang dihasilkan dalam letusan aliran piroklastik dan merupakan istilah umum untuk semua jenis ukuran butir piroklastik. Semakin besar ukuran dan kerapatannya, semakin dekat material ini diendapkan ke pusat erupsi dan sebaliknya. Karena tephra berinteraksi dengan kondisi atmosfer dalam jangka waktu yang lama sebelum pengendapan, pergerakan tephra sangat dipengaruhi oleh arah dan kekuatan angin[14]. Seperti gas dan polutan mikro, tephra dapat disimulasikan menggunakan teori adveksi-difusi, di mana

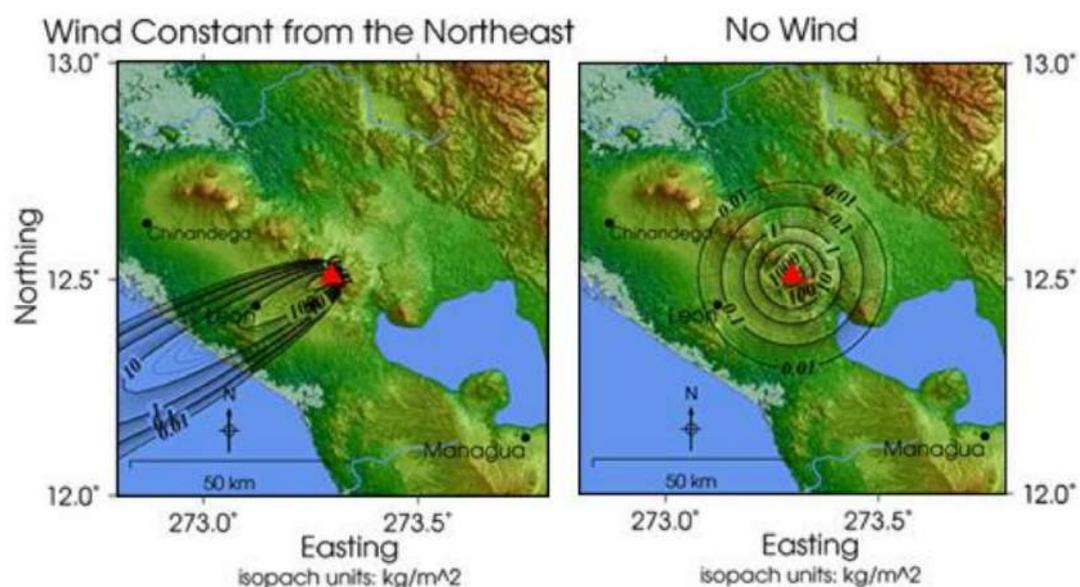
distribusi kontaminan dengan ukuran berbeda disebarkan oleh arus eddy, angin, atau kombinasi dari kedua proses ini. Jika kita mengasumsikan bahwa dalam suatu volume udara, volume tephra tidak signifikan dibandingkan dengan volume udara, konversi massa dapat ditulis dalam bentuk konsentrasi tephra, q , atau massa per satuan volume, dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot ((\mathbf{u} + \mathbf{v}_s)q) = 0 \quad (1)$$

Dimana q adalah konsentrasi ukuran butir tertentu, u adalah kecepatan, V_s adalah kecepatan pengendapan dari partikel abu. Total konsentrasi tephra terdiri dari abu ditunjukkan oleh ukuran butir abu vulkanik total, dimana adveksi setiap ukuran butir dihitung secara independen[15]. Pada perangkat lunak Ash3D kalkulasi sebaran abu vulkanik didapatkan dengan perhitungan adveksi-difusi dengan persamaan 1 sebagai input distribusi abu pada atmosfer. Selain itu pada kondisi transport partikel abu digunakan persamaan sebagai berikut

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot ((\mathbf{u} + \mathbf{v}_s)q) - \nabla \cdot (K\nabla q) = Q, \quad (2)$$

Dimana u adalah vektor angin, v_s adalah kecepatan pengendapan, K adalah difusifitas dan Q adalah sumber yang nialinya sekalin nol dan berada diatas vent gunung api. Kondisi selanjutnya adalah deposisi, perangkat lunak Ash3D melacak fluks massa setiap butir abu vulkanik sampai jatuh pada permukaan topografi dan dianggap ditempat itulah abi vulkanik diendapkan. Kondisi meteorologi di sekitar gunung api sangat menentukan ke arah mana dan seberapa jauh material vulkanik akan tersebar dan diendapkan. Seperti terlihat pada Gambar 1, kondisi tanpa faktor angin distribusi endapan pada luasan sebaran yang radial di sekitar kerucut gunung api dan ketebalan lapisan endapan akan menipis menjauhi pusat erupsi, namun endapan abu yang terbawa oleh angin akan mengubah dimensi distribusi endapan dengan jangkauan yang lebih jauh searah angin[16]. Transport tephra di udara dan pengendapan ke permukaan tanah merupakan hasil dari beberapa mekanisme, diantaranya sedimentasi dan deposisi. Ash3D menghitung akumulasi pengendapan melalui sedimentasi. ketebalan abu vulkanik dihitung dengan melacak fluks abu ke topografi, dan direpresentasikan sebagai massa per satuan luas [17].

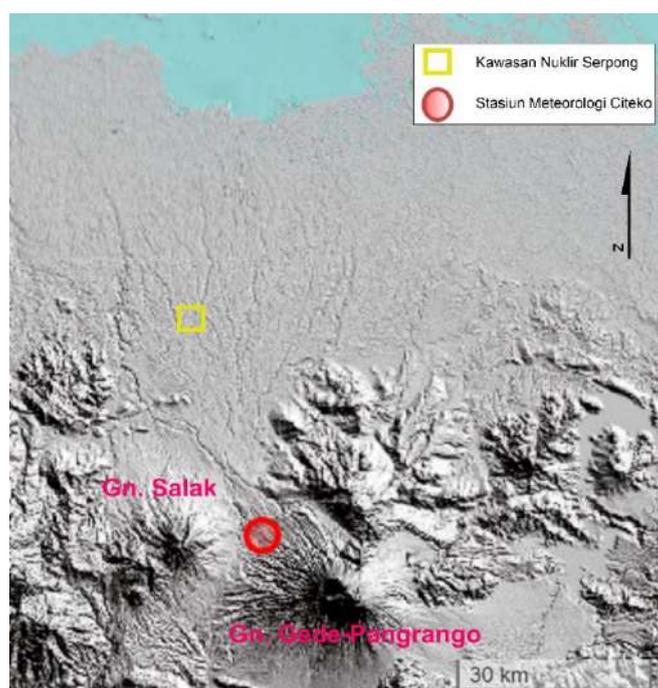


Gambar 1. Pemodelan sebaran abu vulkanik menggunakan dengan menggunakan 2 model angin yang berbeda[18]

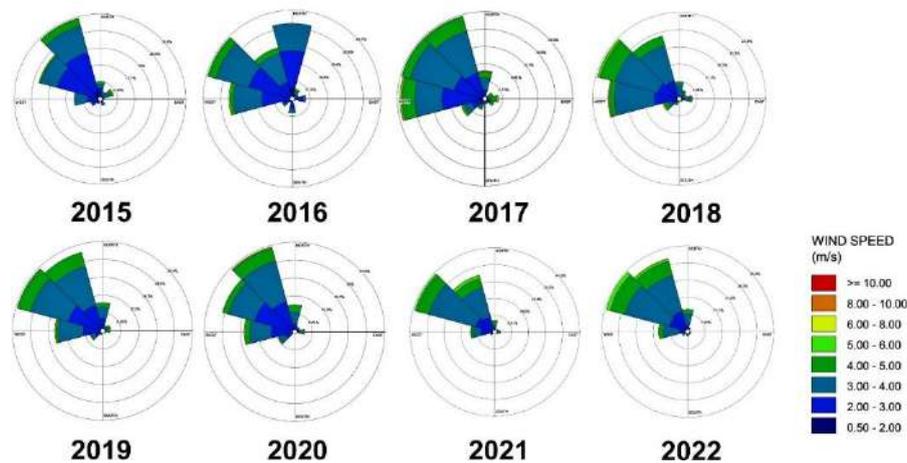
Metode

Pemodelan sebaran abu vulkanik dilakukan analisa numerik dengan menggunakan perangkat lunak Ash3D. Ash3D adalah suatu perangkat lunak untuk melakukan simulasi numerik sebaran abu vulkanik dari suatu gunung api. Ash3D adalah sebuah model Eulerian yang menggunakan medan angin dari model NWP hingga menghitung transportasi abu vulkanik. Ash3D menyediakan berbagai keluaran yang dapat digunakan dalam penelitian dan situasi operasional. Output Ash3D termasuk file data deposit, waktu kedatangan, properti awan dan ketebalan. Hasil keluaran tersedia pada format spasial sehingga dapat diolah pada perangkat lunak GIS untuk diolah menjadi informasi lebih lanjut[17]. Ash3D dapat diakses secara open source pada laman <http://vsc-ash.wr.usgs.gov>. Data yang diperlukan dalam input parameter pada software adalah data karakteristik letusan dan data meteorologi berupa data arah dan kecepatan angin saat erupsi terjadi. Simulasi dilakukan dengan 2 tipe run model pada software Ash3D yaitu airborne simulation dan deposit simulation. Airborne simulation hanya memodelkan pola persebaran awan abu vulkanik, sedangkan Deposit simulation memodelkan pola sebaran endapan abu vulkanik. Airborne simulation hanya menggunakan ukuran butiran halus tunggal (0,01 mm) dengan kecepatan pengendapan yang dapat diabaikan dan dimaksudkan untuk mensimulasikan hanya pergerakan awan, bukan pengendapan abu. Sedangkan Deposit Simulation menggunakan tujuh ukuran butir (4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,126, dan 0,0625 mm) yang cukup besar untuk mengendap, simulasi berhenti menghitung setelah 99% abu mengendap, dan hanya menghitung transportasi di dekat gunung berapi di mana deposit mungkin jatuh, dan mengabaikan pergerakan awan distal. Untuk perhitungan Deposit simulation mengasumsikan berat jenis abu vulkanik adalah 1000 kg/m^3 .

Data meteorologi diperoleh dari data BMKG yang ada di stasiun pengamatan meteorologi Citeko yang berlokasi di Cisarua Kabupaten Bogor. Stasiun ini dipilih karena terdapat diantara kedua Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango dan merupakan stasiun pencatat data meteorologi paling dekat dengan kedua gunung tersebut sehingga data dari stasiun ini dianggap mencerminkan data angin di wilayah kedua gunung api. Lokasi stasiun meteorologi dapat dilihat pada Gambar 2. Data diambil dalam kurun waktu 8 tahun dari tahun 2015 – 2022. Profil angin yang dijadikan input adalah angin paling ekstrem yang pernah terjadi dalam kurun waktu tersebut dan mengarah ke Lokasi Kawasan Nuklir Serpong. Profil angin dapat dilihat pada Gambar 3. Dari data pengamatan yang diperoleh dalam kurun waktu 8 tahun arah angin mayoritas mengarah ke Utara – Barat laut. Kecepatan angin terbesar adalah 12 m/s yang terjadi pada bulan November 2022. Namun untuk kecepatan angin terbesar yang tercatat mengarah ke Kawasan Nuklir Serpong adalah sebesar 8 m/s yang terjadi pada 21 Februari 2015, maka tanggal dan jam ini akan dijadikan acuan untuk melakukan simulasi erupsi pada Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango.



Gambar 2. Lokasi stasiun meteorologi Citeko



Gambar 3. Profil angin pada kurung waktu 2015-2022 di sekitar Gunung Salak dan Gunung Gede Pangrango

Perangkat lunak Ash3D memerlukan waktu spesifik erupsi dan karakteristik erupsi untuk melakukan simulasi sebaran abu vulkanik. Pada penelitian ini digunakan parameter dari erupsi Gunung Kelud yang terjadi pada tahun 2014. Erupsi Gunung Kelud tahun 2014 dipilih menjadi parameter input dikarenakan memiliki rekaman data yang lengkap dan Gunung Kelud memiliki kesamaan sifat fisik seperti seting tektonik, tipe gunung api dan sifat magma terhadap Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango. Parameter yang diambil sebagai input parameter adalah jumlah total massa tererupsi, waktu lamanya erupsi, dan ketinggian kepulan abu vulkanik (*plume*) yang terjadi saat erupsi[19]. Input parameter pada Ash3D untuk kedua gunung api dapat dilihat pada Tabel 1. Validasi model dilakukan dengan melakukan komparasi hasil model dengan Erupsi Gunung Spurr pada tahun 1992 dengan menggunakan perangkat lunak Ash3D[15], pada kajian tersebut menunjukkan bahwa hasil model mendekati dengan sebaran abu vulkanik sebenarnya berdasarkan hasil sampling lapangan dan satelit. Maka hasil model dengan software Ash3D dapat merepresentasikan hasil yang serupa termasuk dengan hasil model dalam penelitian ini.

Tabel 1. Input parameter erupsi Gunung Salak dan Gunung Gede Pangrango

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Nama gunung api	Salak	Nama gunung api	Gede-Pangrango
Easting	6.716°S	Easting	6.786°S
Northing	106.733°E	Northing	106.983°E
Ketinggian (m)	2218	Ketinggian (m)	3026
Waktu erupsi	21/02/2015; 07.00 WIB	Waktu erupsi	21/02/2015; 7.00 WIB
Durasi simulasi	24 jam	Durasi simulasi	24 jam
Durasi erupsi	3 jam	Durasi erupsi	3 jam
Ketinggian plume (m)	17000	Ketinggian plume (m)	17000
Total massa tererupsi (kg)	0.219 km ³	Total massa tererupsi (kg)	0.219 km ³

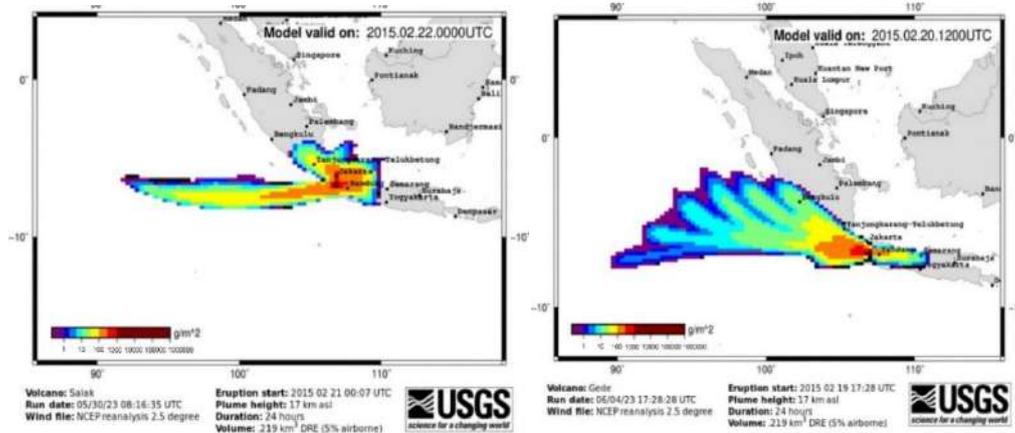
Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan pemodelan sebaran abu vulkanik terhadap Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango didapatkan hasil yang cukup mirip untuk arah dan sebaran awan pembawa tephra dan endapan abu vulkanik secara spasial. Kedua hasil simulasi untuk kedua gunung menunjukkan pola sebaran ke arah Utara –Barat Laut – Barat. Hal ini sangat dipengaruhi oleh arah angin yang berhembus ke arah tersebut.

Simulasi Airborne

Untuk hasil simulasi Airborne menunjukkan kedua gunung api memiliki pola sebaran yang berbeda meskipun memiliki kecenderungan arah yang sama. Sebaran awan hasil erupsi Gunung Gede Pangrango menunjukkan dimensi yang lebih luas daripada hasil erupsi gunung Salak. Hasil pemodelan Airborne juga dapat memperkirakan waktu tiba awan tephra. Awan tephra hasil erupsi Gunung Salak

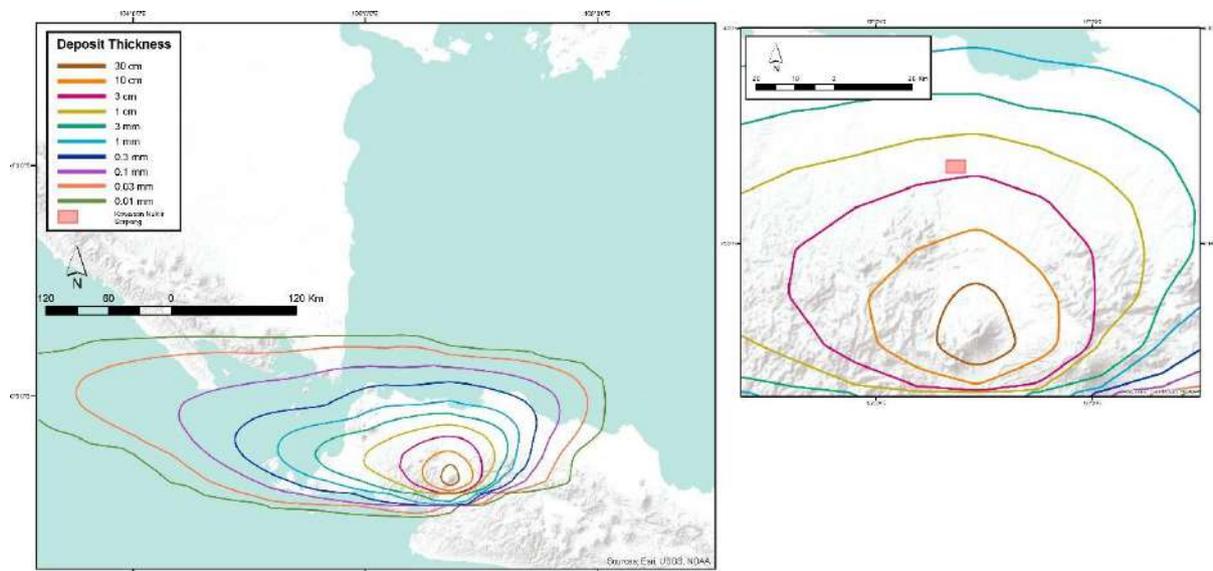
akan mencapai Kawasan Nuklir Serpong setelah 5 jam 10 menit setelah erupsi terjadi. Sedangkan awan tephra hasil erupsi Gunung Gede-Pangrango akan mencapai Kawasan Nuklir Serpong dalam waktu 4 jam 30 menit setelah erupsi terjadi. Gambar 4 menunjukkan pola sebaran hasil simulasi airborne.



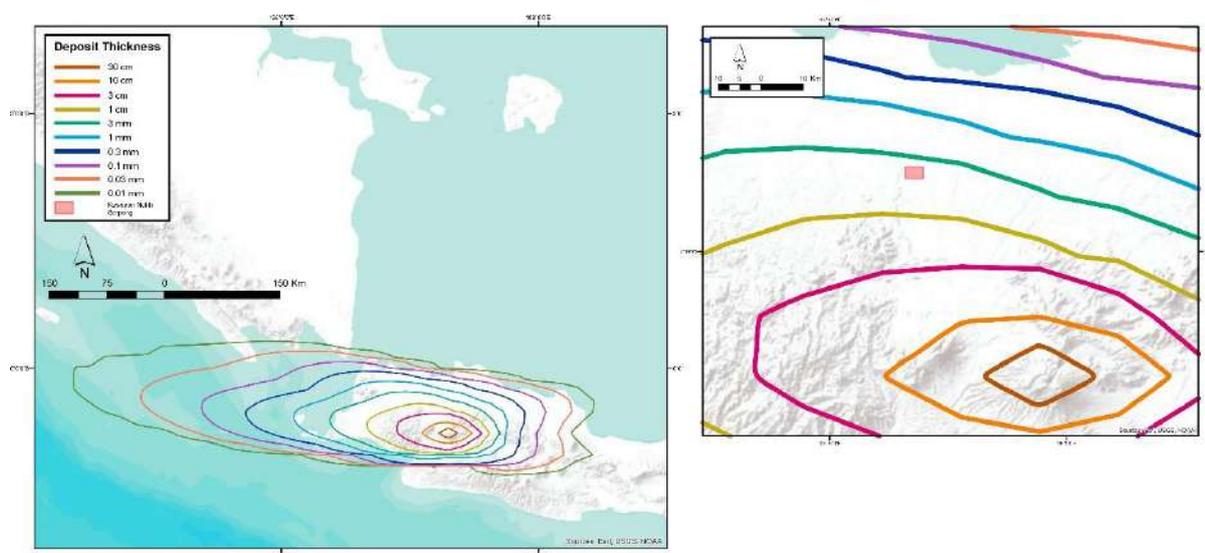
Gambar 4. Pola sebaran awan dengan abu vulkanik hasil pemodelan airborne simulation

Simulasi Deposit

Hasil pemodelan dengan menggunakan Deposit Simulation menghasilkan pola sebaran endapan yang cukup mirip dari kedua gunung api. Pola sebaran endapan menyebar ke arah Utara-Barat Laut dari sumber erupsi, dengan ketebalan maksimal sebesar 30 cm yang terendapkan di sekitar puncak gunung api dan semakin menipis seiring bertambahnya jarak. Endapan abu vulkanik ditunjukkan dengan garis kontur yang merepresentasikan besaran ketebalan. Hasil erupsi Gunung Salak mencapai Kawasan Nuklir Serpong dengan ketebalan diantara 3 cm – 1 cm, sedangkan hasil simulasi dari erupsi Gunung Gede Pangrango menghasilkan endapan sebesar 1 cm – 3 mm di Kawasan Nuklir Serpong. Visualisasi sebaran abu vulkanik dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Pola sebaran dan ketebalan endapan abu vulkanik Gunung Salak



Gambar 6. Pola sebaran dan ketebalan endapan abu vulkanik Gunung Gede-Pangrango

Bahaya Abu Vulkanik terhadap Kawasan Nuklir Serpong

Menurut analisis yang pernah dilakukan, kecelakaan terparah yang dapat terjadi pada Kawasan Nuklir Serpong adalah Kecelakaan pada Reaktor Serbaguna GA-Siwabessy. Kecelakaan tersebut dapat terjadi akibat kegagalan sistem operasi reaktor RSG akibat melelehnya lima elemen bahan bakar. Kecelakaan tersebut mengakibatkan pelepasan bahan radioaktif dan berdampak pada lingkungan zat radioaktif yang paling berbahaya dari peristiwa ini adalah Iodine-131 (I-131) dan Cesium-137 (Cs-137) yang menimbulkan radiasi yang berbahaya bagi masyarakat dan lingkungan sekitar. kejadian seperti ini biasanya disebabkan oleh kegagalan pendinginan inti yang menyebabkan terganggunya proses perpindahan panas bahan bakar di teras reaktor[20]. Kerentanan fasilitas nuklir terhadap abu vulkanik dapat dinilai dari beberapa faktor, diantaranya kuat dukung struktur atap bangunan. Abu vulkanik yang terakumulasi pada atap suatu fasilitas nuklir dapat mempengaruhi kekuatan daya dukung atap bangunan tersebut. Abu yang jatuh akan air akibat hujan akan mengakibatkan beban abu meningkat sebesar 50-100%[21]. Dengan mengetahui ketebalan abu terakumulasi maka dapat dihitung seberapa besar beban abu pada atap bangunan per meter persegi[22]. Abu vulkanik hasil erupsi Gunung Salak yang mencapai Kawasan Nuklir Serpong mencapai 10-30mm dengan beban atap abu kering sebesar 78 kg/m^2 sedangkan Gunung Gede-Pangrango menghasilkan ketebalan 3-10 mm dan menghasilkan beban atap sebesar 26 kg/m^2 . Lebih detail dapat dilihat pada Tabel 2. Bangunan dengan struktur atap yang buruk di Kawasan Nuklir Serpong berpotensi mengalami kerusakan ringan-berat akibat pembebanan abu vulkanik ini.

Tabel 2. Abu vulkanik Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango terhadap Kawasan Nuklir Serpong

Gunung	Ketebalan (mm)	Ash-load (kg/m^2)	Waktu tiba tephra (Jam)
Salak	10 - 30	78	5
Gede-Pangrango	3 - 10	26	4.5

Selain kekuatan struktur atap, abu vulkanik dapat mempengaruhi mesin yang terpapar oleh abu. Partikel abu abrasif dapat menimbulkan korosi pada bagian mesin yang bergerak dan menyebabkan keausan atau kerusakan yang berlebihan. Bagian mesin yang berada di luar ruangan, tidak tertutup, atau terkena abu vulkanik dapat kehilangan fungsinya sebelum proses pembersihan. Sistem kelistrikan juga dapat terganggu akibat abu vulkanik yang menutupi komponen-komponen kelistrikan. Abu vulkanik dapat menyebabkan gangguan kelistrikan berupa percikan api pada komponen kelistrikan yang tertutup abu (*flashover*). Abu vulkanik dapat menimbulkan korosi pada peralatan listrik jika tidak segera dilakukan proses pembersihan. Sistem ventilasi pada bangunan di Kawasan Nuklir Serpong juga merupakan salah satu faktor kerentanan pada tiap bangunan. Sistem ventilasi dengan kisi-kisi terbuka akan menyebabkan abu mudah masuk ke dalam ruangan dan menyebabkan gangguan di dalam edung baik itu Gedung dengan fasilitas riset maupun gedung perkantoran biasa.

Saat terjadi kecelakaan nuklir, abu vulkanik dapat memperparah keadaan pada kondisi darurat. Personil dinas pemeliharaan yang bertanggung jawab atas operasi dan keselamatan reaktor tidak dapat melakukan tugasnya dengan baik karena kesulitan bernapas dan keterbatasan penglihatan. Staf dan personel darurat tidak dapat memperoleh akses ke reaktor dikarenakan kendaraan mengalami kerusakan atau jalan tidak dapat dilalui selama hujan abu vulkanik berlangsung, termasuk kendaraan darurat, tidak dapat bergerak karena filter udara kendaraan bermotor tersumbat abu. Selain itu abu juga menyumbat sistem injeksi bahan bakar untuk beberapa tipe kendaraan. Personel reaktor mungkin tidak mau meninggalkan keluarga dan rumah mereka dalam keadaan darurat[23].

Kesimpulan

Analisis sebaran abu vulkanik hasil erupsi Gunung Salak dan Gunung Gede-Pangrango dilakukan dengan menggunakan metode analisis numerik dengan menggunakan perangkat lunak Ash3D. Hasil analisis menunjukkan kecenderungan sebaran abu vulkanik ke arah Utara-Barat Laut. Dengan profil angin dari stasiun meteorologi Citeko didapatkan waktu kedatangan abu vulkanik di Kawasan Nuklir Serpong dari Gunung Salak adalah 5 jam 10 menit dan Gunung Gede-Pangrango selama 4 jam 30 menit setelah erupsi terjadi. Ketebalan abu vulkanik di Kawasan Nuklir Serpong hasil erupsi Gunung Salak berkisar antara 10-30 mm dengan beban maksimum sebesar 78 kg/m², sedangkan untuk Gunung Gede-Pangrango sebesar 3-10 mm dengan beban maksimum sebesar 26 kg/m². Bahaya yang mungkin ditimbulkan abu vulkanik di Kawasan Nuklir Serpong diantaranya adalah kegagalan struktur atap bangunan akibat pembebanan abu pada atap dengan struktur atap yang buruk. Kerentanan yang lain adalah kerusakan sistem kelistrikan dan mesin untuk komponen listrik dan mesin yang terpapar abu vulkanik apabila tidak segera dilakukan proses pembersihan. Abu vulkanik juga dapat memperparah keadaan ketika kondisi darurat berlangsung

Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN, *Perka BAPETEN tentang Keselamatan Operasi Reaktor Non Daya*. Indonesia, 2019.
- [2] BAPETEN, *Perka BAPETEN tentang Evaluasi Tapak instalasi Nuklir Aspek Kegunungapian*. Jakarta: jdih.bapeten.go.id, 2015.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations," 2015.
- [4] M. A. Khattak *et al.*, "Siting Consideration for Nuclear Power Plant: A Review," *Open Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–21, 2017, doi: 10.23954/osj.v2i3.1078.
- [5] P. C. Basu, "Site Evaluation for Nuclear Power Plants – The Practices," in *Nuclear Engineering and Design*, 2017, vol. 352, doi: 10.1016/j.nucengdes.2019.06.002.
- [6] Sunarko, "Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Kajian Probabilistik Jatuhnya Abu Vulkanik Terhadap Tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Muria," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 18, no. 1, pp. 49–57, 2016.
- [7] G. T. Williams, S. F. Jenkins, S. Biass, H. E. Wibowo, and A. Harijoko, "Remotely assessing tephra fall building damage and vulnerability: Kelud Volcano, Indonesia," *J. Appl. Volcanol.*, vol. 9, no. 1, pp. 0–18, 2020, doi: 10.1186/s13617-020-00100-5.
- [8] J. Fero, S. N. Carey, and J. T. Merrill, "Simulating the dispersal of tephra from the 1991 Pinatubo eruption: Implications for the formation of widespread ash layers," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 186, no. 1–2, pp. 120–131, 2009, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2009.03.011.
- [9] Kusumadinata, "Data dasar gunungapi Indonesia _Catalogue of references on Indonesian volcanoes with eruptions in historical time," Bandung, 1979.
- [10] E. Hariyono and L. S, "The Characteristics of Volcanic Eruption in Indonesia," *Volcanoes - Geol. Geophys. Setting, Theor. Asp. Numer. Model. Appl. to Ind. Their Impact Hum. Heal.*, no. July, 2018, doi: 10.5772/intechopen.71449.
- [11] I. G. Sukadana, Y. S. B. Susilo, A. Heriwaseso, and E. E. Alhakim, "Probabilistic Analysis of the Laharic Hazard Assessment on Experimental Power Reactor, Puspipstek Area, Serpong," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1363, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/1363/1/012031.
- [12] A. Belousov, M. Belousova, D. Krimer, F. Costa, O. Prambada, and A. Zaennudin, "Volcaniclastic stratigraphy of Gede Volcano, West Java, Indonesia: How it erupted and

- when,” *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 301, pp. 238–252, 2015, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.05.018.
- [13] Bonadonna, “Plume height, volume, and classification of explosive volcanic eruptions based on the Weibull function,” *Bull. Volcanol.*, vol. 75, no. 8, pp. 1–19, 2013, doi: 10.1007/s00445-013-0742-1.
- [14] C. Bonadonna and A. Costa, “Estimating the volume of tephra deposits: A new simple strategy,” *Geology*, vol. 40, no. 5, pp. 415–418, 2012, doi: 10.1130/G32769.1.
- [15] H. F. Schwaiger, R. P. Denlinger, and L. G. Mastin, “Ash3d: A finite-volume, conservative numerical model for ash transport and tephra deposition,” *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 117, no. 4, pp. 1–20, 2012, doi: 10.1029/2011JB008968.
- [16] J. A. Indrawan and S. Dibyosaputro, “PEMODELAN DISTRIBUSI ABU VULKANIK HASIL ERUPSI GUNUNGAPI MERAPI TAHUN 2010 DENGAN MENGGUNAKAN ASH3D,” *J. Bumi Indones.*, 2017.
- [17] B. L. G. Mastin, M. J. Randall, H. F. Schwaiger, and R. P. Denlinger, “User ’ s Guide and Reference to Ash3d : A 3-D Eulerian Atmospheric Tephra Transport and Deposition Model,” *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.*, p. 48, 2013.
- [18] L. Courtland, C. Connor, L. Connor, and C. Bonadonna, “Introducing Geoscience Students to Numerical Modeling of Volcanic Hazards: The example of Tephra2 on VHub.org,” *Numeracy*, vol. 6, no. 2, 2012, doi: 10.5038/1936-4660.5.2.6.
- [19] A. Heriwaseso *et al.*, “Karakter Erupsi Kelud 2014, Pembelajaran dalam Mitigasi Infrastruktur di Kawasan Rawan Bencana,” *Proceeding, Semin. Nas. Kebumihan Ke-10*, no. September, pp. 1314–1332, 2017.
- [20] BNPB, “Perencanaan Kontinjensi Menghadapi Ancaman Bencana Kecelakaan Nuklir Setu Kota Tangerang Selatan Provinsi Banten,” Tangerang Selatan, 2013.
- [21] G. Macedonio and A. Costa, “Rain effect on the load of tephra deposits,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 12, pp. 1229–1233, 2012, doi: 10.5194/nhess-12-1229-2012.
- [22] S. F. Jenkins, R. J. S. Spence, J. F. B. D. Fonseca, R. U. Solidum, and T. M. Wilson, “Volcanic risk assessment : Quantifying physical vulnerability in the built environment,” *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 276, pp. 105–120, 2014, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.03.002.
- [23] S. Shipley and A. M. Sarna-Wojcicki, “Distribution, Thickness, and Mass of Late Pleistocene and Holocene Tephra From Major Volcanoes In The Northwestern United States: A Preliminary Assesment of Hazard From Volcanic Ejecta to Nuclear Reactors In The Pacific Northwest,” 1980.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Kajian Ketentuan Keselamatan Operasi Instalasi Nuklir Nonreaktor

Tino Sawaldi Adi Nugroho¹, Petit Wiringgalih¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

t.sawaldi@bapeten.go.id
p.wiringgalih@bapeten.go.id

Abstrak

Indonesia memiliki 4 (empat) existing Instalasi Nuklir Nonreaktor (INNR) yang berfungsi sebagai pendukung pengoperasian reaktor riset dan juga sebagai sarana penelitian dan pengembangan teknologi nuklir di Indonesia. INNR tersebut memiliki rerata usia operasi lebih dari 20 (dua puluh) tahun sehingga memerlukan suatu pengkajian yang komprehensif terkait aspek keselamatannya. Kajian ini berupa analisis kebutuhan ketentuan keselamatan operasi INNR agar peraturan ketentuan keselamatan operasi INNR nantinya akan sesuai dengan standar internasional terkini, serta sesuai dan mampu terapan untuk kondisi berbagai lingkup INNR yang ada dan berpotensi dibangun di Indonesia. Identifikasi dan kajian terhadap persyaratan dan rekomendasi IAEA terkait keselamatan operasi INNR terkini menjadi lingkup utama kajian yang dilengkapi dengan hasil pembahasan dengan personil pengoperasi dan periset pada INNR di Indonesia tentang pembelajaran dari pengalaman pengoperasian di instalasi dan kemampuserapan dari ketentuan keselamatan operasi INNR yang berlaku. Kesimpulan hasil kajian secara spesifik memberikan rekomendasi ketentuan keselamatan operasi INNR yang perlu diakomodir dalam rencana revisi terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan INNR dalam hal penerapan pendekatan bertingkat dan ketentuan khusus spesifik yang perlu dicakup.

Kata Kunci: Instalasi Nuklir Nonreaktor, ketentuan keselamatan operasi, pendekatan bertingkat, ketentuan khusus spesifik

Abstract

Indonesia has 4 (four) existing Nuclear Fuel Cycle Facilities (NFCF) which support operation of research reactors and also facilitate research and development of nuclear technology in Indonesia. The existing NFCF has average operating age of more than 20 (twenty) years so it requires a comprehensive safety assessment. This assessment is in the form of a regulatory needs analysis of the NFCF operational safety provisions so that the regulation on NFCF operational safety will later be in accordance with the latest international standards, as well as being suitable and able to be applied to the conditions of the various types of the NFCF that currently exist and have the potential to be built in Indonesia. Identification and review of IAEA requirements and recommendations regarding the latest NFCF operational safety is the main scope of the assessment. It will be complemented by discussions results with operating personnel and researchers at the existing NFCF in Indonesia regarding lesson learnt from operating experience and the applicability of the current NFCF operating safety provisions. Conclusions from the results of the study specifically provide recommendations for NFCF operating safety provisions that need to be accommodated in the planned revision of BAPETEN Chairman Regulation Number 11 of 2007 regarding NFCF Safety Provisions in terms of applying graded approach and specific special provisions that need to be covered.

Keywords: Nuclear Fuel Cycle Facilities, operating safety provisions, graded approach, specific special provision

Pendahuluan

Selain memiliki 3 (tiga) reaktor riset, Indonesia juga memiliki 4 (empat) Instalasi Nuklir Nonreaktor (INNR) yang berfungsi sebagai pendukung pengoperasian ketiga reaktor riset tersebut dan juga sebagai sarana penelitian dan pengembangan teknologi nuklir di Indonesia. Namun demikian, INNR yang saat ini dioperasikan memiliki rerata usia operasi lebih dari 20 (dua puluh) tahun sehingga memerlukan suatu pengkajian yang komprehensif terkait aspek keselamatannya.

Sebagai badan pengawas yang bertugas melakukan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir berdasarkan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 Tentang Cipta Kerja [1] dan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran [2], maka BAPETEN menyelenggarakan peraturan, perizinan, dan inspeksi. Terkait dengan tugas penyusunan peraturan, peraturan yang disusun oleh BAPETEN sebagian besar mengacu pada berbagai referensi internasional baik dari rekomendasi *International Atomic Energy Agency* (IAEA) ataupun standar-standar internasional lainnya. Penggunaan referensi peraturan yang berstandar internasional diharapkan membuat peraturan yang ada dapat mampu terap dan menjamin keselamatan pengoperasian instalasi nuklir, khususnya pada INNR yang ada di Indonesia. Namun seiring dengan perkembangan informasi dan teknologi di dunia, sangat dimungkinkan terjadi pembaruan terhadap dokumen referensi yang digunakan. Oleh sebab itu, sudah selayaknya suatu peraturan ditinjau ulang kemampuserapan dan keterkiniannya agar selaras dengan perkembangan zaman.

IAEA sendiri telah menerbitkan dokumen persyaratan keselamatan khusus (*Specific Safety Requirement – SSR*) No. 4 yang berjudul *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities* [3]. Dokumen tersebut mengatur persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi oleh INNR sehingga pengoperasian INNR dapat berlangsung dengan selamat. Namun demikian, sampai saat ini belum terdapat peraturan dan ketentuan di Indonesia yang mengacu pada dokumen tersebut yang dapat menjadi rujukan INNR dalam melakukan kegiatan pengoperasiannya.

Mengingat dokumen IAEA merupakan standar atau rekomendasi internasional, terkadang penerapannya di Indonesia tidak dapat langsung diimplementasikan. Setiap negara memiliki suatu kekhasan tersendiri dalam sistem hukum dan pengaturan, budaya, dan lain sebagainya. Telah menjadi suatu pemahaman juga bahwa persyaratan dan rekomendasi yang dikeluarkan oleh IAEA bersifat umum dan merupakan suatu konsensus dari seluruh negara anggota. Oleh karena itu dalam pelaksanaan kajian yang komprehensif diperlukan juga input dari stakeholder pengoperasian INNR di Indonesia untuk memperoleh ketentuan keselamatan operasi INNR yang mampu terap.

Selain itu Peraturan BAPETEN yang secara khusus memberikan ketentuan keselamatan operasi INNR merupakan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 Tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor yang terbit jauh sebelum Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, yang seharusnya menjadi dasar disusunnya peraturan turunan terkait ketentuan keselamatan dan keamanan instalasi nuklir. Peraturan-peraturan turunan lainnya yang secara tidak langsung juga memberikan ketentuan keselamatan operasi INNR juga harus dipertimbangkan sehingga terjadi sinkronisasi dalam hal ketentuan keselamatan yang dipersyaratkan bagi INNR.

Tujuan dari kajian ini adalah melakukan analisis kebutuhan ketentuan keselamatan operasi INNR dengan hasil yang berupa rekomendasi kebijakan agar peraturan ketentuan keselamatan operasi INNR nantinya akan sesuai dengan standar internasional terkini, serta sesuai dan mampu terap untuk kondisi berbagai lingkup INNR yang ada dan berpotensi dibangun di Indonesia.

Metodologi Kajian

Metodologi kajian ini terbagi dalam 2 (dua) hal berikut:

1. Melakukan identifikasi dan kajian terhadap persyaratan dan rekomendasi IAEA terkait keselamatan operasi INNR yang terdapat dalam dokumen referensi SSR 4.
2. Melakukan pembahasan dengan personil pengoperasi dan periset pada INNR di Indonesia tentang pembelajaran dari pengalaman pengoperasian di instalasi dan kemampuserapan dari ketentuan keselamatan operasi INNR yang terdapat dalam Peraturan Pemerintah Nomor 54

Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir [4] dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 Tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor [5].

Hasil dan Pembahasan

1. Evaluasi Standar Keselamatan Operasi INNR

Pada tahun 2017, IAEA telah menerbitkan dokumen persyaratan keselamatan khusus untuk INNR, yaitu (*Specific Safety Requirement – SSR*) No. 4 *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities*. Dokumen tersebut mengatur persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi oleh INNR pada berbagai tahapan instalasi mulai tapak sampai dengan dekomisioning, dengan penekanan khusus pada tahapan desain dan operasi, termasuk komisioning. Total terdapat 75 persyaratan keselamatan yang diberikan dalam dokumen tersebut. 20 persyaratan keselamatan diantaranya adalah persyaratan keselamatan yang berlaku untuk tahapan pengoperasian INNR. Persyaratan keselamatan untuk tahap operasi INNR tersebut terbagi ke dalam beberapa bagian sebagai berikut:

1. Organisasi;
2. Manajemen Keselamatan Operasi;
 - a. Batas Keselamatan (BK);
 - b. Pengesetan Sistem Keselamatan (PSK);
 - c. Kondisi Batas Operasi yang Normal (KBO);
 - d. Pengujian Berkala dan Surveilans;
 - e. Pengoperasian di Luar Batasan dan Kondisi Operasi;
 - f. Persyaratan Administrasi;
3. Operasi Instalasi;
4. Perawatan, Pengujian, dan Inspeksi Berkala;
5. Keselamatan Kekritisitas;
6. Program Proteksi Radiasi dan Pengelolaan Limbah Radioaktif dan Efluen;
7. Program Keselamatan Pengoperasian; dan
8. Sistem Manajemen.

Rekomendasi kebijakan hasil dari kajian terhadap ketentuan dalam *IAEA SSR-4 Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities* adalah sebagai berikut:

- 1) Persyaratan mengenai Batas Keselamatan (BK), Pengesetan Sistem Keselamatan (PSK), Kondisi Batas Operasi yang Normal (KBO), Persyaratan Surveilans, dan Persyaratan Administrasi tidak perlu dijadikan ketentuan dalam Peraturan tentang Keselamatan Operasi INNR karena ketentuan terkait hal ini telah tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2014 Tentang Batasan dan Kondisi Operasi INNR [6]. Akan tetapi untuk ketentuan pelaksanaan dan pelaporan tindakan korektif dalam hal terjadi Pengoperasian di Luar Batasan atau Kondisi Operasi perlu dijadikan sebagai ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena belum diatur dalam peraturan yang ada saat ini.
- 2) Persyaratan mengenai Pelatihan, Pelatihan Ulang dan Kualifikasi Personil tidak perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena ketentuan mengenai pelatihan, pelatihan ulang, dan kualifikasi personil telah tercantum dalam Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Peraturan Nuklir [7]. Untuk pelatihan, pelatihan ulang, dan kualifikasi personil spesifik untuk fasilitas konversi, fabrikasi bahan bakar nuklir, dan pengayaan uranium dan fasilitas INNR litbang dapat dijadikan sebagai pelatihan tambahan yang perlu dipenuhi oleh personil pengoperasian di INNR dalam proses sertifikasi personil yang dilakukan oleh BAPETEN.
- 3) Persyaratan mengenai Petugas Proteksi Radiasi, Personil Keselamatan Kekritisitas, Ahli Limbah dan Efluen, Personil Dukungan Teknis Tambahan tidak perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena ketentuan mengenai personil pengoperasian telah tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir. Untuk kompetensi dari personil-personil tersebut dapat dijadikan sebagai kompetensi tambahan yang perlu dipenuhi oleh personil pengoperasian di INNR dalam proses sertifikasi personil yang dilakukan oleh BAPETEN.

- 4) Persyaratan mengenai manajemen penuaan tidak perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena telah tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2012 Tentang Manajemen Penuaan INNR [8].
- 5) Persyaratan mengenai kendali pelaksanaan modifikasi tidak perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena telah tercantum dalam Rancangan Peraturan Badan tentang Utilisasi dan Modifikasi INNR.
- 6) Persyaratan mengenai perawatan, pengujian dan inspeksi berkala tidak perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena telah tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2015 Tentang Ketentuan Perawatan INNR [9].
- 7) Persyaratan mengenai program manajemen kecelakaan operasi dan kesiapsiagaan nuklir tidak perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR karena telah tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir [10].
- 8) Persyaratan mengenai struktur dan fungsi organisasi pengoperasi perlu dijadikan sebagai ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 9) Persyaratan mengenai pelaksanaan kegiatan terkait keselamatan perlu dijadikan sebagai ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 10) Persyaratan mengenai rekaman dan laporan perlu dijadikan sebagai ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 11) Persyaratan mengenai prosedur pengoperasian perlu dijadikan sebagai ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 12) Persyaratan mengenai housekeeping pengoperasian dan kondisi material perlu dijadikan sebagai ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 13) Persyaratan mengenai pengelolaan limbah radioaktif dan efluen perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 14) Persyaratan mengenai proteksi terhadap kebakaran dan ledakan perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 15) Persyaratan mengenai manajemen keselamatan industri dan kimia perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 16) Persyaratan mengenai umpan balik pengalaman pengoperasian perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 17) Persyaratan mengenai pengendalian kekritisitas dalam operasi, termasuk pengendalian kekritisitas spesifik untuk fasilitas fabrikasi bahan bakar uranium diperkaya, fasilitas fabrikasi bahan bakar MOX, fasilitas konversi dan pengayaan uranium, dan fasilitas 'reprocessing' perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 18) Persyaratan mengenai program proteksi radiasi termasuk pengendalian spesifik untuk paparan kerja dan kontaminasi perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR mengingat ketentuan mengenai program proteksi radiasi yang tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir bersifat umum [11].
- 19) Persyaratan mengenai sistem manajemen, termasuk tanggung jawab manajemen, manajemen sumber daya, implementasi proses, dan pengukuran, penilaian, evaluasi dan perbaikan perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR mengingat ketentuan mengenai sistem manajemen dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2010 Tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir bersifat umum [12].

2. Evaluasi Pengoperasian INNR

Secara umum pengalaman pengoperasian INNR menunjukkan pengoperasian instalasi yang berlangsung dengan aman dan selamat. Hal ini tercermin dalam laporan operasi dikirimkan secara rutin ke BAPETEN. Selama ini tidak ditemukan temuan yang signifikan dari hasil evaluasi BAPETEN terhadap laporan operasi yang disampaikan. Selain itu penilaian keselamatan berkala dan pelaksanaan manajemen penuaan yang dilakukan oleh organisasi pengoperasi juga menunjukkan pengoperasian instalasi yang berlangsung dengan aman dan selamat telah memenuhi persyaratan yang berlaku. Hal ini tercermin dari hasil evaluasi dari BAPETEN terhadap kedua dokumen tersebut saat dilakukan proses perpanjangan izin operasi tidak ditemukan temuan yang signifikan sehingga perpanjangan izin operasi untuk keempat INNR telah diterbitkan oleh BAPETEN. Status izin operasi keempat INNR adalah sebagai berikut:

- 1) Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset (IPEBRR) s.d 2025
- 2) Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) s.d 2028
- 3) Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) s.d 2031
- 4) Instalasi Radio Metalurgi (IRM) s.d 2032

Akan tetapi keempat INNR ini telah beroperasi lebih dari 20 tahun sehingga memerlukan perhatian yang lebih dalam pengawasannya. Selain itu dinamika terkini dari integrasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) ke Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan rencana pengambil alihan IPEBRR dari PT. Industri Nuklir Indonesia (INUKI) ke BRIN perlu menjadi perhatian agar aspek keselamatan senantiasa menjadi pertimbangan utama dalam pengoperasian INNR. Hal lain yang perlu mendapat perhatian adalah teridentifikasinya SSK yang penting untuk keselamatan di INNR yang terpasang di instalasi dan masih dapat difungsikan, namun sudah lama berstatus idle atau tidak difungsikan.

Hal terakhir yang perlu mendapat perhatian adalah teridentifikasi telah terjadinya penambahan peralatan dan perubahan fungsi ruangan yang terindikasi termasuk SSK yang penting untuk keselamatan di INNR tanpa melalui proses otorisasi dari BAPETEN. Berdasarkan definisi dalam PP Nomor 54 Tahun 2012, modifikasi adalah setiap upaya yang mengubah struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan, termasuk pengurangan dan/atau penambahan. Kemudian dalam Pasal 30 ayat 3 PP Nomor 54 Tahun 2012 dinyatakan bahwa pemegang izin yang akan melaksanakan modifikasi wajib memperoleh persetujuan Kepala BAPETEN apabila modifikasi:

- 1) menyebabkan perubahan Batasan dan Kondisi Operasi (BKO);
- 2) memengaruhi SSK yang penting untuk keselamatan; atau
- 3) menimbulkan bahaya yang sifatnya berbeda atau kemungkinan terjadinya lebih besar dari yang dianalisis dalam LAK.

Rekomendasi kebijakan hasil dari kajian pengoperasian existing INNR di Indonesia adalah sebagai berikut:

- 1) Format dan isi laporan operasi, batas waktu penyampaian laporan operasi, dan tata cara evaluasi terhadap laporan operasi perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 2) Struktur organisasi pengoperasi dan komponen yang wajib ada didalamnya sekaligus tugas, wewenang, dan tanggung jawab yang rinci dari masing-masing komponen, serta jalur komunikasi yang jelas, termasuk dengan periset untuk INNR litbang perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR.
- 3) Persyaratan yang harus dipenuhi dan proses otorisasi yang harus dilakukan oleh organisasi pengoperasi yang akan mengoperasikan kembali SSK yang penting untuk keselamatan yang telah lama berstatus idle perlu dijadikan ketentuan dalam peraturan keselamatan operasi INNR. Kurun waktu dapat merujuk pada Pasal 48 ayat 3 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan INNR “Penetapan program komisioning berlaku juga untuk instalasi yang telah mengalami penghentian operasi dalam jangka waktu paling singkat 2 (dua) tahun.”
- 4) Definisi modifikasi yang jelas untuk INNR, persyaratan yang harus dipenuhi dan proses otorisasi yang harus dilakukan oleh organisasi pengoperasi perlu diatur dalam peraturan keselamatan mengenai pelaksanaan modifikasi di INNR.

3. Evaluasi Kemampooterapan Ketentuan Keselamatan Operasi INNR

Secara umum pengalaman pengoperasian INNR menunjukkan pengoperasian instalasi sesuai dengan peraturan dan ketentuan keselamatan operasi yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa peraturan-peraturan INNR yang memberikan ketentuan keselamatan untuk pengoperasian INNR mampu diterapkan dalam pengoperasian INNR. Hal ini tercermin dari proses pengawasan yang dilakukan oleh BAPETEN. Selama ini tidak ditemukan temuan yang signifikan dari hasil inspeksi BAPETEN sehingga keempat INNR dapat beroperasi secara normal dengan aman dan selamat. Selain itu juga tidak ditemukan temuan yang signifikan dari hasil evaluasi BAPETEN selama proses perpanjangan izin operasi sehingga perpanjangan izin operasi untuk keempat INNR telah diterbitkan oleh BAPETEN.

Akan tetapi peraturan utama yang memberikan ketentuan keselamatan untuk pengoperasian INNR diterbitkan 15 tahun yang lalu sebelum PP Nomor 54 Tahun 2012 yang merupakan peraturan tertinggi yang mengatur mengenai ketentuan keselamatan untuk instalasi nuklir, termasuk INNR. Selain itu juga banyak ditemukan ketidaksesuaian ataupun ketidaksinkronan ketentuan keselamatan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 dengan peraturan-peraturan pendukung yang semuanya terbit setelah tahun 2007 dan sebagian besar telah memberikan ketentuan keselamatan sesuai dengan ketentuan dalam PP Nomor 54 Tahun 2012.

Selain itu terdapat dinamika terkini dari terbitnya PP Nomor 5 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [13] yang salah satunya mengatur mengenai sektor ketenaganukliran, serta telah diterbitkannya beberapa peraturan turunannya, yaitu Peraturan Badan Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [14] dan Peraturan Badan Nomor 1 Tahun 2022 Tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [15]. Keberlakuan peraturan-peraturan ini tentunya perlu mendapat perhatian dan diakomodir dalam revisi peraturan tentang keselamatan operasi INNR.

Rekomendasi kebijakan hasil dari kajian ketentuan keselamatan operasi INNR adalah sebagai berikut:

- 1) Definisi dan ketentuan dalam Perka BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 perlu disesuaikan dengan definisi dan ketentuan dalam PP Nomor 54 Tahun 2012 serta cukup merujuk pada ketentuan terkait pengoperasian yang tercantum dalam peraturan pendukung.
 - a) Pasal 15 Perka BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 menyatakan Pengusaha Instalasi Nuklir (PIN) harus melaporkan setiap kejadian abnormal, kecelakaan, dan/atau kecelakaan parah kepada Kepala BAPETEN paling lambat 24 jam setelah kejadian.
Pasal 32 Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010
 - (1) Pemegang izin wajib melaporkan kepada Kepala BAPETEN apabila terjadi kedaruratan nuklir.
 - (2) Laporan harus disampaikan paling lama 1 jam melalui telepon, faksimili, atau surat elektronik, dan secara tertulis paling lama 2 hari setelah terjadi kecelakaan.
Ketentuan terkait pelaporan saat terjadi kedaruratan nuklir pada peraturan keselamatan operasi INNR cukup merujuk pada Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010. Ketentuan yang dapat diatur pada peraturan keselamatan operasi adalah ketentuan terkait pelaporan saat terjadi kejadian abnormal.
 - b) Ketentuan terkait manajemen penuaan pada peraturan keselamatan operasi INNR cukup merujuk pada Perka BAPETEN Nomor 7 Tahun 2012.
 - c) Ketentuan terkait BKO (BK, PSK, KBO, persyaratan surveilan, dan persyaratan administrasi) pada peraturan keselamatan operasi INNR cukup merujuk pada Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2014. Ketentuan yang dapat diatur pada peraturan keselamatan operasi adalah ketentuan pelaksanaan dan pelaporan tindakan korektif dalam hal terjadi Pengoperasian di Luar BKO.
 - d) Ketentuan terkait perawatan pada peraturan keselamatan operasi INNR cukup merujuk pada Perka BAPETEN Nomor 9 Tahun 2015.
 - e) Ketentuan terkait petugas instalasi nuklir dan bahan nuklir pada peraturan keselamatan operasi INNR cukup merujuk pada Perka BAPETEN Nomor 7 Tahun 2019.
- 2) Persyaratan dokumen dalam proses perizinan tahap operasi INNR yang dirujuk dalam ketentuan keselamatan operasi INNR agar mengacu pada PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [16] dan PP Nomor 5 Tahun 2021 beserta peraturan turunannya.

Kesimpulan

Ketentuan keselamatan operasi INNR dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan INNR penting untuk segera direvisi disesuaikan dengan peraturan-peraturan ketenaganukliran terkini yang terkait dengan keselamatan operasi INNR. Peraturan keselamatan operasi INNR perlu mengakomodasi pengoperasian existing INNR, baik pengalaman pengoperasian existing INNR selama ini maupun kemampooterapan peraturan-peraturan ketenaganukliran yang berlaku saat ini. Antisipasi akan adanya pengoperasian INNR dengan

teknologi baru di masa depan juga harus diakomodasi dalam peraturan agar ketentuan keselamatan operasi nantinya akan dapat mampu terap untuk semua jenis INNR. Oleh karena itu revisi peraturan keselamatan operasi INNR perlu menerapkan pendekatan bertingkat dan ketentuan khusus spesifik mengingat keberagaman potensi risiko radiologis dari INNR yang perlu dicakup didalamnya. IAEA telah mengeluarkan suatu dokumen persyaratan keselamatan khusus untuk INNR, yaitu SSR-4 yang berjudul *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities*. Dokumen ini agar dijadikan sebagai salah satu referensi utama dalam penyusunan peraturan keselamatan operasi INNR. Selain itu IAEA juga telah mengeluarkan beberapa dokumen yang memberikan pedoman keselamatan khusus yang berlaku spesifik untuk jenis INNR tertentu, yaitu *SSG-6 Safety of Uranium Fuel Fabrication Facilities*, *SSG-15 Rev 1 Storage of Spent Nuclear Fuel*, dan *SSG 43 Safety of Nuclear Fuel Cycle Research and Development Facilities*. Ketiga dokumen tersebut dapat dijadikan referensi tambahan dalam penyusunan peraturan keselamatan operasi INNR, terutama untuk persyaratan khusus untuk instalasi spesifik serta dasar dari pendekatan bertingkat untuk diterapkan.

Daftar Pustaka

- [1] Undang-undang Nomor 11 Tahun 2020 Tentang Cipta Kerja, 2020.
- [2] Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran, 1997.
- [3] *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities*, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2017. <https://www.iaea.org/publications/12216/safety-of-nuclear-fuel-cycle-facilities>.
- [4] Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, 2012.
- [5] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor, 2007.
- [6] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2014 tentang Batasan dan Kondisi Operasi Instalasi Nuklir Non Reaktor, 2014.
- [7] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Peraturan Nuklir, 2019.
- [8] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2012 tentang Manajemen Penuaan Instalasi Nuklir Non Reaktor, 2012.
- [9] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2015 tentang Ketentuan Perawatan Instalasi Nuklir Non Reaktor, 2015.
- [10] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir, 2010.
- [11] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, 2013.
- [12] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, 2010.
- [13] Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko, 2021.
- [14] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran, 2021.
- [15] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran, n.d.
- [16] Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, 2014.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Penerapan Konsep *Possess or Control* pada Dekomisioning Reaktor TRIGA 2000 Bandung

David Anggoro Putro

Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir

Korespondensi penulis:

d.anggoroputro@bapeten.go.id

Abstrak

Reaktor TRIGA 2000 Bandung memiliki izin operasi yang berlaku sampai tahun 2027 dan berdasarkan IAEA *Peer Review Mission – Research Reactor and Waste Management*, opsi dekomisioning yang dipilih BRIN jika pada akhirnya dilakukan dekomisioning adalah *Deferred Dismantling*. *Deferred Dismantling* adalah kondisi dimana reaktor dilakukan *Safe Enclosure* yang akan berlangsung selama kurun waktu 50-60 tahun. Salah satu masalah urgen yang bisa terjadi pada dekomisioning Reaktor TRIGA 2000 Bandung adalah tidak tersedianya tempat pembuangan atau tempat penyimpanan yang memadai untuk limbah yang dihasilkan selama proses pembongkaran. Hal ini akan menimbulkan dilema untuk permohonan Izin Dekomisioning maupun Perpanjangan Izin Operasi. Alternatif yang diusulkan adalah Konsep *Possess or Control*. *Possess or Control* adalah jenis izin fasilitas yang paling sering dikeluarkan untuk jangka waktu yang lama (biasanya bertahun-tahun) pada saat *safe enclosure* antara periode operasi rutin atau yang mengarah kepada dekomisioning fasilitas. Diharapkan dengan diberikannya *Possess or Control*, Fasilitas Nuklir tetap aman dan selamat dan bisa menyelesaikan permasalahan urgen yang menghambat proses dekomisioning dan di kurun waktu tersebut. Konsep *Possess or Control* dapat diusulkan sebagai alternatif jika terjadi dilema dimana Reaktor TRIGA 2000 tidak bisa dilakukan dekomisioning maupun perpanjangan izin operasi. Konsep *Possess or Control* harus dikaji kemampuannya pada perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir di Indonesia, karena memperbolehkan adanya modifikasi SSK tanpa pengajuan persetujuan modifikasi.

Kata Kunci: *Dekomisioning, Deferred Dismantling, Safe Enclosure, Konsep Possess or Control*

Abstract

Bandung's TRIGA 2000 Reactor has an operating license that is valid until 2027 dan based on the IAEA Peer Review Mission – Research Reactor and Waste Management, the decommissioning option chosen by BRIN if the decommissioning is eventually carried out is Deferred Dismantling. Deferred Dismantling is a condition in which the reactor will enter a Safe Enclosure that will usually last for a period of 50 to 60 years. One of the urgent problems that can occur in the decommissioning of the Bandung TRIGA 2000 Reactor is the inadequacy of disposal sites or storage areas for the waste generated during the dismantling process. This will create a dilemma for applications for Decommissioning and the Extensions for Operating License. The proposed alternative is the Possess or Control Concept. Possess or Control is a type of facility permit that is most often issued for an extended period of time (usually years) during safe enclosure between periods of routine operation or leading to decommissioning of the facility. Hopefully, with the provision of Possess or Control, Nuclear Facilities remain safe and secure and can solve urgent problems that hinder the decommissioning process in that period. The concept of Possess or Control can be proposed as an alternative in the event of a dilemma where the TRIGA 2000 reactor cannot be decommissioned, nor extend the operating permit. Possess or Control must be studied for its applicability to the licensing of Nuclear Installations and Materials in Indonesia, because it allows the modification of SSC without submitting modification approval.

Keywords: *Decommissioning, Deferred Dismantling, Safe Enclosure, Possess or Control Concept*

Pendahuluan

Reaktor TRIGA 2000 Bandung memiliki izin operasi yang berlaku sampai tahun 2027. Cepat atau lambat, reaktor riset tertua di Indonesia tersebut harus mengalami fase dekomisioning. Dekomisioning adalah suatu kegiatan menghentikan pengoperasian Reaktor Nuklir secara tetap, dengan cara dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, pembongkaran komponen reaktor, dekontaminasi, dan pengamanan akhir. [1-2]. Badan Pengawas harus mengatur semua aspek dekomisioning di semua tahap masa pakai fasilitas, mulai dari perencanaan awal untuk dekomisioning pada tahap desain fasilitas, sampai ke penyelesaian tindakan dekomisioning dan penghentian izin dekomisioning. Selain itu, harus ditetapkan keselamatan persyaratan untuk dekomisioning, termasuk persyaratan untuk manajemen limbah radioaktif yang dihasilkan, dan peraturan serta panduan yang terkait. Tindakan aktif untuk memastikan bahwa persyaratan peraturan terpenuhi juga harus diambil. [3]

Opsi dekomisioning yang dipilih BRIN adalah *Deferred Dismantling* atau Pembongkaran Tunda [4]. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Sutoto dkk., estimasi limbah pasca dekomisioning Reaktor TRIGA 2000, jumlahnya besar dengan komposisi limbah aktivitas rendah lebih kurang 304,955 ton (15,21%), limbah aktivitas sedang lebih kurang 37,847 ton (5,60%) dan limbah aktivitas sangat rendah atau di bawah clearance level lebih kurang 533,600 ton (78,89%) [5]. Jika kondisi tempat penyimpanan limbah sementara tidak mendukung, maka salah satu langkah yang bisa diambil oleh Badan Pengawas adalah menerapkan Konsep *Possess or Control* kepada pemegang izin. *Possess or control* adalah strategi di mana semua atau sebagian dari fasilitas yang mengandung bahan radioaktif diproses atau ditempatkan sedemikian rupa sehingga dapat disimpan di tempat penyimpanan yang selamat dan aman. Fasilitas tersebut dipelihara sampai kemudian disetujui untuk dioperasikan kembali, didekomisioning, atau dibebaskan dari pengawasan [6]. Pemberian Izin *Possess or control* pernah diberikan oleh *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency* (ARPANSA) kepada *Australian Nuclear Science and Technology Organisation* (ANSTO) pada tahun 2008 untuk persiapan dekomisioning Reaktor Riset *High Flux Australian Reactor* (HIFAR) dikarenakan pada saat itu belum tersedia Fasilitas Pembuangan Limbah Sentral di Australia [7].

Tujuan makalah ini adalah memberikan masukan kepada Badan Pengawas mengenai langkah yang bisa diambil untuk mengatasi masalah yang mungkin muncul pada saat pengawasan dekomisioning Reaktor TRIGA 2000 Bandung yang bisa terkendala dikarenakan fasilitas penyimpanan limbah yang tidak memadai.

Metode

Dalam menulis makalah ini, metode yang digunakan untuk makalah ini adalah tinjauan pustaka yang berasal dari PP No. 2 Tahun 2014, Perka BAPETEN No. 9 tahun 2009, standar IAEA seperti *General Safety Requirements Part 6, Safety Reports Series No.26. Guide* mengenai Konsep *Possess or Control* yang diterbitkan oleh ARPANSA pada laman resminya. serta praktik dekomisioning reaktor riset HIFAR di Australia.

Dari tinjauan pustakan tersebut penulis akan melakukan analisis kualitatif mengenai kemampuserapan konsep *Possess or Control* pada proses dekomisioning menggunakan metode *Deferred Dismantling* dan pada Regulasi di Indonesia.

Pembahasan

Pada pasal 11 Perka BAPETEN no.4 tahun 2009 menyebutkan bahwa opsi utama yang harus dipilih pada dekomisioning adalah pembongkaran segera, kecuali limbah tidak bisa seluruhnya ditangani maka bisa dikombinasikan dengan penguburan. Namun hal ini tidak sejalan dengan GSR Part 6 yang menyebutkan bahwa opsi penguburan (*Entombment*) tidak dianggap sebagai strategi dekomisioning pada *shutdown* terencana. Penguburan hanya boleh dilakukan jika terjadi kejadian luar biasa semisal kecelakaan parah. Penggabungan strategi dekomisioning yang sesuai dengan GSR Part 6 adalah *Immediate* dan *Deferred Dismantling*.

Salah satu metode dekomisioning yang telah diatur oleh IAEA adalah *Deferred Dismantling* atau pembongkaran tunda. *Deferred Dismantling* tersebut adalah *Safe Enclosure* pada reaktor dimana fasilitas atau situs ditempatkan ke dalam kondisi yang selamat, dan dekontaminasi serta pembongkaran ditunda hingga 50-60 tahun atau disebut dengan *safe enclosure period* [8]. Alasan penempatan instalasi nuklir ke dalam *Safe Enclosure* antara lain :

- (a) Memberikan waktu untuk pengurangan laju dosis radiasi di sekitar fasilitas, sehingga bisa mengontrol dosis pekerja yang terlibat dalam pembongkaran fasilitas;
- (b) Tidak tersedianya tempat pembuangan atau tempat penyimpanan yang memadai untuk limbah yang dihasilkan selama proses pembongkaran;
- (c) Keinginan untuk mengembangkan teknologi pembongkaran yang lebih baik untuk mengurangi paparan radiasi terhadap pekerja;
- (d) Kurangnya dana dekomisioning;
- (e) Keinginan untuk menunggu fasilitas nuklir lain di dalam satu kawasan itu *shutdown* permanen sehingga upaya dekomisioning akhir untuk semua fasilitas dapat dilakukan lebih efektif;
- (f) Kurangnya pilihan yang tersedia untuk memindahkan bahan bakar bekas dari instalasi.

Dari keenam alasan di atas, yang memiliki urgensi untuk diselesaikan adalah tidak tersedianya tempat pembuangan atau penyimpanan yang memadai untuk limbah hasil proses pembongkaran. Karena satu-satunya fasilitas penyimpanan limbah radioaktif yang ada di Indonesia adalah IPLR DPFK BRIN. Menjadi polemik karena dalam kurun waktu 5 tahun ini mungkin belum akan diajukan izin dekomisioning Reaktor TRIGA 2000, dikarenakan izin operasi yang masih berlaku sampai tahun 2027 dan elemen bahan bakar yang masih bisa digunakan setidaknya 6 sampai 10 tahun ke depan. Sedangkan dalam beberapa tahun ke depan, bisa saja IPLR sudah tidak mampu lagi menampung limbah radioaktif dalam skala besar. Terutama jika penambahan fasilitas penyimpanan limbah tidak dapat dilakukan karena tidak cukup waktu atau anggaran.

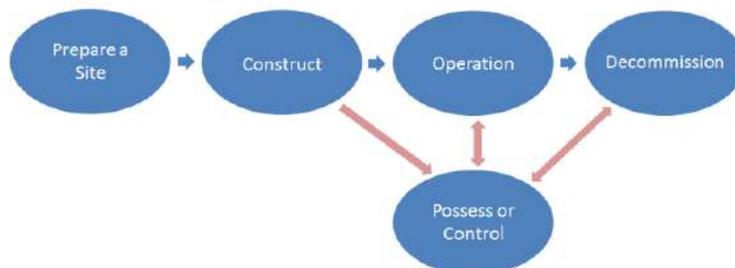
Jika itu terjadi, maka Badan Pengawas dihadapkan pada dua permasalahan. Pertama, jika Pemegang Izin tidak berkomitmen untuk menyediakan penyimpanan limbah pasca dekomisioning, maka harus diambil sikap untuk tidak memberikan Izin Dekomisioning kepada Pemegang Izin karena tidak terpenuhinya syarat pengajuan Izin Dekomisioning. Kedua, jika fasilitas mengajukan Perpanjangan Izin Operasi, seharusnya tidak bisa diberikan. Karena salah satu syarat Perpanjangan Izin Operasi adalah Program Dekomisioning yang terkini dan aktual. Isi dari Program tersebut salah satunya adalah Rencana Penanganan limbah.

Berkaca dari kegiatan dekomisioning HIFAR [7] yang memiliki masalah serupa terkait penyimpanan limbah, solusi dari masalah tersebut yang ARPANSA lakukan adalah memberikan Izin *Possess or Control* kepada ANSTO sebagai operator reaktor Nuklir HIFAR. HIFAR adalah reaktor riset pertama di Australia yang beroperasi sejak tahun 1958 [9]. Pada tahun 2007, HIFAR dilakukan *shut down* dan diajukan permohonan izin *Possess or Control* dikarenakan Australia pada saat itu belum memiliki fasilitas pembuangan limbah. Hal itu disebabkan oleh sedikitnya limbah radioaktif yang dihasilkan di Australia dari proses pertambangan, riset, industri dan medis, sehingga dinilai tidak ekonomis untuk membangun fasilitas penyimpanan limbah radioaktif sentral. Limbah radioaktif di Australia di delegasikan pada penghasil limbah dan diatur oleh pemerintah setempat, akibatnya hampir setengah dari keseluruhan limbah radioaktif masih disimpan pada rumah sakit dan universitas yang tersebar di 50 lokasi di Australia. Baru pada tahun 2005 diterbitkan *Commonwealth Radioactive Waste Management Act 2005*. Undang-undang ini mengatur tentang wewenang Persemakmuran untuk melakukan apa pun yang diperlukan untuk, atau insidental untuk, menetapkan atau mengoperasikan *Commonwealth Radioactive Waste Management Facility* (CRWMF) pada bagian utara Australia dan mengangkut limbah radioaktif ke sana. Fasilitas ini hanya akan mengelola limbah radioaktif yang berasal dari Persemakmuran [10]. Namun hingga reaktor HIFAR shutdown di tahun 2007, CRWMF tersebut belum selesai dibangun. Maka dari itu ANSTO mengajukan Izin *Possess or Control* ke ARPANSA. Izin yang diberikan berlaku selama 10 tahun dengan harapan, pada tahun 2016 sudah bisa dimulai Dekomisioningnya.

Possess or Control adalah jenis izin fasilitas yang paling sering dikeluarkan untuk jangka waktu yang lama (biasanya bertahun-tahun) pada saat *safe enclosure* antara periode operasi rutin atau yang mengarah kepada dekomisioning fasilitas yang ditandai dengan aktivitas minimal pada fasilitas. Izin

ini dapat digunakan untuk melakukan otorisasi perawatan dan pemeliharaan berkala antara kegiatan berizin lainnya untuk instalasi nuklir atau fasilitas radiasi yang ditentukan. *Possess or Control* bisa juga diterapkan pada keadaan lain seperti periode *extended shutdown* sambil menunggu dimulainya kembali operasi atau periode antara fase dekomisioning.

Berikut ini adalah gambar dari transisi jenis izin fasilitas.



Gambar 1. Transisi melalui jenis izin fasilitas [8]

Pada Gambar 1, panah biru menunjukkan rute progresif untuk aktivitas berizin. Panah merah menunjukkan rute alternatif lain yang bisa diterapkan Konsep *Possess or Control*. Tujuan *Possess or control* adalah untuk memastikan bahwa fasilitas yang diawasi tetap aman dan selamat meskipun tidak digunakan. Fasilitas atau peralatan yang diawasi tidak boleh dioperasikan dan bahan yang diawasi tidak boleh digunakan atau dibuang saat Izin *Possess or Control* telah dikeluarkan. Begitu juga untuk kegiatan dekomisioning yang juga dilarang pada saat *Possess or Control* berlaku.

Possess or control adalah strategi di mana semua atau sebagian dari fasilitas yang mengandung bahan radioaktif diproses atau ditempatkan sedemikian rupa sehingga dapat disimpan di tempat penyimpanan yang selamat dan aman. Fasilitas tersebut dipelihara sampai kemudian disetujui untuk dioperasikan kembali, didekomisioning, atau dibebaskan dari pengawasan. Diperbolehkan untuk pembongkaran beberapa bagian dari fasilitas dan pemrosesan awal beberapa bahan radioaktif dan pemindahannya dari fasilitas, sebagai langkah persiapan untuk penyimpanan. Dalam kasus di mana masih ada kemungkinan untuk melanjutkan operasi di masa depan, pemegang izin harus memastikan bahwa fasilitas dipertahankan sehingga tidak ada SSK atau bahan yang penting untuk keselamatan mengalami degradasi tanpa disadari. Sehingga dapat mengganggu keselamatan operasi masa depan. Pemegang izin harus memastikan bahwa kompetensi pekerja dapat didemonstrasikan sebelum operasi rutin dilanjutkan/dipulihkan. Hal ini sejalan dengan Pada pasal 39 Perka BAPETEN no.4 tahun 2009 jika pembongkaran tunda dipilih sebagai opsi dekomisioning, Pemegang izin harus berupaya mengungkung zat radioaktif; dan melaksanakan perawatan dan surveilan terhadap SSK.

Hal yang boleh dilakukan pada saat pemegang izin memiliki *Possess or Control* antara lain:

- (a) Pemegang izin diperbolehkan untuk melakukan program pengukuran, pengambilan sampel dan analisis in-situ yang diperlukan untuk survey karakteristik radiologis fasilitas. Dimana Survey karakteristik tersebut diperlukan untuk memfasilitasi perencanaan dekomisioning,
- (b) Pembongkaran SSK diizinkan jika kandungan radioaktif berada di bawah tingkat pengecualian yang ditentukan dalam Peraturan dan jika tidak diperlukan untuk keselamatan fasilitas di masa mendatang (termasuk selama dekomisioning). Pembongkaran SSK yang mengandung radioaktif dapat diizinkan untuk tujuan perbaikan atau karakterisasi radiologis.
- (c) Pemegang izin dapat melakukan pekerjaan Pemugaran di fasilitas termasuk perbaikan SSK yang mengandung radioaktif dan terkontaminasi. Pemugaran dapat mencakup pembongkaran SSK yang ada bahkan ketika SSK tersebut bersifat radioaktif atau terkontaminasi. Jika dilakukan pemugaran, pemegang izin harus memelihara, meningkatkan atau mengganti SSK dengan penggantian yang sesuai dengan fungsi desain yang sama.
- (d) Konstruksi dan pemasangan SSK tambahan dapat dilakukan untuk tujuan peningkatan keselamatan atau untuk memfasilitasi dimulainya kembali pengoperasian atau dekomisioning di masa mendatang. Apabila pemutakhiran ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan di masa mendatang, pemutakhiran ini harus mempertimbangkan persyaratan peraturan yang terkait dengan fasilitas dan dilakukan atas risiko komersial pemegang izin.

Dari Penjelasan di atas, terlihat bahwa Konsep *Possess or Control* bisa diterapkan dan sejalan dengan tujuan *safe enclosure*. Sehingga memungkinkan suatu fasilitas yang terkendala untuk pelaksanaan dekomisioning memiliki waktu untuk menyelesaikan permasalahan tersebut namun fasilitas tidak menjadi potensi bahaya radiasi. Jika diterapkan pada Dekomisioning Reaktor TRIGA 2000 maka akan memberikan ruang gerak bagi BRIN untuk membangun fasilitas Penyimpanan Limbah yang memadai, untuk mempersiapkan dekomisioning yang akan dilaksanakan. Disini Badan Pengawas juga tidak perlu memberikan izin dekomisioning ataupun perpanjangan operasi, dan bisa memastikan bahwa Izin Dekomisioning diberikan hanya ketika Pemegang Izin sudah benar-benar siap untuk melakukan Dekomisioning.

Kesimpulan

Dari Pembahasan tersebut didapati bahwa penulis mendapati bahwa Konsep *Possess or Control* dapat diusulkan sebagai alternatif jika terjadi dilema dimana reaktor TRIGA 2000 tidak bisa dilakukan dekomisioning maupun perpanjangan izin operasi. Badan Pengawas juga tidak dihadapkan pada opsi memberikan Izin Dekomisioning maupun Perpanjangan Operasi karena *Possess or Control* akan memastikan bahwa Pemegang Izin sudah benar-benar siap untuk melakukan dekomisioning. Penerapan Konsep *Possess or Control* harus dikaji kemampuserapannya pada perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir di Indonesia, karena konsep Konsep *Possess or Control* memperbolehkan adanya modifikasi SSK tanpa pengajuan persetujuan modifikasi. Atau jalan tengahnya, tetap memerlukan persetujuan modifikasi selama masa berlaku Konsep *Possess or Control* berlaku. Perlu dicari lagi referensi penerapan *Possess or control* di negara lain, terutama penerapannya di negara berkembang seperti Indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN. (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*. BAPETEN. Indonesia.
- [2] BAPETEN. (2009). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir* BAPETEN. Indonesia.
- [3] IAEA.(2014). *Decommissioning of facilities. General Safety Requirements Part 6*. IAEA.Vienna.
- [4] BRIN. (2023). *IAEA Peer Review Mission – Research Reactor and Waste Management*. <https://www.brin.go.id/news/110571/iaea-peer-review-mission-research-reactor-and-waste-management>. 19 Oktober 2022.
- [5] Sutoto, Kwat Heriyanto, Mulyono Daryoko. (2016). *Perhitungan Jumlah Limbah Paska Dekomisioning Reaktor TRIGA Mark II Bandung, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV* ISSN 1410 - 6086, 165-172.
- [6] ARPANSA, Australia.(2021). *Regulatory Guide - Possess or Control and Extended Shutdown of a Facility or Source (ARPANSA-GDE-1757WEB)*. <https://www.arpansa.gov.au>. 1 Maret 2021.
- [7] ANSTO (2012). *Decommissioning of HIFAR. PowerPoint Presentation (iaea.org)*. Mei 2012.
- [8] IAEA.(2002). *Safe Enclosure of Nuclear Facilities During Deferred Dismantling, Safety Reports Series No.26*. IAEA.Vienna.
- [9] ARPANSA, Australia.(2008). *HIFAR research reactor*. <https://www.arpansa.gov.au>. 15 september 2008.
- [10] OECD-NEA, Australia. *RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT PROGRAMMES IN OECD/NEA MEMBER COUNTRIES*. (australia_profile_web.pdf (oecd-nea.org))



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Estimasi Dosis Radiasi Pasien dengan Metode *Size-Specific Dose Estimate* (SSDE) pada Pemeriksaan *Computed Tomography* (CT) Scan Abdomen di Instalasi Radiologi RSUD Sanjiwani Gianyar

I Wayan Krisnanda¹, Gusti Ngurah Sutapa²

^{1,2}Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana

Korespondensi penulis:

iwayankrisnanda09@gmail.com

sutapafis97@unud.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian estimasi dosis radiasi pasien dengan metode SSDE pada pemeriksaan CT Scan abdomen di Instalasi Radiologi RSUD Sanjiwani Gianyar. Metode SSDE merupakan metode yang sangat tepat digunakan dalam menentukan nilai estimasi dosis radiasi karena metode ini mempertimbangkan ukuran tubuh pasien. Parameter data yang digunakan yaitu $CTDI_{vol}$, panjang LAT, dan panjang AP pada pasien yang berusia di atas 25 tahun. Data dikelompokkan menjadi dua, yaitu data pasien berjenis kelamin laki-laki dan perempuan. Nilai SSDE diperoleh dari hasil perkalian antara faktor konversi dengan $CTDI_{vol}$. Faktor konversi diperoleh dengan menentukan diameter efektif dari panjang LAT dan AP pada hasil citra CT Scan abdomen menggunakan Tabel AAPM 204. Hasil menunjukkan bahwa, nilai SSDE pada pasien perempuan lebih besar dibandingkan dengan pasien laki-laki. Pada pasien perempuan nilai rata-rata SSDE adalah $9,92 \pm 1,58$ mGy, sedangkan pada pasien laki-laki sebesar $9,82 \pm 1,95$ mGy. Besar nilai dosis pada pasien perempuan ataupun laki-laki tidak melebihi nilai yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Kepala BAPETEN No. 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X CT Scan dan Radiografi Umum, sehingga dapat dinyatakan bahwa pada proses penyinaran tidak menimbulkan efek yang dapat merugikan tubuh pasien, seperti kerusakan sel-sel tubuh dan kerusakan genetik.

Kata Kunci: CT Scan, SSDE, $CTDI_{vol}$, Faktor konversi, Abdomen

Abstract

A study on estimating the radiation dose of patients using the SSDE method has been carried out on an abdominal CT scan at the Radiology Installation of the Sanjiwani Hospital, Gianyar. The SSDE method is a very precise method used in determining the estimated value of the radiation dose because this method takes into account the patient's body size. The data parameters used were $CTDI_{vol}$, LAT length, and AP length in patients over 25 years of age. The data were grouped into two, namely male and female patient data. The SSDE value is obtained from the multiplication between the conversion factor and the $CTDI_{vol}$. The conversion factor was obtained by determining the effective diameter of the length of the LAT and AP on the abdominal CT scan images using Table AAPM 204. The results showed that the SSDE value in female patients was greater than that of male patients. In female patients, the mean SSDE was $9,92 \pm 1,58$ mGy, while in male patients it was $9,82 \pm 1,95$ mGy. The dose value in female or male patients does not exceed the value set based on Decision of the Head of BAPETEN No. 1211/K/V/2021 Concerning Determination of Indonesian Diagnostic Reference Level Values for CT Scan X-Ray Modalities and General Radiography, so that it can be stated that the irradiation process does not cause effects that can harm the patient's body, such as damage to body cells and genetic damage.

Keywords: CT Scan, SSDE, $CTDI_{vol}$, Conversion Factor, Abdomen

Pendahuluan

Kemajuan ilmu pengetahuan mendorong perkembangan dunia kesehatan khususnya pemeriksaan menggunakan radiasi atau disebut radiologis. Adapun contoh dari perkembangan tersebut yakni penggunaan *Computed Tomography (CT) Scan* [1]. Pesawat *CT Scan* merupakan alat yang dapat digunakan untuk mencitrakan objek 3D dengan menggunakan radiasi pengion yaitu sinar-X. Pada era saat ini *CT Scan* cukup sering digunakan dibandingkan dengan alat pencitraan konvensional karena pemeriksaan dengan *CT Scan* dapat dengan lebih banyak mendeteksi kelainan pada organ tubuh dan citra yang dihasilkan tidak tumpang tindih sehingga citra yang dihasilkan tidak hanya tegak lurus saja, tetapi juga dapat diperoleh secara *axial*, *sagittal*, dan *coronal* sehingga semakin mempermudah pemeriksaan [2].

Hampir setiap rumah sakit yang ada di dunia menggunakan *CT Scan* dalam mendiagnosis pasien dengan cedera pada organ tubuhnya dengan bantuan pancaran sinar-X pada organ tubuh pasien yang memerlukan diagnosis lebih lanjut [1]. Pesawat *CT Scan* biasanya dapat digunakan untuk berbagai macam pemeriksaan seperti pemeriksaan kepala, *thorax*, dan *abdomen*. Pemeriksaan *CT Scan abdomen* cenderung sedikit dibandingkan dengan pemeriksaan organ lainnya [3].

Pesawat *CT Scan* mempunyai dosis yang lebih tinggi dibanding dengan alat pencitraan medis lainnya. Nilai dosis *CT Scan* yang dijadikan sebagai informasi dosis adalah *Dose Length Product (DLP)* dan *Volumetric CT Dose Index (CTDI)* [4]. DLP secara langsung berkaitan dengan jumlah irisan objek yang diperiksa, tetapi DLP hanya diperuntukkan dalam perhitungan dosis secara menyeluruh sepanjang bagian yang di-*Scan* dan CTDI hanya berperan sebagai *output CT Scan*. Hasil dosis yang diterima pasien tidak hanya bergantung pada dosis *output*, tetapi juga pada ukuran tubuh pasien [5]. Maka dari itu, telah ditetapkan metode *Size Spesific Dose Estimate (SSDE)* oleh *American Association of Physicists in Medicine (AAPM)* pada *Report No. 204*.

SSDE merupakan parameter dosis yang memperhitungkan koreksi berdasarkan diameter efektif (dE) pasien yang ditinjau dari citra *CT Scan* pada irisan *axial*. SSDE dapat diperoleh dengan mengalikan nilai $CTDI_{vol}$ dengan nilai faktor konversi (f_{size}) yang bergantung terhadap dE [6]. Dosis yang dikenakan pada pasien tidak dianjurkan melebihi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Kepala BAPETEN dan *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*. Apabila dosis yang diterima pasien melebihi standar yang ditetapkan maka akan timbul efek yang dapat merugikan tubuh pasien seperti kerusakan sel-sel tubuh dan kerusakan genetik [1]. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang dilakukan terkait dengan estimasi dosis radiasi pasien dengan metode SSDE pada pemeriksaan *CT Scan abdomen*, dimana dosis tersebut tidak diperbolehkan lebih dari aturan yang ditetapkan dalam Keputusan Kepala BAPETEN No. 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X *CT Scan* dan Radiografi Umum.

Metode

Dalam penelitian ini, model pesawat *CT Scan* yang digunakan adalah merk Siemens 64 Slice tipe *Straton Mx* yang memiliki nomor seri 648071871 di Instalasi Radiologi RSUD Sanjiwani Gianyar. Data yang diperoleh merupakan hasil pemeriksaan *CT Scan abdomen*. Adapun data rekam medik yang diperlukan dalam penentuan estimasi dosis dengan metode SSDE yakni $CTDI_{vol}$, panjang AP (Anterior-Posterior), dan panjang LAT (Lateral). Data tersebut dikelompokkan sesuai jenis kelamin, yaitu perempuan dan laki-laki. Data-data tersebut akan dicari rata-rata dan standar deviasinya.

Sebelum menentukan nilai SSDE, dilakukan perhitungan diameter efektif (dE) dari panjang AP dan LAT citra pasien menggunakan rumus yang ditunjukkan oleh Persamaan 1 [7].

$$dE = \sqrt{AP \times LAT} \quad (1)$$

Keterangan:

- dE = diameter efektif (cm)
- AP = panjang anterior-posterior (cm)
- LAT = panjang lateral (cm)

Panjang AP dan LAT diperoleh dari hasil pengukuran geometri citra pasien yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengukuran panjang AP dan Lateral pada citra CT Scan abdomen

Keterangan:

2D 1 = panjang AP

2D 2 = panjang LAT.

Kemudian, dE akan dikonversi menggunakan Tabel AAPM Report No. 204 untuk mendapatkan faktor konversi (f). Setelah itu, nilai SSDE didapat dengan mengalikan $CTDI_{vol}$ dengan faktor konversi (f) dari pasien seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2 [7].

$$SSDE = f_{size}^{32X} \times CTDI_{vol}^{32} \quad (2)$$

Keterangan:

SSDE = Size-Specific Dose Estimate (mGy)

f_{size}^{32X} = faktor konversi

$CTDI_{vol}^{32}$ = Volumetric CT Dose Index (mGy)

Nilai dosis yang diperoleh tidak boleh melebihi standar yang ditetapkan dalam Keputusan Kepala BAPETEN No. 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X CT Scan dan Radiografi Umum. Dalam Keputusan Kepala BAPETEN tersebut diatur bahwa untuk jenis pemeriksaan CT abdomen non kontras, standar nilai $CTDI_{vol}$ sebesar 17 mGy. Nilai tersebut merupakan standar dosis yang ditetapkan [8].

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pemeriksaan CT Scan abdomen, hasil yang diperoleh kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin. Data tersebut adalah $CTDI_{vol}$, panjang AP, panjang LAT, dE, dan faktor konversi (f). Kemudian, rata-rata serta standar deviasi dari data yang diperoleh dihitung dan hasil perhitungan tersebut diperlihatkan pada Tabel 1 sampai Tabel 5.

Tabel 1. Nilai $CTDI_{vol}$ rata-rata

No.	Jenis Kelamin	$CTDI_{vol}$ (mGy)
1.	Perempuan	(6,35±1,48)
2.	Laki-laki	(6,74±2,50)

Tabel 2. Nilai panjang AP rata-rata

No.	Jenis Kelamin	Panjang AP (cm)
1.	Perempuan	(18,80±2,91)
2.	Laki-laki	(19,97±4,20)

Tabel 3. Nilai panjang LAT rata-rata

No.	Jenis Kelamin	Panjang LAT (cm)
1.	Perempuan	(29,17±4,20)
2.	Laki-laki	(30,74±4,70)

Tabel 4. Nilai dE rata-rata

No.	Jenis Kelamin	dE (cm)
1.	Perempuan	(23,39±3,30)
2.	Laki-laki	(24,73±4,32)

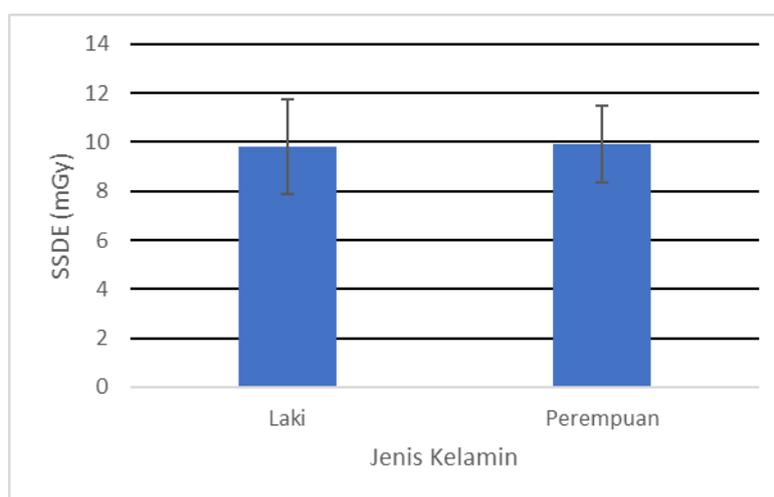
Tabel 5. Nilai faktor konversi rata-rata

No.	Jenis Kelamin	Faktor konversi (f)
1.	Perempuan	(1,59±0,19)
2.	Laki-laki	(1,50±0,23)

Selanjutnya, SSDE dapat dihitung dengan mengalikan $CTDI_{vol}$ dengan faktor konversi (f). Hasil perhitungan nilai SSDE ditunjukkan pada Tabel 6 dan hubungan grafik hubungan jenis kelamin dan SSDE diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 6. Nilai SSDE rata-rata

No.	Jenis Kelamin	SSDE (mGy)
1.	Perempuan	(9,92±1,58)
2.	Laki-laki	(9,82±1,95)



Gambar 2. Grafik hubungan jenis kelamin dengan SSDE

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa pasien laki-laki memiliki nilai $CTDI_{vol}$ rata-rata lebih besar dibandingkan dengan pasien perempuan. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sofiana pada tahun 2012, perbedaan nilai $CTDI_{vol}$ rata-rata tersebut disebabkan oleh perbedaan volume organ, dimana volume organ laki-laki cenderung lebih besar dibandingkan dengan pasien perempuan [8]. Nilai $CTDI_{vol}$ rata-rata yang diperoleh oleh pasien perempuan dan laki-laki masing-masing yaitu $6,35±1,48$ mGy dan $6,74±2,50$ mGy. Pada Tabel 5 menunjukkan nilai faktor konversi (f) rata-rata yang mana faktor konversi ini diperoleh dari mengkonversikan hasil perhitungan dE dengan tabel pada aturan AAPM 204. Nilai faktor konversi rata-rata pada pasien perempuan sebesar $1,59±0,19$ dan pasien laki-laki sebesar $1,50±0,23$. Perbedaan nilai tersebut diakibatkan dari perbedaan panjang LAT dan AP dari *abdomen* pasien laki-laki dengan perempuan.

Nilai SSDE diperoleh dari mengalikan nilai $CTDI_{vol}$ dengan faktor konversi (f). Nilai SSDE pada pasien perempuan lebih besar dibandingkan pasien laki-laki seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 2. Pada pasien perempuan nilai SSDE sebesar $9,92±1,58$ mGy dan pada pasien laki-laki sebesar $9,82±1,95$ mGy. Hal ini disebabkan oleh nilai $CTDI_{vol}$ dan faktor konversi (f) pada pasien perempuan lebih besar. Besar nilai dosis baik pada pasien perempuan maupun laki-laki tidak melebihi standar dosis yang ditetapkan dalam Keputusan Kepala BAPETEN No. 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X CT Scan dan Radiografi Umum yang dalam hal ini ditentukan berdasarkan

nilai $CTDI_{vol}$ sebesar 17 mGy [8]. Hal tersebut mengartikan bahwa pada proses penyinaran tidak menimbulkan efek yang dapat merugikan tubuh pasien, seperti kerusakan sel-sel tubuh dan kerusakan genetik [1].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan yaitu nilai estimasi dosis radiasi menggunakan metode SSDE pada pasien perempuan dan laki-laki berbeda. Pada pasien perempuan sebesar $9,92 \pm 1,58$ mGy dan pada pasien laki-laki sebesar $9,82 \pm 1,95$ mGy, dimana nilai dosis yang diperoleh kurang dari standar dosis yang ditetapkan dalam Keputusan Kepala BAPETEN No. 1211/K/V/2021 berdasarkan nilai $CTDI_{vol}$ yaitu sebesar 17 mGy.

Daftar Pustaka

- [1] Sofiana, L. (2012). *Estimasi Dosis Efektif Pada Pemeriksaan Multi Slice CT Scan Kepala dan Abdomen Berdasarkan Rekomendasi ICRP 103*. Universitas Brawijaya: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- [2] Meilinda, T., Hidayanto, E., dan Arifin, Z. (2014). Pengaruh Perubahan Faktor Eksposi Terhadap Nilai CT Number. *Youngster Physics Journal*. 3(3): 269-278.
- [3] Silvia, H., Milvita, D., Prasetio, H., dan Yuliati, H. (2013). Estimasi Nilai CTDI dan Dosis Efektif Pada Bagian *Head, Thorax* dan Abdomen Hasil Pemeriksaan CT Scan Merek Philips Briliance 6. *Jurnal Fisika Unand*. 2(2): 128-134.
- [4] Ngaile, J. E., and Msaki, P. K. (2006). *Estimation of Patient Organ Dose from CT examinations in Tanzania*. 7(3): 80-94.
- [5] Matsubara, K. (2017). *Computed Tomography Dosimetry: From Basic to State-of the-art Techniques*.
- [6] Safitri, R dan Nurmalita. (2014). *The Method of CT Dosimetry Based on the Computed Tomography Dose Index (CTDI) for the Treatment of the Human's Head*. 3(1): 1-9.
- [7] AAPM Report 204. (2013). *Size-Specific Dose Estimate (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations*. American Association of Physicists in Medicine. 3-19.
- [8] Keputusan Kepala BAPETEN. (2021). Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X CT Scan dan Radiografi Umum.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pengaruh Variasi Arus Tabung Sinar-X (mA) terhadap Nilai *Contrast-To-Noise Ratio (CNR)* Pesawat *CT-Scan*

Dwinanda Vedani Putri¹, Ni Kadek Nova Anggarani², Rozi Irhas³

^{1,2} Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana, Kampus Bukit, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kab. Badung, Bali 80361

³ Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar

Korespondensi penulis:
nandavedani@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi arus tabung sinar-X terhadap nilai *Contrast-to-Noise Ratio (CNR)* pesawat *CT-Scan*. Pengambilan data ini dilakukan dengan pembacaan ROI sebanyak 5 kali pada gambar *phantom*, menggunakan *slice thickness* 8 mm, tegangan tabung sinar-X 100 kV, waktu rotasi *gantry* (s) selama 1 detik dan variasi arus tabung sinar-X, yaitu 100 mA, 150 mA, 200 mA, 250 mA, dan 300 mA. Data yang diolah pada gambar *phantom* adalah nilai rata-rata ROI material dan *background* serta rata-rata standar deviasi *background*. Nilai CNR dapat diperoleh dengan menghitung rasio antar selisih rata-rata ROI material dan rata-rata ROI *background* dengan rata-rata standar deviasi *background*. Analisis pengaruh variasi arus tabung terhadap CNR ditentukan dengan grafik perbandingan antara arus tabung dan nilai CNR. Semakin besar arus tabung sinar-X yang diberikan, maka semakin besar nilai CNR yang diperoleh dan kualitas gambar yang diperoleh semakin baik. Nilai CNR yang optimal diperoleh pada arus tabung sebesar 300 mA. Nilai CNR yang optimal pada material udara, delrin, *acrylic*, *nylon* dan *polypropylene* berturut-turut adalah 178,003; 58,0427; 21,6157; 15,0996; 21,2918.

Kata Kunci: Arus tabung sinar-X, *Contrast-to-Noise Ratio (CNR)*, *Region Of Interest (ROI)*, *CT-Scan*, *phantom*, kualitas gambar.

Abstract

Research has been carried out on the effect of variations in X-ray tube current on the value of the *Contrast-to-Noise Ratio (CNR)* of *CT-Scan* aircraft. This data was collected by reading the ROI five times on the phantom image, using a *slice thickness* of 8 mm, X-ray tube voltage of 100 kV, and variations of X-ray tube current, namely 100 mA, 150 mA, 200 mA, 250 mA, and 300 mA with a *gantry* rotation (s) of 1 second. The data processed on the phantom image is the average ROI value of the material and background and the average standard deviation of the background. The CNR value can be obtained by calculating the ratio between the difference between the average material ROI and the average background ROI with the average background standard deviation. Analysis of the effect of tube current variations on CNR is determined by a comparison chart between tube current and CNR values. The greater the X-ray tube current, the greater the CNR value obtained and the better the image quality obtained. The optimal CNR value is obtained at a tube current of 300 mA. Optimal CNR values for air, delrin, *acrylic*, *nylon*, and *polypropylene* materials were 178.003; 58.0427; 21.6157; 15.0996; 21.2918.

Keywords: X-ray tube current, *Contrast-to-Noise Ratio (CNR)*, *Region Of Interest (ROI)*, *CT-Scan*, *Phantom*, image quality.

Pendahuluan

Peralatan radiologi adalah salah satu peralatan rumah sakit yang menggunakan radiasi non-pengion dan pengion untuk menegakkan diagnosis dengan tujuan tertentu. Radiasi non-pengion adalah radiasi yang tidak menyebabkan terjadinya ionisasi. Jenis radiasi non-pengion meliputi gelombang radio, televisi, dan gelombang radar. Radiasi pengion adalah radiasi yang dapat menyebabkan terjadinya ionisasi. Salah satu jenis radiasi pengion adalah sinar-X [1]. Sinar-X dihasilkan dalam tabung hampa udara yang didalamnya terdapat filamen sebagai katoda dan bidang target sebagai anode. Sinar-X yang dipancarkan oleh tabung sinar-X terbagi menjadi dua jenis, yaitu sinar-X karakteristik dan sinar-X *Bremsstrahlung* [2].

Computed Tomography Scan (CT-Scan) adalah salah satu peralatan radiologi yang menggunakan sinar-X dengan metode tomografi dan pencitraan digital yang menghasilkan gambar tiga dimensi organ dalam tubuh [3]. *CT-Scan* memerlukan program *Quality Control (QC)* untuk memastikan kualitas gambar *CT-Scan* dan dosis yang dihasilkan masih dalam batas toleransi yang ditetapkan [4]. Program *QC* pada *CT-Scan* meliputi penerimaan dan pemasangan awal, evaluasi kinerja rutin dan saat alat tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Terkadang *CT-Scan* menghasilkan gambar dengan kualitas yang tidak diinginkan, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan dalam penegakan diagnosa oleh dokter. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengujian secara rutin dan berkala terhadap parameter yang berkaitan dengan kualitas gambar pada *CT-Scan*.

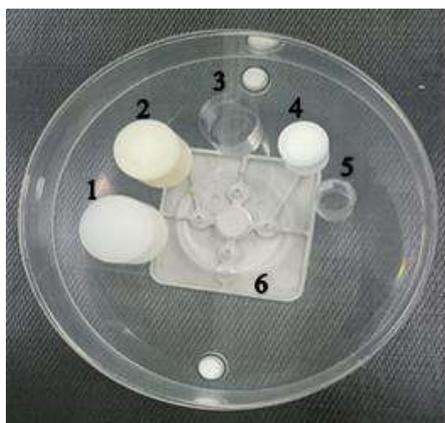
Salah satu fungsi *QC* pada gambar digital adalah menandai area pada hasil gambar digital yang dianalisis dari gambar tersebut dengan menggunakan metode *Region of Interest (ROI)* [5]. Salah satu parameter uji yang dilakukan dengan menggunakan ROI untuk menentukan kualitas gambar pada *CT-Scan* adalah *Contrast-to-Noise Ratio (CNR)*. *CNR* adalah perbandingan antar selisih antara *mean Region of Interest (ROI)* material dan *mean ROI background* dengan standar deviasi *background* [6]. Semakin tinggi nilai kontras maka semakin mudah untuk memisahkan sinyal dari *background* [5]. Parameter *CNR* bertujuan untuk memudahkan dokter dalam membuat diagnosis kuantitatif dan mendapatkan gambar sinar-X berkualitas baik, sehingga perlu diketahui penggunaan nilai faktor eksposi yang optimal. Faktor eksposi meliputi tegangan tabung sinar-x (kV), arus tabung (mA) dan waktu rotasi tabung (s). Tegangan tabung menunjukkan kecepatan elektron untuk menabrak target dan kemampuan sinar-X untuk menembus objek. Arus tabung untuk mengontrol jumlah sinar-X dan dosis radiasi yang diterima pasien, dan waktu rotasi tabung sinar-x digunakan untuk untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima pasien dan meminimalkan pergerakan pasien [7].

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, metode *CNR* telah banyak digunakan untuk mengukur kualitas gambar secara kuantitatif, terutama pada gambar tomografi. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui dosis paparan radiasi yang diberikan berpengaruh pada nilai *CNR*. Penelitian itu dilakukan dengan menggunakan variasi *slice thickness* objek yang berbeda dan menghasilkan nilai *CNR* yang berpengaruh terhadap kualitas gambar. Semakin tinggi nilai *CNR*, maka gambar yang diperoleh semakin baik. Penambahan nilai *CNR* dipengaruhi oleh pemberian arus tabung konstan [5].

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan pengaruh variasi arus tabung *CT-Scan* (mA) untuk nilai *Contrast to Noise Ratio (CNR)* pesawat *CT-Scan* yang bertujuan untuk mengetahui besar arus tabung yang digunakan untuk memperoleh nilai *CNR* yang optimal pada masing-masing material pada *phantom* dan mengetahui pengaruh variasi arus tabung sinar-X terhadap nilai *CNR* pada pesawat *CT-Scan*.

Metode

Penelitian ini menggunakan pesawat *CT-Scan Aquilion LB*, *computer console*, dan *phantom* bawaan *CT-Scan*. *Phantom* bawaan *CT-Scan* ini terdapat 6 material yang memiliki kemiripan dengan masing-masing densitas organ tubuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. *Phantom* bawaan *CT-Scan*

Pada Gambar 1, nomor 1 adalah *polypropylene* memiliki kerapatan standar yaitu sebesar -105 ± 10 sebagai pengganti lemak, nomor 2 adalah *nylon* memiliki kerapatan standar yaitu sebesar 100 ± 10 sebagai pengganti jaringan lunak, nomor 3 adalah *acrylic* memiliki kerapatan standar yaitu sebesar 125 ± 10 sebagai pengganti tulang rawan pada organ tubuh, nomor 4 adalah *delrin* memiliki kerapatan standar yaitu sebesar 340 ± 10 sebagai pengganti tulang pada organ tubuh, nomor 5 adalah udara memiliki kerapatan standar yaitu sebesar -1000 ± 20 sebagai pengganti ruang hampa pada organ tubuh, dan nomor 6 adalah air atau *background* pada pusat *phantom* memiliki kerapatan standar yaitu sebesar 0 ± 5 sebagai cairan utama yang menyusun organ tubuh [8].

Pengambilan data dilakukan dengan mempersiapkan pesawat *CT-Scan*, *computer console*, dan *phantom* bawaan *CT-Scan*. Parameter yang digunakan meliputi waktu rotasi *gantry* (s) 1 detik, tegangan 100 kV, dan *slice thickness* 8 mm, serta arus tabung sinar-X sebesar 100 mA, 150 mA, 200 mA, 250 mA, dan 300 mA. Setelah itu, melakukan *scanning* terhadap *phantom*. Kemudian, melakukan pembacaan ROI sebanyak 5 kali pada masing-masing nilai arus tabung.

Data yang diolah adalah nilai *mean ROI* masing-masing material dan *background* serta standar deviasi *background* yang diperoleh, kemudian dikelompokkan berdasarkan ROI material dan ROI *background* untuk menghitung rata-rata nilai *mean ROI* dari masing-masing material dan *background*, serta rata-rata standar deviasi *background* pada setiap pembacaan ROI.

Setelah itu, menghitung perbandingan antar selisih antara rerata *mean ROI* material $\overline{S_A}$ dan rerata *mean ROI background* $\overline{S_B}$ dengan rerata standar deviasi *background* $\overline{\sigma}$ untuk memperoleh nilai CNR. Secara matematis, perhitungan nilai CNR menggunakan persamaan berikut.

$$CNR = \frac{|\overline{S_A} - \overline{S_B}|}{\overline{\sigma}} \quad (1)$$

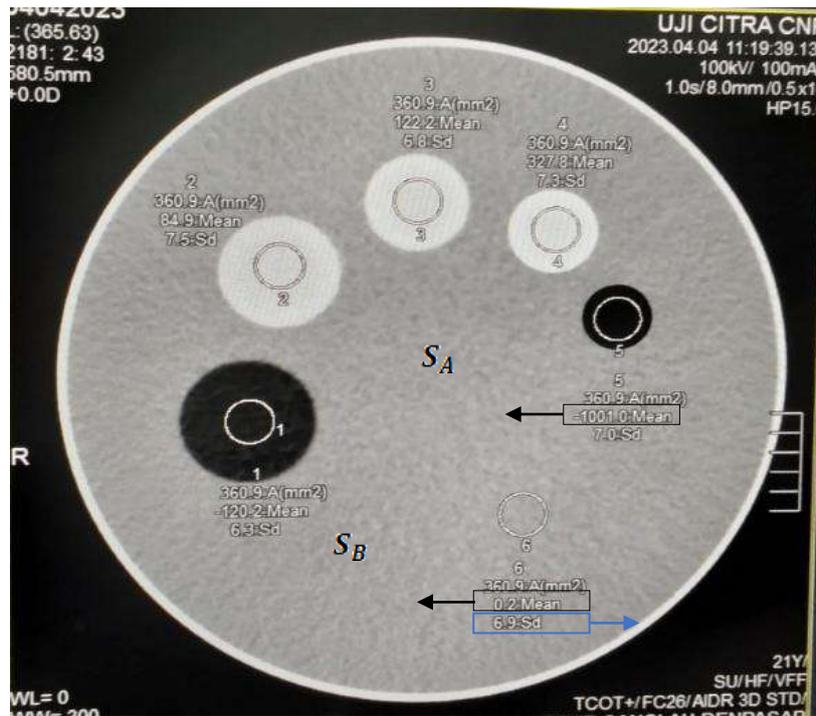
Pengaruh variasi arus tabung sinar-X terhadap nilai CNR dapat diketahui dengan memperoleh grafik dari aplikasi *microsoft excel*. Grafik pengaruh variasi arus tabung sinar-X terhadap nilai CNR digambarkan dengan arus tabung sinar-X sebagai sumbu-X dan nilai CNR sebagai sumbu-Y.

Untuk protokol kepala dan perut orang dewasa nilai CNR harus lebih besar dari 1,0. Sedangkan, untuk protokol perut anak-anak harus lebih besar dari 0,4 dan untuk protokol kepala anak-anak lebih besar dari 0,7. Hubungan antara CNR dan kualitas diagnostik gambar radiograf adalah gambar yang menunjukkan nilai CNR yang tinggi akan mudah untuk di diagnosis, sedangkan gambar yang memiliki tingkat CNR rendah tidak dapat di diagnosis [9].

Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan variasi arus tabung sinar-X, yaitu 100 mA, 150 mA, 200 mA, 250 mA, dan 300 mA. Setelah proses *scanning* dilakukan, diperoleh hasil *scanning phantom* dengan variasi arus tabung. Kemudian dilakukan pembacaan ROI pada setiap material. Pembacaan ROI hasil *scanning phantom* ini menunjukkan nilai *mean* dan standar deviasi dari hasil *scanning phantom*. Pembacaan ROI ini dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap material *phantom*

dengan variasi arus tabung. Berikut salah satu hasil *scanning phantom* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil *scanning phantom* bawaan CT-Scan dengan ROI masing-masing material

Pada Gambar 2, ROI masing-masing material dari hasil *scanning phantom bawaan CT-Scan* adalah nomor 1 menunjukkan *polypropylene*, nomor 2 menunjukkan *nylon*, nomor 3 menunjukkan *acrylic*, nomor 4 menunjukkan *delrin*, nomor 5 menunjukkan udara, dan nomor 6 menunjukkan air atau *background* pada pusat *phantom*.

Kemudian, pembacaan nilai ROI *mean* material S_A dan *background* S_B , serta standar deviasi *background* σ pada Gambar 2 juga dilakukan. Dari pembacaan ROI pada masing-masing material dapat diperoleh nilai ketidakpastian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai ketidakpastian dari pengukuran ROI pada masing-masing material

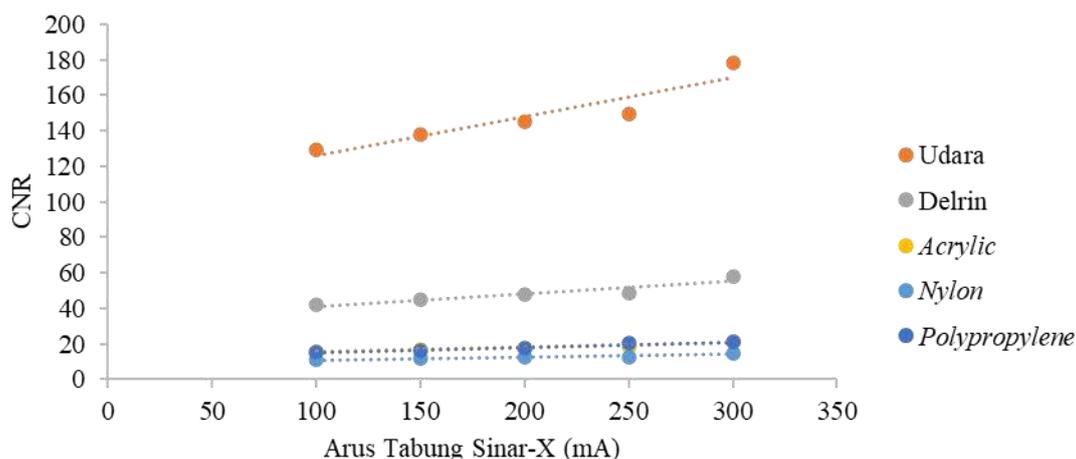
Arus tabung (mA)	Udara	Delrin	Acrylic	Nylon	Polypropylene
100	$-1000,6 \pm 0,5273$	$327,42 \pm 0,2588$	$121,98 \pm 0,3493$	$84,38 \pm 0,4087$	$-119,92 \pm 0,5357$
150	$-999,94 \pm 0,1517$	$326,72 \pm 0,6573$	$122,3 \pm 1,2145$	$85,48 \pm 1,2755$	$-119,68 \pm 0,3768$
200	$-1000,06 \pm 0,114$	$326,84 \pm 0,4219$	$122,26 \pm 1,3939$	$85,6 \pm 1,1467$	$-119,5 \pm 0,1225$
250	$-1000,34 \pm 0,313$	$326,24 \pm 0,5413$	$121,96 \pm 1,2239$	$85,24 \pm 1,0968$	$-135,94 \pm 35,532$
300	$-1000,76 \pm 0,2608$	$325,82 \pm 0,7159$	$121,02 \pm 0,228$	$84,48 \pm 0,1643$	$-120,04 \pm 0,3362$

Setelah pembacaan nilai ROI, dilakukan perhitungan nilai rata-rata mean dari masing-masing material, background dan rata-rata standar deviasi background. Kemudian, dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh nilai CNR pada ROI masing-masing jenis material, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai CNR pada ROI masing-masing material

Arus tabung (mA)	Nilai perhitungan CNR berdasarkan ROI masing-masing material				
	Udara	Delrin	Acrylic	Nylon	Polypropylene
100	129,614	42,4171	15,8083	10,9352	15,5285
150	137,667	45,0689	16,9118	11,8402	16,4187
200	145,285	47,5785	17,8430	12,5145	17,2965
250	149,710	48,8802	18,2994	12,8024	17,9132
300	178,003	58,0427	21,6157	15,0996	21,2918

Dari Tabel 2 diperoleh nilai CNR rata-rata, nilai CNR minimum dan nilai CNR maksimum pada ROI masing-masing material. Nilai CNR rata-rata pada ROI masing-masing material berturut-turut adalah 148,056; 48,3975; 18,0956; 12,6384; 17,6897. Nilai CNR minimum pada ROI masing-masing material berturut-turut adalah 129,614; 42,4171; 15,8083; 10,9352; 15,5285 dan nilai CNR maksimum pada ROI masing-masing material berturut-turut adalah. 178,003; 58,0427; 21,6157; 15,0996; 21,2918. Kemudian, dari hasil perhitungan CNR tersebut, dapat diperoleh grafik pengaruh variasi arus tabung terhadap nilai CNR masing-masing material sebagai berikut.



Gambar 3. Pengaruh variasi arus tabung sinar-X terhadap nilai CNR masing-masing material

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa nilai dari perhitungan CNR yang diperoleh dari keseluruhan data dengan pemberian variasi arus tabung yang berbeda diperoleh hasil perhitungan CNR yang berbeda pada setiap arus tabung. Hal ini dibuktikan dengan nilai CNR pada grafik yang mengalami peningkatan ketika nilai arus tabung yang diberikan juga meningkat. Berdasarkan pembuktian itu, nilai CNR yang dihasilkan dari setiap variasi arus tabung berpengaruh pada kualitas gambar, sehingga semakin besar nilai arus tabung dan nilai CNR yang diperoleh, maka semakin baik kualitas gambar yang diperoleh. Dari grafik diatas juga dapat dilihat bahwa material udara memiliki nilai CNR yang sangat tinggi dari material yang lain, hal ini dikarenakan material udara tidak terlalu banyak menyerap sinar-X yang dipancarkan melalui *CT-Scan*.

Kesimpulan

Nilai CNR yang optimal diperoleh pada arus tabung sebesar 300 mA. Nilai CNR yang optimal pada material udara, delrin, acrylic, nylon dan polypropylene berturut-turut adalah 178,003; 58,0427; 21,6157; 15,0996; 21,2918. Variasi arus tabung sinar-X mempengaruhi nilai CNR pesawat *CT-Scan*, hal ini ditunjukkan pada nilai CNR yang diperoleh semakin meningkat ketika arus tabung yang diberikan semakin besar. Peningkatan nilai CNR ini akan menghasilkan kualitas gambar yang semakin baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kak Rozi selaku staf di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar karena telah membantu dalam pelaksanaan penelitian, serta dosen program studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana yang telah memberikan dukungan sehingga publikasi ini dapat selesai sebagaimana mestinya.

Daftar Pustaka

- [1] Angella S, Bisra M, Wahyuni L. (2020). Sosialisasi Peran Radiografer Dalam Bidang Kesehatan Di Sma Bagan Siapi-Api. *Awal Bros Journal of Community Development*, Vol.1(1): 10-13.
- [2] Pasinringi. A. (2012). "Penguji-an Kesesuaian Antara Lapangan Penyinaran Kolimator Dengan

- Berkas Radiasi Yang Dihasilkan Pada Pesawat Sinar-X Mobile Di Rumah Sakit Umum Daerah Tani Dan Nelayan Gorontalo”, Skripsi, Universitas Hasanuddin.
- [3] Mustafidah, T. (2020). “Optimalisasi Citra *CT-Scan* Dengan Variasi Arus Tabung Pada Beberapa Filter Kernel Berdasarkan Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR)”. Skripsi. Universitas Airlangga.
- [4] Almuslimiati, A., Milvita, D., & Prasetyo, H. (2019). Analisis Nilai *Noise* dari Citra Pesawat *CT-Scan* pada Beberapa Rekonstruksi Kernel dengan Variasi *Slice Thickness*. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 8(1): 57-63.
- [5] Ningtias, D. R., Wahyudi, B., & Harsoyo, I. T. (2022). *Comparative Test of the Effect of X-Ray Tube Current Analysis and Exposure Time on CR (Computed Radiography) Image Quality*, *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, Vol. 6(1): 267-275.
- [6] American College of Radiology (ACR). 2017. *American College of Radiology CT Accreditation Program Testing Instructions. Revisi*. New York: American Institute of Physics.
- [7] Wibowo, N. P. E., Susilo, S., & Sunarno, S. (2016). Uji Profisiensi Citra Hasil Ekspose Sistem Radiografi Digital Di Laboratorium Fisika Medik Unnes, *Unnes Physics Journal*, Vol. 5(1): 23-29.
- [8] Dewi, P. S., Ratini, N. N., & Trisnawati, N. L. P. (2022). Effect of X-ray tube voltage variation to the value of contrast to noise ratio (CNR) on computed tomography (CT) Scan at RSUD Bali Mandara. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 6(2), 82–90.
- [9] Irnawati. (2018). “Studi Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan *Computer Tomography (CT) Scan* Dengan Nilai *Computer Tomography Dose Index* (CTDI) Di Rumah Sakit Bhayangkara Makasar”, Skripsi, Universitas Islam Negeri Alaudin, Makasar.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Studi Distribusi Dosis Berkas Radiasi Foton 6 MV dan 10 MV pada Volume Target dan *Organ at Risk* Kasus Kanker Serviks dengan Teknik *Three Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3DCRT) di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah

Ni Kadek Udghitha Elsiani¹, Ni Nyoman Ratini¹, Rozi Irhas²

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana

² Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar Denpasar

Korespondensi penulis:

elsi.udghitha@gmail.com

nymratini@unud.ac.id

roziirhas7@gmail.com

Abstrak

Telah dilaksanakan studi distribusi di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah mengenai distribusi dosis berkas radiasi foton 6 MV dan 10 MV pada kasus kanker serviks dengan teknik *Three Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3DCRT) serta menentukan distribusi dosis pada *Organ at Risk* (OAR). Metode pengolahan data yang dilakukan berupa analisa nilai HI, CI, dan distribusi dosis pada OAR terhadap 20 pasien. Hasil yang diperoleh yaitu rata-rata distribusi dosis pada volume target berupa nilai HI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV berurutan yaitu sebesar $0,0924 \pm 0,0039$ dan $0,0929 \pm 0,0020$. Nilai CI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV berurutan yaitu sebesar $0,9630 \pm 0,0021$ dan $0,9631 \pm 0,0021$. Distribusi dosis pada OAR yang diperoleh terdiri dari *rectum* untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan yaitu sebesar $16,72\% \pm 1,80\%$ dan $7,38\% \pm 1,70\%$, *femoral head right* pada berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan yaitu sebesar $0,85\% \pm 0,29\%$ dan $0,96\% \pm 0,33\%$, serta untuk *femoral head left* pada berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan yaitu sebesar $0,68\% \pm 0,29\%$ dan $0,76\% \pm 0,27\%$. Nilai distribusi dosis yang diperoleh pada volume target telah terdistribusi seragam dan tepat melingkupi target, serta distribusi dosis yang diperoleh pada OAR masih dalam batas toleransi yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: Kanker serviks, 3DCRT, foton, HI, CI, OAR

Pendahuluan

Kanker serviks merupakan jenis kanker yang berkembang pada bagian mulut rahim. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) mencatat bahwa kanker serviks menempati urutan kedua setelah kanker payudara dengan jumlah kasus 40.000 kasus baru pada tahun 2019. Kanker serviks umumnya disebabkan oleh *Human Papilloma Virus* (HPV) yang ditularkan melalui kontak kulit ke kulit saat berhubungan seksual. Untuk mencegah semakin meningkatnya kasus kanker serviks, dikembangkanlah pengobatan berupa radioterapi yang dapat membunuh sel kanker dengan tetap melindungi organ sehat disekitarnya [1].

Radioterapi merupakan terapi radiasi yang digunakan dalam penanganan penyakit kanker ataupun tumor. Radioterapi bekerja dengan cara memancarkan radiasi pengion dengan dosis yang maksimal pada daerah kanker dan dosis yang minimal pada organ sehat disekitarnya. Salah satu modalitas yang dapat digunakan dalam penyinaran radioterapi yaitu *Linear Accelerator* (Linac). Linac merupakan peralatan radioterapi yang menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi yang bertujuan untuk mempercepat partikel bermuatan seperti elektron sehingga menghasilkan berkas foton

(sinar-X) untuk mengobati penyakit kanker [2]. Sinar-X dihasilkan dari berkas elektron berkecepatan tinggi yang diperoleh dari hasil percepatan elektron oleh pandu gelombang pemercepat (*accelerating waveguide*). Sinar-X yang dihasilkan adalah sinar-X yang terdistribusi kontinu (*bremsstrahlung*) [3]. Berkas foton digunakan untuk menyinari kanker yang berada di dalam jaringan tubuh seperti kanker payudara, kanker serviks, dan kanker nasofaring, sedangkan berkas elektron digunakan untuk menyinari kasus kanker kulit. Berkas elektron yang tinggi dapat digunakan untuk mengobati tumor dangkal, atau dapat dimodifikasi dengan ditembakkan ke target agar menghasilkan sinar-X sehingga dapat digunakan untuk mengobati tumor yang berada jauh di permukaan tubuh [4]. Berkas radiasi foton yang digunakan pada Linac terdiri dari berkas foton 6 MV dan 10 MV [5].

Dalam perencanaan radioterapi menggunakan Linac, terdapat proses *Treatment Planning System* (TPS) yang bertujuan untuk memastikan proses penyinaran yang akan diberikan dapat bekerja secara optimal melalui parameter-parameter yang akan ditentukan [1]. Salah satu teknik yang digunakan dalam proses TPS untuk kanker serviks yaitu teknik *Three Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3DCRT). Teknik ini mengacu pada data pencitraan tiga dimensi dan bentuk lapangan penyinarannya disesuaikan dengan bentuk target kanker yang dikenal sebagai konformal, sehingga dapat memaksimalkan dosis pada target kanker dan meminimalkan dosis pada organ sehat disekitarnya [6]. Hasil dari perencanaan radioterapi pada TPS akan dilakukan evaluasi terhadap beberapa aspek yaitu homogenitas dosis dalam volume target dan kesesuaian distribusi dosis dengan bentuk target. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui distribusi dosis radiasi yang diberikan pada *Planning Target Volume* (PTV) sudah homogen dan tepat melingkupi volume target kanker. Homogenitas dosis ditentukan oleh nilai *Homogeneity Index* (HI) yang didefinisikan sebagai keseragaman distribusi dosis dalam volume target. Berdasarkan *ICRU Report 83*, nilai ideal untuk HI adalah 0 yang berarti seluruh dosis pada PTV telah homogen atau seragam. Untuk nilai yang masih dapat diterima dalam kriteria ICRU adalah 0 hingga 0,3. Kesesuaian distribusi dosis dengan target tumor ditentukan oleh nilai *Conformity Index* (CI). Berdasarkan *ICRU Report 83*, nilai ideal CI adalah 1, yang berarti bahwa kurva isodosis untuk dosis perskripsi tepat melingkupi PTV [7]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merupakan penelitian baru yang bertujuan untuk mengetahui distribusi dosis pada target kanker telah homogen dan sudah tepat melingkupi volume target kanker serta dapat mengetahui distribusi dosis pada *Organ at Risk* (OAR) masih dalam batas toleransi yang ditetapkan pada *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition* [8].

Metode

Penelitian mengenai distribusi dosis berkas radiasi foton 6 MV dan 10 MV pada kasus kanker serviks dengan teknik 3DCRT dilaksanakan di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah. Peralatan yang digunakan terdiri dari Pesawat *Computed Tomography* (CT) Simulator untuk melakukan proses simulasi dan komputer TPS jenis TPS *Monaco* dengan nomor seri 5.11.03 untuk merencanakan proses penyinaran yang akan diberikan. Data yang digunakan sebanyak 20 data pasien kanker serviks dengan menggunakan teknik 3DCRT untuk masing-masing berkas foton 6 MV dan 10 MV dengan jumlah dosis yang digunakan sebesar 5000 cGy, jumlah dosis perfraksi sebesar 200 cGy untuk 25 fraksi serta sudut penyinaran yang digunakan yaitu sebanyak 4 sudut penyinaran untuk masing-masing pasien yang terdiri dari sudut 0°, sudut 90°, sudut 180°, dan sudut 270°. Data tersebut kemudian dianalisa menggunakan analisa nilai HI, analisa nilai CI, dan analisa distribusi dosis pada OAR. Analisa nilai HI dilakukan dengan menggunakan (1) yang terdiri dari besaran dosis yang melingkupi 2% volume PTV ($D_{2\%}$), besaran dosis yang melingkupi 98% PTV ($D_{98\%}$), dan besaran dosis yang melingkupi 50% volume PTV ($D_{50\%}$) [7].

$$\text{Homogeneity Index} = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (1)$$

Analisa nilai CI dilakukan dengan menggunakan (2) yang terdiri dari besarnya keseluruhan volume yang menerima dosis 95% ($V_{95\%}$) dan besarnya volume PTV pada suatu target radiasi (V_{PTV}) [7].

$$\text{Conformity Index} = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}} \quad (2)$$

Analisa distribusi dosis pada OAR dilakukan dengan membandingkan hasil distribusi dosis pada masing-masing OAR yang terdiri dari *rectum*, *femoral head right*, dan *femoral head left* dengan batas

toleransi yang telah ditetapkan oleh *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition* yang dapat diamati pada Tabel 1 [8].

Tabel 1. Toleransi dosis OAR pada kanker serviks

<i>Organ at Risk (OAR)</i>	<i>Batasan Dosis</i>
<i>Rectum</i>	V5000 < 50%
<i>Femoral head right</i>	V5000 < 5%
<i>Femoral head left</i>	V5000 < 5%

(Hristov, *et al.*, 2015)

Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh terdiri dari distribusi dosis pada PTV dan OAR. Data distribusi dosis pada PTV yang terdiri dari rata-rata nilai D_{2%}, D_{98%}, D_{50%}, V_{95%}, dan V_{PTV} untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV dapat diamati pada Tabel 2 dan data distribusi dosis pada OAR berupa nilai persentase volume OAR yang menerima dosis 5000 cGy untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV dapat diamati pada Tabel 3.

Tabel 2. Data distribusi dosis pada PTV

	6 MV					10 MV				
	D _{2%} (cGc)	D _{98%} (cGy)	D _{50%} (cGy)	V _{95%} (cm ³)	V _{PTV} (cm ³)	D _{2%} (cGc)	D _{98%} (cGy)	D _{50%} (cGy)	V _{95%} (cm ³)	V _{PTV} (cm ³)
Rata-rata	5278,4	4807,0	5090,4	1362,045	1414,370	5254,8	4781,7	5091,7	1362,095	1414,943
Nilai tertinggi	5299,8	5149,4	5169,0	2369,5	2466,6	5296,3	4895,3	5162,4	2369,5	2467,9
Nilai terendah	5207,4	4697,0	4782,7	571,3	593,3	5185,0	4697,1	5038,8	571,3	593,6

Tabel 3. Distribusi dosis pada OAR

	6 MV			10 MV		
	<i>Rectum</i> <i>m</i> (%)	<i>Femoral Head Right</i> (%)	<i>Femoral Head Left</i> (%)	<i>Rectum</i> <i>m</i> (%)	<i>Femoral Head Right</i> (%)	<i>Femoral Head Left</i> (%)
Rata-rata	16,72	0,85	0,68	7,38	0,96	0,76
Nilai tertinggi	33,88	4,22	3,93	30,26	4,41	3,83
Nilai terendah	2,56	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00

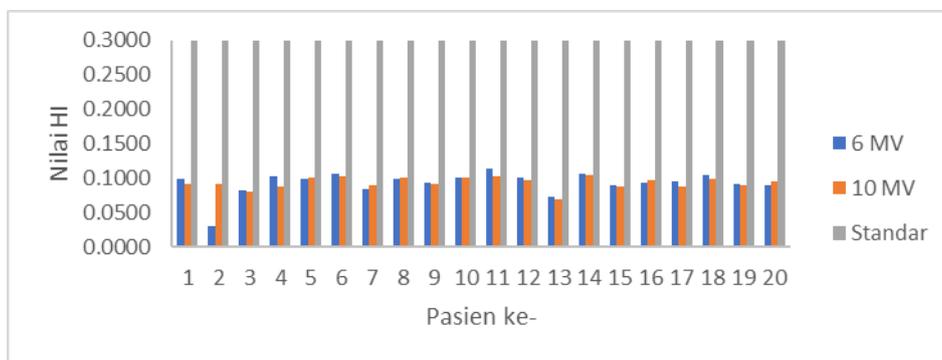
Pada Tabel 3, terdapat hasil distribusi dosis pada OAR yang terdiri dari *rectum*, *femoral head right*, dan *femoral head left*. Hasil distribusi dosis pada OAR tersebut akan dibandingkan dengan batas toleransi yang telah ditetapkan oleh *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition*. Jika distribusi dosis yang diperoleh melalui TPS lebih rendah dibandingkan dengan toleransi dosis yang ditetapkan, maka distribusi dosis tersebut dinyatakan masih dalam batas toleransi atau “MDBT”, sedangkan apabila distribusi dosis yang diperoleh melalui TPS lebih tinggi dibandingkan dengan toleransi dosis yang ditetapkan, maka distribusi dosis tersebut dinyatakan melewati batas toleransi atau “MBT”. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai distribusi dosis pada OAR yang diperoleh pada Tabel 3 masih dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition*.

Data distribusi dosis pada PTV yang terdapat pada Tabel 2 kemudian dianalisa dengan memasukan nilai D_{2%}, D_{98%}, dan D_{50%} pada (1) dan nilai V₉₅ dan V_{PTV} pada (2). Sehingga, diperoleh nilai HI dan CI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV yang dapat diamati pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan HI dan CI berkas foton 6 MV dan 10 MV

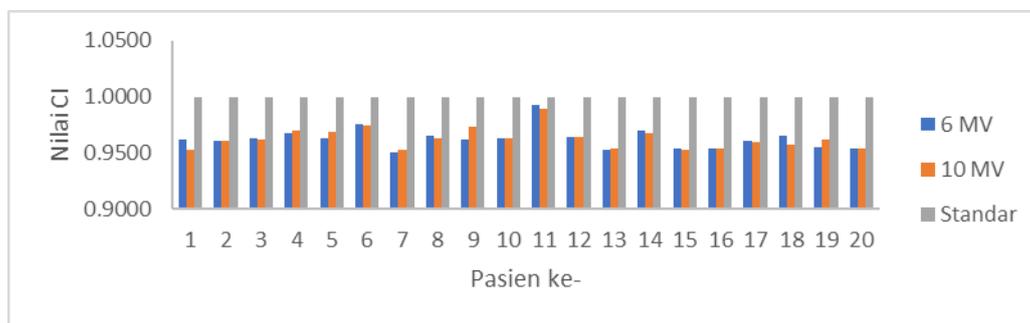
	HI		CI	
	6 MV	10 MV	6 MV	10 MV
Rata-rata	0,0924	0,0929	0,9630	0,9631
Nilai tertinggi	0,1137	0,1039	0,9929	0,9895
Nilai terendah	0,0300	0,0682	0,9512	0,9525

Berdasarkan nilai HI pada Tabel 4, diperoleh grafik nilai HI yang terdiri dari perbandingan antara pasien dengan nilai HI yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV serta standar yang telah ditetapkan yang dapat diamati pada Gambar 1. Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa nilai HI yang diperoleh 20 pasien kanker serviks masih berada pada rentang nilai ideal HI yang ditetapkan yaitu pada rentang 0 hingga 0,3. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi dosis pada PTV telah seragam atau homogen.



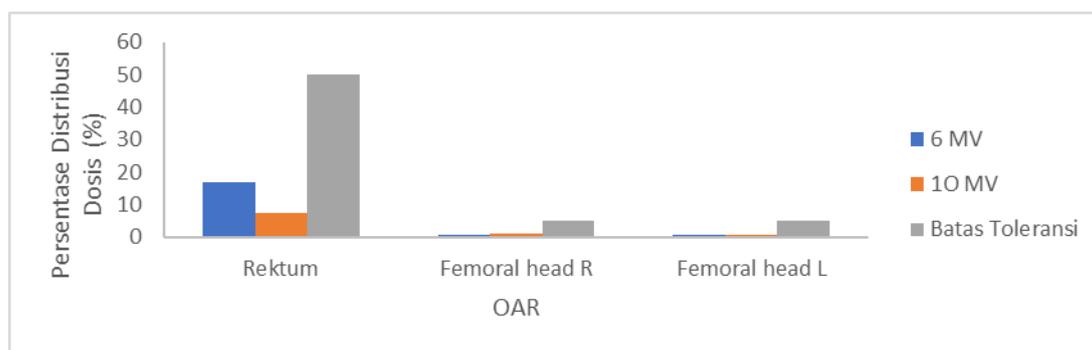
Gambar 1. Grafik nilai HI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV

Berdasarkan nilai CI pada Tabel 4, diperoleh grafik nilai CI yang terdiri dari perbandingan antara pasien dengan nilai CI yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV serta standar yang telah ditetapkan yang dapat diamati pada Gambar 2. Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa nilai CI yang diperoleh 20 pasien kanker serviks telah sesuai dengan nilai ideal CI yang ditetapkan yaitu senilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi dosis yang diberikan sudah melingkupi PTV.



Gambar 2. Grafik nilai CI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV

Berdasarkan data pada Tabel 3, diperoleh grafik rata-rata distribusi pada OAR berkas foton 6 MV dan 10 MV dengan standar yang telah ditetapkan oleh *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition* yang dapat diamati pada Gambar 3. Pada gambar tersebut, rata-rata distribusi dosis yang diperoleh *rectum*, *femoral head right*, dan *femoral head left* berada di bawah batas toleransi yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi dosis pada OAR untuk 20 pasien kanker serviks masih dalam batas toleransi yang telah ditetapkan.



Gambar 3. Grafik rata-rata distribusi dosis pada OAR

Pada Tabel 4, diperoleh nilai HI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan sebesar $0,0924 \pm 0,0039$ dan $0,0929 \pm 0,0020$. Berdasarkan ICRU *Report* 83, nilai rata-rata HI yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV masih dalam standar yang ditetapkan yaitu pada rentang 0 hingga 0,3, yang artinya distribusi dosis pada PTV sudah seragam atau homogen. Selanjutnya, nilai CI yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan sebesar $0,9630 \pm 0,0021$ dan $0,9631 \pm 0,0021$. Berdasarkan ICRU *Report* 83, nilai rata-rata CI yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV sudah mendekati standar yang ditetapkan yaitu 1, yang artinya distribusi dosis sudah tepat melingkupi PTV.

Pada Tabel 3, diperoleh persentase distribusi dosis organ *rectum*, nilai persentase distribusi dosis serta standar deviasi yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan yaitu sebesar $16,72\% \pm 1,80\%$ dan $7,38\% \pm 1,70\%$. Berdasarkan *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition*, nilai rata-rata distribusi dosis yang diperoleh pada *rectum* masih dalam batas toleransi yang ditetapkan yaitu untuk dosis 5000 cGy, volume organ yang terkena radiasi sudah kurang dari 50%. Selanjutnya, untuk *femoral head right*, nilai persentase distribusi dosis yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan yaitu $0,85\% \pm 0,29\%$ dan $0,96\% \pm 0,33\%$. Untuk *femoral head left*, nilai persentase distribusi dosis yang diperoleh untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan yaitu sebesar $0,68\% \pm 0,29\%$ dan $0,76\% \pm 0,27\%$. Berdasarkan *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition*, nilai rata-rata distribusi dosis yang diperoleh pada *femoral head right* dan *femoral head left* masih dalam batas toleransi yang ditetapkan yaitu untuk dosis 5000 cGy, volume organ yang terkena radiasi sudah kurang dari 5%.

Kesimpulan

Distribusi dosis pada PTV berupa nilai HI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan sebesar $0,0924 \pm 0,0039$ dan $0,0929 \pm 0,0020$ dan nilai CI untuk berkas foton 6 MV dan 10 MV secara berurutan sebesar $0,9630 \pm 0,0021$ dan $0,9631 \pm 0,0021$ sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh ICRU *Report* 83 yaitu untuk nilai HI berada pada rentang 0 hingga 0,3 dan nilai CI bernilai 1 yang artinya distribusi dosis pada PTV sudah seragam atau homogen dan sudah tepat melingkupi PTV. Selain itu, distribusi dosis pada OAR juga masih dalam batas toleransi yang tercantum dalam *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition* yaitu persentase volume *rectum* yang memperoleh dosis 5000 cGy sudah bernilai kurang dari 50%, sedangkan persentase volume *femoral head right* dan *femoral head left* yang memperoleh dosis 5000 cGy sudah bernilai kurang dari 5%.

Daftar Pustaka

- [1] Winarno, N.V.A. dan M.Z. (2021). Radioterapi Kanker Cervix dengan *Linear Accelerator* (LINAC). *Jurnal Biosains Pascasarjana*. 23:75-86.
- [2] Puspitasari, R.A., P.W.I., S.P.M., F.W.H., K.N. dan A.S.D. (2020). Analisis Kualitas Berkas Radiasi LINAC untuk Efektivitas Radioterapi. *JBP*. 22:11-19.
- [3] Sugiarta, K., R.N., S.H., dan S. (2022). Analisis Dosis Keluaran Berkas Sinar-X Pesawat Linac Varian Clinac CX Berdasarkan Protokol Dosimetri IAEA TRS 398. *Kappa Journal*. 6:366-372.
- [4] Mahardika, M.A.J. (2022). Analisis *Electron Beam Output Constancy* pada Pesawat *Linear*

- Accelerator (LINAC) Elekta Precise di Instalasi Radioterapi RSUP Sanglah Denpasar. Kappa Journal. 6:278-282.*
- [5] Darmawati dan Suharni. (2012). Implementasi *Linear Accelerator* dalam Penanganan Kasus Kanker. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya. 14:36-47.*
- [6] Romadhoni, Efriza Nur. (2019). Teknik Radioterapi 3D-CRT dan IMRT pada Kanker Payudara Tanpa Masker Termoplastik di RS Ken Saras. Program Studi Diploma IV Teknik Radiologi Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Politeknik Kemenkes Semarang. Semarang, Skripsi.
- [7] ICRU Report 83, (2010), *Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)*, *The International Commission on Radiation Units and Measurements, USA.*
- [8] Hristov, B., L.H.S. dan C.P.J. (2015). *Radiation Oncology A Question-Based Review 2nd Edition*. Edisi kedua. Wolters Kluwer Health. Philadelphia, USA.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Uji Kesesuaian Standar Nilai HVL Filter Aluminium Terhadap Kualitas Pesawat Sinar-X Konvensional di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung

Lilian Fidyati Ningrum¹, Gusti Sutapa², Nyoaman Pranditayana³, NenganSandi⁴, Ketut Sukarasa⁵, Nyoman Wendri⁶

^{1, 2}Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana

Korespondensi penulis:

lfn.lilian@gmail.com

sutapafis97@unud.ac.id

Abstrak

Salah satu uji kesesuaian terhadap kualitas pesawat sinar-X dapat ditentukan dari keluaran radiasi terhadap nilai *Half Value Layer* (HVL) dengan menggunakan filter aluminium (Al). Penggunaan filter Al pada sinar-X dapat menyerap atau membelokkan energi foton yang rendah saat sinar-X dipancarkan. Pada saat pengukuran HVL yaitu menggunakan alat ukur seperti surveymeter, sehingga nilai HVL yang diperoleh dapat mengetahui apakah sudah mengurangi intensitas radiasi menjadi setengah dari intensitas awal atau belum. Penggunaan sinar-X konvensional memiliki variasi tegangan dalam operasionalnya dan termasuk dalam radiasi pengion. Setiap variasi tegangan yang diperoleh dari keluaran radiasi pesawat sinar-X konvensional memiliki hasil yang sesuai dengan batas toleransi yang diukur terhadap nilai HVL dengan menggunakan filter Al, dimana pada tegangan 70 kV akan sangat baik jika nilai $HVL \geq 2,1$ mmAl, dari penelitian ini pada tegangan 70 kV didapatkan nilai HVL sebesar 3,10 mmAl yang sudah sesuai dengan ketentuan dari Perka BAPETEN. Batas toleransi tersebut merupakan setandar dari Kemenkes RI No.1250 tahun 2009. Keputusan ini juga diperkuat oleh Perka BAPETEN No. 2 tahun 2018 tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional.

Kata kunci: HVL, Sinar-X Konvensional, filter Al, batas toleransi.

Abstract

One of the appropriate tests for the quality of the X-ray machine can be determined from the radiation output on the Half Value Layer (HVL) value using an aluminum (Al) filter. The use of Al filters on X-rays can absorb or deflect low energy photons when X-rays are emitted. At the time of HVL measurement, namely using a measuring device such as a surveymeter, so that the HVL value obtained can determine whether the radiation intensity has been reduced to half of the initial intensity or not. The use of conventional X-rays has a voltage variation in its operation and is included in ionizing radiation. Each variation of the voltage obtained from the radiation output of a conventional X-ray machine has results that are in accordance with the tolerance limits measured for the HVL value using an Al filter, where at a voltage of 70 kV it will be very good if the HVL value is ≥ 2.1 mmAl, from this study at a voltage of 70 kV an HVL value of 3.10 mmAl was obtained which was in accordance with the provisions of the BAPETEN Regulations. This tolerance limit is standardized by the Ministry of Health of the Republic of Indonesia No. 1250 of 2009. This decision was also strengthened by Perka BAPETEN No. 2 of 2018 concerning conformity testing of diagnostic and interventional radiology X-rays.

Keywords: HVL, Conventional X-Ray, aluminium filter, tolerance limit.

Pendahuluan

Pelayanan Radiologi merupakan pelayanan medik yang menggunakan semua modalitas dengan sumber radiasi pengion dan non pengion untuk diagnosis atau terapi dengan panduan *imaging*. Hal ini, telah di cantumkan dalam Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1014 Tahun 2008 tentang Standar Pelayanan Radiologi Diagnostik di Sarana Pelayanan Kesehatan. Radiasi pengion adalah gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan dengan energi yang dimiliki mampu mengionisasi media yang dilaluinya [1].

Umumnya layanan radiologi dikelompokkan menjadi dua, yaitu radiologi diagnostik dan intervensional. Radiologi diagnostik adalah cabang ilmu radiologi yang berhubungan dengan penggunaan modalitas untuk keperluan diagnosis, sedangkan radiologi intervensional adalah cabang ilmu radiologi yang terlibat dalam diagnosis dan terapi langsung (*real-time*). Terdapat beberapa modalitas yang digunakan pada radiologi diagnostik dan intervensional, seperti pesawat sinar-X, mamografi, dental, fluoroskopi konvensional dan CT-Scan, sedangkan pada radiologi intervensional seperti CT-Scan angiografi, fluoroskopi intervensional dan fluoroskopi intervensional mobile [2].

Kualitas pesawat sinar-X konvensional dapat dijaga dengan *Quality Control* (QC). QC dari perangkat sinar-X konvensional dilakukan mulai dari tes penerimaan sampai dengan saat uji fungsi rutin. Dalam hal ini, yang bertanggung jawab untuk QC pada instalasi radiologi adalah fisikawan medik[5].

Di Indonesia pelaksanaan QC berdasarkan Permenkes RI No. 1250 Tahun 2009 tentang pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik. Pada keputusan tersebut dinyatakan bahwa kendali mutu untuk pesawat sinar-X terdiri dari pengujian iluminasi lampu kolimator, berkas cahaya kolimasi, kesamaan berkas cahaya kolimasi, kebocoran rumah tabung, tegangan tabung, waktu eksposi, output radiasi, reproduktibilitas, persyaratan batas toleransi minimum HVL, kendali paparan atau densitas standar, penjajakan ketebalan pasien dan koilovoltage serta pengujian waktu tanggap minimum[2].

Terdapat uji kesesuaian pada pesawat sinar-X konvensional, dimana uji kesesuaian ini dilakukan untuk memastikan bahwa pesawat tersebut memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan memberikan informasi diagnostik yang tepat dan akurat. Pengukuran pada uji kesesuaian diharapkan memberikan estimasi terbaik terhadap parameter uji kesesuaian. Hasil pengujian harus memenuhi suatu nilai standar atau batas toleransi tertentu agar menjadi pedoman bagi pemilik fasilitas untuk mengambil tindakan yang terbaik seperti perbaikan peralatan atau mengganti dengan pesawat yang baru. Uji kesesuaian pesawat sinar-X untuk radiologi diagnostik dan intervensional diatur pula dalam Peraturan Perka BAPETEN No. 2 Tahun 2018 [3].

Metode

Pada penelitian ini model pesawat X-Ray Konvensional yang digunakan adalah merk Siemen Multix Fusion dengan nomor seri 408102156 di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung. Data yang diperoleh merupakan keluaran radiasi sinar-X pada pesawat konvensional Siemens Multix Fusion, dengan mengukur HVL dari intensitas awalnya dengan menggunakan filter aluminium (Al). Pengukuran ini menggunakan alat ukur berupa *surveymeter* yang akan dilakukan berulang dengan ketebalan filter yang berbeda.

Untuk Perhitungan nilai HVL yang telah tercantum dalam KMK No. 1250 tahun 2009 sesuai dengan rumus yang ditunjukkan oleh Persamaan (1) [2].

$$HVL = \frac{t_b \ln\left(\frac{2D_a}{D_0}\right) - t_a \ln\left(\frac{2D_b}{D_0}\right)}{\ln\left(\frac{D_a}{D_b}\right)} \quad (1)$$

Keterangan:

D_0 = Dosis tanpa filter

D_a = Dosis terbaca yang nilainya sedikit lebih besar dari $D_0/2$

D_b = Dosis terbaca yang nilainya sedikit lebih kecil dari $D_0/2$

t_a = Tebal bahan pada saat dosis terbaca $>D_0/2$

t_b = Tebal bahan pada saat dosis terbaca $<D_0/2$

HVL memiliki batas toleransi minimum untuk penggunaan filter di setiap variasi dari tegangan tabung, yang telah ditetapkan oleh KEMENKES No 1250 tahun 2009 dan BAPETEN No. 2 tahun 2008. Sedangkan, nilai tegangan tabung yang disarankan oleh BAPETEN untuk setiap pengukuran batas toleransi minimum dari HVL adalah 80 kVp. Untuk nilai batas toleransi minimum HVL dapat dilihat pada Tabel 1 berikut [2][3].

Tabel 1. Persyaratan minimum HVL

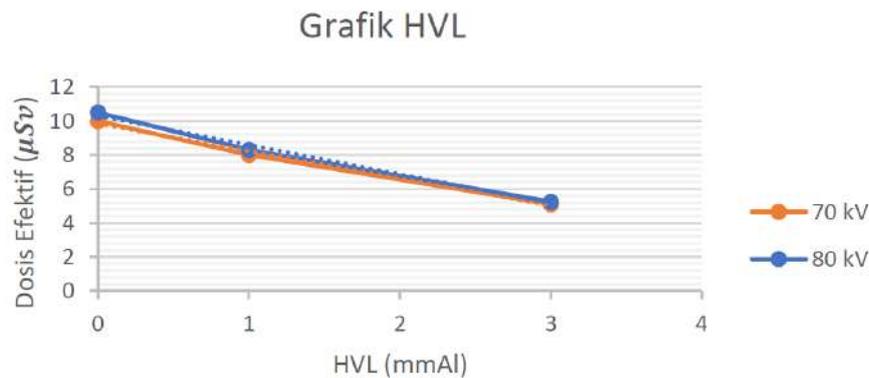
Tegangan Tabung (kVp)	Tebal Bahan (mmAl)
70	$\geq 2,1$
80	$\geq 2,3$
90	$\geq 2,5$
100	$\geq 2,7$
110	≥ 3
120	$\geq 3,2$
130	$\geq 3,5$
140	$\geq 3,8$
150	$\geq 4,1$

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data yang di dapatkan sesuai dengan penelitian dari pengukuran HVL pesawat sinar-X konvensional dengan menggunakan nilai dari tegangan keluaran yang bervariasi, dengan mengukur keluaran radiasi nya terlebih dahulu menggunakan alat ukur *surveymeter*, yang nantinya akan menggunakan persamaan sesuai dalam KMK No. 1250 tahun 2009, agar hasil dari HVL dapat didapatkan nilai yang akurat. Dimana, hasil dari data yang didapatkan melalui pengukuran menggunakan alat ukur *surveymeter* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil data dari pengukuran HVL

Percobaan	Tegangan Tabung (kV)	Kuat Arus dan Waktu (mAs)	HVL (mmAl)	Laju Dosis Radiasi (μSv)
1.	70	10	Tanpa filter	10
2.	70	10	1	8
3.	70	10	3	5,1
4.	80	20	Tanpa filter	10,5
5.	80	20	1	8,3
6.	80	20	3	5,25



Gambar 1. Dosis efektif pada nilai HVL aluminium untuk tegangan sinar-X 70 dan 80 kV

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa keluaran sinar-X yang diatur dengan tegangan sebesar 70 kV dan arus 10 mAs, tanpa menggunakan filter akan didapatkan hasil pengukurannya sebesar $10 \mu Sv$, ketika ditambahkan filter aluminium (Al) dengan ketebalan bahan 1 mmAl didapatkan $8 \mu Sv$, kemudian saat di tambahkan ketebalan bahan 3 mmAl didapatkan $5,1 \mu Sv$. Hal yang sama berlaku pada keluaran radiasi sinar-X untuk tegangan 80 kV dengan arus 20 mAs yang dimana, jika tanpa menggunakan filter akan di dapatkan pengukuran keluaran radiasinya sebesar $10,5 \mu Sv$. Saat menggunakan filter Al dengan ketebalan bahan 1 mmAl keluaran radiasinya $8,3 \mu Sv$, kemudian saat ketebalan bahannya ditambahkan menjadi 3 mmAl keluaran radiasinya $5,25 \mu Sv$.

Penentuan nilai HVL dengan menggunakan persamaan (1), dapat diperoleh keluaran radiasi sinar-X pada tegangan 70 kV sebesar 3,10 mmAl. Sedangkan, pada tegangan 80 kV sebesar 3,00 mmAl. Dimana nilai dari HVL yang telah diperoleh sudah memenuhi batas nilai toleransi sesuai dengan yang telah tercantum pada KMK No. 1250 tahun 2009 dan Perka BAPETEN No. 2 tahun 2018, dengan batas toleransi HVL pada tegangan 70 kV yaitu, $\geq 2,1$ mmAl, sedangkan pada tegangan 80 kV yaitu, $\geq 2,3$ mmAl. Maka, data yang diperoleh telah memenuhi batas toleransi HVL dan dapat diamati pada Gambar 1 yang dimana semakin tinggi tegangan yang di keluarkan dengan penambahan atau penggunaan filter yang semakin tebal maka keluaran radiasi dari sinar-X akan semakin berkurang.

Perhitungan keluaran sinar-X dengan HVL ini akan berdampak pada pasien dimana, mempengaruhi dosis serap yang seharusnya diterima oleh pasien, telah diatur dalam Perka BAPETEN No. 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesia Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X Ct Scan dan Radiografi Umum. Jika dosis serap yang diterima pasien berlebihan maka akan menyebabkan kerusakan pada sel organ yang terkena radiasi pengion serta, Nilai Batas Dosis (NBD) yang seharusnya di terima oleh masyarakat dan pekerja radiasi akan berlebihan yang dapat mengakibatkan beberapa efek radiasi yang tidak di ingin [4].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan dimana nilai HVL pesawat sinar-X konvensional pada tegangan 70 kV dan arus 10 mAs sebesar $3,08797 \text{ mmAl} \approx 3,1 \text{ mmAl}$, dan pada tegangan 80 kV dan arus 20 mAs di dapatkan sebesar 3,0 mmAl. Nilai batas toleransi yang ditetapkan oleh BAPETEN dan KEMENKES, dimana batas toleransi untuk tegangan 70 kV yaitu, $\geq 2,1 \text{ mmAl}$ dan untuk tegangan 80 kV $\geq 2,3 \text{ mmAl}$. Sehingga, dapat dikatakan bahwa nilai HVL yang di dapatkandari penelitian ini telah sesuai.

Daftar Pustaka

- [1] Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2008. Standar Pelayanan Radiologi Diagnostik di Sarana Pelayanan Kesehatan. No. 1014/MENKES/SK/XI/2008
- [2] Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2009, Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik. No. 1250/MENKES/SK/XII/2009.

- [3] Perka BAPETEN. 2018. Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. No. 2
- [4] Hiswara, 2015, Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit, BATAN Press.
BAPETEN, 2018, Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. No.2
- [5] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2020. Pelayanan Radiologi Klinik. No. 2



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Uji Kesesuaian Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X pada Pesawat Sinar-X di RSIY PDHI

Rohmawati Metaningrum¹, Wahyu Murti Cahyo Putro²

¹Program Studi Diploma-III Radiologi

²Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Citra Bangsa Yogyakarta

Korespondensi penulis:

metaningrumrohma@gmail.com

wahyumurti02mei@gmail.com

Abstrak

Salah satu *Quality Control* (QC) pesawat sinar-X adalah pengujian kesesuaian antara lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X. Pengujian tersebut dapat dilakukan dengan alat *sinar-X light beam alignment and centering*, metode koin, dan metode kawat "L". Pelaksanaan QC pada pesawat sinar-X Shanghai Guangzheng di RSIY PDHI, terakhir kali dilakukan pada tahun 2018. Pengujian ini seharusnya dilakukan maksimal 4 tahun sekali, sementara di lapangan sudah 5 tahun. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui penyimpangan berkas cahaya kolimator pada pesawat sinar-X di RSIY PDHI. Penelitian dilakukan pada bulan April 2023 sampai bulan Juli 2023 secara kuantitatif di Unit Radiologi RSIY PDHI. Berdasarkan semua pengujian uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yang telah dilakukan penulis, maka dapat dinyatakan bahwa kolimator pesawat sinar-X tersebut melebihi nilai batas toleransi yang telah ditetapkan oleh beberapa sumber referensi. Sumber referensi yang digunakan oleh penulis adalah pernyataan dari Bushong (2016) [1], IAEA (2023) [2], dan BAPETEN (2022) [3], yang menyatakan nilai batas toleransinya sebesar 2% dari SID. Sedangkan menurut Kharita (2017) [4], kolimator pesawat sinar-X tersebut tidak memuaskan karena melebihi nilai 2% dari SID.

Kata kunci: Rumah Sakit, *quality control*, radiasi, uji kesesuaian kolimasi, sinar-X.

Abstract

One of the Quality Control (QC) of sinar-X plane is testing the conformity between the collimation field and the sinar-X beam. The test can be done with the X-ray light beam alignment and centering tool, the coin method, and the "L" wire method. The QC implementation of the Shanghai Guangzheng sinar-X plane at RSIY PDHI was last carried out in 2018. This test should have been carried out a maximum of once every 4 years, while in the field it has been 5 years. The purpose of this study was to determine the deviation of the collimator light beam on the X-ray plane at RSIY PDHI. The research was conducted from April 2023 to July 2023 quantitatively in the Radiology Unit of RSIY PDHI. Based on all the tests of the collimation field conformity test with the X-ray beam that have been carried out by the author, it can be stated that the X-ray plane collimator exceeds the tolerance limit value set by several reference sources. The reference sources used by the author are statements from Bushong (2016) [1], IAEA (2021) [2], and BAPETEN (2022) [3], which state the tolerance limit value is 2% of the SID. Meanwhile, according to Kharita (2017) [4], the X-ray plane collimator is not satisfactory because it exceeds the value of 2% of the SID.

Keywords: Hospital, *quality control*, radiation, collimation suitability test, sinar-X.

Pendahuluan

Quality Control (QC) merupakan bagian dari *Quality Assurance* (QA) yang digunakan dalam pemantauan (atau pengujian) dan pemeliharaan elemen atau komponen teknis dari sistem pesawat

sinar-X [5]. Salah satu contoh dari QC pada pesawat sinar-X adalah pengujian kesesuaian antara lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menguji kesesuaian antara lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yaitu menggunakan peralatan QC berupa penggunaan alat *X-ray light beam alignment and centering*, dan menggunakan peralatan yang lebih sederhana berupa penggunaan koin pada metode koin [2], dan penggunaan kawat berbentuk huruf L pada metode kawat “L” [6].

Suatu instansi khususnya rumah sakit yang memiliki Instalasi Radiologi harus melakukan QC berupa pengujian kesesuaian antara luas lapangan kolimasi dengan luas lapangan sinar-X pada kolimator pesawat sinar-X dengan memperhatikan waktu frekuensi uji, dan nilai batas toleransi (Tabel 1). Rumah Sakit Islam Yogyakarta (RSIY) PDHI merupakan salah satu rumah sakit yang ada di Indonesia. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018 tentang kewajiban rumah sakit dan kewajiban pasien [7], setiap rumah sakit mempunyai kewajiban untuk memberi pelayanan kesehatan yang aman, dan bermutu. Sedangkan, mutu pelayanan dan keselamatan pasien dapat dicapai salah satunya dengan menerapkan QC yang memadai [8].

Tabel 1. Frekuensi uji dan nilai batas toleransi menurut beberapa sumber referensi

Sumber Referensi	Frekuensi Uji	Nilai Batas Toleransi
International Atomic Energy Agency (IAEA) (2023), pada <i>Handbook of Basic Quality Control Tests for Diagnostic Radiology</i> [2].	3 - 6 bulan	$\pm 2\%$ dari <i>Source Image Distance</i> (SID)
Bushong, (2016), pada <i>Workbook for Radiologic Science for Technologists-E-Book: Physics, Biology, and Protection (11th edition)</i> [1]	6 bulan	$\pm 2\%$ dari SID
Lampiran 1 Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Atas Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial [3]	4 tahun	$ \Delta X \leq 2\% \text{ SID}$, $ \Delta Y \leq 2\% \text{ SID}$
Kharita, M. H (2017), pada <i>Evaluation of the Quality Control Program for Diagnostic Radiography and Fluoroscopy Devices in Syria during 2005-2013</i> di Iranian Journal of Medical Physics [4].	-	Bagus : $\leq 1\%$ Memuaskan : $(1 - 2)\%$ Tidak Memuaskan : $> 2\%$

Pelaksanaan QC berupa uji kesesuaian secara umum pada pesawat sinar-X Shanghai Guangzheng di RSIY PDHI, terakhir kali dilakukan pada tanggal 09 Maret 2018. Berdasarkan sumber pada Tabel 1 uji kesesuaian kolimasi dengan berkas sinar-X dilakukan minimal 3 bulan sekali dan maksimal 4 tahun sekali, sementara di lapangan uji kesesuaian tersebut dilakukan sudah melebihi batas yang dinyatakan yaitu sudah 5 tahun.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyimpangan berkas cahaya kolimator pada pesawat sinar-X Shanghai Guangzheng di RSIY PDHI pada teknik uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dengan menggunakan metode koin dan metode kawat “L”.

Metode Penelitian

1. Rancangan Penelitian

1) Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Karya Tulis Ilmiah ini merupakan hasil penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel tertentu terhadap bentuk dan ukuran berkas sinar-X yang dihasilkan pesawat sinar-X Shanghai Guangzheng di RSIY PDHI.

2) Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di ruang pemeriksaan konvensional Unit Radiologi RSIY PDHI selama empat bulan yaitu pada bulan April 2023 sampai bulan Juli 2023.

2. Variabel Penelitian

1) Variabel Terikat (*Dependent*)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas dalam suatu penelitian. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil uji kolimasi pada pesawat sinar-X.

2) Variabel Bebas (*Independent*)

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah luas lapangan kolimasi dengan ukuran 10 cm x 10 cm, 15 cm x 15 cm, 20 cm x 20 cm. Peneliti akan memanipulasi variabel ini dengan cara mengubah-ubah luas lapangan kolimasi yang digunakan pada setiap pengukuran hasil uji kolimasi pesawat sinar-X untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel terikat.

3) Variabel Kontrol

Peneliti harus memastikan bahwa variabel kontrol tidak berubah selama penelitian berlangsung, agar dapat memperoleh hasil yang valid dan dapat diinterpretasikan dengan tepat. Dalam penelitian ini, variabel kontrol yang digunakan adalah pesawat sinar-X, SID 100 cm, faktor eksposi (50 kV, 3 mAs), arah sinar 0°, titik bidik pertengahan kaset, empat buah kawat berbentuk "L", dan dua belas keping uang logam 1000 rupiah.

3. Pelaksanaan Penelitian

1) Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pesawat sinar-X Shanghai Guangzheng spesifikasi lebih lanjut sebagai berikut:



Gambar 1. Pesawat Sinar-X Shanghai Guangzheng

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| a. Jenis Pesawat | : Radiografi <i>Mobile</i> |
| b. Tipe Tabung | : XD4-2.9/100 |
| c. No. Seri Tabung | : 0152 |
| d. Tanggal kalibrasi | : 09 Maret 2018 |

Bahan yang digunakan adalah kaset *computed radiography* (CR), *imaging plate reader*, penggaris ukur, dua belas uang logam 1000 rupiah, kertas milimeter blok, empat buah kawat berbentuk "L", *marker R*, dan *waterpass*.

- 2) Prosedur Penelitian dengan metode Koin pada Kolimator Pesawat Sinar-X Shanghai Guangzheng di RSIY PDHI
 - a. Pastikan bahwa permukaan meja pemeriksaan *true horizontal* dengan cara menggunakan alat bantu yang disebut waterpass.
 - b. Kaset CR ukuran 35 x 43 cm diletakkan diatas meja pemeriksaan.
 - c. Posisikan tabung sinar-X tegak lurus terhadap meja pemeriksaan.
 - d. Atur SID setinggi 100 cm.
 - e. Luas lapangan kolimasi diatur dengan ukuran 10 cm x 10 cm pada pengujian pertama, diatur dengan ukuran 15 cm x 15 cm pada pengujian kedua, dan diatur dengan ukuran 20 cm x 20 cm pada pengujian ketiga.
 - f. Pada setiap sisi lapangan letakkan dua koin 1000 rupiah secara sejajar di batas antara daerah yang terkena cahaya kolimasi dengan daerah yang tidak terkena cahaya kolimasi. Lalu letakkan masing-masing satu koin 1000 rupiah di setiap sudut cahaya kolimasi. Kemudian letakkan *marker R* di sisi kanan bawah kaset CR yang terkena cahaya kolimasi.
 - g. Atur faktor eksposi sebesar 50 kV, dan 3 mAs.
 - h. Pastikan tidak ada orang yang masih ada didalam ruangan, lalu lakukan *exposure*.
 - i. Kaset CR dimasukkan ke *imaging plate reader* agar memunculkan radiograf di komputer.
 - j. Lakukan pengukuran pada kedua belas koin 1000 rupiah terhadap uji kolimasi lapangan kolimator dengan keluaran lapangan sinar-X pada radiograf yang telah muncul di komputer.
 - k. Catat hasil pengukuran.
 - l. Analisa data pengukuran

- 3) Prosedur Penelitian dengan metode Kawat "L" pada Kolimator Pesawat Sinar-X Shanghai Guangzheng di RSIY PDHI
 - a. Pastikan bahwa permukaan meja pemeriksaan *true horizontal* dengan cara menggunakan alat bantu yang disebut waterpass.
 - b. Kaset CR ukuran 35 x 43 cm diletakkan diatas meja pemeriksaan.
 - c. Posisikan tabung sinar-X tegak lurus terhadap meja pemeriksaan.
 - d. Atur SID setinggi 100 cm.
 - e. Luas lapangan kolimasi diatur dengan ukuran 10 cm x 10 cm pada pengujian pertama, diatur dengan ukuran 15 x 15 cm pada pengujian kedua, dan diatur dengan ukuran 20 cm x 20 cm pada pengujian ketiga.
 - f. Keempat buah kawat "L" diletakkan pada setiap sudut dari lapangan kolimator, kemudian letakkan *marker R* di sisi kanan bawah kaset CR yang terkena cahaya kolimasi.
 - g. Atur faktor eksposi sebesar 50 kV, dan 3 mAs.
 - h. Pastikan tidak ada orang yang masih ada didalam ruangan, lalu lakukan *exposure*.
 - i. Untuk memastikan visibilitas dari keempat kawat "L" [6], tanpa menyentuh kaset dan kawat maka luas lapangan diperbesar sebesar 15 cm x 15 cm pada pengujian pertama, diperbesar sebesar 20 cm x 20 cm pada pengujian kedua, dan diperbesar sebesar 25 cm x 25 cm pada pengujian ketiga.
 - j. Lakukan *exposure* yang kedua dengan faktor eksposi yang sama.
 - k. Kaset CR dimasukkan ke *Imaging Plate Reader* agar memunculkan radiograf di komputer.
 - l. Lakukan pengukuran pada kawat "L" terhadap uji kolimasi pada lapangan kolimator dengan keluaran lapangan sinar-X pada radiograf yang telah muncul di komputer.
 - m. Catat hasil pengukuran.
 - n. Analisa data pengukuran

4. Analisis Data
 - a. Amati bentuk dari berkas sinar-X pada radiograf di layar monitor komputer.
 - b. Ukur masing-masing sumbu x_1 , x_2 , y_1 , dan y_2 untuk melihat ukuran dari berkas sinar-X dibandingkan dengan lapangan kolimasi pada metode koin dan kawat "L".
 - c. Catat pengukuran pada tabel penyajian data
 - d. Cari deviasi dari Xrad dan Yrad.
 - e. Cari nilai $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$.
 - f. Ubah nilai $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ kedalam bentuk persen lalu bandingkan hasil uji kolimasi dengan sumber referensi di Tabel 1.

5. Rumus Analisa Data

- Rumus untuk mencari nilai X_{rad} , sebagai berikut:

$$X_{rad} = X_{kol} - (x_1 + x_2)$$
- Rumus untuk mencari nilai Y_{rad} , sebagai berikut:

$$Y_{rad} = Y_{kol} - (y_1 + y_2)$$
- Rumus untuk mencari nilai $|\Delta X|$, sebagai berikut:

$$|\Delta X| = X_{kol} - X_{rad}$$
- Rumus untuk mencari nilai $|\Delta Y|$, sebagai berikut:

$$|\Delta Y| = Y_{kol} - Y_{rad}$$
- Rumus untuk merubah sumbu $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ menjadi bentuk persen, sebagai berikut:

$$\%SID \text{ sumbu } |\Delta X| = \left(\frac{\Delta X}{SID} \right) \times 100 \%$$

$$\%SID \text{ sumbu } |\Delta Y| = \left(\frac{\Delta Y}{SID} \right) \times 100 \%$$

Keterangan :

- X_{rad} : Sumbu X pada luas lapangan sinar-X
 X_{kol} : Sumbu X pada luas lapangan kolimasi
 Y_{rad} : Sumbu Y pada luas lapangan sinar-X
 Y_{kol} : Sumbu Y pada luas lapangan kolimasi
 $|\Delta X|$: Nilai absolut dari pengurangan $X_{kol} - X_{rad}$
 $|\Delta Y|$: Nilai absolut dari pengurangan $Y_{kol} - Y_{rad}$
 SID : Jarak antara sumber sinar-X dan film atau detektor

Hasil dan Pembahasan

1. Hasil

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada teknik pengujian kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada pesawat sinar-X Shanghai Guangzheng dengan menggunakan metode kawat "L" dan metode koin, penulis mendapatkan hasil sebagai berikut:

1) Metode Koin

Tabel 2. Tabel penyajian data radiograf metode koin

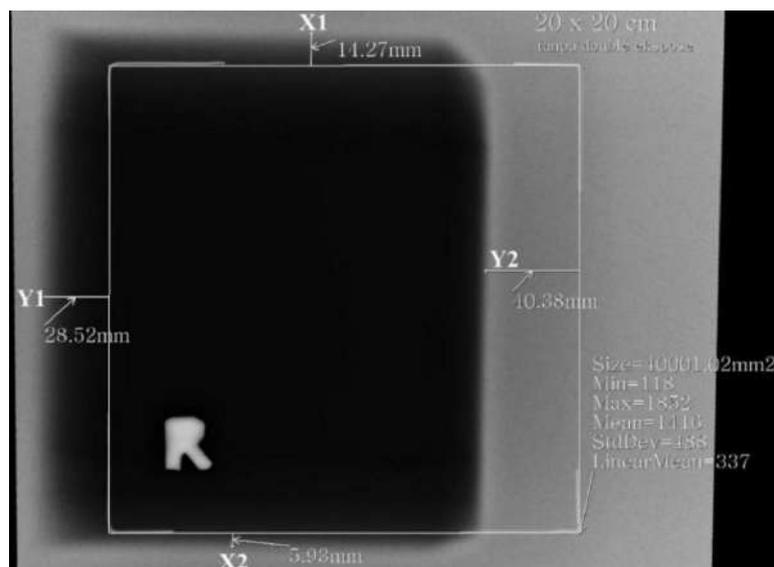
Lapangan Kolimasi (cm)	Sumbu (cm)		Toleransi Deviansi (SID 100 cm)	Deviasi (cm)	
	Xrad	Yrad		\Delta X	\Delta Y
10 x 10	7,63	3,47	≤ 2 cm	2,36	6,52
15 x 15	12,57	8,28	≤ 2 cm	2,42	6,71
20 x 20	17,73	13,89	≤ 2 cm	2,26	6,10

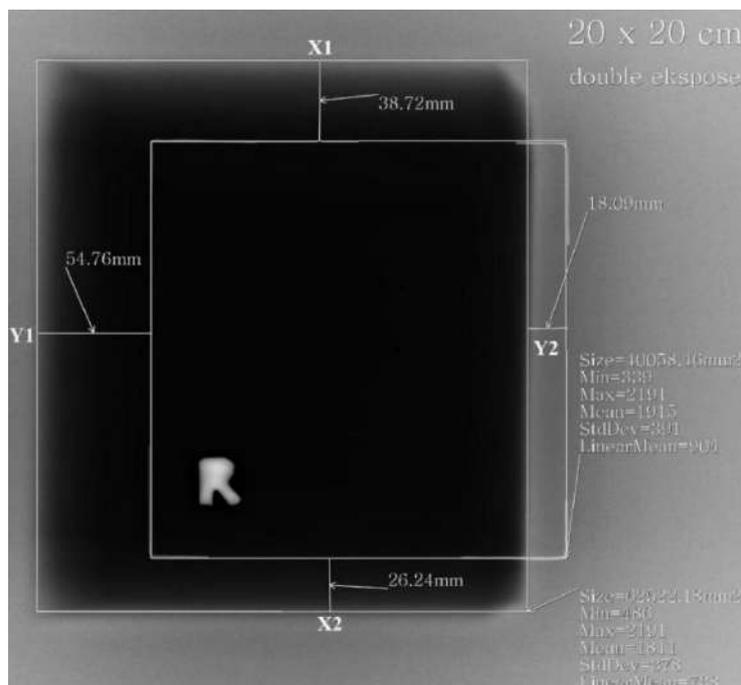
Metode koin merupakan sebuah metode pengujian kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yang dilakukan menggunakan koin yang mempunyai bentuk, ukuran, dan ketebalan yang sama [2]. Penulis melakukan pengujian menggunakan metode ini dengan tiga variabel bebas yang berbeda, yaitu luas lapangan kolimasi dengan ukuran 10 cm x 10 cm, 15 cm x 15 cm, 20 cm x 20 cm. Dalam setiap pengujian dengan tiga variabel bebas tersebut dilakukan tiga kali percobaan. Hal ini dilakukan agar hasil yang dilakukan lebih akurat, karena dapat mengurangi kesalahan penelitan yang disebabkan oleh kurangnya presisi peletakan koin di setiap sudut dan sisi kolimasi yang dilakukan oleh penulis. Selain itu, hal ini juga dilakukan karena batas tepi cahaya kolimasi pada pesawat sinar-X tersebut kurang tegas.

2) Metode Kawat “L” tanpa *Double Exposure*Tabel 4. Tabel penyajian data radiograf metode kawat “L” tanpa *double exposure*

Lapangan Kolimasi (cm)	Sumbu (cm)		Toleransi Deviansi (SID 100 cm)	Deviasi (cm)	
	Xrad	Yrad		ΔX	ΔY
10 x 10	3,18	3,08	≤ 2 cm	6,81	6,91
15 x 15	8,51	7,69	≤ 2 cm	6,48	7,30
20 x 20	13,50	12,71	≤ 2 cm	6,49	7,28

Penulis melakukan pengujian tambahan pada kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dengan metode kawat “L” tanpa *double exposure*, selain karena berkas sinar-X pada eksposi tahap satu tertindih dengan berkas sinar-X pada eksposi tahap dua. Hal ini karena pada metode kawat “L” tanpa *double exposure*, visibilitas dari kawat “L” sudah terlihat dengan satu kali exposure. Pernyataan tersebut dapat dibuktikan dengan melihat radiograf di metode kawat “L” tanpa *double exposure*. Sebagai contoh pada Gambar 2, terlihat bahwa gambaran kawat “L” sudah terlihat di bagian radiograf yang tidak terkena terlalu banyak sinar-X. Hal ini dapat dibandingkan dengan Gambar 3, tidak terlihat berkas sinar-X pada eksposi tahap satu. Bukti ini mematahkan pernyataan Curry (1990) [6], yang menyatakan bahwa eksposi tahap dua dilakukan dengan alasan agar memastikan visibilitas dari semua kawat “L”. Namun yang terjadi adalah berkas sinar-X pada eksposi tahap satu tertindih dengan berkas sinar-X pada eksposi tahap dua.

Gambar 2. Radiograf metode kawat “L” (20x20) cm tanpa *double exposure*



Gambar 3. Radiograf metode kawat “L” (20x20) cm dengan *double exposure*

2. Pembahasan

1) Metode Koin

Pada metode koin dengan luas kolimasi sebesar 10 cm x 10 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 2,36 % dan sumbu Y sebesar 6,52 %. Pada metode koin dengan luas kolimasi sebesar 15 cm x 15 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 2,42 % dan sumbu Y sebesar 6,71 %. Pada metode koin dengan luas kolimasi sebesar 20 cm x 20 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 2,26 % dan sumbu Y sebesar 6,10 %.

Berdasarkan penelitian uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X menggunakan metode koin dengan lapangan kolimasi 10 cm x 10 cm, 15 cm x 15 cm, dan 20 cm x 20 cm dapat dinyatakan bahwa kolimator pesawat sinar-X tersebut melebihi nilai batas toleransi yang telah ditetapkan oleh beberapa sumber referensi. Sumber referensi yang digunakan oleh penulis adalah pernyataan dari Bushong (2016) [1], IAEA (2023) [2], dan BAPETEN (2022) [3], yang menyatakan nilai batas toleransinya sebesar 2% dari SID. Sedangkan menurut Kharita (2017) [4] kolimator pesawat sinar-X tersebut tidak memuaskan karena melebihi nilai 2% dari SID.

Nilai ketidakpastian dari sumbu X pada metode koin adalah 2,32, dan nilai ketidakpastian dari sumbu Y pada metode koin adalah 6,37. Hal ini didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\Delta x = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N - 1}}$$

$$\Delta x = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(7,04)^2 - (7,04)^2}{3 - 1}} = 2,32$$

$$\Delta y = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{N - 1}}$$

$$\Delta y = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(19,33)^2 - (19,33)^2}{3 - 1}} = 6,37$$

Keterangan

Δx = Nilai ketidakpastian pada Sumbu X

$\sum x_i$ = Jumlah keseluruhan hasil pengukuran pada Sumbu X

Δy = Nilai ketidakpastian pada sumbu Y

$\sum y_i$ = Jumlah keseluruhan hasil pengukuran pada Sumbu Y

N = Jumlah pengukuran

2) Metode Kawat “L” dengan *Double Exposure*

Pada metode kawat “L” dengan *double exposure* dengan luas kolimasi sebesar 10 cm x 10 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 6,81 % dan sumbu Y sebesar 6,91 %. Pada metode kawat “L” dengan *double exposure* dengan luas kolimasi sebesar 15 cm x 15 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 6,48 % dan sumbu Y sebesar 7,30 %. Pada metode kawat “L” dengan *double exposure* dengan luas kolimasi sebesar 20 cm x 20 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 6,49 % dan sumbu Y sebesar 7,28 %.

Maka berdasarkan penelitian uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X menggunakan metode kawat “L” dengan *double exposure* dapat dinyatakan bahwa kolimator pesawat sinar-X tersebut melebihi nilai batas toleransi yang telah ditetapkan oleh beberapa sumber referensi. Sumber referensi yang digunakan oleh penulis adalah pernyataan dari Bushong (2016) [1], IAEA (2023) [2], dan BAPETEN (2022) [3], yang menyatakan nilai batas toleransinya sebesar 2% dari SID. Sedangkan menurut Kharita (2017) [4] kolimator pesawat *sinar-X* tersebut tidak memuaskan karena melebihi nilai 2% dari SID.

Nilai ketidakpastian dari sumbu X pada metode kawat “L” dengan *double exposure* adalah 6,52, dan nilai ketidakpastian dari sumbu Y pada metode kawat “L” dengan *double exposure* adalah 7,09. Hal ini didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\Delta x = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N - 1}}$$

$$\Delta y = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{N - 1}}$$

$$\Delta y = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(21,49)^2 - (21,49)^2}{3 - 1}} = 7,09$$

$$\Delta x = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(19,78)^2 - (19,78)^2}{3 - 1}} = 6,52$$

Keterangan

Δx = Nilai ketidakpastian pada Sumbu X

$\sum x_i$ = Jumlah keseluruhan hasil pengukuran pada Sumbu X

Δy = Nilai ketidakpastian pada sumbu Y

$\sum y_i$ = Jumlah keseluruhan hasil pengukuran pada Sumbu Y

N = Jumlah pengukuran

3) Metode Kawat “L” tanpa *Double Exposure*

Pada metode kawat “L” tanpa *double exposure* dengan luas kolimasi sebesar 10 cm x 10 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 2,37 % dan sumbu Y sebesar 6,04 %. Pada metode kawat “L” tanpa *double exposure* dengan luas kolimasi sebesar 15 cm x 15 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 2,18 % dan sumbu Y sebesar 6,68 %. Pada metode kawat “L” tanpa *double exposure* dengan luas kolimasi sebesar 20 cm x 20 cm terjadi penyimpangan sumbu X sebesar 2,58 % dan sumbu Y sebesar 6,52 %.

Maka berdasarkan penelitian uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X menggunakan metode kawat “L” tanpa *double exposure* dengan lapangan kolimasi 10 cm x 10 cm, 15 cm x 15 cm, 20 cm x 20 cm dapat dinyatakan bahwa kolimator pesawat sinar-X tersebut melebihi nilai batas toleransi yang telah ditetapkan oleh beberapa sumber referensi. Sumber referensi yang digunakan oleh penulis adalah pernyataan dari Bushong (2016) [1], IAEA (2023) [2], dan BAPETEN (2022) [3], yang menyatakan nilai batas toleransinya sebesar 2% dari SID. Sedangkan menurut Kharita (2017) [4] kolimator pesawat sinar-X tersebut tidak memuaskan karena melebihi nilai 2% dari SID.

Nilai ketidakpastian dari sumbu X pada metode kawat “L” tanpa *double exposure* adalah 2,35, dan nilai ketidakpastian dari sumbu Y pada metode kawat “L” tanpa *double exposure* adalah 6,34. Hal ini didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\Delta x = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N-1}}$$

$$\Delta x = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(7,13)^2 - (7,13)^2}{3-1}} = 2,35$$

$$\Delta y = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{N-1}}$$

$$\Delta y = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3(19,24)^2 - (19,24)^2}{3-1}} = 6,34$$

Keterangan

Δx = Nilai ketidakpastian pada Sumbu X

$\sum x_i$ = Jumlah keseluruhan hasil pengukuran pada Sumbu X

Δy = Nilai ketidakpastian pada sumbu Y

$\sum y_i$ = Jumlah keseluruhan hasil pengukuran pada Sumbu Y

N = Jumlah pengukuran

Kesimpulan

Berdasarkan semua pengujian uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yang telah dilakukan penulis, maka dapat dinyatakan bahwa kolimator pesawat sinar-X tersebut melebihi nilai batas toleransi yang telah ditetapkan oleh beberapa sumber referensi. Sumber referensi yang digunakan oleh penulis adalah pernyataan dari Bushong (2016) [1], IAEA (2023) [2], dan BAPETEN (2022) [2], yang menyatakan nilai batas toleransinya sebesar 2% dari SID. Sedangkan menurut Kharita (2017) [4] kolimator pesawat sinar-X tersebut tidak memuaskan karena melebihi nilai 2% dari SID.

Daftar Pustaka

- [1] Bushong, S. C. (2016). Workbook for Radiologic Science for Technologists-E-Book: Physics, Biology, and Protection. Elsevier Health Sciences
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023). Handbook of Basic Quality Control Tests for Diagnostic Radiology. Vienna, Austria.
- [3] BAPETEN. (2022). Peraturan Badan No 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Atas Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [4] Kharita, M. H., Wannus, K. M., & Khedr, M. S. (2017). Evaluation of the Quality Control Program for Diagnostic Radiography and Fluoroscopy Devices in Syria during 2005-2013. Iranian Journal of Medical Physics. 14(2). 92-97
- [5] Ismail, H. A., et al. (2015). Evaluation of diagnostic radiology department in term of quality control (QC) of sinar-X units at Khartoum state hospitals. International Journal of Science and Research. Vol 4. 1875
- [6] Curry, T. S., Dowdey, J. E., & Murry, R. C. (1990). Christensen's physics of diagnostic radiology. Lippincott Williams & Wilkins.
- [7] Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2018). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018 tentang Kewajiban Rumah Sakit dan Kewajiban Pasien. Kementerian Kesehatan.
- [8] Ngoye, W. M., Motto, J. A., & Muhogora, W. E. (2015). Quality control measures in Tanzania: is it done?. Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences, 46(3), S23-S30



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pengaruh Perubahan Faktor Eksposi terhadap *Dose Area Product* (DAP) pada Pemeriksaan Abdomen dengan Pesawat Sinar-X

I Gusti Bagus Triguna Sukma Putra¹, Gusti Ngurah Sutapa¹, Nurul Athira², Ida Bagus Made Suryatika¹, I Gde Antha Kasmawan¹, I Nengah Simpen¹

¹Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana

²Instalasi Radiologi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar

Korespondensi penulis:

bagustriguna02@gmail.com

sutapafis97@unud.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian pengaruh perubahan faktor eksposi terhadap *Dose Area Product* (DAP) pada pemeriksaan abdomen menggunakan pesawat sinar-X di Sub Instalasi Radiologi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan kV dan mAs terhadap DAP pada pemeriksaan abdomen. Data penelitian merupakan data sekunder dari 40 pasien pada pemeriksaan abdomen dengan pesawat sinar-X. Data pasien diperoleh dari aplikasi Si-INTAN, yang memang telah tersedia dan telah diterapkan di Instalasi Radiologi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, semakin tinggi nilai kV dan mAs maka nilai DAP yang diperoleh juga semakin meningkat.

Kata Kunci: Sinar-X, DAP, kV, mAs, dan Abdomen

Abstract

A study has been carried out on the effect of changes in exposure factors on *Dose Area Product* (DAP) on abdominal examination using an X-ray machine at the Radiology Sub-Installation of Prof. RSUP. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar. The purpose of this study was to determine the effect of changes in kV and mAs on DAP on abdominal examination. The research data is secondary data from 40 patients on abdominal examination with X-ray machine. Patient data was obtained from the Si-INTAN application, which is already available and has been implemented in the Radiology Installation of Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar. The results showed that the higher the kV and mAs values, the DAP values obtained also increased.

Keywords: Sinar-X, DAP, kV, mAs, and Abdomen

Pendahuluan

Pemanfaatan terhadap sinar-X pertama kali ditemukan oleh seorang fisikawan yang berasal dari Jerman bernama Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dan memiliki panjang gelombang yang pendek sehingga mampu menembus benda termasuk tubuh manusia. Pemanfaatan sinar-X dibidang kedokteran sering dikenal dengan sebutan penyinaran medis yaitu penyinaran yang akan diterima oleh pasien baik untuk keperluan terapi ataupun diagnosis yang didasarkan atas permintaan praktisi medis [1]. Penggunaan sinar-X sebagai sarana pemeriksaan medis sangat dibutuhkan untuk mendeteksi penyakit dan pengobatan. Pemanfaatan sinar-X untuk keperluan diagnosa lebih sering ditemukan dari pada untuk kepentingan terapi. Diagnosa dengan menggunakan sinar-X berupa citra yang dapat memberikan informasi

mengenai anatomi dan fisiologi dari pasien. Citra terbentuk karena adanya perbedaan intensitas sinar-X yang mengenai permukaan film setelah terjadi penyerapan sebagian sinar-X oleh bagian tubuh manusia. Semakin baik citra yang dihasilkan, maka akan semakin akurat diagnosa mengenai kondisi medis pasien.

Penulisan tentang pengaruh tegangan pada pesawat sinar-X telah dilakukan pada tahun 2011 oleh Sujatno, dkk dengan judul Analisa Tegangan Tinggi Pada Pesawat Sinar-X [6]. Adapun hasil dari penelitian tersebut adalah pemakaian daya dari pesawat sebagian besar digunakan untuk pembangkitan tegangan tinggi yang korelasi dengan kekuatan daya tembus sinar-X. Selanjutnya penelitian lainnya juga telah dilakukan pada tahun 2000 oleh Siti dengan judul Pengaruh Peningkatan Tegangan Tabung Sinar-X Terhadap Kontras Radiografi dan Laju Dosis Radiasi [4]. Adapun hasil dari penelitian tersebut adalah peningkatan tegangan tabung sinar-X menghasilkan densitas optik yang semakin tinggi dan menurunkan kontras radiografinya.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil citra adalah ketebalan dari objek yang akan diberikan penyinaran sinar-X, lamanya penyinaran, tegangan pada tabung pesawat sinar-X dan besarnya kuat arus yang diberikan pada tabung sinar-X. Pengaturan tegangan dalam pembuatan citra merupakan salah satu bagian dari faktor eksposi. Faktor eksposi mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas radiasi sinar-X yang dibutuhkan dalam radiografi. Faktor eksposi tersebut dapat mempengaruhi dosis radiasi yang diterima oleh pasien melalui parameter yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan tanpa kehilangan kualitas citra. Kuat arus waktu (mAs) adalah fluks foton yang merupakan produk dari arus tabung (milliampere) dan waktu pemindaian (second). Dosis radiasi berbanding lurus dengan mA, jika parameter lain tidak ada perubahan dalam pengaturan. Oleh karena itu, jika parameter lain tetap konstan, dosis radiasi dapat berkurang dengan cara menurunkan arus tabung (mA) atau mengurangi waktu rotasi tabung sinar-X [3]. Pengurangan milliampere-second menjadi setengah awal untuk menurunkan dosis dan noise sebesar 50% [8].

Sinar-X merupakan suatu bentuk radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang sangat pendek berkisar antara 0,01-10 nanometer. Pembangkit sinar-X berupa tabung hampa udara yang di dalamnya terdapat filamen yang juga sebagai katoda dan terdapat komponen anoda. Jika filamen dipanaskan maka akan keluar elektron dan apabila antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi, elektron akan dipercepat menuju ke anoda. Dengan percepatan elektron tersebut maka akan terjadi tumbukan tak kenyal sempurna antara elektron dengan anoda, akibatnya terjadi pancaran radiasi sinar-X [7].

Pesawat sinar-X atau yang dikenal dengan pesawat rontgen merupakan suatu alat yang digunakan untuk diagnosa medis dengan memanfaatkan berkas radiasi sinar-X. Sinar-X dipancarkan dari tabung diarahkan ke bagian tubuh yang akan di diagnosa. Berkas dari sinar-X akan menembus tubuh kemudian akan ditangkap oleh film, sehingga akan terbentuk gambar atau citra dari bagian tubuh yang telah disinari. Sebelum pengoperasian dilakukan perlu dilakukan setting beberapa parameter yaitu tegangan, arus tabung, dan waktu paparan. Selanjutnya dapat ditentukan nilai *Dose Area Product* (DAP), sebagai *output* radiasi di udara.

DAP secara sederhana merupakan hasil perkalian kerma udara (Gy) dengan luas area penyinaran sinar-X (cm²). $DAP = K \times A$, Nilai dari K diukur dalam udara bebas (tanpa radiasi hambur) dengan resultan DAP yang *independent* terhadap lokasi pengukuran [2]. Beberapa pengukuran dosimetri lainnya seperti *entrance surface dose* (ESD) dapat diestimasi melalui pengukuran DAP dan kalkulasi faktor konversinya, sehingga kemudian dosis efektif pada pemeriksaan radiodiagnostik dapat ditentukan [5].

Metode

Dalam penelitian ini, model pesawat sinar-X yang digunakan adalah merk Philips tipe *DigitalDiagnost 4 High Performance* yang memiliki nomor seri 20000336 di Instalasi Radiologi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah Denpasar. Data penelitian menggunakan data sekunder dari 40 pasien pada pemeriksaan *abdomen*, data diperoleh dari aplikasi si-INTAN. Setelah nilai DAP diperoleh, dilakukan

pengelompokan data berdasarkan nilai rentang arus waktu (mAs). Hal tersebut dilakukan pada pemeriksaan *abdomen* dengan tegangan 70 kV dan 77 kV.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pemeriksaan pesawat sinar-X *abdomen*, hasil yang diperoleh kemudian dikelompokkan menjadi 2 berdasarkan besar nilai kV yang digunakan. Berikut merupakan data hasil pemeriksaan *abdomen* pasien dengan besar tegangan 70 kV yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan data pasien dengan besar tegangan 77 kV diperlihatkan pada Tabel 5.2

Tabel 1. Data pengamatan pada tegangan 70 kV

No.	Umur	Jenis Kelamin (L/P)	Tegangan (kV)	Arus Waktu (mAs)	DAP (mGy.cm ²)
1	2	P	70	6,3	76,7
2	3	P	70	6,6	109,6
3	5	L	70	6,3	288,9
4	6	P	70	6,5	102,6
5	18	P	70	12,9	1068,1
6	25	L	70	8,1	226,6
7	30	P	70	13	865,1
8	33	L	70	12,1	994
9	73	P	70	12,9	882,8
10	38	P	70	13	981,6
11	43	L	70	13	1043,3
12	72	P	70	13	852
13	47	L	70	14,9	483,6
14	49	L	70	13	1117,4
15	50	L	70	12,9	895,2
16	52	P	70	24	924,2
17	53	P	70	20,4	1249,5
18	55	L	70	31,3	847,6
19	56	P	70	13	1000,1
20	77	L	70	12,8	937,2

Tabel 2. Data pengamatan pada tegangan 77 kV

No.	Umur	Jenis Kelamin (L/P)	Tegangan (kV)	Arus Waktu (mAs)	DAP (mGy.cm ²)
1	9	L	77	10,4	751,9
2	10	L	77	2,1	47,4
3	19	P	77	25,4	3193
4	21	P	77	10,4	1127,9
5	24	L	77	13	1335,3
6	26	L	77	12	391,2
7	27	P	77	6,7	251,6
8	31	P	77	3,8	116,3
9	32	L	77	25,3	3118,4
10	34	L	77	25,3	2596,2
11	36	L	77	19,6	2291,9
12	41	L	77	11,3	354,5
13	43	P	77	24,9	802,5
14	45	L	77	4,8	178,5
15	50	L	77	25,3	2223,2

16	51	P	77	16,2	1193,7
17	52	P	77	2	271,7
18	53	L	77	20,5	799,6
19	54	L	77	23,2	1283,4
20	55	L	77	13	1156,3

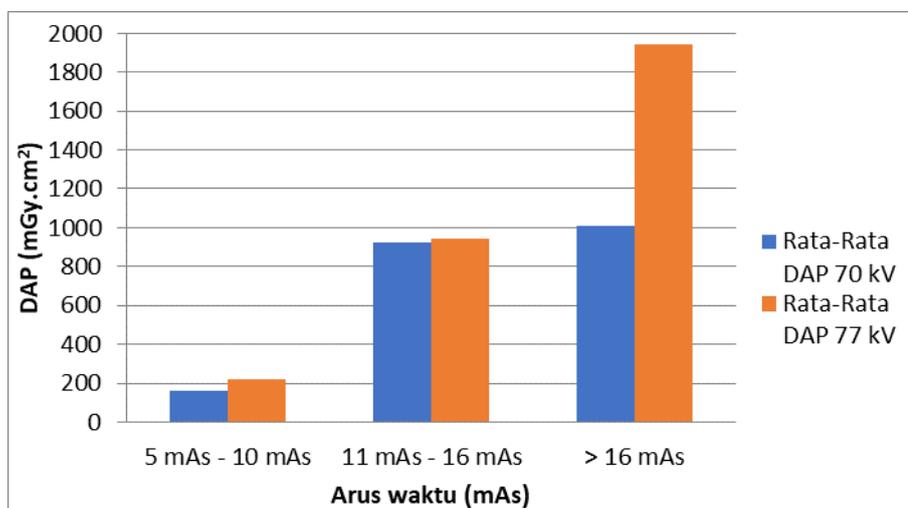
Kemudian, data tersebut dikelompokkan menjadi 3 pembagian rentang mAs yaitu 5-10 mAs, 11-16 mAs dan diatas 16 mAs. Nilai DAP dari rentang mAs tersebut kemudian dirata-ratakan untuk dilihat bagaimana pengaruh mAs dan kV terhadap nilai DAP. Hasil pengelompokkan dan rata-rata diperlihatkan pada Tabel 5.3 untuk 70 kV dan Tabel 5.4 untuk 77 kV serta grafik variasi rentang mAs dengan rata-rata DAP ditunjukkan pada Gambar 5.1.

Tabel 3. Pengelompokkan data pada tegangan 70 kV

No	Arus Waktu (mAs)	Jumlah Pasien	DAP (mGy.cm ²)
1	5 mAs - 10 mAs	5	160,88
2	11 mAs - 16 mAs	12	926,7
3	> 16 mAs	3	1007,1

Tabel 4. Pengelompokkan data pada tegangan 77 kV

No	Arus Waktu (mAs)	Jumlah Pasien	DAP (mGy.cm ²)
1	5 mAs - 10 mAs	6	221,22
2	11 mAs - 16 mAs	5	945,18
3	> 16 mAs	9	1944,66



Gambar 1. Grafik variasi rentang mAs dengan rata-rata DAP

Berdasarkan Gambar 5.1 terlihat bahwa, nilai DAP tertinggi terjadi pada pasien dengan pemeriksaan pada tegangan 70 kV dan arus waktu di atas 16 mAs yaitu sebesar 1007,1 mGy.cm². Sedangkan, nilai DAP terkecil terjadi pada tagangan 70 kV dan rentang arus waktu 5-10 mAs yaitu sebesar 160,88 mGy.cm². Pada pemeriksaan dengan tegangan 70 kV, terlihat semakin naik nilai mAs maka nilai DAP semakin meningkat.

Berdasarkan Gambar 5.1 terlihat bahwa, nilai DAP tertinggi terjadi pada pasien dengan pemeriksaan pada tegangan 77 kV dan arus waktu di atas 16 mAs yaitu sebesar 1944,66 mGy.cm². Sedangkan, nilai DAP terkecil terdapat pada tegangan 77 kV dan arus waktu rentang 5-10 mAs yaitu sebesar 221,22 mGy.cm². Pada pemeriksaan dengan 77 kV, terlihat semakin naik nilai mAs maka nilai DAP semakin meningkat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa faktor eksposi berpengaruh terhadap nilai DAP yang dimana pada tegangan 70 kV dan 77 kV nilai DAP semakin naik dengan meningkatnya nilai mAs.

Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN, 2020. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2020* Tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [2] Huda, W. 2014. Kerma area product in diagnostic radiology. *American Journal of Radiology*. 203. 565-569.
- [3] Maldjian, P. D., Goldman, A. R. 2013. Reducing radiation dose in body CT: a primer on dose metrics and key CT technical parameters. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23521441/>. Diakses pada 13 Mei 2023.
- [4] Masrochah, S. 2000. Pengaruh Peningkatan Tegangan Tabung Sinar-X terhadap Kontras Radiografi dan Laju Dosis Radiasi. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Universitas Diponegoro.
- [5] Nassef, M., dan E. Massoud, . 2014. Patient dose area product (DAP) monitoring in digital radiography. *International Journal of Life Sciences*. 3(4): 195-200.
- [6] Sujatno, S. dan Bachtiar, S. 2011. Analisis Tegangan Tinggi pada Pesawat Sinar-X. *Jurnal PRIMA*. 8(2): 99.
- [7] Suyatno, F. 2008. Aplikasi Radiasi Sinar-x Di Bidang Kedokteran Untuk Menunjang Kesehatan Masyarakat. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- [8] Tsapaki, V., dan Rehani M., 2007. Dose management in ct facility. *Biomedical Imaging and Interventional Journal*. 3(2):43.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pemetaan Tingkat Kepatuhan Persyaratan Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X di Provinsi Sulawesi Barat Tahun 2022

Nanang Triagung Edi Hermawan¹, Muhammad Sujana Prawira², Herry Irawan³

¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

²Biro Hukum, Kerjasama, dan Kehumasan, BAPETEN, Jakarta

³Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

n.triagung@bapeten.go.id

s.prawira@bapeten.go.id

h.irawan@bapeten.go.id

Abstrak

Setiap penggunaan pesawat sinar-x harus memenuhi semua persyaratan keselamatan radiasi. Penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat terus meningkat, mencakup 36 unit pesawat pada 12 rumah sakit pada tahun 2022. Namun demikian, belum ada kajian yang memetakan tingkat kepatuhan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi sebagai dasar perumusan kebijakan pengawasan secara makro. Kajian pemetaan tingkat kepatuhan persyaratan keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat telah dilaksanakan secara terintegrasi dengan pelaksanaan inspeksi. Kajian dilakukan melalui observasi dan wawancara langsung di lapangan dengan tujuan memetakan tingkat kepatuhan dan mengidentifikasi alternatif strategi untuk peningkatan kepatuhan terhadap peraturan perundangan. Delapan dari 12 rumah sakit turut terlibat sebagai obyek kajian. Berdasarkan 7 parameter persyaratan yang ditelaah, diperoleh data tingkat kepatuhan perizinan 53,75%, SDM 75%, pemantauan dosis 72,5%, pemantauan kesehatan 76,25%, peralatan 92,5%, pemantauan radiasi 80%, serta dokumen dan rekaman 67,5%. Rerata tingkat kepatuhan mencapai 70,38%, dengan tingkat kepatuhan tertinggi berkaitan dengan peralatan, dan kepatuhan terendah berkenaan dengan perizinan. Kebijakan pengawasan BAPETEN di wilayah Sulawesi Barat ke depan harus menitikberatkan kepada langkah-langkah pembinaan melalui kegiatan sosialisasi, bimbingan teknis, diseminasi informasi, seminar, workshop dan cara lain secara lebih intensif untuk mendorong peningkatan kepatuhan persyaratan keselamatan radiasi dari sisi perizinan. Dalam hal tertentu, pendekatan penegakan hukum mungkin diperlukan untuk mendorong setiap penggunaan pesawat sinar-x memenuhi aspek legalitas. Dengan pemenuhan aspek legalitas dan aspek persyaratan teknis, keselamatan bagi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan kelestarian lingkungan hidup dalam penggunaan pesawat sinar-x akan dapat tercapai.

Kata Kunci: penggunaan pesawat sinar-x, tingkat kepatuhan, keselamatan radiasi, perizinan

Abstract

Any use of the x-ray machine must comply with all radiation safety requirements. The use of x-ray machines in West Sulawesi Province continues to increase, covering 36 units in 12 hospitals in 2022. However, there has been no study that has mapped the level of compliance with radiation safety requirements as the basis for formulating macro surveillance policies. The mapping study of the level of compliance with radiation safety requirements in the use of x-ray machine in West Sulawesi Province has been carried out in an integrated manner with inspections. The study was carried out through direct observation and interviews in the field with the aim of mapping compliance levels and identifying alternative strategies for increasing compliance with laws and regulations. Eight out of 12 hospitals were involved as objects of study. Based on the 7 requirements parameters reviewed, obtained data on licensing compliance rates of 53.75%, HR 75%, dose monitoring 72.5%, health monitoring 76.25%, equipment 92.5%, radiation monitoring 80%, and documents and records 67.5%.

The average level of compliance reached 70.38%, with the highest level of compliance related to equipment and the lowest compliance with licensing. BAPETEN's supervisory policy in the West Sulawesi region in the future must focus on coaching steps through socialization activities, technical guidance, information dissemination, seminars, workshops and other methods more intensively to encourage increased compliance with radiation safety requirements from the licensing side. In certain cases, a law enforcement approach may be needed to encourage any use of x-ray machines to comply with legal aspects. By fulfilling legal aspects and technical requirements aspects, safety for patients, workers, community members, and environmental sustainability in the use of x-ray equipment can be achieved.

Keywords: *X-ray utilization, compliance level, radiation safety, license*

Pendahuluan

Provinsi Sulawesi Barat merupakan daerah otonom setingkat provinsi yang dibentuk berdasarkan Undang-undang Nomor 26 Tahun 2004 tentang Pembentukan Provinsi Sulawesi Barat [1]. Daerah seluas $\pm 16.787,19 \text{ km}^2$ sebelumnya merupakan bagian dari Provinsi Sulawesi Selatan. Pemekaran Provinsi Sulawesi Barat telah mendorong peningkatan pembangunan di berbagai bidang, termasuk di bidang kesehatan. Salah satu layanan kesehatan yang turut berkembang dalam rangka mendorong peningkatan taraf kesehatan masyarakat adalah penggunaan pesawat sinar-x untuk mendukung pelaksanaan diagnostik suatu penyakit. Data perizinan di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) pada tahun 2022 menunjukkan bahwa pada 12 (dua belas) rumah sakit pemerintah ataupun swasta yang beroperasi di Sulawesi Barat, terdapat 36 (tiga puluh enam) unit pesawat sinar-x [2].

Di samping memiliki manfaat yang sangat besar, sinar-x yang merupakan suatu radiasi pengion, juga memiliki potensi bahaya radiasi yang harus dikendalikan atau ditangani dengan baik. Penggunaan atau pengoperasian pesawat sinar-x sebagai bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir menuntut pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi guna menjamin keselamatan bagi pekerja, anggota masyarakat, dan perlindungan lingkungan hidup. Persyaratan keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-x sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [3], Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir [4], Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [5], serta Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X dan Radiologi Intervensional [6], Peraturan BAPETEN Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko sektor Ketenaganukliran [7], dan Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko sektor Ketenaganukliran [8] mencakup 7 (tujuh) parameter keselamatan terdiri atas: pemenuhan izin (aspek legalitas), kecukupan dan kecakapan personil, peralatan pendukung, pemantauan dosis, pemantauan kesehatan, pemantauan radiasi, serta aspek dokumen dan rekaman. Ketujuh parameter tersebut menjadi fokus telaah inspeksi yang diformulasikan sebagai Indikator Keselamatan Kerja (IKK) dalam setiap penggunaan sumber radiasi pengion.

Kepatuhan terhadap pemenuhan semua parameter persyaratan keselamatan mutlak diperlukan untuk mencapai keselamatan radiasi, menghindari insiden atau kecelakaan radiasi, hingga meminimalisasi semua potensi bahaya radiasi yang mungkin timbul. Berkenaan dengan terus meningkatnya penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat, belum pernah dilakukan kajian dalam rangka memetakan tingkat kepatuhan para pengguna atau pemegang izin terhadap persyaratan keselamatan radiasi yang berlaku pada saat ini. Dengan demikian perlu dilakukan sebuah kajian mengenai tingkat kepatuhan penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat.

Kajian pemetaan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat dilaksanakan dengan tujuan untuk:

- a. memetakan tingkat kepatuhan pengguna terhadap persyaratan keselamatan radiasi;
- b. mengidentifikasi persyaratan keselamatan radiasi yang harus mendapatkan perhatian khusus; dan
- c. mengidentifikasi dan memberikan rekomendasi strategi pengawasan yang tepat untuk meningkatkan tingkat kepatuhan dari para pengguna.

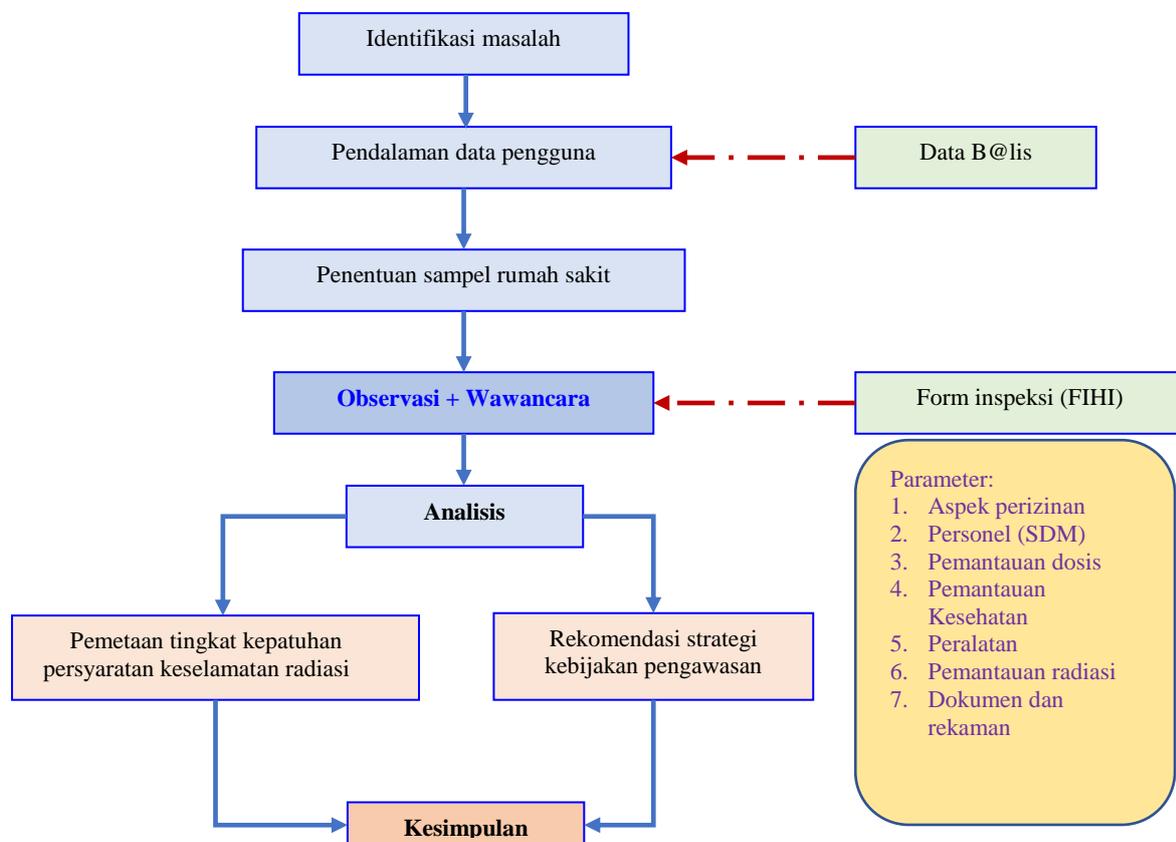
Untuk lebih mempertajam pembahasan dan analisis, kajian pemetaan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat ini difokuskan hanya memetakan kondisi pada Tahun Anggaran 2022 pada 8 (delapan) dari 12 (dua belas) rumah sakit yang mengoperasikan pesawat sinar-x.

Pokok Bahasan

Setiap penggunaan pesawat sinar-x sebagai bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi semua aspek persyaratan keselamatan radiasi. Untuk memastikan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi diterapkan dengan baik di lapangan, BAPETEN melaksanakan kegiatan inspeksi. Dari sekian persyaratan keselamatan radiasi, untuk keperluan pelaksanaan inspeksi dipilih 7 (tujuh) persyaratan utama, meliputi: aspek perizinan, personel atau Sumber Daya Manusia (SDM), pemantauan dosis, pemantauan kesehatan, peralatan proteksi radiasi, pelaksanaan pemantauan radiasi, serta aspek rekaman dan dokumentasi. Sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan, ketujuh persyaratan utama di atas diberi bobot penilaian, masing-masing secara berurutan: 30%, 25%, 10%, 10%, 10%, 10%, dan 5% [9]. Mengacu kriteria skala Likert, tingkat kepatuhan dalam penelitian ini dibedakan ke dalam 4 tingkatan, masing-masing sangat tidak patuh (0 – 30%), tidak patuh (31 – 59%), patuh (60 – 79%), dan sangat patuh (80 – 100%).

Metodologi

Untuk melaksanakan kegiatan secara sistematis, terarah, dan efisien, kajian pemetaan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat dilakukan dengan tahapan metodologi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian dalam rangka pemetaan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi

Pelaksanaan kajian dimulai dengan identifikasi permasalahan berkaitan dengan masih banyaknya temuan hasil pelaksanaan inspeksi. Pendalaman lebih detail dan terperinci terhadap data perizinan

dilakukan melalui database pada sistem b@lis infra BAPETEN. Penentuan rumah sakit sebagai obyek kajian diselaraskan dan sekaligus diintegrasikan dengan perencanaan inspeksi di Provinsi Sulawesi Barat Tahun Anggaran 2022 agar kegiatan dapat dilaksanakan lebih efektif dan efisien.

Dalam pelaksanaan penggalan data dan informasi parameter kepatuhan persyaratan keselamatan radiasi digunakan Form Isian Hasil Inspeksi (FIHI) untuk memandu dan merekam proses observasi serta wawancara dengan berbagai personil di lapangan, baik yang berkaitan secara langsung maupun tidak langsung dengan penggunaan atau pengoperasian pesawat sinar-X di suatu rumah sakit. Secara umum terdapat tujuh parameter keselamatan yang dikonfirmasi, meliputi aspek perizinan, kecukupan dan kecakapan personil, pemantauan dosis, pemantauan kesehatan, kecukupan peralatan proteksi radiasi, pemantauan radiasi, serta dokumen dan rekaman.

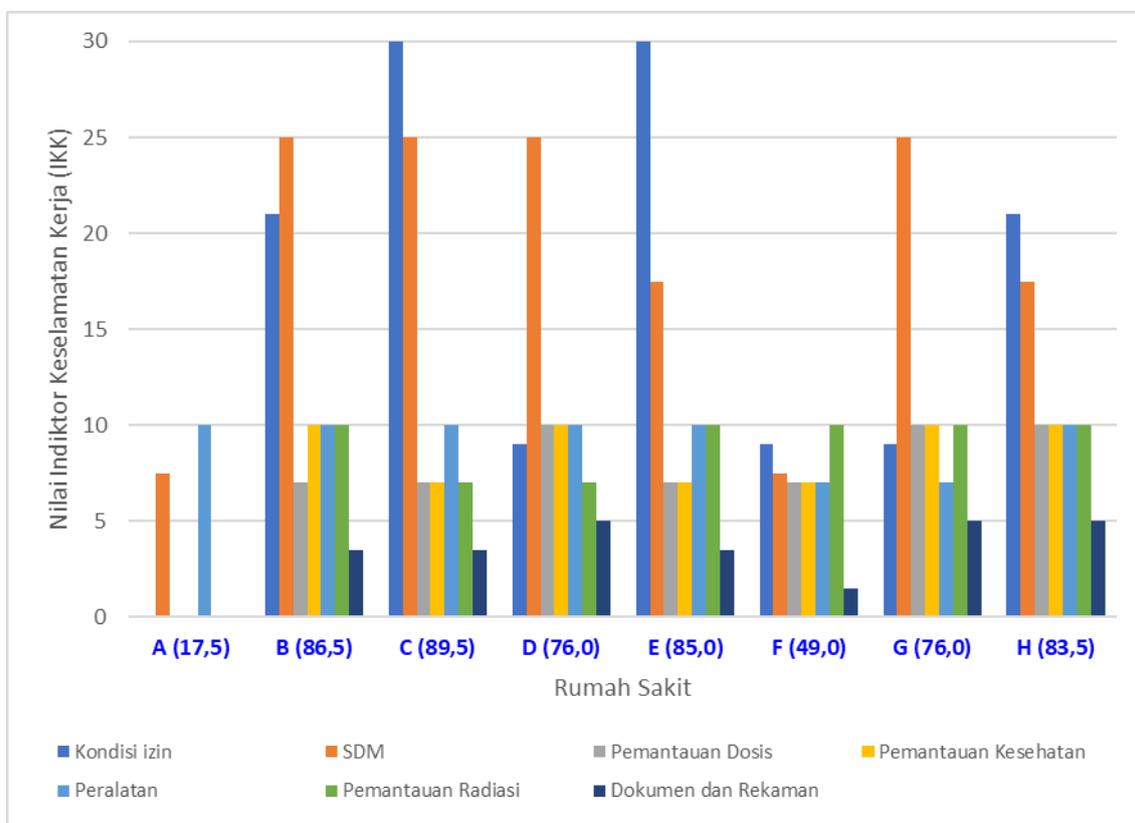
Data dan informasi yang terhimpun kemudian diolah dan dianalisis. Dari proses analisis selanjutnya dipetakan tingkat kepatuhan pemenuhan persyaratan keselamatan berdasarkan tujuh parameter keselamatan yang diamati. Di antara tujuh parameter dapat dicermati parameter apa yang sekiranya memiliki tingkat kepatuhan yang masih rendah. Parameter inilah yang menentukan rekomendasi strategi pengawasan seperti apakah yang paling tepat dilaksanakan oleh BAPETEN khusus dalam penggunaan pesawat sinar-x di Provinsi Sulawesi Barat guna mendorong atau meningkatkan kepatuhan pengguna.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data dan informasi yang terhimpun, diolah, dan dianalisis dapat tersaji peta tingkat kepatuhan, aspek persyaratan yang harus mendapatkan perhatian khusus, serta rekomendasi strategi pengawasan yang ke depan harus diterapkan. Masing-masing poin dibahas secara lebih terperinci sebagai berikut:

Peta Tingkat Kepatuhan

Data dan informasi kepatuhan pada 8 rumah sakit yang diteliti untuk setiap aspek persyaratan keselamatan radiasi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta tingkat kepatuhan pengguna terhadap tujuh parameter keselamatan radiasi

Sebagaimana tertampil pada Gambar 2, Rumah Sakit A merupakan rumah sakit dengan tingkat kepatuhan terendah (sangat tidak patuh dengan rerata skor 17,5). Peralatan pesawat sinar-x pada rumah sakit tersebut izinnnya sudah kadaluarsa, pemantauan dosis, kesehatan, dan paparan radiasi tidak lagi dilakukan, serta dokumen dan rekaman tidak lengkap. Dua parameter persyaratan keselamatan radiasi yang memiliki nilai baik berkenaan dengan kualifikasi dan kompetensi personel, dan keberadaan peralatan yang masih baik. Dari pendalaman wawancara yang dilakukan terhadap dokter spesialis dan pekerja radiasi yang ada terungkap bahwa peralatan pesawat sinar-x yang ada bukan merupakan milik rumah sakit. Pihak rumah sakit hanya menyewa kepada pihak ke tiga melalui perjanjian kontrak kerja. Sehubungan dengan sepiunya layanan pasien dan dampak pandemi covid-19, perjanjian kontrak tersebut tidak akan diperpanjang lagi. Peralatan tidak akan dioperasikan dan akan dikembalikan kepada pihak pemilik.

Berdasarkan alasan dan pertimbangan tersebut, pihak rumah sakit tidak lagi mengajukan perpanjangan izin yang sudah kadaluarsa. Namun demikian, dari rekaman logbook pengoperasian alat dan data pasien, terindikasi peralatan sinar-x masih beberapa kali dioperasikan untuk melayani pasien. Terkait hal ini, BAPETEN memberikan larangan pengoperasian peralatan sumber radiasi pengion di rumah sakit tersebut. Berkenaan dengan perlu tidaknya dilakukan upaya penegakan hukum terhadap pengoperasian pesawat sinar-x yang izinnnya sudah kadaluarsa, BAPETEN memandang tidak perlu melaporkannya kepada pihak kepolisian dengan catatan alat tidak lagi dioperasikan dan segera dikembalikan kepada pemiliknya.

Hal yang sedikit lebih baik, namun masih tergolong pada rentang nilai tidak patuh, diperlihatkan pada data dan informasi untuk Rumah Sakit F. Dari sekian peralatan pesawat sinar-x yang ada pada rumah sakit tersebut tidak lagi memiliki izin. Terkait kualifikasi, kompetensi, dan kecukupan personel menjadi catatan tersendiri. Salah satu sebab utama kondisi di Rumah Sakit F seperti ini dikarenakan efek kerusakan gedung beserta alat dan peralatan medis yang disebabkan kejadian gempa dahsyat pada beberapa tahun sebelumnya. Namun demikian perwakilan manajemen dan jajaran personel yang terkait menyampaikan komitmen yang tinggi untuk memperbaiki ketidakpatuhan yang ada.

Untuk rumah sakit dengan rerata skor kepatuhan paling tinggi, Gambar 2 memperlihatkan Rumah Sakit C memiliki nilai 89,5 (sangat patuh). Nilai aspek persyaratan terendah terkait dengan dokumen dan rekaman dengan nilai 3,5 pada skala 5 (skor 70). Skor yang sama juga didapatkan untuk aspek persyaratan pemantauan dosis, kesehatan, dan paparan radiasi. Secara umum, pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi pada Rumah Sakit C tinggal dipertahankan dan ditingkatkan lebih lanjut untuk mencapai nilai maksimum. Secara umum untuk beberapa rumah sakit yang lain memiliki tingkat kepatuhan dari nilai 76 – 85 (patuh hingga sangat patuh).

Aspek Persyaratan yang Harus Mendapatkan Perhatian Khusus

Pencermatan terhadap data dan informasi yang tersaji pada Gambar 2 kali ini difokuskan pada ketujuh aspek parameter persyaratan keselamatan radiasi. Masing-masing nilai yang diperoleh oleh setiap rumah sakit dijumlahkan, direratakan, untuk kemudian dianalisis. Rerata capaian skor untuk setiap parameter keselamatan radiasi ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman nilai rerata tingkat kepatuhan pengguna terhadap tujuh parameter keselamatan radiasi

No.	Pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi	Persentase Kepatuhan	Kriteria
1.	Legalitas (pemenuhan izin)	53,75%	Tidak patuh
2.	Jumlah dan kompetensi personil	75,00%	Patuh
3.	Pemantauan dosis	72,50%	Patuh
4.	Pemantauan kesehatan	76,25%	Patuh
5.	Kecukupan peralatan	92,50%	Sangat patuh
6.	Pemantauan radiasi	80,00%	Sangat patuh
7.	Dokumen dan rekaman	67,50%	Patuh
Rerata tingkat kepatuhan		73,93%	Patuh

Tabel 1 memberikan informasi bahwa tingkat persentasi kepatuhan berada di rentang 53,75% - 92,50%. Persentasi kepatuhan tertinggi berkaitan dengan aspek kecukupan peralatan (92,50%, sangat

patuh), terendah berkaitan dengan aspek legalitas pemenuhan izin (53,75%, tidak patuh), dengan rerata tingkat kepatuhan sebesar 73,93% (patuh).

Data dan informasi pada Tabel 1 yang paling menonjol adalah presentasi kepatuhan untuk aspek legalitas pemenuhan izin (53,75%). Parameter ini menjadi sangat menarik dan penting untuk dianalisis lebih lanjut. Dari pedoman penilaian tingkat kepatuhan pengguna sumber radiasi pengion melalui pelaksanaan inspeksi, aspek legalitas pemenuhan izin (ada-tidaknya izin, izin baru dalam proses pengajuan, izin lama dalam proses pengajuan perpanjangan, hingga izin yang sudah tidak berlaku dan tidak ada proses pengajuan perpanjangan izin) merupakan parameter dengan bobot penilaian yang paling besar (maksimum 30). Permasalahan yang menyangkut aspek ini menjadi sangat menentukan, dalam arti memberikan bobot penilaian yang terbesar. Jika suatu penggunaan pesawat sinar-x sama sekali tidak memiliki izin, atau izin sudah kadaluarsa dan tidak mengajukan proses perpanjangan izin, dapat dipastikan nilai tingkat kepatuhan secara keseluruhan akan turun secara drastis.

Di sisi lain, izin merupakan legalitas pemberian kewenangan kepada pemegang izin untuk menggunakan atau mengoperasikan pesawat sinar-x dari BAPETEN. Hal tersebut merujuk secara langsung ke Pasal 17 ayat (1) Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [10] sebagaimana telah diubah di dalam Undang-undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang [11]: Setiap kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir wajib memenuhi Perizinan Berusaha dari Pemerintah Pusat, kecuali dalam hal tertentu yang diatur dalam Peraturan Pemerintah.

Konsekuensi dari pelanggaran terhadap kewajiban izin sebagaimana disebutkan di atas dapat berimplikasi kepada diberikannya sanksi pidana, baik berupa denda uang maupun hukuman kurungan penjara. Dalam Pasal 43 Undang-undang Ketenaganukliran diatur: Barangsiapa melakukan perbuatan yang bertentangan dengan ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 17 ayat (1) dipidana dengan pidana denda paling banyak Rp.100.000.000,00 (seratus juta rupiah). Dengan demikian permasalahan ketiadaan izin merupakan masalah serius yang juga harus menjadi perhatian khusus.

Rekomendasi Strategi Pengawasan

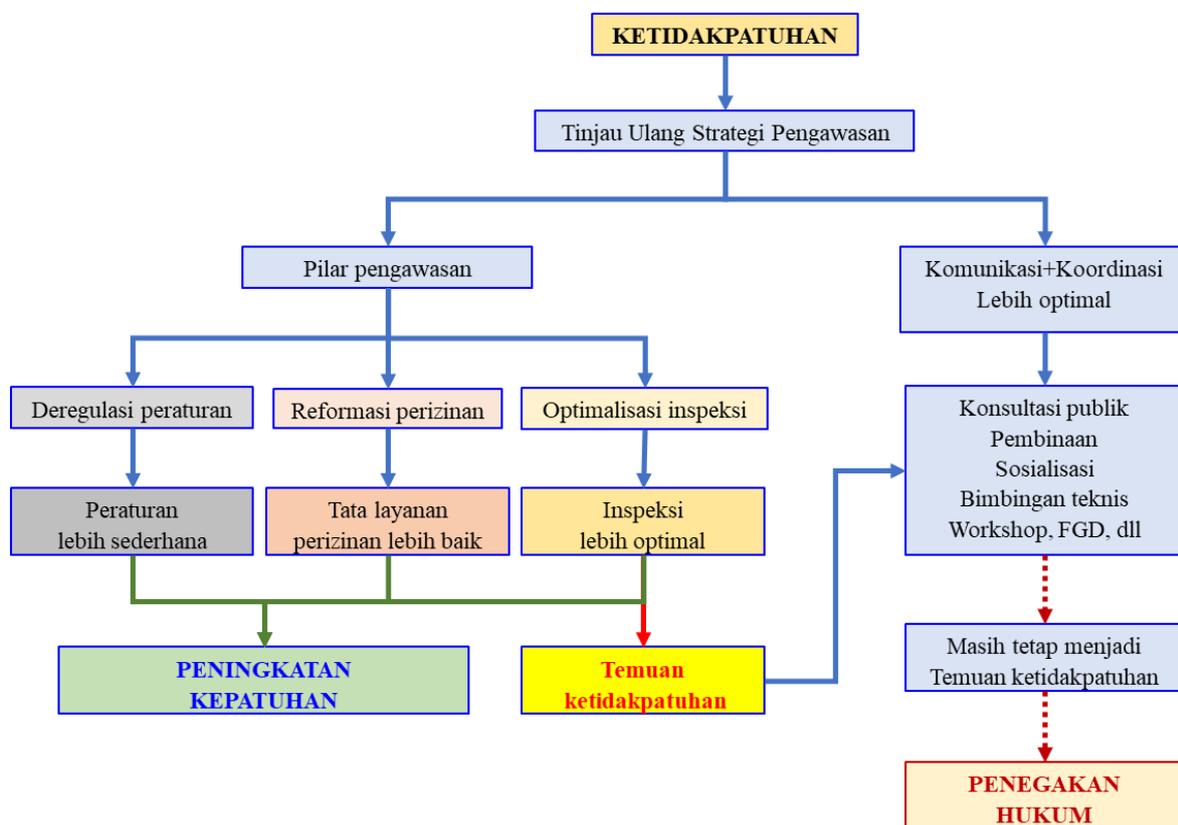
Permasalahan ketiadaan izin dalam pemanfaatan tenaga nuklir, termasuk dalam penggunaan pesawat sinar-x telah menjadi perhatian yang serius bagi BAPETEN. Kebijakan penegakan hukum dalam rangka mendorong setiap pengguna memiliki legalitas izin telah digaungkan lebih dari satu dekade yang lalu. Dalam rangka hal tersebut, BAPETEN telah menjalin kerja sama dengan beberapa institusi penegakan hukum terkait, seperti kepolisian dan kejaksaan. Kerja sama dalam rangka koordinasi, saling tukar informasi, dan peningkatan kapasitas personel penegak hukum terkait pemidanaan pelanggaran ketenaganukliran terus dilakukan hingga saat ini. Beberapa proses penegakan hukum berkenaan dengan ketiadaan izin pemanfaatan telah dilakukan, bahkan beberapa perkara sudah mendapatkan putusan final pengadilan dan pihak pelanggar telah dijatuhi hukuman pidana berupa denda (meskipun belum sampai kepada denda maksimum). Penegakan hukum hanya menjadi salah satu strategi dalam mendorong peningkatan kepatuhan pengguna.

Seiring dengan pemberlakuan Undang-undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja [12], pemerintah berkeinginan mendorong peningkatan investasi guna menumbuhkembangkan berbagai peluang usaha dalam rangka perluasan peluang dan lapangan kerja. Beberapa strategi utama pemerintah untuk mendukung hal tersebut adalah dengan penyederhanaan peraturan, sistem perizinan, dan pengawasan. Persyaratan izin ditinjau ulang, alur proses perizinan dipangkas, dan layanan perizinan dipermudah. Hal ini juga berlaku di bidang ketenaganukliran. Berkenaan dengan kegiatan usaha yang belum memiliki izin, pemerintah lebih mendorong upaya pembinaan dan upaya lain alih-alih melakukan penegakan hukum.

Berkaitan dengan hasil pemetaan tingkat kepatuhan pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi di Provinsi Sulawesi Barat, BAPETEN harus memikirkan upaya dan strategi pengawasan yang tepat sebelum melaksanakan penegakan hukum. Beberapa pilihan strategi yang harus diterapkan oleh BAPETEN, meliputi antara lain: deregulasi peraturan perundangan, pembaruan sistem perizinan, optimalisasi pelaksanaan inspeksi, hingga peningkatan upaya komunikasi dan koordinasi dengan semua pemangku kepentingan terkait melalui kegiatan konsultasi publik, pembinaan, sosialisasi bimbingan teknis, *workshop*, *Focus Group Discussion (FGD)* dan upaya lain yang lebih intensif.

Gambar 3 memberikan gambaran umum beberapa langkah dan strategi pengawasan yang harus dilakukan.

Untuk kasus studi di Provinsi Sulawesi Barat, pengguna pesawat sinar-x yang belum memiliki izin harus didorong untuk memiliki izin. Segala hambatan dan kekurangan persyaratan sedapat mungkin harus dibantu, dipandu, bahkan difasilitasi dengan baik. Di sisi lain, pelaksanaan kegiatan dalam rangka peningkatan pengetahuan para pemangku kepentingan terkait, terutama pemegang izin, Petugas Proteksi Radiasi dan pekerja radiasi mengenai sistem pengawasan dan persyaratan keselamatan radiasi harus terus ditingkatkan.



Gambar 3. Strategi pengawasan dalam rangka peningkat kepatuhan persyaratan keselamatan radiasi

Dari sisi frekuensi, intensitas, dan keterjangkauan pelaksanaan konsultasi publik, pembinaan, sosialisasi, bimbingan teknis, *workshop*, maupun *FGD* di Provinsi Sulawesi Barat bisa dikatakan masih sangat jarang. Beberapa kegiatan di atas umumnya baru menjangkau Provinsi Sulawesi Selatan dan Provinsi Sulawesi Utara. Dalam berbagai kegiatan yang dilaksanakan BAPETEN, pada umumnya peserta dari Provinsi Sulawesi Barat bergabung ke Makassar ataupun Manado. Kegiatan komunikasi dan koordinasi dengan pemangku kepentingan di Provinsi Sulawesi Barat pada umumnya baru berkaitan dengan keberadaan radioaktivitas alam di daerah Mamuju yang tinggi.

Pelaksanaan kegiatan konsultasi publik, pembinaan, sosialisasi, bimbingan teknis, *workshop*, maupun *FGD* secara tatap muka langsung tentu menghadapi beberapa kendala berkaitan dengan keterbatasan anggaran ataupun sumber daya lain. Namun demikian, upaya komunikasi dan koordinasi dengan pemangku kepentingan dapat dioptimalkan dengan penggunaan berbagai aplikasi internet, seperti *zoom meeting* dan *youtube*. Dengan demikian tidak ada lagi pemangku kepentingan yang tidak terjangkau sama sekali oleh BAPETEN.

Kesimpulan

Penggunaan pesawat sinar-x untuk tujuan medik sebagai bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir di Provinsi Sulawesi Barat terus mengalami peningkatan dari waktu ke waktu. Secara umum, tingkat persentasi kepatuhan terhadap persyaratan keselamatan radiasi di provinsi tersebut berada di rentang

53,75% - 92,50%. Persentasi kepatuhan tertinggi berkaitan dengan aspek kecukupan peralatan (92,50%, sangat patuh), terendah berkaitan dengan aspek legalitas pemenuhan izin (53,75%, tidak patuh), dengan rerata tingkat kepatuhan sebesar 73,93% (patuh). Berkenaan dengan ketidakpatuhan pemenuhan izin yang relatif harus ditingkatkan, BAPETEN harus menerapkan strategi pengawasan khususnya melalui upaya komunikasi dan koordinasi dengan pemangku kepentingan secara lebih intensif. Proses tersebut dapat dilakukan melalui upaya konsultasi publik, pembinaan, sosialisasi, bimbingan teknis, *workshop*, maupun *FGD*. Dalam hal keterbatasan anggaran pendukung masih menjadi permasalahan, sarana komunikasi jarak jauh atau kegiatan secara daring dapat dioptimalkan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih tak terhingga tim penulis sampaikan kepada Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif yang telah memberikan penugasan inspeksi bidang kesehatan di Provinsi Sulawesi Barat, sekaligus dalam rangka pencermatan efektivitas penerapan pengawasan. Ungkapan yang sama juga disampaikan kepada segenap rumah sakit yang menjadi obyek kajian.

Daftar Pustaka

- [1] Republik Indonesia. (2004). Undang-undang Nomor 26 Tahun 2004 tentang Pembentukan Provinsi Sulawesi Barat.
- [2] BAPETEN. (2022). Resume Data Perizinan Penggunaan Pesawat Sinar-X bidang Medik di Provinsi Sulawesi Barat (B@lis INFARA).
- [3] Republik Indonesia. (2007). Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [4] Republik Indonesia. (2008). Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir
- [5] Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko.
- [6] Republik Indonesia. (2020). Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X dan Radiologi Intervensional.
- [7] Republik Indonesia. (2021). Peraturan BAPETEN Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko sektor Ketenaganukliran.
- [8] Republik Indonesia. (2022). Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko sektor Ketenaganukliran.
- [9] BAPETEN. Pedoman Pelaksanaan Inspeksi bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif.
- [10] Republik Indonesia. (1997). Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
- [11] Republik Indonesia. (2023). Undang-undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang.
- [12] Republik Indonesia. (2020). Undang-undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Tinjauan Inspeksi dalam Pengawasan Fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensional di Indonesia

Sudradjat¹, Hermansyah¹, Iswandarini¹, Rusmanto¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

nuclierapoooh@gmail.com

Abstrak

Pengawasan tenaga nuklir merupakan hal yang harus dilakukan sesuai dengan ketentuan peraturan perundangan yang berlaku. Dalam melakukan pengawasan maka dilakukan melalui serangkaian sistem, perangkat, dan proses yang digunakan untuk memantau, mengawasi, dan mengelola kegiatan pada fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional secara terus-menerus atau berkala. Tujuannya adalah untuk memastikan keamanan, kepatuhan, dan kinerja yang optimal dalam suatu sistem atau lingkungan. Pemanfaatan sumber radiasi pengion khususnya dalam bidang radiologi diagnostik di Indonesia mengalami kemajuan dan peningkatan yang pesat. Hal ini dibuktikan dengan jumlah pemegang izin dalam bidang radiologi diagnostik dan intervensional yang semakin banyak dan meningkat dari tahun ke tahun. Telah dilakukan tinjauan berkaitan dengan pengawasan dan peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir khususnya radiasi pengion sinar-X untuk tujuan radiologi diagnostik dan intervensional. Seiring perkembangan maka terdapat 5 (lima) peraturan yang dikembangkan sejak tahun 1999 berkaitan dengan radiologi diagnostik dan intervensional dan dikaitkan dengan keselamatan radiasi. Perkembangan peraturan tersebut yaitu Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011, Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 dan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Beberapa tantangan yang dihadapi dalam melakukan pengawasan pemanfaatan sumber radiasi pengion khususnya radiologi diagnostik dan intervensional diantaranya berkaitan pengawasan terhadap paparan kerja, paparan medik dan pesawat sinar-X. Beberapa langkah yang mungkin dilakukan dalam menghadapi tantangan pengawasan terkait pengawasan paparan kerja, paparan medik dan sumber daya peralatan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Diantaranya memberikan pembinaan kepada pemegang izin baik pemilik fasilitas, direktur rumah sakit atau pimpinan tertinggi untuk memiliki kepedulian terhadap rekaman dosis pekerja radiasi. Karena rekaman dosis pekerja merupakan hak yang dimiliki fasilitas. Kemudian terkait dengan paparan medik maka diharapkan seluruh inspektur memiliki akses kedalam aplikasi Si-INTAN sebagai revidu untuk mengetahui fasilitas tersebut memiliki akun Si-INTAN atau tidak. Dan sebagai langkah pengawasan terhadap sumber daya peralatan maka diharapkan adanya inspeksi secara bersama-sama dengan lembaga lain terhadap fasilitas kesehatan yang memiliki banyak peralatan dan modalitas yang banyak digunakan dalam layanan radiologi diagnostik dan intervensional.

Kata Kunci: inspeksi, pengawasan, radiologi diagnostik dan intervensional

Abstract

Nuclear energy supervision is a must in accordance with the provisions of applicable regulations. In conducting supervision, it is carried out through a series of systems, devices, and processes used to continuously or periodically monitor, oversee, and manage activities in diagnostic and interventional radiology facilities. The aim is to ensure safety, compliance, and optimal performance in a system or environment. The utilization of

ionizing radiation sources, especially in the field of diagnostic radiology in Indonesia, has experienced rapid progress and growth. This is evidenced by the increasing number of license holders in the field of diagnostic and interventional radiology over the years. A review has been conducted related to the supervision and regulatory provisions concerning the use of nuclear energy, especially ionizing radiation for diagnostic and interventional radiology purposes. With the development, there are five regulations developed since 1999 related to diagnostic and interventional radiology and associated with radiation safety. These regulations are the Head of the Nuclear Energy Regulatory Agency Decree Number 01-P/Ka-BAPETEN/I-03, BAPETEN Head Regulation Number 8 of Year 2011, BAPETEN Head Regulation Number 9 of Year 2011, BAPETEN Regulation Number 2 of 2018, and BAPETEN Regulation Number 4 of 2020. Some challenges faced in supervising the use of ionizing radiation sources, especially in diagnostic and interventional radiology, include monitoring of occupational exposure, medical exposure, and X-ray equipment. Some steps that can be taken to address these challenges in supervision include providing guidance to license holders, including facility owners, hospital directors, or top executives, to be concerned about the dose records of radiation workers. Because radiation worker dose records are the rights of the facility. Regarding medical exposure, it is expected that all inspectors have access to the Si-INTAN application for review to determine whether the facility has a Si-INTAN account or not. And as a step in supervising equipment resources, joint inspections with other institutions are expected for health facilities that have many equipment and modalities used in diagnostic and interventional radiology services.

Keywords: *inspection, supervision, diagnostic and interventional radiology*

Pendahuluan

Pengawasan tenaga nuklir merupakan hal yang harus dilakukan sesuai dengan ketentuan peraturan perundangan yang berlaku. Dalam melakukan pengawasan maka dilakukan melalui serangkaian sistem, perangkat, dan proses yang digunakan untuk memantau, mengawasi, dan mengelola kegiatan pada fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional secara terus-menerus atau berkala. Tujuannya adalah untuk memastikan keamanan, kepatuhan, dan kinerja yang optimal dalam suatu sistem atau lingkungan

Dalam penulisan makalah ini maka secara khusus dilakukan tinjauan terhadap pengawasan yang dilakukan dalam bidang radiologi dan intervensional melalui mekanisme inspeksi. Pembangunan dalam menunjang pengawasan diawali melalui penyusunan regulasi yang juga merupakan pondasi kuat dan sebagai dasar dalam melakukan tindakan inspeksi. Pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia memiliki definisi yang terdiri atas 13 (tiga belas) kegiatan. Secara regulasi 13 (tigabelas) pemanfaatan tersebut dilakukan melalui penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning dan pengelolaan limbah radioaktif [1]. Pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir harus dilakukan oleh suatu badan independen melalui mekanisme tersendiri. Di beberapa negara sistem pengawasan terhadap segala bentuk pemanfaatan tenaga nuklir juga dilakukan dengan sistem yang disesuaikan dengan negara tersebut. Tenaga nuklir selain memiliki manfaat tertentu juga memiliki aspek yang berbahaya karena beberapa efek radiasi yang ditimbulkan. Paparan terhadap jaringan atau organ manusia akibat radiasi dapat menginduksi kematian sel pada skala yang mungkin cukup luas untuk merusak fungsi jaringan atau organ yang terpapar [2].

Pemanfaatan sumber radiasi pengion khususnya dalam bidang radiologi diagnostik di Indonesia mengalami kemajuan dan peningkatan yang pesat. Hal ini dibuktikan dengan jumlah pemegang izin dalam bidang radiologi diagnostik dan intervensional yang semakin banyak dan meningkat dari tahun ke tahun. Sampai dengan periode awal Agustus 2023 jumlah pemegang izin kegiatan radiologi diagnostik dan intervensional berjumlah sekitar 3187 izin yang telah terbit dan masih berlaku [3]. Sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan maka sumber radiasi pengion termasuk salah satu aspek dalam tenaga nuklir yang harus mendapatkan pengawasan [1]. BAPETEN sebagai satu-satunya lembaga pemerintah yang melakukan pengawasan memiliki peran penting dalam pelaksanaannya. Inspeksi merupakan salah satu ujung tombak dalam pengawasan yang harus dilaksanakan oleh BAPETEN. Setiap instalasi ataupun fasilitas yang memanfaatkan sumber radiasi pengion harus mendapatkan pengawasan melalui instrumen inspeksi. Inspeksi dilakukan dalam rangka untuk mengetahui dan melihat secara langsung kondisi nyata di lapangan dalam rangka pengawasan dipatuhinya persyaratan dalam perizinan dan peraturan perundang-undangan keselamatan

nuklir. Inspeksi dilaksanakan secara berkala dan sewaktu-waktu oleh inspektur keselamatan nuklir yang diangkat dan diberhentikan oleh BAPETEN [4].

Kegiatan radiologi diagnostik dan intervensional hampir seluruhnya memanfaatkan radiasi sinar-X. Dalam layanan medis dan pemeriksaan radiologi diagnostik dengan memanfaatkan radiasi pengion yang bersumber dari pesawat sinar-X maka pasien, pekerja radiasi akan menerima paparan radiasi. Efek radiasi yang diterima manusia termasuk pasien dalam hal ini memiliki efek deterministik dan stokastik. Efek radiasi yang menimbulkan potensi bahaya inilah yang akan menyebabkan beberapa kerugian terhadap yang menerimanya. Inspeksi dalam bidang radiologi diagnostik dan intervensional dilakukan dengan tujuan untuk memastikan ditaatinya syarat-syarat dalam perizinan dan peraturan ketenaganukliran sesuai dengan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2017 Tentang Pelaksanaan Inspeksi Dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir.

Landasan Teori

Penyusunan makalah ini dilakukan melalui tinjauan beberapa literatur dan referensi terkait dengan pengawasan dan peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir khususnya radiasi pengion sinar-X untuk tujuan radiologi diagnostik dan intervensional. Beberapa obyek selain pemanfaatan tenaga nuklir juga telah dilakukan inspeksi oleh berbagai instansi ataupun lembaga. Beberapa contoh inspeksi adalah inspeksi terhadap program keamanan dan keselamatan lalu lintas dan angkutan jalan dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, inspeksi kesehatan dalam bingkai pemeriksaan rutin sesuai Peraturan Menteri Kesehatan tentang Standar Kegiatan Usaha Dan Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Kesehatan, inspeksi keselamatan dan keamanan penerbangan sesuai Peraturan Menteri Perhubungan tentang Keselamatan Penerbangan Sipil [5]–[7]. Beberapa perkembangan regulasi dari BAPETEN menjadi tinjauan utama dalam penyusunan makalah ini. Aspek pengawasan yang dilakukan oleh BAPETEN sebagai lembaga pemerintah adalah melakukan pengawasan secara khusus terhadap pemanfaatan tenaga nuklir yang dalam hal ini adalah radiasi pengion sinar-X.

Hasil dan Pembahasan

1. Ketersediaan dan Perkembangan Regulasi

Pemanfaatan sumber radiasi pengion merupakan salah satu aspek dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Sumber radiasi pengion dalam hal ini penggunaan radiasi yang dibangkitkan dari pesawat sinar-X banyak digunakan dalam bidang radiologi diagnostik dan intervensional. Radiologi diagnostik merupakan teknik radiologi untuk mendiagnosis suatu penyakit atau kelainan morfologi dalam tubuh pasien dengan menggunakan pesawat sinar-X dan radiologi intervensional merupakan teknik Radiologi dengan menggunakan pesawat sinar-X untuk pemandu citra secara langsung (*real-time image-guided*) dalam mendiagnosis dan melakukan tindakan terapi dengan memasang kawat penuntun, stent, dan komponen terkait di dalam tubuh pasien [8]. Badan regulator bertanggung jawab untuk melaksanakan fungsi regulasi yang diperlukan, seperti pembentukan persyaratan dan pedoman, otorisasi dan inspeksi fasilitas dan kegiatan, serta penegakan ketentuan undang-undang dan peraturan. Badan regulator harus menetapkan sistem regulasi untuk perlindungan dan keamanan yang salah satunya adalah meliputi situasi paparan yang ada [2].

BAPETEN sebagai satu-satunya lembaga pemerintah yang memiliki tugas dalam pengawasan pemanfaatan sumber radiasi pengion telah menyediakan beberapa regulasi yang berkaitan dengan kegiatan pengawasan pemanfaatan dalam bidang radiologi diagnostik dan intervensional. Pada tahun 2003 BAPETEN telah menerbitkan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P/Ka-BAPETEN/ I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik. Ruang lingkup pengaturan dalam regulasi ini diantaranya adalah yang berkaitan dengan persyaratan administrasi, kualifikasi sumber daya manusia, persyaratan teknik pesawat sinar-X dan operasionalnya, panduan dosis pasien sampai dengan jaminan kualitas citra yang dihasilkan dalam radiologi diagnostik dan intervensional

[9]. Pada tahun 2011 BAPETEN melakukan pengembangan regulasi yang didasari atas kemajuan teknologi dan pembaharuan regulasi terkini dengan menerbitkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional yang bersamaan pula dengan terbitnya Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Untuk ruang lingkup pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 adalah yang berkaitan dengan pengaturan persyaratan izin, persyaratan keselamatan radiasi, Intervensi, dan Rekaman dan laporan, dalam penggunaan pesawat sinar-X. Seiring kemajuan teknologi dan regulasi terkini pula, maka Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 dinyatakan tidak berlaku dan dicabut pengundangannya sejak tahun 2020. Regulasi tersebut digantikan dengan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Penggunaan Pesawat Sinar-X Dalam Penggunaan Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Dalam regulasi terbaru tersebut maka terdapat beberapa perbedaan lingkup pengaturan dengan regulasi yang sebelumnya, diantaranya adalah persyaratan izin sudah tidak dilakukan pengaturan dalam Peraturan BAPETEN, penambahan lingkup jenis modalitas, nomenklatur penyebutan sumber daya manusia, pelaporan rekaman dosis pasien kedalam sistem informasi data dosis pasien (Si-INTAN), lingkup pengaturan justifikasi paparan medik dan ketentuan penggunaan pesawat sinar-X portabel.

Selanjutnya BAPETEN pada tahun 2018 telah menerbitkan Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Peraturan ini menggantikan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Dengan terbitnya kedua peraturan tersebut maka BAPETEN telah memberikan pengawasan yang terpadu antara keselamatan radiasi dalam radiologi diagnostik dan intervensional dan juga terhadap pesawat sinar-X yang digunakan dalam radiologi diagnostik dan intervensional.

Seiring perkembangan maka terdapat 5 (lima) peraturan yang dikembangkan sejak tahun 1999 berkaitan dengan radiologi diagnostik dan intervensional dan dikaitkan dengan keselamatan radiasi. Perkembangan peraturan tersebut yaitu Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011, Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 dan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Kelima peraturan tersebut dikembangkan karena memang disesuaikan dengan aspek kebutuhan dan perkembangan teknologi. Perkembangan regulasi pengawasan dalam radiologi diagnostik dan intervensional yang mengalami kemajuan tercantum dalam gambar berikut ini.



Gambar 1. Perkembangan Regulasi Radiologi Diagnostik dan Intervensional

2. Tantangan Pengawasan Bidang Radiologi Diagnostik dan Intervensional

Beberapa tantangan yang dihadapi dalam melakukan pengawasan pemanfaatan sumber radiasi pengion khususnya radiologi diagnostik dan intervensional diantaranya berkaitan pengawasan terhadap paparan kerja, paparan medik dan pesawat sinar-X. Paparan kerja merupakan paparan yang diterima oleh pekerja radiasi. Pekerja radiasi yang terlibat dalam layanan radiologi diagnostik dan intervensional meliputi antara lain radiografer, fisikawan medis, dokter spesialis radiologi atau dokter lain yang terlibat dalam tindakan radiologi. Selain pekerja radiasi tersebut juga dapat melibatkan perawat sebagai tenaga medis yang memang bekerja di fasilitas layanan radiologi diagnostik dan intervensional. Obyek pengawasan radiologi diagnostik dan intervensional berdasarkan tingkat resiko tercantum dalam tabel berikut ini [10].

Tabel 1. Obyek Pengawasan Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Tingkat Resiko	Obyek Pengawasan	Periode Pengawasan (Per-Tahun)
Tinggi	Radiografi Industri	1
Tinggi	Iradiator	1
Tinggi	Radioterapi	1
Tinggi	Kedokteran Nuklir	1
Sedang	well logging	2
Sedang	Importir	2
Sedang	Penelitian	2
Rendah	Gauging dan fotofluorografi	3
Rendah	Radiodignostik dan Intervensional	4

Berdasarkan Tabel 1 tersebut di atas maka dapat diketahui bahwa bidang radiologi diagnositik merupakan kegiatan yang memanfaatkan sumber radiasi pengion dengan tingkat resiko rendah yang kegiatan pengawasan berupa inspeksi dilakukan selama 4 (empat) tahun atau bahkan lebih. Walau memiliki tingkat resiko radiasi yang rendah maka pengawasan terhadap bidang ini tidak mengurangi aspek dan parameter keselamatan radiasi yang tercakup didalamnya.

Pengawasan terhadap paparan pekerja dilakukan melalui pemeriksaan item indikator pemantauan dosis personal. BAPETEN dalam melakukan pengawasan terhadap pekerja radiasi tersebut saat ini hanya mengandalkan data dosis radiasi yang diterima melalui aplikasi sistem PENDORA. Selain itu kegiatan pengawasan yang dilakukan melalui inspeksi ke fasilitas juga berbasis kepada rekaman dosis yang diterima pekerja radiasi berupa kartu dosis dan rekaman hasil catatan dosis dari laboratorium pencatatan dosis pekerja radiasi yang dimiliki oleh fasilitas.

Pemeriksaan terhadap catatan dosis pekerja radiasi merupakan salah satu item pemeriksaan yaitu pada nomor 3 (tiga) dari 7 (tujuh) indikator pemeriksaan terhadap parameter keselamatan radiasi setelah indikator pemeriksaan untuk kondisi perizinan dan ketersediaan sumber daya manusia [10],[11]. Berdasarkan data dan informasi yang diperoleh sampai dengan akhir tahun 2019, maka masih terdapat beberapa temuan yang terkait dengan pemantauan dosis perorangan. Temuan tersebut adalah fasilitas tidak secara berkala melakukan pemantauan dosis pekerja radiasi baik untuk alat pencatat dosis berupa TLD atau dosimeter pembacaan langsung [12].

Tabel 2. Kategorisasi Temuan Inspeksi [10]

Kategori I	Kategori II	Kategori III
Temuan hasil inspeksi atau pelanggaran peraturan perundang-undangan keteganaganukliran yang berkonsekuensi pengenaan sanksi pidana	Temuan hasil inspeksi atau pelanggaran perundang-undangan keteganaganukliran yang berkonsekuensi administrasi berupa penghentian sementara atau pembekuan izin hingga pencabutan izin	Temuan hasil inspeksi atau pelanggaran peraturan perundang-undangan keteganaganukliran yang berkonsekuensi pengenaan sanksi administrasi berupa peringatan tertulis hingga pencabutan izin.

Dengan merujuk kepada kategorisasi kepada Tabel 2 tersebut di atas maka temuan hasil inspeksi dalam pengawasan terhadap paparan kerja harus dilakukan identifikasi kembali untuk diklasifikasikan kedalam kategori seperti apa. Saat ini berita acara pembinaan merupakan mekanisme hasil kesimpulan berdasarkan temuan dan rekomendasi yang diberikan kepada fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional setelah selesai inspeksi dilaksanakan oleh tim inspektur. Apabila terdapat temuan yang berkaitan dengan pemantauan dosis personal maka dalam berita acara pembinaan juga belum dijelaskan temuan tersebut diklasifikasikan dalam pemilihan temuan kategori.

Ada beberapa langkah yang mungkin dapat dilakukan oleh Badan Pengawas untuk menghadapi tantangan terkait pemantauan dosis pekerja radiasi. Diantaranya memberikan pembinaan kepada pemegang izin baik pemilik fasilitas, direktur rumah sakit atau pimpinan tertinggi untuk secara berkala memiliki dan meminta kepada laboratorium pembaca rekaman dosis pekerja radiasi. Karena rekaman dosis pekerja merupakan hak yang dimiliki fasilitas. Selain itu juga memberikan pemahaman bahwa rekaman dosis pekerja radiasi merupakan tanda peringatan terhadap bahaya radiasi terhadap asset sumber daya manusia fasilitas. Tanda peringatan tersebut tidak ubahnya seperti kotoran ataupun debu yang terdapat pada setiap pekerja yang akan memberikan efek negatif dikemudian hari. Selain pembinaan kepada pemegang izin, maka inspeksi terhadap laboratorium juga harus dilakukan dalam rangka untuk memberikan pemahaman pentingnya rekaman dosis pekerja karena laboratorium pembacaan dosis pekerja radiasi mempengaruhi hasil bacaan dan juga pelaporan kepada fasilitas.

Tantangan pengawasan selanjutnya dalam radiologi diagnostik dan intervensional adalah berkaitan dengan paparan medik yang merupakan paparan yang diterima oleh pasien sebagai bagian dari diagnosis atau pengobatan medik, dan orang lain sebagai sukarelawan yang membantu pasien [13]. Saat ini BAPETEN sudah menerbitkan Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 1211/K/V/2021 tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X CT-Scan dan Radiografi Umum, Keputusan tersebut merupakan instrument yang membantu pengawasan khususnya terhadap paparan medik.

DRL merupakan nilai dosis radiasi pada pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensional atau aktivitas radionuklida pada pemeriksaan diagnostik kedokteran nuklir yang ditetapkan oleh badan pengawas dan digunakan untuk acuan perbandingan dengan pemeriksaan yang dilakukan di fasilitas [14]. Dengan nilai tingkat panduan tersebut maka pekerja radiasi diharapkan melakukan tindakan optimisasi dalam proteksi radiasi sehingga pasien menerima dosis radiasi serendah mungkin dengan tetap menghasilkan citra yang optimum. Mekanisme pengawasan yang dilakukan BAPETEN adalah melalui pelaporan rekaman dosis pasien oleh setiap pemegang izin sesuai dengan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-X Dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial [15]. Sistem pelaporan rekaman dosis pasien dilakukan melalui aplikasi Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN).

Langkah-langkah yang sudah dilakukan dalam menghadapi tantangan terkait pentingnya paparan medik saat ini adalah dengan melakukan pelaporan data dosis pasien kedalam aplikasi Si-INTAN. Dalam melaksanakan inspeksi di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional sudah dilakukan identifikasi pemeriksaan fasilitas yang sudah melakukan pelaporan data dosis pasien atau minimal memiliki akun Si-INTAN. BAPETEN secara berkala setiap tahun melakukan evaluasi terhadap hasil pencatatan dosis pasien dan secara bertahap menentukan tingkat panduan diagnostik untuk seluruh modalitas dalam radiologi diagnostik dan intervensional. Pendekatan pengawasan ini dilakukan melalui pemeriksaan item indikator nomor 7 (tujuh) terkait ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman keselamatan dan keamanan sumber radiasi pengion. Dalam indikator pemeriksaan ini merupakan mekanisme yang sangat mendekati untuk mengetahui setiap fasilitas sudah melaporkan rekaman data dosis pasien kepada BAPETEN. Hal paling utama adalah melalui pemeriksaan apakah fasilitas tersebut sudah memiliki akun Si-INTAN atau belum. Selain itu juga diharapkan seluruh inspektur memiliki akses kedalam aplikasi Si-INTAN sebagai revidu untuk mengetahui fasilitas tersebut memiliki akun Si-INTAN atau tidak.

Pengawasan selanjutnya adalah berkaitan dengan pengawasan terhadap sumber daya peralatan berupa pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Uji kesesuaian yang dilakukan terhadap pesawat sinar-X merupakan salah satu bentuk pengawasan BAPETEN terhadap pesawat sinar-X yang

digunakan untuk tujuan layanan kesehatan. Sertifikasi pesawat sinar-X yang menentukan andal atau tidak andalnya pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional akan mempengaruhi proses penerbitan izin. Hanya pesawat sinar-X yang dalam kondisi andal atau andal dalam perbaikan yang dapat digunakan untuk layanan radiologi diagnostik dan intervensional. Dalam proses perizinan baik izin baru maupun perpanjangan izin maka setiap sertifikat keandalan pesawat sinar-X yang diterbitkan dari BAPETEN akan menjadi salah satu persyaratan perizinan. Saat ini sudah terdapat 43 (empat puluh tiga) lembaga uji kesesuaian yang sudah mendapatkan KTUN penunjukan dari BAPETEN untuk melaksanakan uji kesesuaian pesawat sinar-X dengan yang terdiri atas modalitas yang antara lain adalah radiografi umum, radiografi gigi, fluoroskopi, CT-Scan dan mamografi [16]. Masing-masing lembaga uji kesesuaian memiliki kemampuan yang berbeda dalam melaksanakan uji kesesuaian sesuai dengan sarana dan prasarana yang dimiliki. Laporan hasil uji kesesuaian akan dievaluasi oleh tim tenaga ahli yang berjumlah 45 (empat puluh lima) personal yang terdiri dari internal BAPETEN dan eksternal BAPETEN [17].

Proses evaluasi inilah yang akan menentukan hasil dan dituangkan dalam bentuk sertifikasi hasil uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Salah satu tantangan pengawasan uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional adalah belum adanya mekanisme pengawasan dalam bentuk inspeksi secara khusus untuk parameter uji kesesuaian. Kegiatan inspeksi yang dilakukan adalah berupa pemeriksaan dalam indikator untuk pemeriksaan ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman keselamatan dan keamanan sumber radiasi pengion yang berupa laporan hasil uji atau sertifikat hasil uji yang terdapat pada fasilitas. Langkah yang dapat dilakukan dalam melakukan menghadapi tantangan terhadap pengawasan sumber daya peralatan adalah melakukan inspeksi secara bersama-sama dengan lembaga lain misalnya Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) yang juga bertindak sebagai Lembaga Uji Kesesuaian (LUK). Inspeksi ini dilakukan terhadap fasilitas kesehatan yang memiliki banyak peralatan dan modalitas yang banyak digunakan dalam layanan radiologi diagnostik dan intervensional.

Kesimpulan

Perkembangan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional memberikan nuansa pengawasan yang terus berkembang untuk melakukan berbagai perubahan. Dalam makalah ini terdapat 3 (tiga) tantangan pengawasan yaitu pengawasan terhadap paparan pekerja, paparan medik dan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Pengawasan terhadap fasilitas radiologi diagnostik harus berdasarkan peraturan perundang-undangan sehingga BAPETEN telah menyediakan regulasi yang disesuaikan untuk keselamatan radiasi dan keandalan pesawat sinar-X. Terdapat beberapa langkah yang mungkin dilakukan dalam menghadapi tantangan pengawasan terkait pengawasan paparan kerja, paparan medik dan sumber daya peralatan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Diantaranya memberikan pembinaan kepada pemegang izin baik pemilik fasilitas, direktur rumah sakit atau pimpinan tertinggi untuk memiliki kepedulian terhadap rekaman dosis pekerja radiasi. Karena rekaman dosis pekerja merupakan hak yang dimiliki fasilitas. Kemudian terkait dengan paparan medik maka diharapkan seluruh inspektur memiliki akses kedalam aplikasi Si-INTAN sebagai review untuk mengetahui fasilitas tersebut memiliki akun Si-INTAN atau tidak. Dan sebagai langkah pengawasan terhadap sumber daya peralatan maka diharapkan adanya inspeksi secara bersama-sama dengan lembaga lain terhadap fasilitas kesehatan yang memiliki banyak peralatan dan modalitas yang banyak digunakan dalam layanan radiologi diagnostik dan intervensional. Untuk memperkuat peran lembaga dan penguatan inspeksi maka mungkin dapat melibatkan peran Kementerian Kesehatan dalam melakukan pengawasan terhadap fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi kepada Koordinator Fungsi Pengkajian Kesehatan P2STPFRZR BAPETEN dan seluruh rekan di kelompok fungsi pengkajian kesehatan yang banyak memberikan bantuan, sumbangsih beserta akses sehingga makalah ini dapat terwujud. Seiring masih jauhnya kesempurnaan dalam penyusunan makalah ini, maka seluruh pembaca dapat memberikan input balik sebagai masukan sehingga dalam proses penyusunan makalah selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, “Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran,” 1997.
- [2] International Atomic Energy Agency, General Safety Requirements Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards. 2014.
- [3] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “<https://balis.bapeten.go.id/backend/web/index.php/site/login>,” 2020.
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. 1997.
- [5] Kementerian Perhubungan, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm 33 Tahun 2022 Tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 119 Tentang Sertifikasi Pengoperasian Pesawat Udara Untuk Kegiatan Angkutan Udara, no. 1046. Jakarta, 2022.
- [6] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2022 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 14 Tahun 2021 Tentang Standar Kegiatan Usaha Dan Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Kesehatan, Vol. 69, No. 1496. 2013.
- [7] I. K. Peralatan, “Inspeksi K3 peralatan,” No. 38, 2015.
- [8] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi Penggunaan Pesawat Sinar-X Untuk Radiologi Diagnostik Dan Intervensional. 2020.
- [9] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P/Ka-BAPETEN/I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik, vol. 53, no. 9. Jakarta, 2003.
- [10] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Inspeksi dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir,” pp. 1–71, 2017.
- [11] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “<https://balis-infara.bapeten.go.id/backend/insp/lhi>.” .
- [12] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Hasil Kajian Tindak Lanjut Temuan Inspeksi Bidang Kesehatan, Industri dan Penelitian. Jakarta, 2021.
- [13] Presiden Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. 2007.
- [14] H. I. and Q. A. HIQA, Diagnostic Reference Levels: Guidance on The Establishment, Use and Review of Diagnostic Reference Levels for Medical Exposure to Ionising Radiation, no. March. Ireland, 2021.
- [15] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Indonesia, 2020.
- [16] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “<https://balis.bapeten.go.id/portal/web/index.php/sites/sertifikat-uji?jenis=1>.” .
- [17] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Tim Evaluasi Laporan Hasil Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Tahun 2023. 2022.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Tinjauan Awal Identifikasi Paparan Potensial yang Terjadi di Fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensional

Zulfahmi¹, Sudradjat¹, Leily Savitri¹, Rusmanto¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

z.zulfahmi@bapeten.go.id

Abstrak

Pelaksanaan identifikasi terjadinya paparan potensial merupakan salah satu aspek penting dalam penyusunan dokumen kajian keselamatan sumber yang merupakan amanat dari Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 dan dijabarkan dalam Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020, yang menyebutkan bahwa identifikasi terjadinya paparan potensial dinyatakan dalam bentuk informasi kejadian paparan radiasi yang tidak diperlukan (*unnecessary exposure*). Penyusunan makalah ini dibatasi untuk melakukan identifikasi potensi paparan potensial yang terjadi di penggunaan radiasi pengion pada radiologi diagnostik dan intervensional dan tujuan penulisan ini dapat memberikan profil identifikasi potensi penyebab terjadinya paparan potensial pada penggunaan pesawat sinar-X di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional. Melalui hasil survei pada 115 fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional di 6 wilayah Indonesia, diperoleh 14 tahapan proses yang memunculkan paparan potensial dengan probabilitas kejadian paling besar ada pada tahapan operasi normal pesawat sinar-X. Tahapan operasi normal ditemukan paparan potensial dari 5 potensi kejadian dari yang tertinggi hingga yang rendah disebabkan antara lain oleh proses pengulangan penyinaran 87%, ketidakjelasan surat rujukan dari dokter pengirim 73%, kualitas citra yang kurang optimal/tidak sesuai dengan keinginan dokter 63,5%, ketidaksesuaian luas lapangan penyinaran dengan objek pemeriksaan 49,6%, dan penggunaan faktor penyinaran atau teknik penyinaran yang kurang tepat 48,7%. Hasil identifikasi paparan potensial ini perlu dilanjutkan dengan pembobotan risiko dan perhitungan besarnya risiko yang muncul sebagai bagian paparan potensial sehingga kita dapat mengetahui paparan potensial di radiologi diagnostik dan intervensional itu signifikan atau tidak membutuhkan proteksi radiasi.

Kata Kunci: paparan potensial, *unnecessary exposure*, radiologi diagnostik dan intervensional, pesawat sinar-X.

Abstract

Identifying potential exposures is crucial in preparing a safety assessment document, as Government Regulation Number 33 of 2007 mandated. This regulation is implemented in BAPETEN Regulation Number 4 of 2020, which requires identifying potential exposure incidents of unnecessary radiation exposure. Focus of this paper is limited to identifying potential exposures that occur in the use of ionizing radiation in diagnostic and interventional radiology and interventional radiology and this paper aims to identify the causes of potential exposure in using X-ray machines in diagnostic and interventional radiology facilities. Through a survey of 115 facilities in 6 regions of Indonesia, 14 stages were identified that could give rise to radiation and potential exposure. The normal operation stage of the X-ray machine was the most common stage for potential exposure, with five potential events identified. These included repeating irradiation, unclear referral letters, suboptimal image quality, mismatch of the irradiation field with the examination object, and incorrect use of irradiation factors or techniques. The results of this identification can be used to assess the risk of potential exposure and determine the need for radiation protection in diagnostic and interventional radiology facilities.

Keywords: potential exposure, unnecessary exposure, diagnostic and interventional radiology, X-ray machine.

Pendahuluan

Penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional selain bermanfaat untuk diagnosis atau terapi penyakit pada pasien, juga dapat memberikan potensi risiko radiasi terhadap pasien dan pekerja radiasi. Potensi risiko yang diterima pasien dan pekerja radiasi dapat berupa paparan potensial. Oleh karena itu, penyebab terjadinya paparan potensial perlu diidentifikasi agar risiko tersebut dapat diminimalisasi bahkan dicegah.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 Pasal 44 dan 45 ayat (2) huruf a, bahwa identifikasi terjadinya paparan potensial merupakan salah satu aspek penting dalam penyusunan dokumen kajian keselamatan sumber [1]. Implementasi PP Nomor 33 Tahun 2007 dijabarkan pada Pasal 63 ayat (2) Perba Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial, yang menyatakan bahwa identifikasi terjadinya paparan potensial dinyatakan dalam bentuk informasi kejadian paparan radiasi yang tidak diperlukan (*unnecessary exposure*) [2].

Selain itu berdasarkan Perba Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran, dinyatakan pada butir 55 Standar Proses dalam Pemenuhan Izin Radiologi Diagnostik dan Intervensial bahwa salah satu lingkup dari dokumen kajian keselamatan sumber adalah identifikasi terjadinya paparan potensial yang merupakan salah satu persyaratan teknis untuk memperoleh izin penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional.

Penyusunan makalah ini dibatasi untuk melakukan identifikasi potensi paparan potensial yang terjadi di penggunaan radiasi pengion pada radiologi diagnostik dan intervensional. Oleh karena itu, diharapkan dengan adanya tinjauan awal ini dapat memberikan profil identifikasi penyebab terjadinya paparan potensial pada penggunaan pesawat sinar-X di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional.

Landasan Teori

Paparan potensial merupakan paparan radiasi yang tidak diharapkan terjadi, besarnya dapat diperkirakan, namun kejadiannya masih menjadi kemungkinan atau tidak pasti terjadi. Jika terjadi, maka akan menimbulkan paparan radiasi yang dapat mengakibatkan paparan berlebih pada pasien, pekerja radiasi, dan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan upaya proteksi untuk mencegah terjadinya situasi paparan potensial dan langkah perbaikan yang diperlukan agar kejadian serupa tidak terulang kembali [3]. Paparan potensial secara signifikan berbeda dengan paparan yang diperkirakan terjadi dalam penggunaan operasi normal. Oleh karena itu, fasilitas perlu menerapkan sistem yang sesuai untuk melakukan perekaman, analisis dan pelaporan terhadap kejadian paparan potensial, yang dapat berupa paparan yang tidak diperlukan [4, 6].

Selain itu, identifikasi potensi munculnya paparan radiasi diperlukan untuk mengetahui kecukupan proteksi radiasi yang direncanakan dan diterapkan oleh fasilitas radiologi. Identifikasi terjadinya paparan potensial pada pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional harus dilakukan secara periodik untuk memperhitungkan perubahan keadaan, seperti penerapan standar baru atau perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, umpan balik dari pengalaman operasi, dan dampak dilakukannya modifikasi sumber terhadap proteksi dan keselamatan radiasi [5].

Identifikasi terjadinya paparan potensial pada pasien dan pekerja radiasi dilakukan dengan mempertimbangkan kemungkinan situasi keadaan darurat yang dapat terjadi akibat [2]:

- a. kelemahan dalam desain pesawat sinar-X;
- b. kegagalan pesawat sinar-X saat beroperasi atau kesalahan operasional;
- c. kegagalan dan kesalahan perangkat lunak yang mengendalikan atau mempengaruhi paparan radiasi; dan/atau
- d. kesalahan manusia.

Metodologi

Studi ini dilakukan dengan metode kualitatif, dari telaah data pustaka dan kuantitatif dari data/informasi survei lapangan. Data lapangan diperoleh dengan menganalisis 115 (seratus lima belas) responden fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional di 6 (enam) wilayah Indonesia (Sumatera, Jawa, Kalimantan, Bali-Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku-Papua). Data dan informasi diperoleh melalui pengisian kuesioner, pembahasan dan diskusi dengan pihak berkepentingan, narasumber, dan praktisi medik melalui *focus group discussion* (FGD). Data responden (berupa skala dikotomis), kemudian diolah ke dalam grafik batang untuk melihat kecenderungan pernyataan identifikasi yang telah ditelaah sebelumnya. Melalui persentase grafik dan analisis data, penulis dapat merumuskan ke dalam sebuah laporan profil kemampuserapan tentang identifikasi penyebab potensi terjadinya paparan potensial pada tiap tahapan penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional.

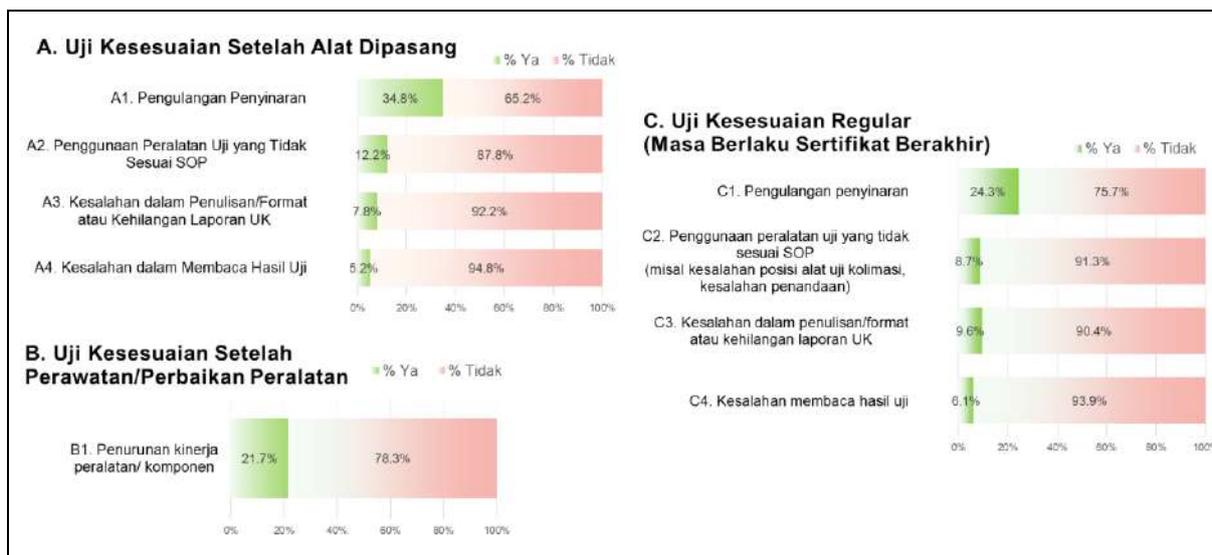
Hasil dan Pembahasan

Penelusuran terjadinya paparan potensial pada penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional ini dimulai dari melakukan indentifikasi dari seluruh rangkaian tahapan atau proses dalam penggunaan pesawat sinar-X. Dari hasil identifikasi terjadinya paparan potensial pada pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional pada tiap tahapan penggunaan diperoleh 14 tahapan yang memunculkan radiasi mulai dari awal penggunaan (pengujian awal, pengukuran paparan radiasi ruang sekitar, dan lain-lain) sampai dengan pada tahapan penggunaan rutin atau operasi rutin untuk pemeriksaan pasien [7]. Tahapan identifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari 14 tahapan kegiatan atau proses yang memunculkan radiasi ini selanjutnya dirincikan serangkaian kejadian yang mungkin muncul dan probabilitas munculnya kejadian itu dimintakan pendapat ke para pengguna dan pertimbangan pakar atau ahli. Hasil survei lapangan untuk mengetahui profil kejadian paparan potensial pada 14 tahapan yang memunculkan radiasi disajikan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 4.

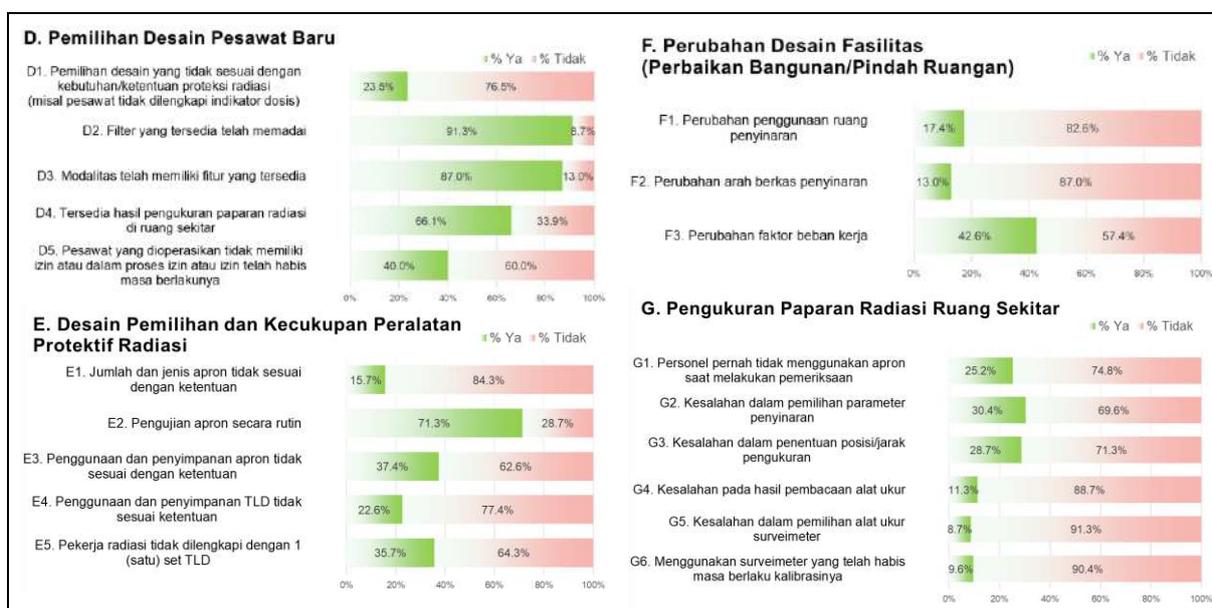
Tabel 1. Tahapan munculnya paparan potensial pada penggunaan pesawat sinar-X

No	Tahapan yang memunculkan radiasi
A.	Uji kesesuaian (UK) saat alat selesai dipasang/ penggantian tabung pesawat
B.	Uji kesesuaian setelah perawatan/ perbaikan alat
C.	Uji kesesuaian reguler (masa berlaku sertifikat berakhir)
D.	Pemilihan desain modalitas atau pesawat baru
E.	Desain pemilihan dan kecukupan peralatan protektif radiasi
F.	Perubahan desain fasilitas (perbaikan bangunan/pindah ruangan)
G.	Pengukuran paparan radiasi ruang sekitar atau di daerah kerja
H.	Operasi normal
I.	Perubahan / penggantian personel pekerja radiasi (dokter, fisikawan medis, PPR, radiografer, perawat)
J.	Kendali mutu internal (harian/mingguan/ bulanan)
K.	Demonstrasi keselamatan dalam rangka pemeriksaan internal oleh manajemen terhadap fasilitas secara periodik/insidentil
L.	Demonstrasi keselamatan dalam rangka pemeriksaan eksternal/ verifikasi perizinan dan/atau inspeksi
M.	Penelitian dan pengembangan
N.	Faktor eksternal yang berpotensi mempengaruhi keluaran radiasi sinar-X (gempa bumi, banjir, kebakaran dan peristiwa alam lainnya)



Gambar 1. Hasil olah data tahapan identifikasi paparan potensial (Tahapan A – C)

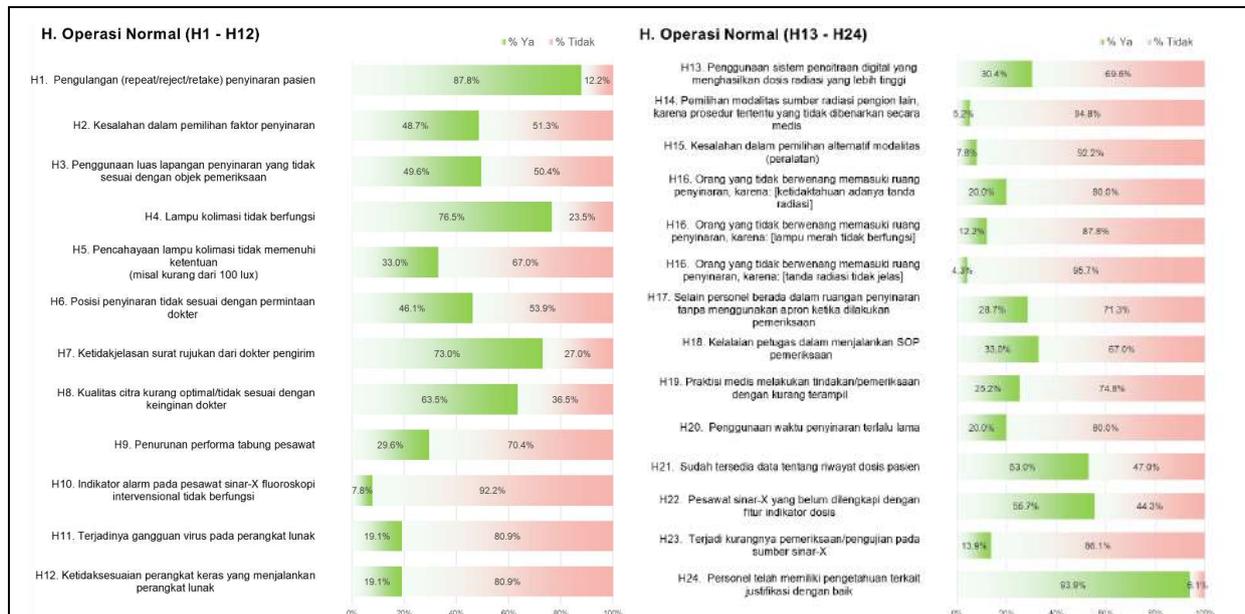
Terlihat pada Gambar 1 bagian A, diperoleh informasi bahwa telah dilakukan identifikasi paparan potensial pada tahapan uji kesesuaian setelah alat dipasang dengan potensi kejadian berkisar 5,0 - 34,8% di fasilitas. Potensi kejadian yang mencapai 34,8% ini teridentifikasi pada proses pengulangan penyinaran. Pada Gambar 1 bagian B menggambarkan bahwa masih ada potensi kejadian hingga 21,7% fasilitas yang mengalami penurunan kinerja alat setelah uji kesesuaian dilakukan. Kemudian terlihat juga pada Gambar 1 bagian C, uji kesesuaian ketika masa berlaku sertifikat berakhir diperoleh informasi bahwa potensi kejadian pengulangan penyinaran menurun menjadi 24,3% sebagaimana yang teridentifikasi pada bagian A sebelumnya.



Gambar 2. Hasil olah data tahapan identifikasi paparan potensial (Tahapan D – G)

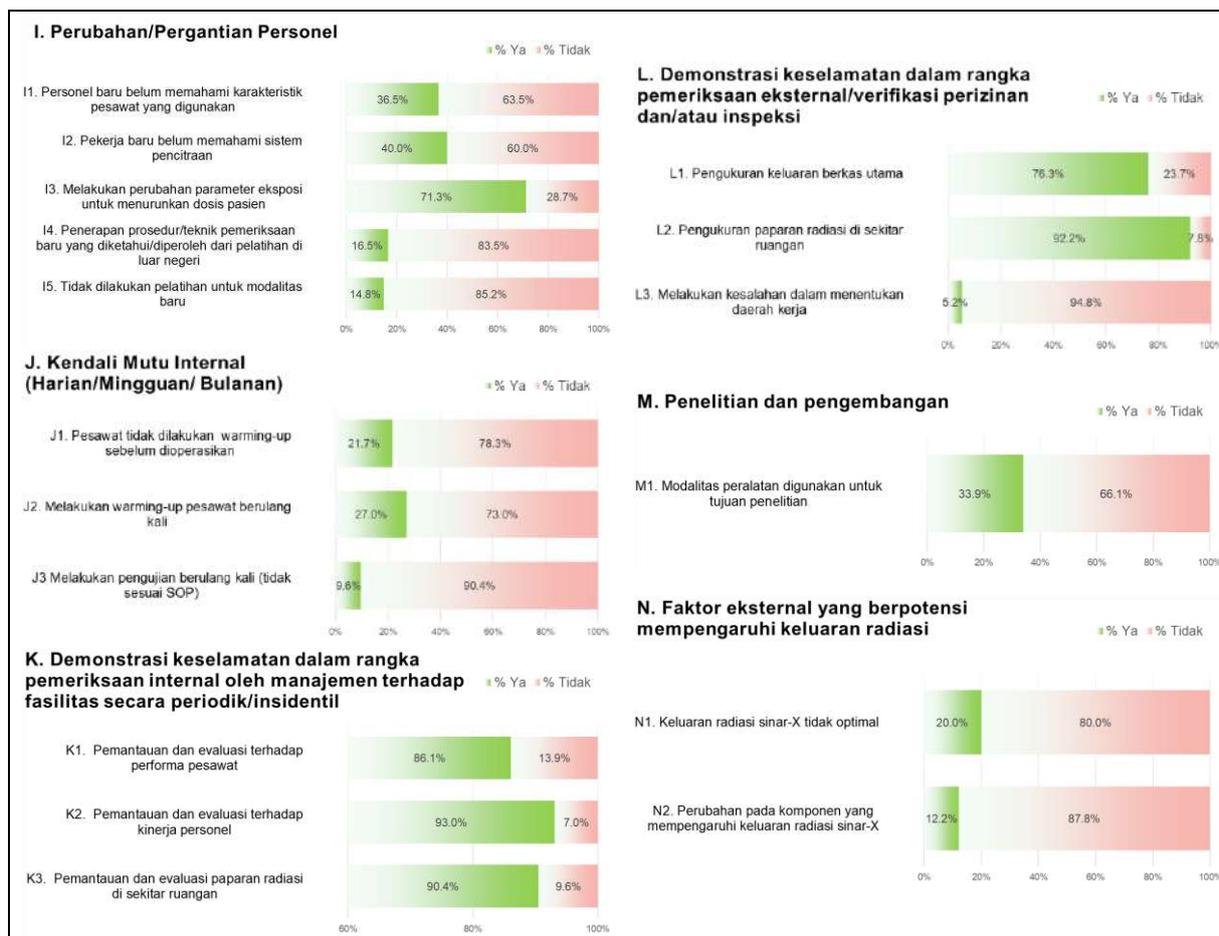
Pada Gambar 2 bagian D menunjukkan evaluasi pemilihan desain baru dimana 23,5% alat belum mempertimbangkan asas proteksi radiasi, 33,9% fasilitas belum ada hasil pengukuran paparan radiasi di ruang sekitar dan 40% alat tidak memiliki izin atau izin telah berakhir. Selanjutnya Gambar 2 bagian E menggambarkan desain pemilihan dan kecukupan proteksi radiasi, dimana 15,7% jumlah dan jenis apron belum sesuai dengan ketentuan dan 28,7% diantaranya belum dilakukan pengujian secara rutin dan 37,4% diantaranya tidak digunakan dan disimpan sesuai dengan ketentuan. Selain apron, terkait TLD juga teridentifikasi berkisar 22,0 hingga 36 % diantaranya pekerja radiasi di fasilitas belum lengkap dan tersimpan sesuai dengan ketentuan. Gambar 2 bagian F menggambarkan perubahan desain fasilitas dimana terdapat 17,4% terjadi perubahan ruang penyinaran dan 13,0% terjadi perubahan arah berkas penyinaran. Sedangkan potensi kejadian pada perubahan faktor beban

kerja mencapai 42,6%. Selanjutnya pada Gambar 2 bagian G terlihat potensi kejadian pada pengukuran paparan radiasi ruang sekitar bahwa terdapat 25,2% personel pernah tidak menggunakan apron saat melakukan pemeriksaan, 30,4% kesalahan dalam pemilihan parameter penyinaran, 28,7% kesalahan penentuan posisi jarak pengukuran dan 11,3% kesalahan pada hasil pengukuran alat ukur.



Gambar 3. Hasil olah data tahapan identifikasi paparan potensial (Tahapan H)

Pada Gambar 3 bagian H, operasi normal merupakan tahapan yang memiliki potensi kejadian yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan proses-proses lainnya yang ada di dalam tahapan identifikasi paparan potensial. Dari 24 butir proses operasi normal yang teridentifikasi, potensi kejadian berkisar 46,1% - 87,8% untuk 9 proses kejadian, salah satunya adalah proses posisi penyinaran yang tidak sesuai dengan permintaan dokter mencapai 46,1% dan pengulangan (*repeat/reject/retake*) penyinaran pasien yang mencapai 87,8%. Sedangkan untuk 13 proses lainnya berada di kisaran 4,3 - 33,0% seperti kesalahan dalam pemilihan alternatif modalitas, akses orang yang tidak berwenang, dan lain-lain. Dengan melihat potensi kejadian tersebut, fasilitas membutuhkan *self assessment* secara berkala mengingat 93% dari fasilitas sudah memiliki pengetahuan justifikasi dan optimisasi.



Gambar 4. Hasil olah data tahapan identifikasi paparan potensial (Tahapan I – N)

Pada Gambar 4 bagian I pada saat perubahan/ pergantian personel, 71,3% fasilitas sudah melakukan perubahan parameter eksposi untuk menurunkan dosis pasien. Namun, untuk pekerja baru pada rentang 36,5 – 40,0% masih belum memahami karakteristik pesawat dan sistem pencitraan yang digunakan. Pada Gambar 4 bagian J, dalam kendali mutu internal (harian/mingguan/bulanan) terdapat 21,7% pesawat tidak dilakukan *warming-up* sebelum dioperasikan, 27,0% melaksanakan *warming up* berulang kali dan 9,6% melakukan pengujian berulang kali (tidak sesuai SOP). Pada Gambar 4 bagian K, secara garis besar hasil demonstrasi keselamatan dalam rangka pemeriksaan internal oleh manajemen terhadap fasilitas secara periodik/insidental 86,1 – 93% telah melaksanakan pemantauan dan evaluasi terhadap performa pesawat, kinerja personel serta paparan radiasi disekitar ruangan.

Pada Gambar 4 bagian L, hasil demonstrasi keselamatan dalam rangka pemeriksaan eksternal/verifikasi perizinan dan atau inspeksi, terdapat 76,3% telah dilakukan pengukuran keluaran berkas utama, 92,3% telah dilakukan pengukuran paparan radiasi di sekitar ruangan, dan 5,2% melakukan kesalahan dalam menentukan daerah kerja. Pada Gambar 4 bagian M menunjukkan hasil penelitian dan pengembangan terdapat 33,9% modalitas peralatan digunakan untuk tujuan penelitian. Pada Gambar 4 bagian N menggambarkan hasil faktor eksternal yang berpotensi mempengaruhi keluaran radiasi, terdapat 20,0% fasilitas yang keluaran radiasi pesawat sinar-X tidak optimal, dan terdapat 12,0% perubahan pada komponen yang mempengaruhi keluaran radiasi sinar-X.

Tabel 2. Rekapitulasi potensi paparan potensial pada penggunaan pesawat sinar-X

No	Tahapan yang memunculkan radiasi	Probabilitas paparan potensial (%)
A.	Uji kesesuaian (UK) saat alat selesai dipasang/ penggantian tabung pesawat	5,0 – 34,8
B.	Uji kesesuaian setelah perawatan/ perbaikan alat	21,7
C.	Uji kesesuaian reguler (masa berlaku sertifikat berakhir)	24,3
D.	Pemilihan desain modalitas atau pesawat baru	23,5 – 40

No	Tahapan yang memunculkan radiasi	Probabilitas paparan potensial (%)
E.	Desain pemilihan dan kecukupan peralatan protektif radiasi	15,7 – 37,4
F.	Perubahan desain fasilitas (perbaikan bangunan/pindah ruangan)	13 – 42,6
G.	Pengukuran paparan radiasi ruang sekitar atau di daerah kerja	11,3 – 30,4
H.	Operasi normal	5,0 – 87,8
I.	Perubahan / penggantian personel pekerja radiasi (dokter, fisikawan medis, PPR, radiografer, perawat)	36,5 – 40,0
J.	Kendali mutu internal (harian/mingguan/ bulanan)	9,6 – 27,0
K.	Demonstrasi keselamatan dalam rangka pemeriksaan internal oleh manajemen terhadap fasilitas secara periodik/insidental	7,0 – 13,9
L.	Demonstrasi keselamatan dalam rangka pemeriksaan eksternal/ verifikasi perizinan dan/atau inspeksi	5,2
M.	Penelitian dan pengembangan	33,9
N.	Faktor eksternal yang berpotensi mempengaruhi keluaran radiasi sinar-X (gempa bumi, banjir, kebakaran dan peristiwa alam lainnya)	12,0 – 20,0

Sesuai dengan rekapitulasi potensi paparan potensial di radiologi diagnostik dan intervensional sebagaimana Tabel 2, dapat diketahui bahwa potensi paparan potensial yang memberikan kontribusi di atas 20% [8] dengan urutan potensi terbesar ke terkecil adalah pada proses atau tahapan:

1. operasi normal;
2. perubahan desain fasilitas;
3. perubahan / penggantian personel pekerja radiasi;
4. pemilihan desain modalitas atau pesawat baru;
5. desain pemilihan dan kecukupan peralatan protektif radiasi;
6. uji kesesuaian (UK) saat alat selesai dipasang/ penggantian tabung pesawat;
7. penelitian dan pengembangan;
8. pengukuran paparan radiasi ruang sekitar atau di daerah kerja;
9. kendali mutu internal (harian/mingguan/ bulanan);
10. Uji kesesuaian reguler (masa berlaku sertifikat berakhir); dan
11. Uji kesesuaian setelah perawatan/ perbaikan alat.

Selain itu, dari hasil pengolahan data profil identifikasi terjadinya paparan potensial pada 14 tahapan di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional di atas dapat dilihat bahwa pada tahapan operasi normal ditemukan paparan potensial dari 5 potensi kejadian dari yang tertinggi hingga yang rendah disebabkan antara lain oleh proses:

- a) pengulangan penyinaran 87,0%,
- b) ketidakjelasan surat rujukan dari dokter pengirim 73,0%,
- c) kualitas citra yang kurang optimal/tidak sesuai dengan keinginan dokter 63,5%,
- d) ketidaksesuaian luas lapangan penyinaran dengan objek pemeriksaan 49,6%, dan
- e) penggunaan faktor penyinaran atau teknik penyinaran yang kurang tepat 48,7%.

Identifikasi paparan potensial di radiologi diagnostik dan intervensional yang diperoleh menunjukkan bahwa hampir pada keseluruhan proses penggunaan radiasi sinar-X di fasilitas tersebut berpotensi memunculkan paparan potensial dengan besar potensi yang berbeda. Pada potensi yang terbesar yaitu

saat operasi normal, ketika didetailkan maka teridentifikasi beberapa penyebabnya 5 (lima) besar adalah pada proses a – e di atas.

Selanjutnya dari hasil identifikasi paparan potensial ini dilakukan pembobotan dan perhitungan besarnya risiko. Namun, pada tinjauan ini belum dilakukan pembobotan dan perhitungan besarnya risiko karena masih membutuhkan referensi dan pemahaman lebih lanjut ke para pakar terkait. Harapan akhir dari identifikasi potensi paparan ini adalah dapat diketahui besarnya potensi paparan radiasi yang muncul sebagai bagian paparan potensial sehingga kita dapat melakukan pencegahan atau pun pengurangan jika itu terjadi.

Pada identifikasi paparan potensial saat operasi normal, fasilitas harus melakukan *self-assessment* (penilaian mandiri) dan peninjauan kembali pada prosedur dan kriteria keselamatan dalam upaya mengoptimalkan dosis pasien dan proteksi terhadap pekerja radiasi, agar potensi risiko paparan potensial yang dapat diterima pasien dan pekerja radiasi dapat diminimalkan bahkan dicegah.

Kesimpulan

Sesuai dengan pemetaan identifikasi paparan potensial pada penggunaan radiasi pengion di radiologi diagnostik diperoleh ada 14 tahapan atau proses yang memunculkan paparan potensial. Paparan potensial paling besar terjadi saat tahapan operasi normal dan setelah dirincikan muncul beberapa kejadian penyebab paparan potensial pada operasi normal, yaitu: pengulangan penyinaran 87,0%; ketidakjelasan surat rujukan dari dokter pengirim 73,0%; kualitas citra yang kurang optimal/tidak sesuai dengan keinginan dokter 63,5%; ketidaksesuaian luas lapangan penyinaran dengan objek pemeriksaan 49,6%; dan penggunaan faktor penyinaran atau teknik penyinaran yang kurang tepat 48,7%.

Hasil identifikasi paparan potensial ini perlu dilanjutkan dengan pembobotan risiko dan perhitungan besarnya risiko yang muncul sebagai bagian paparan potensial sehingga kita dapat mengetahui paparan potensial di radiologi diagnostik dan intervensional itu signifikan atau tidak membutuhkan proteksi radiasi.

Daftar Pustaka

- [1] *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Jakarta.
- [2] *Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial*, BAPETEN, Jakarta.
- [3] International Atomic Energy Agency (2014), *General Safety Requirement Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, Vienna.
- [4] C J Martin et al. (2017), *Unintended and Accidental Medical Radiation Exposures in Radiology: Guidelines on Investigation and Prevention*, Journal of Radiological Protection 37.
- [5] International Atomic Energy Agency (2018), *Specific Safety Guide SSG-46, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*, Vienna.
- [6] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN (2021), *Pedoman Teknis Kajian Keselamatan (Safety Assessment) Sumber di Fasilitas Kesehatan*, BAPETEN, Jakarta.
- [7] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN (2022), *Pedoman Teknis Pedoman Teknis Identifikasi Paparan Potensial pada Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial*, BAPETEN, Jakarta.
- [8] International Atomic Energy Agency (2007), *Technical Reports Series No. 457 Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*, Vienna.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Tinjauan terhadap Pengawasan Perdagangan Pesawat Sinar-X Portabel Radiologi Diagnostik di Lokapasar (*Marketplace*)

Titik Kartika¹, Rusmanto¹, Hermansyah¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif,
BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

t.kartika@bapeten.go.id

r.rusmanto@bapeten.go.id

h.herman@bapeten.go.id

Abstrak

Perkembangan teknologi digital telah merubah cara dan gaya hidup masyarakat di era ini. Cara dan gaya hidup yang serba cepat, mudah, dan praktis semakin mendominasi dan mejadi kebutuhan yang tidak dapat dielakkan. Salah satu bentuk perkembangan teknologi digital yang sangat pesat berkembang di Indonesia dan memajukan perekonomian masyarakat adalah perdagangan barang dan jasa di lokapasar atau lebih sering disebut dengan *e-commerce* atau *marketplace*. Salah satu perdagangan di *marketplace* yang perlu mendapat perhatian besar pemerintah adalah perdagangan pesawat sinar-X terutama jenis portabel. Bila dilihat dari pesawat sinar-X yang dijual di *marketplace*, sebagian besar penjual belum memenuhi ketentuan perundang-undangan dalam bidang perdagangan, kesehatan, atau ketenaganukliran. Pesawat sinar-X portabel memiliki karakteristik yang sangat mudah dibawa dan dipindahkan ke berbagai tempat, sehingga memberi tantangan tersendiri dalam pengawasannya. Makalah ini berisi tinjauan mengenai perdagangan pesawat sinar-X portabel di *marketplace* dan memberikan masukan mengenai pengawasan yang tepat untuk mencegah potensi bahaya radiasi pada masyarakat. Metode yang digunakan dalam tinjauan ini adalah metode kualitatif yang berasal dari literatur baik nasional maupun internasional, serta berdiskusi dengan para pemangku kepentingan terkait penggunaan pesawat sinar-X portabel. Hasil tinjauan ini memberikan kesimpulan bahwa perlu adanya pengembangan pengawasan dan koordinasi yang baik antara institusi pemerintah dalam hal ini Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Kementerian Kesehatan, dan Kementerian Perdagangan, untuk melakukan pengawasan serta melakukan edukasi terus menerus pada masyarakat. Melalui pengawasan yang intensif pemerintah dapat memastikan bahwa tata kelola penjualan melalui sistem elektronik berjalan sesuai peraturan perundangan, memastikan bahwa penjual telah berkomitmen memenuhi semua kewajibannya, serta memastikan bahwa barang yang diperdagangkan telah sesuai dengan persyaratan teknis yang diwajibkan.

Kata Kunci: *marketplace*, perdagangan, portabel, radiologi diagnostik, pengawasan.

Abstract

The development of digital technology has changed the way and lifestyle of people in this era. Ways and lifestyles that are fast, easy, and practical are increasingly dominating and becoming an unavoidable necessity. One form of digital technology development that is rapidly developing in Indonesia and advancing the people's economy is trading in goods and services at market locations or more commonly referred to as e-commerce or marketplaces. One of the trades in the marketplace that needs great attention from the government is the trading of X-ray machine, especially the portable type. Judging from the X-ray machines sold in the marketplace, most of the sellers have not complied with statutory provisions in the trade, health or nuclear fields. Portable X-ray machine has the characteristic that it is very easy to carry and move to various places, thus giving its own challenges in monitoring. This paper contains an overview of the trading of portable X-ray machines in the marketplace and provides input regarding proper supervision to prevent potential radiation hazards to the

public. The method used in this review is a qualitative method derived from both national and international literature, as well as discussions with stakeholders regarding the use of portable X-ray equipment. The results of this review conclude that there is a need to develop good regulation and coordination between government institutions, in this case the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN), the Ministry of Health and the Ministry of Trade, to carry out supervision and conduct continuous education to the public. Through intensive supervision, the government can ensure that the management of trades through the electronic system runs according to laws and regulations, ensures that trader are committed to fulfilling all their obligations, and ensures that the goods being traded comply with the required technical requirements.

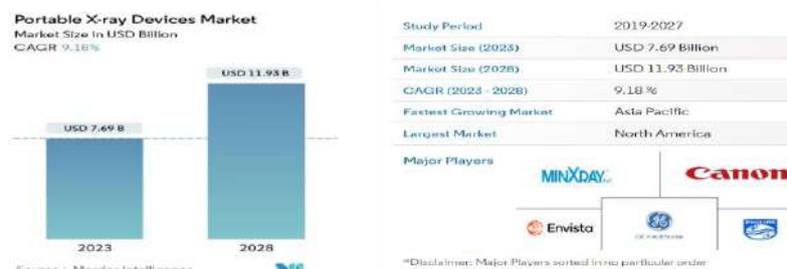
Keywords: marketplace, trading, portable, diagnostic radiology, regulatory.

Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah nyata merubah gaya dan tatanan hidup masyarakat di segala sektor kehidupan mulai dari sektor ekonomi, bisnis, sosial budaya, pendidikan, transportasi, kesehatan, politik, sampai pemerintahan. Hampir di seluruh dunia sudah beralih ke teknologi ini. Salah satu sektor yang sangat berkembang pesat melalui perkembangan teknologi digital ini adalah yaitu sektor bisnis, yaitu munculnya digital marketing. Digital marketing merupakan teknik pemasaran yang dilakukan melalui media elektronik seperti melalui *website*, media sosial ataupun lokapasar.

Lokapasar atau lebih sering disebut dalam istilah bahasa inggrisnya yaitu “*marketplace*”, merupakan *platform* yang memperantarai penjual dan pembeli di dunia maya (internet). Platform ini bertindak sebagai pihak ketiga dalam sebuah transaksi daring (*online*), di mana tersedia toko/tempat berjualan online yang bisa diakses oleh siapa saja, kapan saja, dan di mana saja [1]. Hal ini banyak memberi kemudahan, kecepatan, kepraktisan, peningkatan ekonomi, dan dampak positif lainnya. Namun, di samping dampak positif, tentunya akan ada pula dampak negatif yang perlu diantisipasi dengan kesiapan infrastruktur pengawasan dari pemerintah.

Salah satu perdagangan di *marketplace* yang perlu menjadi perhatian pemerintah adalah perdagangan alat kesehatan yang memiliki risiko atau bahaya tinggi seperti perdagangan pesawat sinar-X radiologi diagnostik. Pesawat sinar-X radiologi diagnostik merupakan salah satu kategori alat kesehatan yang dapat menghasilkan radiasi pengion sehingga dapat membahayakan pengguna dan masyarakat bila tidak digunakan sesuai ketentuan keselamatan radiasi yang tepat. Jenis pesawat sinar-X radiologi diagnostik yang paling banyak dijual di *marketplace* adalah jenis pesawat sinar-x portabel. Pesawat jenis ini menjadi komoditas perdagangan yang cukup menarik karena di samping harganya yang jauh lebih murah dibandingkan dengan jenis pesawat sinar-X terpasang tetap atau jenis pesawat sinar-X *mobile*, pesawat ini juga memiliki karakteristik fisik yang kecil, ringan, dan mudah sekali dibawa atau dipindahkan sehingga sangat praktis dalam penggunaan dan peredarannya. Karakteristik pesawat sinar-X yang lebih praktis, lebih mudah dibawa, dan harga yang jauh lebih murah dibanding pesawat sinar-X terpasang tetap, membuat pasaran pesawat sinar-X portabel ini baik meningkat pesat. Pada tahun 2023, penjualan pesawat sinar-X portabel dunia mencapai 7,69 miliar USD, bahkan akan diperkirakan mencapai 11,93 miliar USD pada tahun 2028 [1].



Gambar 1. Perkiraan Jumlah Penjualan Pesawat Sinar-X Portabel (dalam Miliar USD)
Sumber: Mordor Intelligence [1]

Dengan adanya kemudahan dalam melakukan transaksi jual beli pesawat sinar-X portabel melalui *marketplace* ini tentu akan lebih memudahkan konsumen untuk mendapatkannya. Di sisi lain, merebaknya perdagangan pesawat sinar-X portabel di *marketplace* ini memunculkan tantangan tersendiri dalam pengawasan ketenaganukliran karena ada potensi risiko yang dapat terjadi akibat

penggunaan pesawat sinar-X portabel yang tidak tepat sehingga dapat membahayakan keselamatan pekerja, pasien, dan masyarakat. Hal ini bukan berarti kita harus terlindas dengan kemajuan zaman dan menghambat perkembangan teknologi atau menghambat masyarakat untuk mendapatkan kemudahan, namun infrastruktur pengawasan seperti apa yang harus disiapkan untuk mengantisipasi atau mencegah bahaya radiasi yang dapat ditimbulkan.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memberikan tinjauan mengenai perdagangan pesawat sinar-X portabel di *marketplace* dan memberikan masukan mengenai pengawasan yang tepat untuk mencegah potensi bahaya radiasi yang dapat ditimbulkan. Metode yang digunakan penulis dalam melakukan tinjauan ini adalah metode kualitatif yang berasal dari literatur baik nasional maupun internasional, serta berdiskusi dengan para pemangku kepentingan terkait penggunaan pesawat sinar-X portabel.

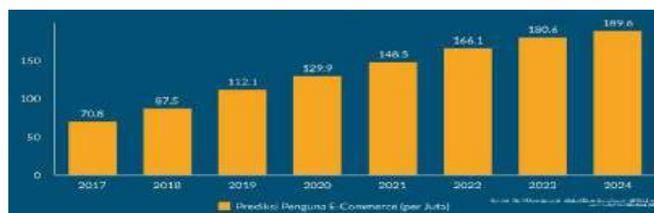
Landasan Teori

1. Perdagangan pada Sistem Elektronik (*e-commerce*) atau Lokapasar (*marketplace*)

Perkembangan teknologi digital menciptakan perubahan pada perekonomian dunia termasuk Indonesia. Sebagai negara dengan populasi terbesar keempat di dunia, pasar *e-commerce* atau *marketplace* di Indonesia telah muncul sebagai pengadopsi *e-commerce* yang terbesar di Asia Tenggara, yakni sekitar hampir 50 % dari total pasar di kawasan Asia Tenggara [3].



Gambar 2. Grafik perkembangan *e-commerce* negara di Asia Tenggara pada Bulan Juli dan Oktober 2020 (Sumber: We Are Social (2020))



Gambar 3. Prediksi pengguna *e-commerce* di Indonesia pada tahun 2024 (Sumber: Tempo)

Menurut laporan statistik mengenai data pengguna *e-commerce* di Indonesia (Gambar 2) pengguna *e-commerce* selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pengguna *e-commerce* di Indonesia diprediksi meningkat hingga 189,6 juta pengguna pada tahun 2024. Sejak tahun 2017, sudah ada 70,8 juta pengguna. Pada tahun 2018, jumlahnya mencapai 87,5 juta pengguna. Pada tahun 2020 jumlahnya mencapai 129,9 juta pengguna. Pada 2021, diprediksi mencapai 148,9 juta pengguna. Pada tahun 2022 mencapai 166,1 juta pengguna dan pada tahun 2023 mencapai 180,6 juta pengguna [4].

Saat ini dengan berkembang pesatnya perdagangan elektronik (*e-commerce*) atau *marketplace*, salah satu komoditas yang diperdagangkan dan perlu mendapat perhatian adalah pesawat sinar-X radiologi diagnostik terutama dari jenis portabel. Umumnya, para pedagang pesawat sinar-X portabel di *marketplace* ini tidak mencantumkan jaminan keselamatan bagi para pengguna dan masyarakat. Sementara, untuk dapat menjamin keselamatan, para pedagang harus menunjukkan kepatuhan produk yang dijualnya terhadap semua peraturan yang terkait.

Dalam hal proses perdagangan melalui sistem elektronik atau *marketplace*, untuk menjamin kepercayaan dan rasa aman pada masyarakat, Pemerintah Indonesia telah membuat peraturan perundangan mengenai ketentuan perdagangan melalui sistem elektronik adalah Peraturan Pemerintah

No. 80 Tahun 2019 tentang Perdagangan Melalui Sistem Elektronik [5] dan Peraturan Menteri Perdagangan No. 50 Tahun 2020 Tentang Ketentuan Perizinan Usaha, Periklanan, Pembinaan, dan Pengawasan Pelaku Usaha Dalam Perdagangan Melalui Sistem Elektronik [6]

Peraturan Pemerintah No. 80 Tahun 2019 merupakan peraturan yang mengatur mengenai tata cara perdagangan melalui sistem elektronik yang disingkat dengan PPMSE. Dalam Penjelasan Pasal 5 peraturan ini menjelaskan bahwa yang termasuk dalam lingkup pengertian PPMSE ialah semua pihak yang menyediakan jasa dan/atau sarana sistem elektronik sehingga memungkinkan suatu transaksi untuk kegiatan usaha PMSE dapat dilakukan. Pelaku usaha tersebut menyelenggarakan jasanya dengan menyediakan sistem aplikasi untuk digunakan sebagai sarana komunikasi elektronik guna memfasilitasi kegiatan usaha perdagangan dan/atau penyelesaian PMSE, meliputi berbagai model bisnis sistem penyelenggaraan PMSE [5].

Selain itu, pada beberapa pasal lain dalam Peraturan Pemerintah No. 80 Tahun 2019 yang dapat terkait dan menjadi landasan hukum bagi perdagangan pesawat sinar-X di lokapasir adalah Pasal 11 dan Pasal 21. Dalam penjelasan Pasal 11 termuat ketentuan bahwa setiap pelaku usaha yang melakukan PMSE wajib memenuhi persyaratan antara lain izin usaha, izin teknis, Tanda Daftar Perusahaan, Nomor Pokok Wajib Pajak, kode etik bisnis (*business conduct*)/perilaku usaha (*code of practices*), standardisasi produk barang dan/atau jasa dan hal-hal lain sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Sedangkan pada Pasal 21 memuat ketentuan salah satunya adalah bahwa PPMSE dalam negeri dan/atau PPMSE luar negeri wajib memenuhi ketentuan persyaratan teknis yang ditetapkan oleh instansi terkait dan memperoleh sertifikat keandalan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan serta wajib mematuhi ketentuan peraturan perundang-undangan sektoral lain yang terkait dengan perizinan kegiatan usaha PMSE [5].

Sementara itu, Peraturan Menteri Perdagangan No. 50 Tahun 2020 merupakan peraturan pelaksana dari peraturan pemerintah No.80 Tahun 2019 yang memuat beberapa ketentuan yang juga dapat menjadi landasan hukum bagi penjualan pesawat sinar-X portabel di lokapasir, yang terdapat pada Pasal 4 dan Pasal 19. Pasal 4 menyatakan bahwa pedagang dalam negeri yang melakukan kegiatan usaha di sektor perdagangan umum wajib memiliki Izin Usaha sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan mengenai Surat Izin Usaha Perdagangan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan pada masing-masing sektor. Sementara dalam Pasal 9 memuat ketentuan bahwa dalam penayangan iklan elektronik harus memuat informasi salah satunya mengenai risiko dari pemakaian barang dan jasa.

Selain merupakan sumber radiasi pengion, pesawat sinar-X portabel radiologi diagnostik juga termasuk kategori alat kesehatan, sehingga dalam peredarannya tidak akan terlepas dari peraturan perundangan di bidang kesehatan yang meliputi:

- 1) Peraturan Menteri Kesehatan No. 62 Tahun 2017 tentang Izin Edar Alat Kesehatan, Alat Kesehatan Diagnostik In Vitro, dan Perbekalan Kesehatan Rumah Tangga [7]; dan
- 2) Peraturan Menteri Kesehatan No. 14 tahun 2021 Tentang Standar Kegiatan Usaha dan Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Kesehatan [8].

Peraturan Menteri Kesehatan No. 62 Tahun 2017 memuat ketentuan bahwa semua alat kesehatan yang akan diedarkan harus memiliki izin edar. Hal ini dijelaskan dalam Pasal 4 yang menyatakan bahwa: Alat Kesehatan, Alat Kesehatan Diagnostik In Vitro dan PKRT yang diproduksi, diimpor, dirakit dan/atau dikemas ulang, yang akan diedarkan di wilayah Negara Republik Indonesia harus memiliki Izin Edar. Dalam Lampiran Menteri Kesehatan No. 62 Tahun 2017, dijelaskan mengenai kategori dan sub kategori alat kesehatan, alat kesehatan diagnostik in vitro dan PKRT, di mana pada Bab I huruf O dijelaskan bahwa peralatan radiologi diagnostik termasuk di dalamnya. Dengan demikian, berdasarkan ketentuan tersebut, semua jenis pesawat sinar-X radiologi diagnostik harus memiliki izin edar sebelum diedarkan di wilayah Republik Indonesia [7].

Peraturan Menteri Kesehatan No. 14 tahun 2021 mengatur mengenai standar kegiatan usaha dan produk pada penyelenggaraan perizinan berusaha berbasis risiko sektor kesehatan, di mana pada Lampiran dinyatakan bahwa peralatan radiologi yang mengandung sumber radiasi pengion harus memiliki izin pemanfaatan dari BAPETEN [8].

2. Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Portabel Radiologi Diagnostik dan Intervensional

Kebutuhan dan tuntutan akan layanan kesehatan yang cepat dan praktis semakin meningkat seiring dengan meningkatnya teknologi digital yang begitu pesat di era ini. Teknologi pesawat sinar-X dalam bidang radiologi diagnostik terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan diagnosis pasien yang tepat, mudah, dan efisien. Salah satu bentuk perkembangan teknologi tersebut adalah pesawat sinar-X portabel dengan ukuran yang jauh lebih kecil dan ringan, efisien dan tetap mampu menghasilkan citra yang memadai untuk diagnosis klinis.

Ditinjau dari karakteristik fisiknya, pesawat sinar-X portabel bersifat mudah dibawa, dipindahkan dan dirancang untuk memenuhi kebutuhan pemeriksaan pasien yang tidak dapat datang atau pindah ke ruang radiologi [9]. Kondisi pasien seperti pasien contohnya adalah pasien di ruang instalasi gawat darurat, instalasi perawatan intensif, pasien penyandang cacat atau pasien yang kritis yang mengalami kesulitan atau sangat berisiko bila bergerak atau dipindahkan, pasien yang berada di rumah tahanan atau pasien yang berada dalam operasi militer, pasien yang mengalami patah tulang parah yang bila bergerak sangat berisiko, pasien dengan penyakit menular, pasien yang membutuhkan cepat penanganan namun mengalami kesulitan untuk datang ke fasilitas kesehatan, dan lain sebagainya. Kondisi pasien yang tidak memungkinkan di bawa ke ruang radiologi ini harus ditentukan oleh tenaga medik terkait [10,11].

Berdasarkan Peraturan BAPETEN No.4 tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional, ada 3 (tiga) jenis pesawat sinar-X dalam radiologi diagnostik dan intervensional yang dibedakan berdasarkan karakteristik fisik dari pesawat sinar-X, yaitu pesawat sinar-X terpasang tetap, pesawat sinar-X mobile, dan pesawat sinar-X portabel. Pesawat sinar-X terpasang tetap adalah pesawat sinar-X radiografi umum yang terpasang secara tetap dalam ruangan. Pesawat sinar-X mobile adalah pesawat sinar-X yang dilengkapi dengan atau tanpa baterai charger dan roda sehingga mudah dipindahkan dan dapat dibawa ke beberapa ruangan. Pesawat sinar-X portabel adalah pesawat sinar-X ukuran kecil yang dilengkapi dengan wadah pembungkus (*suitcase*) sehingga mudah dibawa dari satu tempat ke tempat lain [12].



Gambar 3. Pesawat sinar-X terpasang tetap (kiri), pesawat sinar-X portabel (tengah), dan pesawat sinar-X mobile (kanan)

Tingkat proteksi penggunaan pesawat sinar-X portabel dinilai paling rendah diantara ketiga jenis pesawat sinar-X tersebut. Hal disebabkan beberapa hal yaitu [13,14]:

- 1) Penggunaan pesawat sinar-X portabel memungkinkan untuk dilakukan di area terbuka, di ruangan yang tidak terdapat pembatas radiasi (*shielding*) yang memadai, atau di ruangan yang terdapat pasien lain atau orang lain di dekat pesawat sinar-X portabel saat penyinaran.
- 2) Pasokan energi yang digunakan oleh pesawat sinar-X portabel lebih sering menggunakan baterai sehingga ada keterbatasan atas ketersediaan energi yang semakin lama akan semakin berkurang. Hal ini kemungkinan akan mempengaruhi proses penyinaran dan kualitas citra.
- 3) Adanya keterbatasan energi yang digunakan dalam pesawat sinar-X portabel sehingga parameter arus (mA) dan tegangan (kV) juga terbatas dan dapat mempengaruhi kualitas citra.
- 4) Pesawat sinar-X portabel ini sering dipindahkan, dipasang, dan disimpan kembali sehingga terbuka kemungkinan terjadinya perubahan kestabilan mekanik sehingga dikhawatirkan dapat mempengaruhi kedudukan tabung dan generator yang terkait dengan output penyinaran.
- 5) Pesawat sinar-X portabel berukuran kecil dan mudah dibawa, sehingga terbuka kemungkinan terjadinya penyalahgunaan pesawat sinar-X portabel oleh orang yang tidak berwenang atau penggunaan pesawat sinar-X portabel yang tidak sesuai dengan izin pemanfaatan tenaga nuklir, atau bahkan penggunaan pesawat sinar-X tanpa izin pemanfaatan.

- 6) Kesulitan dalam melakukan pengawasan karena penggunaan pesawat sinar-X portabel ini bersifat *mobile*, yang kapan saja bisa berpindah tempat sesuai kebutuhan, sehingga dibutuhkan mekanisme pengawasan yang berbeda dengan pesawat sinar-X terpasang tetap agar kepemilikan dan penggunaan pesawat sinar-X tetap terjamin ketertelusuran dan keselamatannya.

Semua kondisi ini yang menjadi pertimbangan adanya ketentuan pelarangan penggunaan pesawat sinar-X portabel pada peraturan sebelumnya yaitu peraturan Kepala BAPETEN No.8 Tahun 2011 yang kini telah direvisi menjadi Peraturan BAPETEN No.4 Tahun 2020. Seiring dengan kemajuan teknologi, sebagian kekurangan pada pesawat sinar-X portabel dapat teratasi antara lain munculnya pesawat sinar-X portabel dengan energi yang rendah namun dapat menghasilkan citra yang memadai untuk kebutuhan diagnosis klinis. Sehingga pesawat sinar-X portabel diharapkan dapat memenuhi tuntutan akan layanan kesehatan yang cepat dan praktis. Oleh karena itu, pada peraturan terbaru mengenai keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional yaitu Peraturan BAPETEN No.4 Tahun 2020 ketentuan terkait pelarangan pesawat sinar-X portabel sudah tidak ada lagi.

Walaupun tidak ada ketentuan pelarangan, Peraturan BAPETEN No.4 Tahun 2020 tetap memberi ketentuan yang harus dipenuhi dalam prosedur keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-X portabel yang tercantum pada Lampiran III. Ketentuan yang harus dipenuhi tersebut meliputi [12]:

- 1) Dilengkapi dengan tanda perimeter dan perisai radiasi mobile untuk melindungi pekerja radiasi dan/atau pasien lain di sekitar pesawat sinar-X;
- 2) Berkas utama sinar-X tidak mengarah ke pekerja radiasi dan/atau pasien lain di sekitar pesawat sinar-X;
- 3) Pekerja radiasi harus menggunakan apron saat mengoperasikan pesawat sinar-X;
- 4) Pengujian pesawat sinar-X portabel dilakukan di ruangan radiologi terpasang tetap atau di ruangan lain dengan menggunakan perisai radiasi mobile; dan
- 5) Pesawat sinar-X portabel hanya boleh digunakan untuk pemeriksaan pasien yang tidak memungkinkan dibawa ke ruangan radiologi.

Selain harus memenuhi ketentuan dalam peraturan BAPETEN No.4 Tahun 2020, penggunaan pesawat sinar-X portabel juga harus memenuhi persyaratan izin penggunaan pesawat sinar-X yang tercantum dalam peraturan berikut: Peraturan Pemerintah No 5 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [15]; Peraturan Kepala Badan No 3 Tahun 2021 Tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [16]; dan Peraturan BAPETEN No. 1 Tahun 2022 Tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [17]. *World Health Organization* (WHO) dan *International Atomic Energy Agency* (IAEA) memberikan panduan mengenai spesifikasi teknis suatu pesawat sinar-X portabel yang baik dalam penggunaan radiologi diagnostik dan intervensional. Spesifikasi teknis tersebut meliputi [18]:

Generator sinar-X:

- 1) Generator frekuensi tinggi
- 2) Tegangan tabung minimum: 50 kV
- 3) Rentang tegangan tabung minimum: 50kV - 90kV
- 4) Rentang arus-waktu (mAs) minimum: 0,3 - 2,5 mAs
- 5) Rentang kuat arus maksimum: paling kurang 5mA – 20 mA pada tegangan tabung maksimum (contoh: tegangan tabung maksimum 90 kV berarti kuat arus maksimum 5 mA pada 90 kV)

Tabung sinar-X dan kolimator:

- 1) Anoda stasioner atau lebih baik anoda putar dengan ukuran fokus kurang dari 1,3 mm
- 2) Kapasitas penyimpanan panas anoda minimum: 10.000 HU dan/atau daya input anoda paling kurang: 0,45 kW pada tegangan tabung maksimum 90 kV
- 3) Memiliki indikator alarm suhu tinggi anoda dan pemutus tegangan.

- 4) Memiliki kolimator yang dapat diatur luas lapangan penyinaran dan dilengkapi dengan lampu kolimator.
- 5) Filtrasi total minimum: 2,5 mmAl pada 70kV (atau dihitung berdasarkan voltase produk yang tersedia).

Fitur penyinaran atau eksposur:

- 1) Memiliki rentang waktu penyinaran antara 0,04 - 0,5 detik atau lebih baik dengan rentang minimum paling kurang: 0,01 - 4,0 detik, yang terbagi dalam 20 pilihan waktu penyinaran
- 2) Memiliki fitur *Automatic Exposure Control* (AEC)
- 3) Kapasitas penyinaran minimum 100 kali pada kondisi baterai terisi penuh (100%).
- 4) Tersedia baterai cadangan.
- 5) Tersedia tampilan indikator dosis berupa *Air Kerma* dan/atau *Dose Area Product* (DAP)

Penyangga pesawat sinar-X:

- 1) Ringan
- 2) Dapat digerakan secara vertikal dengan ketinggian 50 - 150 cm dari tanah
- 3) Dapat diatur untuk semua posisi pemeriksaan yang dibutuhkan
- 4) Dapat diputar 90 derajat di sekitar sumbu vertikal
- 5) Harus selalu kokoh dan seimbang

Detektor sinar-X:

- 1) Dimensi luas area detektor minimum: 35 cm x 43 cm
- 2) Fitur utama:
- 3) Waktu untuk menampilkan citra setelah penyinaran maksimum 10 detik
- 4) Lebar pitch piksel maksimum: 150 μ m.
- 5) Resolusi spasial minimum 3 lp/mm.
- 6) Rentang dinamis dengan rasio A/D minimum 14 bit atau resolusi minimum 10 piksel
- 7) Kapasitas penyinaran minimum 100 kali untuk rontgen dada pada tegangan tabung maksimum
- 8) Tersedia koneksi nirkabel (wireless) antara detektor dengan workstation atau panel kontrol.
- 9) tersedia detektor AEC (*Automatic Exposure Control*)

Panel kendali (*Workstation*):

- 1) Layar monitor berwarna LED atau LCD, minimal 13 inch, minimal 2 MP (sistem terintegrasi atau eksternal)
- 2) Dua atau lebih mikroprosesor, masing-masing minimal 1,7 GHz
- 3) RAM minimal 6 GB
- 4) Hard drive tidak kurang dari 500 GB SSD
- 5) Kemampuan gambar beresolusi tinggi (paling kurang 1440 x 1440 piksel) tanpa mengurangi informasi citra
- 7) Memiliki kapasitas menyimpan dan mentransfer data ke *workstation*/konsol PC/ jaringan lain.
- 8) Bahasa tampilan harus menyertakan paling kurang bahasa Inggris (lebih disukai bahasa lokal)
- 9) Konsol/monitor/tampilan tambahan yang terintegrasi dengan generator merupakan keuntungan
- 10) Fitur nirkabel harus disertakan.

Perangkat lunak:

- 1) Kompatibel dengan DICOM 3.0
- 2) Tersedia fitur kalibrasi dan manajemen citra
- 3) Tersedia fitur last image hold
- 4) Kapasitas penyimpanan minimum 2000 citra, dengan media penyimpanan dapat dipindahkan
- 5) Interoperabilitas dengan sistem *Picture Archiving and Communication System (PACS)*
- 6) Interoperabilitas dengan perangkat lunak lain.
- 7) Perangkat lunak diutamakan menggunakan sistem operasi Open Source

Sifat fisik atau kimia:

- 1) Komponen (jika relevan)
- 2) Berat total generator sinar-X (dengan baterai) kurang dari 20 kg.
- 3) Berat total detektor sinar-X (dengan baterai) kurang dari 5 kg.
- 4) Portabilas dan mobilitas (jika relevan)
- 5) Sistem dirancang sepaket lengkap dan mudah dibawa.
- 6) Berat total sistem lengkap tidak lebih dari 30 kg, termasuk paling kurang: generator, detektor, penyangga (untuk detektor dan generator), PC/ workstation dan sebaiknya termasuk juga wadah/kantong transportasi dan sistem pengisian daya eksternal (jika ada)

Persediaan kelistrikan:

- 1) Generator dan detektor sinar-X mendapatkan daya dari baterai yang dapat diisi ulang (sebaiknya dengan kemampuan untuk mengisi daya kedua perangkat selama pengoperasian).
- 2) Sumber daya isi ulang: input daya AC menjadi 120 atau 220 VAC +/- 10%, 50/60Hz, fase tunggal, dilengkapi dengan steker listrik yang kompatibel (jika memungkinkan: rangkaian transformator/kondensor yang sesuai harus disertakan).
- 3) Waktu pengisian baterai kurang dari 6 jam (baik untuk generator maupun detektor). Tersedia sistem notifikasi baterai lemah.

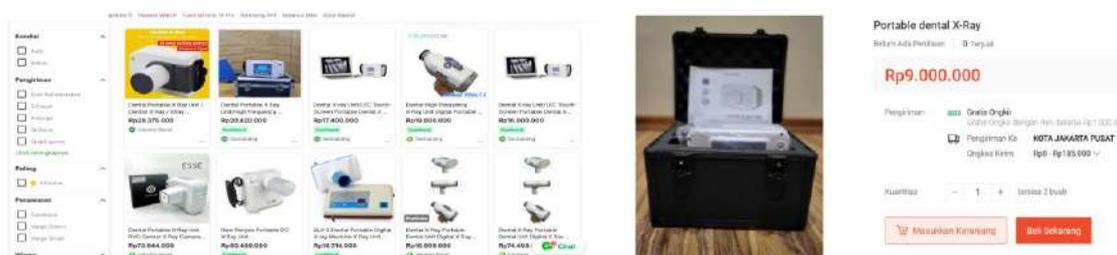
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan paparan pada pokok bahasan, dapat dipahami bahwa perkembangan teknologi digital begitu pesat dan sudah merambah ke segala aspek dan seluruh lapisan masyarakat. Dalam aspek ekonomi, salah satu dampak perkembangan teknologi ini adalah perubahan cara dan gaya hidup masyarakat yang sebagian besar menjalani proses jual beli melalui *e-commerce* atau *marketplace* yang membawa perubahan signifikan bagi pemangku kepentingan, pengusaha, dan konsumen. Media ini dapat menjadi solusi pengembangan bisnis yang memberi keuntungan antara lain dapat meningkatkan kecepatan fleksibilitas produksi, peningkatan layanan kepada pelanggan, mempermudah dalam transaksi, memperluas jangkauan pasar, mempermudah komunikasi konsumen dan produsen dan pada akhirnya roda perekonomian pun akan cepat berputar.

Tren transformasi digital yang terjadi di seluruh dunia termasuk Indonesia saat ini sudah tidak mungkin lagi dibendung atau dihentikan karena sudah menjadi tatanan hidup bagi masyarakat di segala aspek. Dalam bidang perdagangan, transformasi digital dalam bentuk perdagangan elektronik atau *marketplace* ini dapat menjadi tulang punggung bagi kemajuan perekonomian masyarakat Indonesia. Hal ini memberi tantangan yang harus dihadapi bagi pemerintah untuk melindungi masyarakat dari kemungkinan atau efek negatif yang dapat muncul dari transformasi ini. Pemerintah harus menyediakan perangkat infrastruktur regulasi yang memadai, pengawasan dan edukasi masyarakat secara terus menerus.

Dalam hal penjualan di sistem elektronik, berdasarkan Peraturan Pemerintah No.80 Tahun 2019 dan Peraturan Menteri Perdagangan No.50 Tahun 2020, penjual harus memiliki izin usaha, harus memenuhi persyaratan standardisasi produk barang dan/atau jasa dan hal-hal lain sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, memenuhi ketentuan persyaratan teknis yang ditetapkan oleh instansi terkait dan memperoleh sertifikat keandalan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, serta dalam menayangkan iklan elektronik harus memuat informasi mengenai risiko pemakaian barang dan/atau jasa.

Oleh karena itu, dalam perdagangan pesawat sinar-X portabel di *marketplace*, pedagang harus mencantumkan penjelasan mengenai risiko penggunaan pesawat sinar-X serta spesifikasi teknis sesuai dengan standar keselamatan atau peraturan terkait. Selain itu, pedagang juga harus mencantumkan penjelasan bahwa untuk menggunakan pesawat sinar-X harus mendapatkan izin pemanfaatan tenaga nuklir dari BAPETEN. Selain merupakan sumber radiasi pengion yang harus memiliki izin pemanfaatan tenaga nuklir, pesawat sinar-X portabel juga merupakan salah satu alat kesehatan yang harus memiliki izin edar dalam kegiatan distribusi dan penjualan. Hal ini dijelaskan dalam peraturan Kementerian Kesehatan No. 62 Tahun 2017. Oleh karena itu, penjualan pesawat sinar-X portabel yang tidak memiliki kedua izin tersebut adalah suatu tindakan ilegal yang jelas melanggar hukum.



Gambar 4. Berbagai merk pesawat sinar-X portabel yang di jual di *marketplace* dengan kata kunci pencarian *portable x-ray unit* (kiri) dan *portable dental x-ray* (kanan) [19,20]

Pada Gambar 4 (kiri) dapat diketahui bahwa sekarang ini mulai banyak penjualan pesawat sinar-X portabel dari berbagai merk yang sangat mudah diakses di *marketplace*. Bahkan pesawat sinar-X gigi portabel dijual dengan harga yang relatif sangat murah (kanan) di suatu marketplace. Namun, pada laman *marketplace* tersebut tidak dijelaskan mengenai spesifikasi teknis, persyaratan penggunaan, izin edar, dan risiko dari produk pesawat sinar-X yang ditawarkan. Ini yang memunculkan hipotesis bahwa dengan mudahnya kita peroleh barang tersebut di pasaran berarti barang tersebut memiliki *demand* sehingga mudah dijual-belian. Padahal kita mengetahui bahwa perdagangan atau jual beli pesawat sinar-X ini masuk kedalam lingkup Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran sebagai pengalihan pembangkit radiasi pengion [17]. Pengalihan adalah kegiatan pendistribusian dan peredaran sumber radiasi pengion, termasuk kewajiban untuk memasang atau menginstalasi. Kegiatan pengalihan ini harus memiliki izin dari BAPETEN, begitu pula mendatangkan unit sinar-X portabel tersebut dari luar negeri yang sering disebut dengan impor. Orang atau badan yang melakukan impor sinar-X juga harus memiliki izin dari BAPETEN.

Mengingat maraknya perdagangan pesawat sinar-X portabel melalui sistem elektronik dan potensi risiko yang mungkin terjadi, instansi pemerintah dalam hal ini BAPETEN, Kementerian Kesehatan, Kementerian Perdagangan, harus berkolaborasi untuk melakukan pengawasan serta edukasi yang terus menerus. Melalui pengawasan yang intensif pemerintah dapat memastikan bahwa tata kelola penjualan melalui sistem elektronik berjalan sesuai peraturan perundangan, memastikan bahwa penjual telah berkomitmen memenuhi semua kewajibannya, serta memastikan bahwa barang yang diperdagangkan sesuai dengan persyaratan teknis yang diwajibkan. Selain itu, pemerintah melalui Direktorat Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga (PKTN) Kementerian Perdagangan, perlu melakukan tindakan tegas bagi para pelaku usaha yang melanggar peraturan perundangan mengenai penjualan melalui sistem elektronik sehingga dapat menekan peningkatan jumlah pelaku usaha yang tidak memenuhi peraturan perundang-undangan dan peredaran barang ilegal.

Untuk mendukung pengawasan yang lebih baik, diperlukan pula suatu peraturan yang lebih jelas mengenai pesawat sinar-X portabel radiologi diagnostik agar lebih memudahkan masyarakat

mengetahui dan memenuhi ketentuan keselamatan dalam hal perdagangan, pengedaran, dan penggunaan. Karena ketentuan mengenai pesawat sinar-X portabel yang terdapat dalam Peraturan BAPETEN No.4 Tahun 2020 masih dianggap terlalu umum dan belum menjelaskan ketentuan lain yang lebih spesifik. Ketentuan lain tersebut antara lain mengenai standar spesifikasi pesawat sinar-X portabel. Ketentuan ini dapat mengadopsi atau mengacu pada rekomendasi internasional yang diterbitkan oleh WHO dan IAEA sebagaimana dipaparkan dalam bab pokok bahasan. Selain ketentuan mengenai spesifikasi teknis pesawat sinar-X portabel, diperlukan pula ketentuan yang jelas mengenai mekanisme atau aturan main yang jelas mengenai perpindahan lokasi penggunaan pesawat sinar-X portabel dan prosedur keselamatan penggunaan. Ketentuan tersebut dapat meliputi ketentuan mengenai batas lokasi, perekaman dan pelaporan pesawat sinar-X portabel, ketentuan mengenai kendali mutu pesawat sinar-X portabel, dan ketentuan mengenai penjelasan kondisi pasien yang seperti apa yang tidak memungkinkan dibawa ke ruang radiologi sehingga diperbolehkan dilakukan penyinaran dengan pesawat sinar-X portabel.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penjualan pesawat sinar-X portabel radiologi diagnostik di lokapasar (*marketplace*) tidak mungkin dibendung karena sudah menjadi tuntutan hidup masyarakat, namun sebagian besar belum memenuhi ketentuan peraturan perundangan dalam bidang ketenaganukliran, kesehatan dan perdagangan. Untuk melindungi masyarakat dari risiko yang dapat ditimbulkan, diperlukan koordinasi bersama antara BAPETEN, Kementerian Kesehatan, dan Kementerian Perdagangan dalam melakukan pengawasan terhadap perdagangan pesawat sinar-X portabel di *marketplace*.

Daftar Pustaka

- [1] Mordor Intelligence (2023) *Portable X-Ray Devices Market Size & Share Analysis-Growth Trends & Forecast (2023-2028)*
- [2] Ayuni Sulthon (2021) *Apa Itu Marketplace, Fungsi dan Keunggulan*. domainesia.com.
- [3] Tito Edy Priandono (2021) *Transformasi Digital Menuju Era Digital Society Sebagai Akselerasi Kebangkitan Ekonomi Nasional*. Portal Berita Universitas Pendidikan Indonesia.
- [4] Firdhy Esterina Christy (2020) *Prediksi Angka Pengguna E-commerce di Indonesia 2024*. <https://data.tempo.co/>
- [5] Peraturan Pemerintah No. 80 (2019) *Perdagangan Melalui Sistem Elektronik*.
- [6] Peraturan Menteri Perdagangan No.50 (2020) *Ketentuan Perizinan Usaha, Periklanan, Pembinaan, dan Pengawasan Pelaku Usaha dalam Perdagangan Melalui Sistem Elektronik*.
- [7] Peraturan Menteri Kesehatan No. 62 (2017) *Izin Edar Alat Kesehatan, Alat Kesehatan Diagnostik In Vitro, dan Perbekalan Kesehatan Rumah Tangga*.
- [8] Peraturan Menteri Kesehatan No. 14 (2021) *Standar Kegiatan Usaha dan Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Kesehatan*.
- [9] IAEA Safety Standards Series No. SSG-46 Specific Safety Guides (2018) *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*.
- [10] European Academy of Dento Maxillo Facial Radiology (2015) *Justification and good practice in using handheld portable dental X-ray equipment*.
- [11] H. Umar, S. Shaffaque; Lahore, Punjab (2015) *Roles and Responsibilities of Medical Imaging Technologist in Justification of Portable X-Rays Examinations*, ECR.
- [12] Peraturan BAPETEN No.4 (2020) *Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional*.
- [13] P2STPFRZR, BAPETEN (2018) *Laporan Hasil Kajian Telaah Pesawat Sinar-X Portabel Merk MINE dari Aspek Keselamatan Radiasi dan Regulasi*.
- [14] P2STPFRZR, BAPETEN (2023) *Laporan Hasil Telaah Justifikasi Pesawat Sinar-X Portabel Remedi (Remex KA-6)*.
- [15] Peraturan Pemerintah No. 5 (2021) *Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*.
- [16] Peraturan Kepala Badan No.3 (2021) *Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyel*

- enggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran.*
- [17] Peraturan BAPETEN No.1 (2022) *Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran.*
- [18] World Health Organization and International Atomic Energy Agency (2021) *Portable Digital Radiography System, Technical Specifications.*
- [19] Website internet,
https://www.tokopedia.com/search?q=x+ray+portable+unit&source=universe&st=product&srp_component_id=02.02.01.04, diakses pada 8 Agustus 2023.
- [20] Website internet,
https://shopee.co.id/product/195203367/23618435297?d_id=d0eff&utm_content=2RxZZ5jtSYEqVr8FBXQPKqq17xQX, diakses pada 8 Agustus 2023.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Assessment of the Impact of the Revision of SSR-6 2012 to SSR-6 2018 to Indonesia Transport of Radioactive Materials Regulations

Vatimah Zahrawati¹

¹BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir)

Corresponding author:
v.zahrawati@bapeten.go.id

Abstract

Indonesia has published the regulation on Safety and Security on the Transport of Radioactive Materials since 2015, Government Regulation No. 58 in 2015 (GR 58/2015). This regulation adopted the IAEA-specific safety regulation (SSR) No. 6 in 2012, which was revised with the SSR-6 revision (SSR-6 (rev.1)) in 2018. The change made in the SSR-6 (rev.1) needs to be analyzed as the basis of the necessity for the amendment of GR 58/2015. This study compared SSR-6 2012 and SSR-6 (rev.1) in 2018 to find the significant change that could impact GR 58/2015 provision. Based on the study, it can be concluded that the addition of a new type of SCO, which is SCO-III, has to be included in the government regulation to be in line with international standards. The existence of SCO-III in the regulation could be a solution for the transportation of the large size of material that is activated or contaminated such as radioactive waste from the process of upgrading or decommissioning of a reactor. Moreover, adding the SCO-III also affect some part of the provision that requires to be updated. Some other changes do not directly impact GR 58/2015; however, they impact the lower regulation hierarchy. It can be concluded that Indonesian authorities are required to revise the GR 58/2015 to follow the SSR-6 revision.

Keywords: radioactive materials, transport, SSR-6 revision, transport regulations.

Introduction

The increasing usage of radioactive materials worldwide has also increased the movement of radioactive materials in and within countries. Transport is a crucial part of utilizing nuclear materials that require following safety and security requirements. The regulation for safety on the transport of radioactive material in Indonesia has been established since 2002, which was regulated on the Government Regulation No. 26 in 2002 on Safety on Transport of Radioactive Materials. In 2015, this regulation was revised by Government Regulation No. 58 2015 on Radiation Safety and Security in Transport of Radioactive Materials (GR 58/2015) to follow IAEA's transport standard, Specific Safety Requirements No. 6 in 2012 (SSR-6/2012).

In 2018, the IAEA published the newest version of SSR-6, the SSR-6 revision (SSR-6 (Rev 1)). The change made in the SSR-6 revision needs to be analyzed to know the significance of revising the GR 58/2015. This study compares IAEA standards on the safe transport of radioactive materials, SSR-6 2012 edition that was used for the development of transport for radioactive materials regulations in Indonesia with the latest version of SSR-6, which is SSR-6 revision in 2018. The analysis is

conducted to know the impact of the revision of SSR-6 on the national regulations in Indonesia and give recommendations for the revision of the regulations.

Methodology

This research analyzes the current regulation regarding the transport of radioactive materials in Indonesia, GR 58/2015, to compare with the IAEA current standard, SSR-6 revision in 2018. The analysis compares paragraph per paragraph of the SSR-6 revision in 2018 with the previous standard, SSR-6 in 2012, the version used to establish the GR 58/2015.

Literature Review

The GR 58/2015 has revised Government Regulation No. 26 in 2002 on Safety on Transport of Radioactive Materials to adopt the SSR-6 2012, the latest IAEA standard. This revision has also combined the safety and security provisions into one regulation. The security provision was developed based on the IAEA security standard for transport, Nuclear Security Series (NSS) 9 2009. The GR 58/2015 included some general requirements for safe transport, including the requirements before shipments, shipments, and after shipments. The requirements started with the identification of radioactive materials and packages, category of the package, labeling and placarding, transit provision, carriers, undelivered packages, shipment approval, notification and validation of shipment approval, radioactive materials and packages, security in transport, emergency preparedness, and response [1].

Furthermore, under the GR 58/2015, BAPETEN's regulation No. 7 in 2020 (BR 7 2020) on Safety Provisions and The Arrangement for the Transport of Radioactive Materials [2] provides more detailed requirements based on the SSR-6 2012, such as the criteria of radioactive materials and packages, the criteria for exclusive use and some more detailed requirement that cannot be included in the level of government regulation [2]. Moreover, BAPETEN's Regulation No. 4 in 2022 (BR 4/2022) in Package Testing Laboratory contains testing package and laboratory requirements [3]. The hierarchy of the transport of radioactive materials in Indonesia is shown in Figure 1.

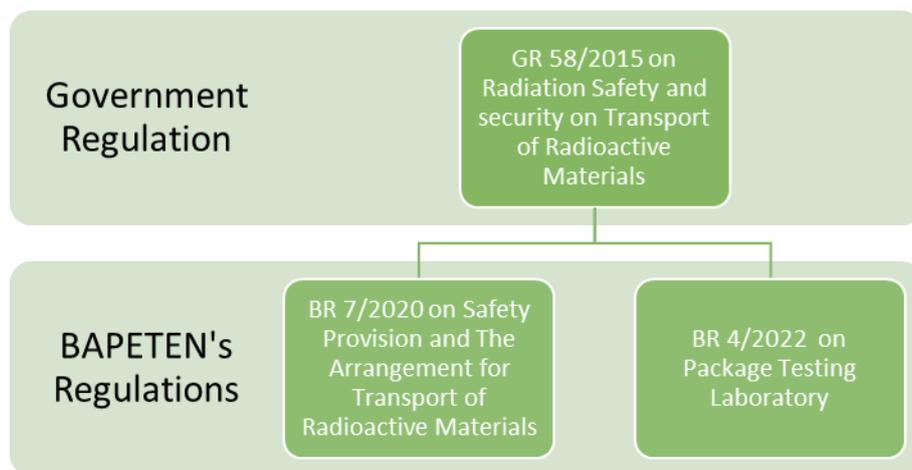


Figure 1. The Hierarchy of Transport of Radioactive Materials in Indonesia

The GR 58/2015 has been implemented to ensure the safety and security of the transportation of radioactive materials in Indonesia. The BAPETEN issues the shipment approval as the regulatory body through an online system that has been established. Based on the annual report from BAPETEN, the total shipments in 2020 were 2381 approvals which is lower than the previous year, around 2516 approvals [4]. The approvals are issued both per shipment or multiple shipments.

However, in some cases, the implementation of this regulation is questioned due to some problems, such as the availability of the package that has a valid certificate and the shipment of large size of materials that are activated or contaminated from the decommissioning process, such as the reactor decommissioning. For example, the decommissioning process of the TRIGA Mark II Bandung potentially produces contaminated and activated material in large sizes that cannot fit any package criteria. A study about dismantling characteristics of the decommissioning program of TRIGA mark II

Bandung Reactor shows that the large volume of the component as the result of the decommissioning process is reflector (573 liters), biological shielding (283 liters) and graphite thermal column outer (171 liters) [5]. Transporting these materials is facing some problems due to the regulations not including shipment provisions under special arrangements.

The Head of the IAEA's Transport Safety Unit, Stephen Whittingham, mentioned that this latest edition of SSR-6 includes a new type of solid object that has radioactive materials distributed on its surface which is called a surface contaminated object (SCO-II) and also added some new requirements to assess of the storage time for the package before transport [6]. It is shown that the IAEA was aware of the need for the provision of a new object that the previous SSR-6 could not cover.

Before the SSR-6 2012, the IAEA standard for the safe of transport was the Transport Safety Requirements (TSR)-1 2008. A study that has been conducted for the change from TSR-1 to SSR-6 concluded that some changes in SSR-6, which were the definition of fissile materials, design, adding UN Numbers, adding types of radioactive materials that require design approval, and adding overpacks categories [7]. Furthermore, a similar study has analyzed the impact of the change of SSR-6 revision on the industry. It shows that the simplicity that has been made for the deletion of the leaching test for Low Specific Activity Materials (LSA)-III and the addition of the SCO-III to transport large component that usually gains from the nuclear fuel cycle facility. Before SSR-6 rev. 1, the transport of large objects were transported under a special arrangement, which could lead to a misleading public perception due to the term "special arrangement" [8].

Result and Discussion

The analysis of every change from SSR-6 to SSR-6 rev.1 has been conducted, as shown in Table. 1, including an analysis of the possible impact on the current regulation in Indonesia.

Table 1. List of Paragraph in SSR-6 2012 that had been changed by SSR-6 2018

No.	Paragraph SSR 6 2012 [9]	The difference in SSR-6 (rev.1) [10]	The analysis of the changes and/or the effects to Indonesian regulations
1.	233	Deleted. The content has been transferred to new para. 220A. The term of radiation level replaced by dose rate.	Para. 233 in SSR-6/2012 is the definition of radiation level which is the corresponding dose rate expressed in millisieverts per hour or microsieveverts per hour. This term is replaced by "dose rate" in para 220A which means the ambient dose equivalent or the directional dose equivalent, as appropriate, per unit time, measured at the point of interest. In GR 58/2015 both of these terms are not defined.
2.	244	The definition of transport index added SCO-III	This new type of SCO is not included in GR 58/2015. This is a crucial change because if there is a consignment of SCO-III in Indonesia, this is not regulated yet. It could cause problem for the shipment of the materials that are huge and cannot transported in any type of packages. This SCO-III needs to be included in the revision of GR 58/2015
3.	304	"In the event of accidents or incident during the transport of radioactive material, emergency provision....." replace by "In the event of a nuclear or radiological emergency during the transport of radioactive materials, provision....". Then in the next sentence additional explanation that: "Consignors and carriers shall establish, in advance, arrangement for preparedness and response in	The change of terminology for accidents or incidents into a nuclear or radiological emergency does not give impact to the regulations. Because in the GR 58/2015 has only stated about the mandatory for the consignor to establish transport emergency procedure. However, in the revision of SSR-6 mentioned that the responsibility to establish arrangement for preparedness and response are consignors and carriers which in the GR 58/2015 stated that this responsibility is belong to the consignors only.

No.	Paragraph 6 2012 [9]	SSR	The difference in SSR-6 (rev.1) [10]	The analysis of the changes and/or the effects to Indonesian regulations
			accordance with national and/or international requirements and in a consistent and coordinated manner with the national and or/international emergency arrangements and emergency management system."	However, for the implementation, the consignors have to provide the procedures document and share to the carriers as the third party.
4.	305		The content of this paragraph has been replaced with the provision about graded approach for the arrangements for preparedness and response by considering hazard identification and their potential consequences.	In the regulation GR 58/2015 has been stated about the minimal content of the preparedness and response which include the hazard identification.
5.	309		Non-compliance, "radiation level" has been changed to "dose rate".	Although the provision about non-compliance has been stated in the SSR-6/2012, the GR 58/2015 did not include the provision for non-compliance. However, in the implementation of the transport of radioactive materials, some circumstances, the consignors cannot comply with the provision that has been stated in the regulations. The "non-compliance" provision should be added in this regulation to provide the provision for consignors and carriers in non-compliance situation.
6.	409		LSA III criteria point ii, about the provision for the radioactive material is relatively insoluble, intrinsically contained in a relatively insoluble matrix has been deleted.	This detailed explanation about the criteria for LSA-III is stated in the BAPETEN's Regulation No. 7 in 2020 on the Safety Provision and the Arrangement of Transport of Radioactive Materials (BR 7/2020).
7.	413		Adding SCO III, for large solid object because of its size cannot be transported in a type of package describe.	The additional of new type of SCO is a crucial change in SSR-6 revision. This type of radioactive materials should be included in the revision of GR 58/2015. This standard adds SCO III to cover the large size cannot be transported by any type of package and for which: <ul style="list-style-type: none"> (i) All openings are sealed to prevent release of radioactive material during conditions defined in para. 520 (e) (ii) The inside of the object is as dry as practicable; (iii) The non-fixed contamination on the external surfaces does not exceed the limit specified in para. 508 (iv) The non-fixed contamination plus the fixed contamination on the inaccessible surface averaged over 300cm² does not exceed 8x10⁵ Bq/cm² for beta and gamma emitters and low toxicity alpha emitters, or 8x10⁴ Bq/cm² for all other alpha emitters.
8.	414		Radiation level → change into dose rate	The basis the SCO requirements and controls for transport in industrial package or unpackage is based on the dose rate, not the radiation level. This provision is stated in the BR 7/2020.
9.	423		Radiation level → change into dose rate	One of the requirements for excepted package-instrument or articles was based on the radiation level at 10 cm from any point on the external surface of unpacked instrument or article is not

No.	Paragraph 6 2012 [9]	SSR	The difference in SSR-6 (rev.1) [10]	The analysis of the changes and/or the effects to Indonesian regulations
				greater than 0,1 mSv/h. However, in the revision of SSR 6, this requirement has been changed to the dose rate. The requirements for fissile excepted is stated in the appendix II of the BR 7/20202.
10.	424		Adding point d → provision for excepted package (limited quantity of material) contain fissile material that is included in the excepted criteria for fissile materials.	Include the fissile excepted and excepted condition for fissile material into UN 2910 Excepted package – limited quantity of material.
11.	427		Adding point e → provision for fissile excepted and fissile materials that meets excepted criteria.	Include the fissile excepted and excepted condition for fissile material into UN 2908 Excepted package – empty package.
12.	503		Adding point e → for packages intended to be used for shipment after storage → ensure the package is maintained during storage.	The additional provision for Para 503 which is about the requirement before each shipment. This requirement needs to be added in the BR 7/2020 on Safety Provision and The Arrangement for Transport of Radioactive Materials
13.	509		Level of contamination for internal freight container is excepted for the requirement, IBCs is deleted	Additional information that the requirement for the level of non-fixed contamination on the internal surface of freight containers being used as packaging, either loaded or empty.
14.	510		The “radiation level” has been changed into “dose rate”. The assessment for leaked package or suspected leaking package has to be assess the extent of the contamination and the dose rate.	The term should be updated both in GR and BR
15.	513		The “radiation level” has been changed into “dose rate”. The paragraph talks about the requirement for any conveyance or equipment that has become contaminated that show dose rate excess of 5 microsievert/hour.	
16.	514		Does not included the IBC’s (Intermediate Bulk Container) which is a portable package with certain criteria.	It doesn’t give impact significant to the regulation due to this term did not use in transport regulations.
17.	515		Change the reference of excepted package	
18.	516		Change “the radiation level” to “dose rate”	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
19.	517		Change “the radiation level” to “dose rate”	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
20.	520		Adding point e for the requirements for SCO III if transported unpackage. The SCO-III can be transported unpackage that shall be transported under exclusive use and follow some requirements in this paragraph.	This is necessary to include in the revision of the government regulation to in line with the international standard.
21.	522		Adding requirement for SCO-III limit	This is necessary to include in the revision of the government regulation to in line with the international standard.
22.	523		Adding SCO III on table 6 for the activity limits for LSA materials and SCO I industrial packages or unpackage.	This is necessary to include in the revision of the government regulation to in line with the international standard.

No.	Paragraph 6 2012 [9]	SSR	The difference in SSR-6 (rev.1) [10]	The analysis of the changes and/or the effects to Indonesian regulations
23.	524		Adding the information that the single consignor can determine the TI by direct measurement of dose rate.	This information does not impact significantly to the regulation.
24.	524A		The information for the non-rigid overpack that shall be determined only as the sum of the TIs of all package within overpack.	The TI calculation in the GR 58/2015 is provided in the attachment. The change in SSR 6 revision basically just to make the TI calculation clearer.
25.	527		Change "the radiation level" to "dose rate"	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
26.	528		Change "the radiation level" to "dose rate"	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
27.	529		Change "the radiation level" to "dose rate"	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
28.	543		Adding the provision for large freight container that carrying unpacked LSA-I and SCO-I.	This provision should be included in the placarding provision in the GR dan BR.
29.	546		Adding SCO-III in point (n) about the total activity of the consignment.	GR and BR should be updated to include the SCO-III.
30.	556		Adding words "Applicable certificate"	This change is only to clear the statement.
31.	566		Point "b. The dose rate...from the external surface of the vehicle or freight container,..."	Previously the statement was "The radiation level.....from, the external surface of the conveyance," The change is only to make the calculation for under routine condition clearer.
32.	571		Some changes for the paragraph. However, the main change is by adding LSA I materials, SCO I and SCO III that can be transported unpackaged about the provision of their placarding.	By adding SCO-III as one of the materials for radioactive materials transportation, the placarding provision should be added as well.
33.	572		Adding SCO III for the provision for placarding of unpackaged shipment.	Because SCO III is one of materials that can be transported unpackaged, this provision adds the SCO-III. This is necessary to include in the regulation.
34.	573		Change "the radiation level" to "dose rate" in the calculation for consignments under exclusive use.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR.
35.	575		Change "the radiation level" to "dose rate" for additional requirements packages of overpack transported by vessel.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
36.	579		Change "the radiation level" to "dose rate" for the requirement that packages or overpack should that having s surface dose rate greater than 2 mSv/h shall not transported by air except by special arrangement.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR.
37.	605		Change "the radiation level" to "dose rate" for the criteria of low dispersible radioactive material.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
38.	617		Change "the radiation level" to "dose rate" for the general requirements for package.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR

No.	Paragraph 6 2012 [9]	SSR	The difference in SSR-6 (rev.1) [10]	The analysis of the changes and/or the effects to Indonesian regulations
39.	622		Additional excepted package containing fissile materials that allowed by one of the provisions of subparagraph (a)-(f) of para. 417.	This technical requirement for excepted packaged should be included in the revision of BR.
40.	624		Change "the radiation level" to "dose rate" for the requirement of IP-2.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
41.	626		c. Change "the radiation level" to "dose rate" for alternative requirement of IP-2	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
42.	627		Change "the radiation level" to "dose rate" for the requirement of portable tanks that may also use as Type IP-2 or Type IP-3.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
43.	628		Change "the radiation level" to "dose rate" the requirements for tanks, or other portable tanks that may be used as type IP-2 or Type IP 3 for transporting LSA-I and LSA II.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
44.	629		Change "the radiation level" to "dose rate" for freight containers with the permanent enclosure may be also used as type IP-2 or type IP-3.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
45.	630		Change "the radiation level" to "dose rate" for metal IBCs that may be used as type IP-2 or Type IP-3.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
46.	648		Change "the radiation level" to "dose rate" for the requirements of type A package.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
47.	659		Change "the radiation level" to "dose rate" for design of type B(U) packages.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
48.	671		Change "the radiation level" to "dose rate" for requirement of type C packages.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
49.	680		Change "the radiation level" to "dose rate" for requirements for package containing fissile materials.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
50.	701		Adding LSA III as one of materials that need to be testing using specimen in prototype or samples of packages.	For the test procedures should be updated in the BR on Laboratory of Package Design.
51.	703		Deleting leaching test for LSA-III. Leaching test is only for Low Dispersible Radioactive Material.	The regulation on test of radioactive material is on BR No. 4 in 2022 on Package Testing Laboratory. This regulation needs to be updated.
52.	809		Adding point: j. for the applicable of management system as required in para. 306 and k. for requirements for package which are to be used for shipment after storage	These requirements are necessary to be added in the BR 7/2020.
53.	817		Change "the radiation level" to "dose rate" for the requirements for approval alternative activity limits for an exempt consignment of instruments or articles.	The terminology of dose rate should be updated in GR and BR
54.	819		Including the 1996 Edition, 1996 edition (revised), 1996 (as amended 2003), 2005, 2009 and 2012 editions for packages not requiring competent authority approval that may continue to transport provided that they were prepared for transport prior to 31 December 2025 and are subject to the requirements of para. 822, if applicable.	Those specific transitional arrangements are not included in any regulation. This is necessary to be added in the regulation.
55.	820		Including the 1996 Edition, 1996 edition (revised), 1996 (as amended 2003), 2005, 2009 and 2012 editions for package	Those specific transitional arrangements are not included in any regulation. This is necessary to be added in the regulation.

No.	Paragraph 6 2012 [9]	SSR	The difference in SSR-6 (rev.1) [10]	The analysis of the changes and/or the effects to Indonesian regulations
			design approved that may continue to transport provided that they were the package design is subject to multilateral approval after 31 December 2025 and some applicable requirements	
56.	823		Including the 1996 Edition, 1996 edition (revised), 1996 (as amended 2003), 2005, 2009 and 2012 editions for special form radioactive materials approved by those regulations, may continue to be used when in compliance of para 306. There is no new manufacture of special form radioactive materials to be design that had received unilateral approval by competent authority under those regulations shall be permitted.	Those specific transitional arrangements are not included in any regulation. This is necessary to be added in the regulation.
57.	825		Adding multilateral approval for SCO III.	This is necessary to be added in the regulation due to the additional of SCO-III as one of radioactive materials.
58.	832		deleting point d symbol-96 for the certificate approval of low dispersible radioactive materials.	The provisions about symbols of package and radioactive materials need to bed added in the regulations.

Based on Table 1, it can be concluded that the major changes of the SSR revision are about adding one more type of SCO, SCO-III. Adding SCO-III also impacts some requirements, such as unpackaged shipments, multilateral shipments, testing, and limit requirements. Materials with a large size that cannot follow any package requirements because of their size can be categorized into the SCO-III. This is a solution to transport a large solid object, such as radioactive waste, due to upgrading or decommissioning a nuclear reactor.

Deleting the leaching test for LSA-III is also a significant change in SSR-6 rev.1. However, this change does not affect the GR 58/2015 because this provision is regulated in BR 7/2020. A new shipment requirement after storage could be included in GR 58/2015 and BR 7/2020. This requirement is necessary to solve the problem of dual-purpose casks. Casks could be used for transport and storage, such as radioactive waste. This provision considers the aging mechanism, particularly in transporting packages after a long time in storage [8]. Moreover, changing the terminology from “radiation level” to dose rate is also necessary to clarify the basis of the measurements in some requirements and criteria in the regulations.

In addition, because the standard and requirements of the safe transport of radioactive materials consist of technical and more detailed requirements that are not possibly included in the regulation, the establishment of guidance is necessary. As well as SSR-6 has advisory material, the regulations of safe transport of radioactive materials also require guidance to support the implementation of the regulation.

Conclusion

The revision of SSR-6 in 2012 to SSR-6 (rev. 1) 2018 has some changes that must be updated in the Indonesian regulations. Although some significant changes in SSR-6 rev.1 have been revealed, the most crucial provisions are about the additional new type of radioactive materials, SCO-III. It can also cause some changes in some parts of the standard to support the SCO-III shipment that must be included in Indonesian regulations. Furthermore, the change in terminology and definition from “radiation level” to “dose rate” also needs to be updated in the regulation. Some more detailed changes do not affect the GR 58/2015 but impact the lower regulations, which are the BR 7/2020 and BR 4/2022. This is because government regulations cannot include all specific and technical provisions. Some adjustments and updates are necessary to develop regulations that align with international standards. Furthermore, further analysis is recommended to analyze the advisory

material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials due to some detailed explanations provided in this document. The establishment of guidance for the transport of radioactive materials is required to be established to include some more detailed information and support the implementation of the regulations.

References

- [1] Indonesia, *Government Regulation No 58 in 2015 on Radiation Safety and security on Transport of Radioactive Materials*. 2015.
- [2] Indonesia, *BAPETEN's Regulation No. 7 in 2020 on Safety Provision and The Arrangement for Transport of Radioactive Materials*. 2020.
- [3] Indonesia, *BAPETEN's Regulation No. 4 in 2022 on Package Testing Laboratory*. 2022.
- [4] Nuklir, B.P.T., *LAPORAN PENGAWASAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR DI INDONESIA TAHUN 2020*. 2021.
- [5] Heriyanto, K., *STUDI KARAKTERISASI DISMANTLING PROGRAM DEKOMISIONING REAKTOR TRIGA MARK II BANDUNG*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIII ISSN 1410-6086 Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.
- [6] Dixit, A. *Updated IAEA Publication: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*. 2019 [cited 2023 8 August].
- [7] Vatimah, Z. *The assessment of revision of IAEA transport safety requirement TS-R-1 year 2009 become SSR-6 year 2012 in the framework of revision of government regulation number 26 year 2002*. in *Proceedings of the nuclear safety seminar: Strengthening supervision for harmonious nuclear ecosystems*. 2014. Indonesia: Nuclear Energy Regulatory Agency.
- [8] MALESYS, P., *A new edition of the IAEA Transport Regulations: which consequences and lessons for the industry?* Proceedings of the 19th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials PATRAM 2019, 2019(New Orleans, LA, USA).
- [9] *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - 2012 Edition*. 2012, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- [10] *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*. 2018, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pemanfaatan Non-Medis Radiasi untuk Pencitraan Manusia dan Prospek Penerapannya di Indonesia

Hermansyah¹, Rusmanto¹, Sudradjat¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:
h.herman@bapeten.go.id
r.rusmanto@bapeten.go.id
s.sudradjat@bapeten.go.id

Abstrak

Pemanfaatan radiasi pengion semakin berkembang dari waktu ke waktu, termasuk perkembangan pencitraan manusia bukan untuk tujuan kesehatan. Hal ini dapat menjadi polemik karena manfaat yang dihasilkan dari penyinaran tidak dirasakan langsung oleh individu. Justifikasi untuk praktik ini dibutuhkan untuk menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan dari efek yang merugikan, termasuk pertimbangan etika. Tulisan ini mengkaji praktik-praktik pemanfaatan non-medis radiasi untuk pencitraan manusia dan prospek penerapannya di Indonesia. Kondisi saat ini mengenai dinamika dan karakteristik penyinaran bukan untuk tujuan medis, kerangka kerja hukum internasional dan Eropa dalam konteks informasi yang tersedia dan dinamika kerangka kerja regulasi dibahas secara deskriptif.

Kata kunci: radiasi, etika, pencitraan manusia non-medis.

Abstract

The use of ionizing radiation is growing over time, including the development of non-medical human imaging, this can be polemic because the benefits resulting from irradiation are not felt directly by individuals. Justification for this practice is needed to ensure the safety of the community and the environment from adverse effects, including ethical considerations. This paper examines the practices of using non-medical radiation for human imaging and the prospects for its application in Indonesia. The current status of dynamics and characteristics of irradiation not for medical purposes, international and European legal frameworks in the context of available information and the dynamics of the regulatory framework, including the implementation prospect in Indonesia are discussed descriptively.

Keywords: radiation, ethical, non medical human imaging.

Pendahuluan

Pencitraan manusia menggunakan radiasi umumnya digunakan untuk diagnosis medis, perawatan medis atau riset biomedis. Selain itu pencitraan manusia bisa juga untuk tujuan selain diagnosis medis, perawatan medis atau riset biomedis[1]. Di bidang medis pemanfaatan sumber radiasi pengion dibagi menjadi beberapa bagian yaitu: radiologi diagnostik, radiologi intervensional, radioterapi, dan kedokteran nuklir[2]. Pemanfaatan dan pengetahuan mengenai radiasi pengion berkembang pesat dari waktu ke waktu sehingga memungkinkan dimanfaatkannya radiasi tersebut dalam berbagai bidang kegiatan di luar tujuan medis.

Penerapan pencitraan manusia di luar tujuan medis (non-medis) sangatlah luas dan bervariasi baik yang dilakukan di fasilitas kesehatan maupun di bukan fasilitas kesehatan. Di Indonesia, salah satu penerapan pencitraan manusia non-medis adalah pemanfaatan peralatan *body scanner* yang ditujukan untuk memindai tubuh manusia menggunakan radiasi sinar-X untuk mendeteksi benda asing di permukaan atau dalam tubuh manusia untuk tujuan keamanan fasilitas misalnya digunakan di bandar udara, pelabuhan, Lembaga Masyarakat (LAPAS), penjara, dan fasilitas-fasilitas umum [3].

Ketika radiasi sinar-X diserap dalam tubuh kita, itu dapat merusak struktur molekul dan berpotensi menyebabkan kerusakan. Dosis radiasi yang sangat tinggi menyebabkan kerusakan sel-sel manusia, sebagaimana dibuktikan oleh luka bakar kulit, kerontokan rambut, dan meningkatnya insiden kanker. Karena radiasi dosis tinggi dapat menyebabkan kanker, maka umumnya diasumsikan bahwa dosis rendah juga dapat menyebabkan kanker. Namun saat ini tidak ada bukti ilmiah langsung bahwa ini terjadi, dan beberapa penelitian menunjukkan bahwa dosis radiasi yang rendah (seperti yang digunakan dalam pencitraan) tidak meningkatkan risiko kanker[4][5] sebagaimana tercantum dalam Tabel 1. Bagaimanapun diperlukan tindakan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi disebut proteksi radiasi [6] sebagaimana diatur di Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir[6].

Dalam GSR Part 3 *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards* [1] disebutkan bahwa: “*The government shall ensure that the use of ionizing radiation for human imaging for purposes other than medical diagnosis, medical treatment or biomedical research is subject to the system of protection and safety*”. Dalam hal ini pemerintah harus memastikan bahwa pemanfaatan radiasi untuk pencitraan manusia non-medis harus mematuhi sistem keselamatan dan proteksi radiasi. Umumnya pencitraan manusia selain untuk diagnosis medis, perawatan medis atau riset biomedis dianggap tidak dibenarkan (*unjustified*). Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No 4 Tahun 2020 tidak membolehkan pemeriksaan radiologi yang dilakukan untuk keperluan pekerjaan, legal atau asuransi kesehatan tanpa indikasi klinis kecuali untuk memberi informasi penting mengenai kesehatan seseorang yang diperiksa atau proses pembuktian atas terjadinya suatu pelanggaran hukum [7].

Tulisan ini mengkaji praktik-praktik pemanfaatan non-medis radiasi untuk pencitraan manusia dan prospek penerapannya di Indonesia. Metode penulisan yang digunakan adalah metode deskriptif melalui studi pustaka meliputi peraturan tertulis, perundang undangan, literatur standar internasional, dan artikel ilmiah.

Tabel 1. Perkiraan dosis dan risiko kanker dari berbagai sumber radiasi [9]

Sumber Radiasi	Dosis Radiasi	Periode yang setara dari radiasi latar	Risiko Kanker
FLIGHT:			
Airport security X-ray scanner	0.00001 mSv	kurang dari 1 tahun	dapat diabaikan
7 hours air plane flight	0.003 mSv	beberapa hari	dapat diabaikan
HEART:			
Coronary Angiography (CTA)	12 mSv	4 tahun	rendah
Cardiac CT for Calcium Scoring	3mSv	1 tahun	rendah
CHEST :			
Radiography-Chest	0.1 mSv	10 hari	Minimal
Computed Tomography-Chest Low Dose	1.5 mSv	6 bulan	sangat rendah
DENTAL:			
Intraoral X-ray	0.005 mSv	1 hari	dapat diabaikan
ABDOMINAL REGION:			
(CT)-Abdomen and Pelvis	10 mSv	3 tahun	rendah
(CT)-Colonography	10 mSv	3 tahun	rendah
X-ray -Lower GI Tract	8 mSv	3 tahun	rendah
Radiography (X-ray)-Upper GI Tract	6 mSv	2 tahun	rendah
BONE:			
Radiography (X-ray)-Spine	1.5 mSv	6 bulan	sangat rendah
Radiography (X-ray)-Extremity	0.001 mSv	3 hours	dapat diabaikan
CENTRAL NERVOUS SYSTEM:			
(CT)-Head	2 mSv	8 bulan	sangat rendah
Computed Tomography (CT)-Spine	6 mSv	2 tahun	rendah

Radiasi Pengion dan Dampaknya

Radiasi pengion adalah gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan yang karena energi yang dimilikinya mampu mengionisasi media yang dilaluinya [2]. Radiasi pengion disebut juga radiasi atom atau radiasi nuklir. Sumber radiasi pengion yang dikenal saat ini antara lain sinar-X, sinar gamma, sinar kosmik, serta partikel beta, alfa dan neutron. Radiasi sinar-X banyak digunakan dalam pemeriksaan kesehatan dan pengobatan karena sifat-sifatnya yang mampu menembus jaringan tubuh manusia untuk mendeteksi kelainan[8]. Beberapa peralatan yang menggunakan teknologi sinar-X di fasilitas kesehatan antara lain pesawat sinar-X radiografi umum, fluoroskopi, CT Scan, gigi, dan mamografi (Lampiran 1)[7].

Selain memiliki manfaat untuk mengobati dan mendiagnosis penyakit, radiasi juga memiliki resiko/dampak terhadap tubuh manusia bila terlalu sering terpapar. Dampak buruk terhadap kesehatan tubuh antara lain hancurnya sel-sel tubuh yang normal, terbentuknya kanker, terjadinya gangguan tumbuh kembang anak, dan terjadinya kerusakan jaringan kulit hingga kematian. Tanda dan gejala yang timbul akibat paparan berlebih mungkin tidak segera muncul saat tubuh terpapar, gejala mungkin baru akan muncul dalam waktu beberapa jam, hari, minggu, bulan atau tahun setelah terpapar radiasi. Gejala yang muncul di antaranya gangguan pencernaan seperti mual, muntah, diare, sakit kepala, demam, kelelahan, rambut rontok, luka, lepuhan dan peradangan di berbagai bagian tubuh.

Radiasi Pengion untuk Penerapan Non-Medis

Pencitraan manusia non-medis adalah penyinaran menggunakan radiasi untuk tujuan selain diagnosis medis, perawatan medis atau penelitian biomedis. Penyinaran ini sering digunakan, tetapi masyarakat tidak selalu sadar bahwa mereka terkena radiasi. Dalam beberapa kasus, itu dapat dilakukan pada anak di bawah umur tanpa izin orang tua, seperti dalam beberapa penyaringan keamanan, bahkan tanpa orang-orang sadar mereka sedang terkena radiasi. Contohnya bisa berupa paparan yang tidak sengaja terhadap orang-orang di dalam kendaraan atau kargo yang disaring oleh petugas keamanan atau bea cukai untuk tujuan anti-penyelundupan. Terkait proteksi radiasi, orang-orang yang terpapar bukanlah pekerja atau pasien, dan karena itu harus dianggap sebagai anggota masyarakat.

Radiasi pengion untuk tujuan diagnostik telah digunakan dalam kedokteran sejak ditemukannya X-rays pada tahun 1895. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa negara telah memperkenalkan penggunaan radiasi pengion juga untuk tujuan non-medis, terutama untuk alasan keamanan. Contohnya dari pencitraan manusia seperti itu termasuk pencitraan perut orang-orang yang dicurigai sebagai kurir narkoba, menyaring orang-orang untuk mendeteksi benda-benda yang disembunyikan, misalnya sebelum menaiki pesawat, atau penapisan pengunjung ke penjara. Teknik ini juga digunakan untuk menentukan usia pencari suaka, untuk asuransi dan keperluan lainnya sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.

Badan pengawas bertanggung jawab untuk mengidentifikasi kegiatan pencitraan non-medis yang sedang dilakukan di negara tersebut. Perhatian khusus diperlukan karena kegiatan ini perlu dijustifikasi oleh pemerintah atau badan pengawas untuk memastikan bahwa kegiatan tersebut dilaksanakan oleh staf yang terlatih secara profesional atau di fasilitas yang sesuai. Penggunaan pencitraan manusia non-medis juga harus mempertimbangkan etika dalam penerapannya. Paparan radiasi untuk tujuan non-medis menimbulkan masalah etika penting seperti yang dicatat dalam publikasi mengenai penilaian usia individu yang menjadi subjek kontrol imigrasi di Inggris [10], yang menegaskan bahwa perlu mempertimbangkan manfaat aktual dengan potensi kerusakan yang mungkin ditimbulkan pada sekelompok anak-anak dan remaja yang berpotensi rentan sebagai akibat tidak hanya dari usia tetapi juga latar belakang dan pengalaman mereka [10]. Pertimbangan etika juga tertuang dalam *General Safety Guide No. 5, Justification of Practices Including Non-Medical Human Imaging* [11], “Governments, regulatory bodies and operators everywhere must ensure that nuclear material and radiation sources are used beneficially, safely and ethically [11].” Etika yang dimaksud secara konseptual meliputi meliputi hal keadilan, penyebaran resiko dan manfaat; otonomi, pengambilan keputusan berdasarkan informasi; kerendahan hati/ tidak merugikan; privasi dan kerahasiaan; kebijaksanaan dan kehati-hatian; dan menimbang risiko serta manfaat; Prosedur terkait etika harus mempertimbangkan Akuntabilitas atas kewajiban [12]. Ada empat kondisi dalam

pengambilan keputusan etika yaitu alasan pengambilan keputusan tersedia di muka umum (transparansi), bukti berdasarkan resiko dan manfaat (relevansi), alasan, banding sehubungan adanya bukti baru, (mekanisme banding), dan penegakan hukum.

Tabel 2. Klasifikasi Pencitraan Manusia Non-Medis

Jenis dan karakteristik paparan	Jenis Kegiatan	Konten dan Tujuan Kegiatan	Fokus Perhatian
Paparan di Fasilitas Kesehatan			
<ul style="list-style-type: none"> Berlangsung di fasilitas radiasi medis Menggunakan peralatan radiologis medis Dilakukan oleh personel radiologi Dengan gambar yang dilihat oleh ahli radiologi / dokter Memerlukan persetujuan Biasanya bermanfaat bagi individu yang terpapar Dosis yang diberikan direkam Berlaku batasan DRL 	Litigasi	Diagnosis untuk menemukan ada atau tidak adanya cedera atau penyakit yang akan digunakan sebagai bukti di pengadilan	<ul style="list-style-type: none"> Berdasarkan perintah peradilan Justifikasi oleh praktisi mungkin Kepentingan terkait dengan persetujuan dan dosis
	Deteksi obat-obatan	mencari obat-obatan di dalam tubuh yang sengaja ditelan	<ul style="list-style-type: none"> Teknik Radiografi atau CT-Scan Kriteria rujukan untuk pemilihan individu harus dikembangkan
	Asuransi	Diagnosis penyakit dalam untuk tujuan penilaian risiko asuransi	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada manfaat individu, non ethical exposures
	Penilaian usia	Penilaian usia terutama untuk imigran, pengungsi, adopsi, biasanya kaum muda	<ul style="list-style-type: none"> Pemeriksaan Gigi dan Tulang harus dilakukan fokus terkait pemberian dosis untuk anak muda
	Dugaan pelecehan anak	Diagnosis lamanya, fraktur atau perdarahan tersembunyi	<ul style="list-style-type: none"> -Dosis dapat melebihi batas dosis umum -Dalam kasus yang terdokumentasi dengan baik, manfaatnya lebih tinggi daripada risikonya
	Olahragawan	Diagnosis rutin status kesehatan, evaluasi status kesehatan terkait proses perpindahan atlet, diagnosis pertumbuhan untuk olahraga tertentu (basket, penari)	<ul style="list-style-type: none"> Pencitraan untuk cedera akut atau untuk mendukung keputusan terkait pelatihan atau kebutuhan nutrisi atlet. Kekhawatiran terkait dengan pencitraan berulang untuk keperluan screening
	Imigrasi atau emigrasi	Diagnosis penyakit tersembunyi pada migran, misalnya untuk TBC	Tidak ada manfaat individual, justifikasi yang cermat untuk pemilihan prosedur terbaik
	Prosedur sebelum bekerja	Diagnosis untuk menemukan penyakit tersembunyi, untuk mencegah kesalahan penerimaan pegawai, atau untuk melindungi anak-anak sekolah dari infeksi	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada manfaat individu, Kekhawatiran terkait dosis dan paparan pada paparan berulang
Penentuan identitas	Identifikasi orang mati (mayat)	Berdasarkan perbandingan antara karakteristik sebelum dan sesudah mati dari catatan gigi	
Paparan di bukan Fasilitas Kesehatan			
<ul style="list-style-type: none"> Berlangsung di fasilitas non-medis (biasanya di tempat umum) Menggunakan peralatan pencitraan khusus Dilakukan oleh personil non radiologi Dengan gambar dilihat oleh orang yang bukan tenaga medis Tidak memerlukan persetujuan Manfaat bagi masyarakat: tidak ada manfaat bagi individu yang terpapar Dosis tidak direkam Batas dosis publik diterapkan 	Pemeriksaan keamanan	Teknik pemindaian sinar X saat ini di pelabuhan, bandara, penjara, lembaga pemerintah, dan lain lain	<ul style="list-style-type: none"> Dosis umum per pemindaian adalah <0,1 μSv tetapi frekuensinya mungkin sering Dosis untuk yang sering bepergian Petugas tidak selalu terlatih dalam perlindungan radiasi Harmonisasi aspek praktik dan peraturan
	Pemeriksaan keamanan tahanan dan pengunjung	Diagnosis untuk mendeteksi objek yang tertelan	Kekhawatiran terkait dosis dan paparan pada paparan berulang
	Inspeksi kendaraan	Pencarian di dalam truk atau kontainer untuk menemukan benda tersembunyi	<ul style="list-style-type: none"> Dosis sekitar 10 μSv -Tidak ada kekhawatiran untuk pemindaian barang -Kekhawatiran untuk paparan orang yang bersembunyi

Lesson Learned Penerapan Non-Medis Pencitraan Manusia di Berbagai Negara

Salah satu pemanfaatan pencitraan manusia non-medis di bukan fasilitas kesehatan adalah penggunaan alat pemindai tubuh (*full body scanners*). Saat ini terdapat empat teknologi berbeda yang digunakan untuk pencitraan menggunakan *full body scanners*. Dari empat teknologi tersebut hanya dua yang menggunakan radiasi pengion yaitu *back-scattered X-ray scanners* dan *transmission X-ray scanners*, sedangkan *millimeter wave back-scattered scanners* dan *passive millimeter/THz scanners* menggunakan teknologi gelombang dengan frekuensi (sekitar 30 GHz) antara frekuensi radio dan inframerah. Teknologi penyinaran *full body scanners* telah digunakan sejak tahun 90-an untuk tujuan khusus di beberapa negara dan sebagian besar di tambang berlian. Pemanfaatan teknologi ini juga dipertimbangkan untuk digunakan di bandara untuk meningkatkan pemeriksaan keamanan[13].

Berdasarkan laporan yang dikeluarkan *Heads of the European Radiological protection Competent Authorities* di Oslo, Norwegia pada bulan Juni tahun 2010[13] saat ini terdapat 6 (enam) negara di Eropa yang menggunakan *full body scanners* meliputi Finlandia, Prancis, Italia, Belanda, Polandia dan Inggris. Di luar laporan tersebut, Amerika dilaporkan telah menggunakannya pula.

Praktik di Finlandia. Bandara Internasional Helsinki-Vantaa telah memutuskan pada Oktober 2009 untuk menghentikan penggunaan pemindai penumpang menggunakan *back-scattered X-ray scanners*. Setelah satu setengah tahun digunakan atas dasar eksperimental, Otoritas Penerbangan Sipil Finlandia Finavia memutuskan untuk tidak mengajukan kembali izin untuk pemindai dari *Radiation and Nuclear Safety Authority Finland*. Namun pemerintah Finlandia telah memberikan dukungan untuk penggunaan pemindai tubuh di bandara pada awal 2010, jika disetujui oleh parlemen Eropa.

Praktik di Prancis. Dilakukan pengujian satu *millimeter wave scanners* di bandara Paris *Charles de Gaulles* untuk menilai risiko kesehatan manusia dari teknologi tersebut dan untuk merumuskan rekomendasi yang dapat diberikan kepada penumpang jika teknologi tersebut diterapkan.

Praktik di Italia. Bandara utama Roma, Fiumicino, sedang mencoba pemindai tubuh *millimeter wave* pertama di terminal yang melayani pesawat AS sejak Maret 2010. Tes di bandara Malpensa Milan juga akan segera dimulai.

Praktik di Belanda. Sebanyak 15 *millimeter wave scanners* telah digunakan di Bandara Schipol sejak tahun 2006 dan terdapat 60 perangkat tambahan yang sedang dipasang di bandara lainnya.

Praktik di Polandia. *Transmission X-ray scanners* telah digunakan di penjara Piotrkow Trybunalski untuk mendeteksi benda-benda yang tersembunyi di dalam tubuh atau pakaian.

Praktik di Inggris. *Millimeter wave back-scattered scanners* dan *back-scattered X-ray scanners* digunakan di bandara Heathrow dan Manchester dan lebih banyak lagi direncanakan di bandara lain.

Praktik di Amerika. Sebanyak 58 unit teknologi pencitraan telah digunakan di 24 bandara. Pada bulan Maret 2010, *Transport and Security Administration (TSA)* mulai mengerahkan 450 unit teknologi pencitraan, sebanyak 150 unit dibeli pada bulan September 2009, 202 unit *millimeter wave* dan 100 unit *back-scattered* tambahan juga dibeli oleh pemerintah AS. Pada tahun 2009, TSA mengumumkan bahwa pencitraan seluruh tubuh akan menggantikan detektor logam di titik pemeriksaan keamanan bandara, menggunakan teknologi *backscatter* (Rapiscan) dan gelombang milimeter (Pro-Vision).

Selain keenam negara diatas, beberapa negara lain berencana pula menerapkan *full body scanners* untuk tujuan non-medis yaitu Jerman, Lituania, Irlandia dan Swiss. Jerman berencana untuk menggunakan *millimeter wave back-scattered scanners* dalam proyek percontohan pada paruh kedua 2010. Sementara Lituania telah membeli perangkat namun belum dipasang karena badan pengawas radiasi (Radiation Protection Centre) Lituania tidak membenarkan (justify) praktik ini. Di Irlandia, administrasi pabean telah mengonfirmasi bahwa mereka sedang mencari spesifikasi dan kemungkinan penggunaan pemindai seluruh tubuh dalam jangka panjang. Negara Swiss berencana untuk menguji teknologi *millimeter wave back-scattered scanners* dan *back-scattered X-ray scanners* selama satu bulan di bandara.

Sementara penggunaan X-rays body scanners untuk tujuan non-medis dilarang oleh hukum di Australia, Jerman, Perancis dan Italia. Di Irlandia, undang-undang melarang eksposur medico-legal selain atas perintah pengadilan.

Penerapan Non-Medis Pencitraan Manusia di Indonesia dan Prospeknya

Panduan umum keselamatan pencitraan manusia

Dalam *General Safety Guide No. 5, Justification of Practices Including Non-Medical Human Imaging* [11] terdapat dua kategori pencitraan manusia non-medis yaitu pencitraan yang dilakukan oleh staf medis di fasilitas kesehatan dan pencitraan yang dilakukan oleh staf non-medis di bukan fasilitas kesehatan. Beberapa situasi sering terjadi di mana penyinaran dilakukan untuk mendapatkan citra tetapi tidak berdasarkan indikasi medis, kebutuhan itu timbul karena berbagai alasan termasuk alasan keamanan, penegakan hukum, deteksi pencurian, proses hukum, masalah asuransi atau persyaratan imigrasi. Namun tidak seperti paparan medis, manfaat yang diterima oleh orang yang disinari dalam kasus ini tidak dirasakan langsung oleh individu tersebut.

Pencitraan manusia non-medis yang dilaksanakan di fasilitas medis adalah pencitraan terkait dengan tujuan penilaian kesesuaian sebelum bekerja atau secara berkala selama bekerja, penilaian kesesuaian fisiologis untuk karier atau olahraga termasuk penilaian untuk atlet sebelum seleksi atau perpindahan, pencitraan untuk tujuan hukum termasuk memperoleh bukti hukum, penentuan umur, tujuan imigrasi atau emigrasi dan deteksi obat-obatan dalam diri seseorang, tujuan asuransi kesehatan termasuk pemeriksaan sebelum asuransi dan mendapatkan bukti untuk keperluan klaim kompensasi. Untuk prosedur ini diperkuat oleh penggunaan batasan dosis. Pembatasan dosis yang sesuai harus ditetapkan untuk prosedur pencitraan manusia non-medis tersebut. Dengan kata lain, persyaratan optimisasi yang sesuai untuk paparan medis harus diterapkan, dengan pengecualian bahwa batasan dosis ini harus digunakan sebagai ganti tingkat referensi diagnostik. Batasan dosis seperti itu mungkin lebih rendah daripada tingkat referensi diagnostik untuk prosedur diagnostik "setara" - misalnya, dosis dari CT abdomen yang dilakukan untuk mendeteksi obat yang tertelan harus jauh lebih rendah daripada CT abdomen yang diindikasikan secara medis yang mencari detail anatomi.

Pencitraan manusia non-medis oleh staf non-medis biasanya dilakukan di tempat yang bukan merupakan fasilitas kesehatan, antara lain di bandara, pelabuhan, stasiun kereta api atau pos perbatasan. Tujuan pencitraan ini adalah untuk mendeteksi objek tersembunyi yang akan diselundupkan dan deteksi objek tersembunyi yang dapat digunakan untuk tindakan kriminal yang menimbulkan ancaman keamanan nasional seperti deteksi senjata tersembunyi penumpang suatu maskapai, orang yang melintasi perbatasan nasional, pengunjung penjara, gedung pengadilan, bangunan umum, deteksi pencurian, *screening* kontainer kendaraan kargo. Untuk prosedur ini, persyaratan untuk paparan publik dalam situasi paparan terencana harus dipenuhi untuk orang yang dicitrakan, termasuk nilai batas dosis. Selanjutnya, optimalisasi perlindungan dan keselamatan harus tunduk pada batasan dosis apa pun yang ditetapkan oleh badan pengawas melalui konsultasi dengan otoritas terkait dan badan profesional lainnya.

Pengukuran Beta-Total (*Gross Beta*)

Pemeriksaan radiologi yang dilakukan untuk keperluan pekerjaan, legal atau asuransi kesehatan tanpa indikasi klinis kecuali untuk memberi informasi penting mengenai kesehatan seseorang yang diperiksa atau proses pembuktian atas terjadinya suatu pelanggaran hukum tidak diperbolehkan [7]. Pemeriksaan non-medis pada manusia dengan pembangkit radiasi penganion atau *body scanner* masuk dalam kategori "Penggunaan, pendidikan, penelitian dan/atau pengembangan"[14]. Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 5 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [20], Pemeriksaan non-medis pada manusia dengan pembangkit radiasi penganion merupakan penggunaan yang wajib memiliki izin dari BAPETEN, dan dianggap telah terjustifikasi, sehingga harus memenuhi persyaratan dalam PP tersebut. Perizinan tersebut ditetapkan sesuai dengan analisis risiko yang dilakukan melalui pengidentifikasian kegiatan usaha, penilaian tingkat bahaya, penilaian potensi terjadinya bahaya, penetapan tingkat risiko dan peringkat skala usaha serta penetapan jenis perizinan berusaha. Selama pemeriksaan non-medis pada manusia pelaku usaha wajib memastikan proses penyinaran dilakukan sesuai prinsip proteksi radiasi, memastikan bahwa ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi dilakukan, memberikan kesempatan kepada Kepala Badan untuk melakukan

inspeksi selama masa izin berlaku, memastikan bahwa kegiatan yang dilakukan sesuai dengan izin yang diberikan dan menyampaikan laporan verifikasi keselamatan kepada Badan Pengawas secara berkala setiap tahun terhitung sejak perizinan berusaha diterbitkan.

Prospek penerapan di Indonesia

Salah satu penerapan pencitraan manusia non-medis adalah untuk kepentingan asuransi. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Otoritas Jasa Keuangan (OJK), pada Juni 2022 jumlah perusahaan asuransi di Indonesia tercatat sebanyak 155[16]. Hal ini memungkinkan terjadinya praktik pencitraan manusia non-medis untuk keperluan sebelum asuransi atau untuk memperoleh bukti terkait proses klaim kompensasi. Sebagai negara kepulauan dengan jumlah penduduk sebesar 275 juta jiwa[17], Indonesia merupakan pasar potensial bagi kalangan industri, tetapi juga menjadi incaran sindikat obat-obatan terlarang. Penyelundupan obat-obatan terlarang bisa masuk melalui jalur darat, udara atau air. Untuk mencegah peredaran obat-obatan terlarang maka Pemerintah harus meningkatkan pengawasan terhadap masuknya barang-barang yang tidak diizinkan. Pemanfaatan pencitraan manusia non-medis seperti *Transmission X-ray portal* atau *backscatter X-ray portal* yang ditempatkan di bandara, pelabuhan atau perbatasan bisa menjadi opsi untuk mencegah masuknya barang-barang yang tidak diizinkan.

Berdasarkan Laporan Hasil Kajian *Body Scanner* tahun 2017 yang dilakukan oleh BAPETEN diketahui bahwa Kemenkum HAM telah memasang sebanyak 15 (lima belas) peralatan *body scanners* di lokasi lembaga permasyarakatan/ rumah tahanan yang berbeda [18]. Pada praktiknya, Badan Pengawas harus memastikan bahwa hanya praktik yang terjustifikasi yang dibolehkan [1]. Semua pemanfaatan radiasi untuk pencitraan manusia harus terjustifikasi termasuk pencitraan manusia non-medis. Berdasarkan GSR part 3, justifikasi terhadap pencitraan manusia harus memenuhi kriteria tertentu. Pencitraan manusia dengan menggunakan radiasi untuk tujuan mendeteksi pencurian tidak dibenarkan (*not justified*). Pencitraan manusia menggunakan radiasi yang dilakukan untuk tujuan pekerjaan, hukum atau asuransi tanpa indikasi klinis tidak dapat dibenarkan (*not justified*). Jika pemerintah atau badan pengawas memutuskan bahwa praktik tersebut dibolehkan maka proses justifikasi harus mempertimbangkan tujuh aspek meliputi:

- 1) Kesesuaian peralatan radiasi untuk penggunaan yang diusulkan[19];
- 2) Penggunaan teknik alternatif yang tidak memanfaatkan radiasi pengion [19];
- 3) Manfaat dan kerugian dari pelaksanaan prosedur pencitraan manusia
- 4) Manfaat dan kerugian dari tidak menerapkan prosedur pencitraan manusia
- 5) Masalah hukum atau etika yang terkait dengan pengenalan jenis prosedur pencitraan manusia
- 6) Efektivitas dan kesesuaian jenis prosedur pencitraan manusia, termasuk ketepatan peralatan radiasi untuk tujuan penggunaan
- 7) Tersedianya sumber daya yang cukup untuk melakukan prosedur/cara pencitraan manusia (human imaging) secara aman sepanjang periode penggunaan/pemanfaatan [1].

Praktik pencitraan manusia non-medis harus tunduk pada Badan Pengawas. Badan Pengawas bekerja sama dengan otoritas terkait lainnya, harus menetapkan persyaratan untuk pengawasan terhadap praktik dan untuk peninjauan justifikasi. Untuk pencitraan manusia menggunakan radiasi, yang dilakukan oleh tenaga medis menggunakan peralatan radiologi medis, untuk keperluan terkait pekerjaan, hukum atau asuransi kesehatan tanpa merujuk pada indikasi klinis. Selain itu pemerintah harus memastikan, berdasarkan konsultasi antara otoritas terkait, badan profesional dan badan pengawas, bahwa batasan dosis ditetapkan untuk pencitraan manusia tersebut. Indonesia melalui Badan Pengawas bersama otoritas terkait harus menetapkan mekanisme pengaturan dan penyediaan pedoman terkait pencitraan manusia non-medis di fasilitas kesehatan maupun di bukan fasilitas kesehatan. Pemegang izin penggunaan pencitraan manusia non-medis harus mematuhi persyaratan keselamatan dan proteksi radiasi yang ditetapkan oleh Pemerintah.

Kesimpulan

Dengan beragamnya pemanfaatan dan tujuan dalam praktik pencitraan manusia non-medis maka dibutuhkan pengaturan serta panduan yang berbeda-beda terkait penerapan prinsip proteksi radiasi. Pengaturan juga harus mempertimbangkan aspek etika yang berbeda dalam penerapan pencitraan manusia di fasilitas kesehatan, dan di bukan fasilitas kesehatan. Komunikasi antara pihak yang terlibat

dalam pemanfaatan ini harus terus dikembangkan agar praktik ini dapat diterima secara etis antara risiko dan manfaat.

Daftar Pustaka

- [1] International Atomic Energy Agency (2014) GSR Part 3 - *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, Vienna: International Atomic Energy Agency.
- [2] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 24. (2020). *Pelayanan Radiologi Klinik*.
- [3] Werdi P. dkk, 2018. *Penilaian Keselamatan Radiasi untuk Penggunaan Pencitraan Manusia Non-Medis di LAPAS Banceuy Bandung* Pros. SKN, ISSN: 1412-3258 hal 365.
- [4] J. Hart, 2010. "Mean cancer mortality rates in low versus high elevation counties in Texas," *Dose-Response*, vol. 8, no. 4, pp. 448–455, 2010, doi: 10.2203/dose-response.09-047.
- [5] J. R. Cameron, 2002. "Radiation increased the longevity of British radiologists," *Br. J. Radiol.*, vol. 75, no. 895, pp. 637–639, Jul. 2002, doi: 10.1259/bjr.75.895.750637.
- [6] BAPETEN (2013) Peraturan kepala Bapeten No. 4 Tahun 2013 tentang *proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir*, Jakarta.
- [7] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2020. Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2020 tentang *Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial*. Jakarta.
- [8] European Commission. Radiation protection 130 (2002) *Guidance on Medico-legal exposures, exposures with ionising radiation without medical indication*.
- [9] D. Marera, 2015 "Ethical Consideration When using X-ray Examination for None Medical Purposes," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 4, no. 5, pp. 1528–1531.
- [10] Aynsley-Green et.al 2012, "Medical, statistical, ethical and human rights considerations in the assessment of age in children and young people subject to immigration control," *Br. Med. Bull.*, vol. 102, no. 1, pp. 17–42, 2012, doi: 10.1093/bmb/lds014.
- [11] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2014) General Safety Guide (GSG), IAEA Safety Standards Series No. GSG-5, "Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging"
- [12] Daniels and J. Sabin, 2008, "Accountability for Reasonableness: An Update," *BMJ*, vol. 337, p. a1850, Feb. 2008, doi: 10.1136/bmj.a1850.
- [13] HERCA Group, 2010, "Facts and figures concerning the use of Full body scanners using X-Rays for security reason," *Herca*, no. June, pp. 1–12.
- [14] Republik Indonesia (2022) Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 2022 tentang *Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir*. Jakarta.
- [15] Republik Indonesia (2008) Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 tentang *Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*. Jakarta.
- [16] Otoritas Jasa Keuangan (OJK), 2022. "Direktori Perusahaan Pialang Asuransi - Juni 2022." .
- [17] Badan Pusat Statistik. 2023. "Statistika Indonesia 2023." Katalog 1101001: 790.
- [18] Werdi P. 2017. *Tinjauan Aspek Etika dalam Proteksi Radiasi untuk Penggunaan Pencitraan Manusia Non-Medis di Indonesia*. SKN, ISSN: 1412-3258 hal 110.
- [19] European Commission. Radiation protection 167 (2011) *International Symposium on Non-Medical Imaging Exposures*.
- [20] Republik Indonesia (2021) Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2021 tentang *Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Desain Sistem Tomografi Pengangkat Sumber Radiasi untuk Uji Propelan Menggunakan Pesawat Betatron SEA 7

Totok Dermawan¹, Suroso¹, Renaldy Fikri Fakhruddin³

¹Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia-BRIN, Yogyakarta

Korespondensi penulis:

totokdermawan@gmail.com

surosohadi09@gmail.com

Abstrak

Propelan merupakan bahan untuk memproduksi reaksi kimia, reaksi massa (pendorong massa) yang dikeluarkan dengan kecepatan sangat tinggi dari mesin roket untuk menghasilkan daya dorong. Propelan adalah bahan bakar roket sehingga pemilihan bahan dalam pembuatan roket sangatlah penting. Pengujian propelan membutuhkan alat yang efektif, presisi dan akurasi yang tinggi. Banyak pertimbangan yang harus dipenuhi mulai dari suhu, berat dan kekuatan material. Kriteria tersebut akan mempengaruhi proses pembuatan. Beberapa pengujian untuk memastikan kekuatan material yang digunakan, diantaranya uji impak, korosi, kompresi, kelelahan, termal, kelenturan, ketahanan api, komposisi bahan, dan analisis termomekanik dan lainnya. Salah satunya dengan melakukan pengujian tak rusak radiografi radiasi (NDT- Radiasi) menggunakan system tomografi. Dari penelitian menghasilkan alat uji radiasi NDT sistem tomografi untuk pengujian propelan bahan bakar roket. Sistem tomografi dibagi menjadi 3 bagian yaitu meja putar untuk memutar propelan, penggerak film, dan penggerak sumber Radiasi Betatron Sea-7. Hasil pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa tegangan von mises pada pengangkat sumber radiasi sebesar 726,8 MPa dengan displacemen maksimum 5,6 mm. Hasil tersebut menunjukkan tingkat presisi dan akurasi pada pengangkat sumber radiasi adalah 97.859% dan 98 sedangkan pada pengangkat untuk film radiografi adalah 99.783% dan 98.

Kata kunci: Sistem tomografi, Propelan, NDT radiasi.

Abstract

The propellant is the material for producing a chemical reaction, the reaction mass (mass propellant) that is ejected at very high speed from a rocket engine to produce thrust. Propellant is rocket fuel so the selection of materials in the manufacture of rockets is very important. Propellant testing requires effective tools, high precision and accuracy. Many considerations must be met starting from the temperature, weight and strength of the material. These criteria will affect the manufacturing process. Several tests to ensure the strength of the material used, including impact tests, corrosion, compression, fatigue, thermal, flexibility, fire resistance, material composition, and thermomechanical analysis and others. One of them is by carrying out nondestructive radiographic radiation testing (NDT-Radiation) with a tomography system. The research resulted in a tomography system NDT radiation test tool for testing rocket fuel propellant. The tomography system is divided into 3 parts, namely the turntable for rotating the propellant, the film drive, and the drive for the Betatron Sea-7 Radiation source. The results of tests carried out on the tomography system showed that the von Mises stress on the radiation source lifter was 726.8 MPa and the maximum displacement was 5.6 mm. These results show that the level of precision and accuracy for the radiation source lifters is 97.859% and 98%, while for the lifters for radiographic films are 99.783% and 98%, respectively.

Keywords: Tomography system, Propellant, NDT radiation.

Pendahuluan

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) adalah lembaga pemerintahan non kementerian melebur menjadi Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) yang berubah nama menjadi Organisasi Riset Penerbangan Antariksa (ORPA). Organisasi Riset Penerbangan Antariksa dalam salah satu tugasnya menjelaskan tentang pengembangan roket di Indonesia. Salah satu roket yang dikembangkan Organisasi Riset Penerbangan Antariksa yaitu roket berbahan bakar propelan padat. Dalam pengembangan roket ada beberapa hal yang penting untuk diperhatikan, salah satunya adalah pengujian propelan. Hal ini dalam upaya meningkatkan kinerja roket berbahan bakar propelan padat. [3]

Tomografi dapat menjadi pemecah masalah untuk diterapkan pada komponen komposit berdingding tebal yang dianalisis. Komponen komposit banyak digunakan dalam aplikasi keselamatan kritis misalnya dalam konstruksi utama pesawat terbang. Pengujian non-destruktif material komposit menjadi lebih penting, dan diterapkan secara luas seperti pada pembangkit listrik, dirgantara, industri nuklir, militer, pertahanan, inspeksi tangki penyimpanan, inspeksi pipa/tabung, dan karakterisasi cacat komposit

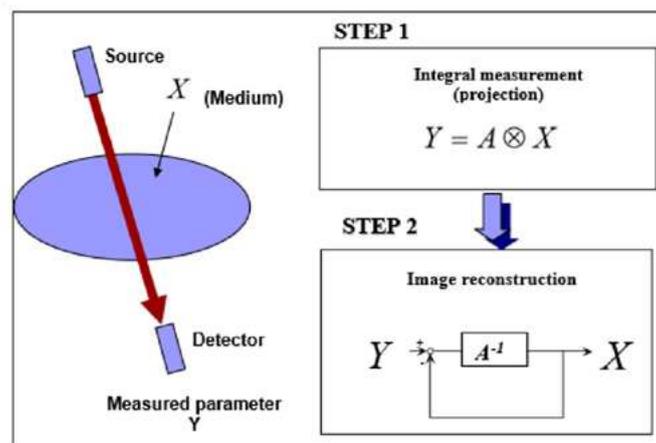
Presisi gerak putar meja tomografi perlu ditingkatkan untuk memperoleh rekonstruksi citra 3D yang baik. Oleh karena itu penelitian ini menyempurnakan alat tomografi agar efektif digunakan untuk pengujian propelan. Pengalaman yang diperoleh mengkonfirmasi bahwa metode tomografi efektif untuk pengujian non-destruktif batang propelan untuk mesin roket. [4]

Metode

Desain sistem mekanik tomografi pengujian propelan bahan bakar roket dimaksudkan untuk mendukung pengambilan citra 3D untuk memudahkan pengujian propelan roket secara presisi dan akurat agar diperoleh kinerja propelan roket secara maksimal.

1. Tomografi

Tomografi adalah teknik radiografi yang digunakan untuk melihat penampang pada sebuah propelan padat bahan bakar roket tanpa wajib membelah propelan padat bahan bakar roket yang bersangkutan. Data pencitraan diperoleh dari nilai total transmisi, emisi atau refleksi pada obyek dari aneka macam sudut proyeksi. [3]



Gambar 1. Prinsip tomografi

Prinsip tomografi seperti pada Gambar 1, pada dasarnya dibagi menjadi 2 step yaitu:

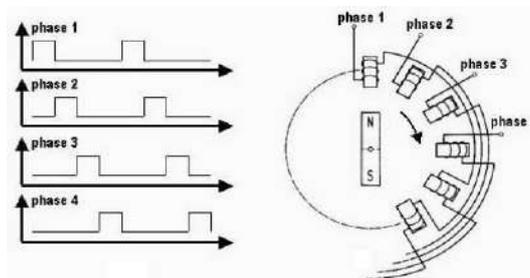
- Step 1 merupakan pengambilan data proyeksi melalui penyinaran dan pendeteksi sinar-x dari berbagai sudut,
- Step 2 adalah rekonstruksi citra untuk menghasilkan citra penampang objek dari data proyeksi

2. Propelan

Propelan adalah bahan bakar atau sumber tenaga suatu mesin roket. Bahan bakar tersebut terdiri dari bahan-bahan utama (fuel dan oksidator) serta bahan aditif, yang mengubah tenaga potensial yang dimiliki menjadi tenaga kinetik saat terjadinya reaksi pembakaran di dalam tabung roket. Tenaga kinetik ini berupa gaya dorong yang menggerakkan roket ke depan. Besarnya gaya dorong dipengaruhi oleh komposisi komponen-komponen penyusun propelan. Gaya dorong roket untuk mencapai jangkauan terbang maksimal dipengaruhi oleh kualitas propelan. Dimana kualitas propelan itu sendiri harus melalui pengujian yang efektif dengan tidak harus merusak struktur propelan. Metode tomografi sangat cocok digunakan untuk pengujian propelan padat komposit karena tidak merusak stuktur propelan terlebih dahulu. [3]

3. Motor Stepper

Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. *Motor stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor seperti yang terlihat pada Gambar 2. Karena itu, untuk menggerakkan *motor stepper* diperlukan pengendali *motor stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa *periodic*. [4]



Gambar 2. Urutan Pulsa Yang Masuk Kesetiap Fasa Pada *Motor stepper* [4]

Cara kerja *motor stepper* dengan mengubah input atau pulsa-pulsa yang diterima menjadi gerak mekanik diskrit. Sudut diskrit yang dihasilkan akan sama dengan jumlah pulsa dan dikontrol dengan fase motor. Sudut total yang dihasilkan merupakan posisi akhir dari perpindahan jumlah Langkah yang dilakukan.

Motor akan menerima pulsa secara berurutan dan bergantian disetiap fasenya dan membuat rotor menjadi hidup secara bergantian dan membangkitkan medan stator secara *periodic* antara satu fase dengan fase lain. Pada fase terakhir pulsa akan Kembali ke fase pertama dan itu menjadi alur sampai banyak pulsa yang diterima akan habis. Pada saat tidak ada pulsa yang masuk, maka rotor *motor stepper* akan mempertahankan posisi hingga terdapat pulsa baru yang masuk. Tidak akan terjadi slip pada *motor stepper* baik saat maupun tidak beroperasi. [1]

4. Gear Box

Gear box pada Gambar 3 untuk menyalurkan daya dan mereduksi putaran dari motor, berfungsi untuk memindahkan putaran poros yang tegak bersilangan. [2]



Gambar 3. Gear Box

5. Torsi

Torsi atau disebut juga momen gaya adalah gaya pada suatu sumbu putar yang menyebabkan benda bergerak melingkar atau berputar, torsi dapat dihitung untuk menentukan beban motor listrik yang akan digunakan [2]. Torsi dihitung dengan Persamaan (1).

$$T = \frac{63000(P)}{n \text{ (rpm)}} \quad (1)$$

dengan :

T	= Torsi	(lb.in)
P	= Daya	(Hp)
n	= Putaran	(rpm)

Hasil dan Pembahasan

1. Tabel dan Gambar

- 1) Spesifikasi motor stepper yang digunakan tertera pada Tabel 1 sebagai berikut

Tabel 1. Perkiraan dosis dan risiko kanker dari berbagai sumber radiasi

Spesifikasi (NEMA)	MotorPergerakan step (°)	Arus (A)	Resistansi Torsi (ohm)	(N.m)	Keterangan
34H2160-60-4A	1,8	6	0,75	12	Motor Stepper Meja Putar-NEMA 34
57HS820A4	1,8	3	1,4	2,2	Motor Stepper Penggerak Sumber-Radiasi NEMA 23
17H33H-0956A	4	0,95	4,2	0,15	Motor Stepper Penggerak Film NEMA 17

- 2) Sistem Tomografi
Desain Sistem Tomografi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem Tomografi

Desain Mekanik Sistem Tomografi Untuk Pengujian Propelan Bahan Bakar Roket” dilakukan beberapa tahapan yaitu rancangan penyempurnaan meja putar tomografi, rancangan mekanik, simulasi sistem mekanik *autodesk inventor*.

Dari hasil desain pengangkat sumber iradiasi dapat mengangkat pada ketinggian antara dari 540,72 mm sampai dengan 1314,14 mm. Seperti pada Gambar 5.

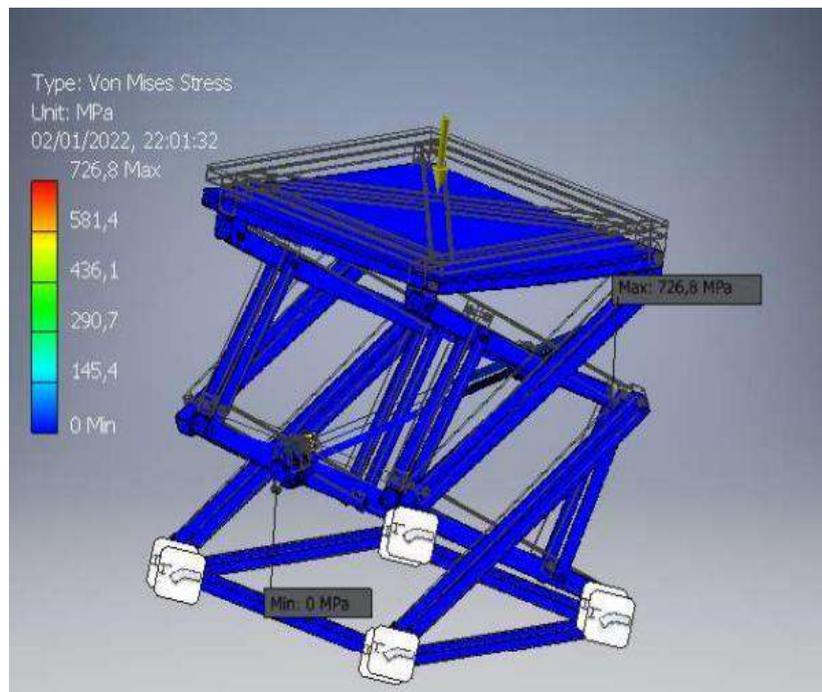


Gambar 5. Desain pengangkat sumber iradiasi

2. Hasil Pengujian

1) Pengujian *Vonmises*

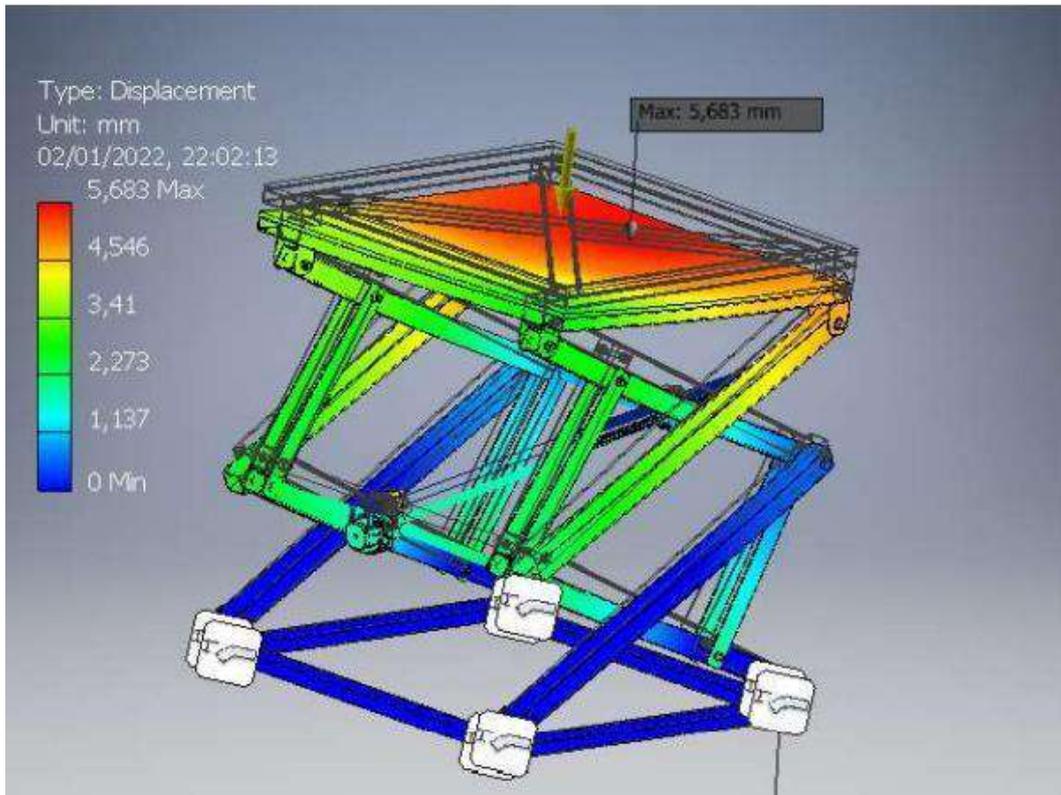
Pengujian simulasi sistem mekanik dilakukan menggunakan *software* Autodesk inventor. Pengujian bertujuan untuk mengetahui posisi titik titik bahan yang mengalami tegangan maupun deformasi yang dapat menyebabkan kegagalan pada alat tersebut. Pengujian *fonmises* dilakukan untuk menentukan material, serta penentuan *fixed constrain*, yang merupakan bagian tidak bergerak pada pengangkat sumber seperti yang terlihat pada Gambar 6, bagian yang berwarna putih. Hasil pengujian tersebut diperoleh nilai *stress analisis* dari tegangan sebesar 726,8 MPa, sementara gambar berwarna biru yang menunjukkan bahwa , material aman untuk digunakan.

Gambar 6. Hasil Pengujian Simulasi *Von Mises*

2) Pengujian Analisis Stress

Pengujian simulasi analisis stress bertujuan untuk mengetahui stabilitas dan keandalan sistem (*displacement*) dalam menentukan ketahanan sistem dan penanganan kesalahan dalam kondisi

beban berat pada pengangkat sumber. Dari hasil pengujian diketahui nilai *displacement* pada pengangkat sumber diketahui memiliki nilai maksimal adalah 5,6 mm yang ditunjukkan Gambar 7 pada bagian yang berwarna merah.



Gambar 7. Pengujian Analisis Stress

Kesimpulan

1. Telah dilakukan desain sistem mekanik tomografi untuk pengujian propelan bahan bakar roket, diperoleh dua buah buah hasil perencanaan sistem mekanik yaitu sistem mekanik untuk pengangkat film radiografi yang dapat mengatur posisi film radiografi area kerja pada ketinggian (sumbu Y) total 200cm dan lebar (sumbu X) 90cm, sedangkan pada pengangkat sumber iradiasi, diperoleh hasil bahwa sistem mekanik dapat mengangkat pada ketinggian antara dari 540,72 mm sampai dengan 1314,14 mm.
2. Dari pengujian *formises* diperoleh data nilai *stress analisis* tegangan sistem mekanik pengangkat sumber radiasi sebesar 726,8 MPa, hasil gambar warna biru yang menunjukkan bahwa, material aman untuk digunakan. Pengujian simulasi analisis stress diperoleh nilai *displacement* pada pengangkat sumber radiasi memiliki nilai maksimal adalah 5,6 mm yang ditunjukkan pada bagian gambar yang berwarna merah.

Daftar Pustaka

- [1] Adriansyah, A., Hidyatama, O., (2013) Rancang bangun prototipe elevator menggunakan microcontroller Arduino ATMEGA 328P. Jurnal Teknologi Elektro 4. <https://doi.org/10.22441/jte.v4i3.753>
- [2] Harrizal, I.S., Prayitno, A., 2017. Rancang bangun sistem control mesin CNC milling 3 Axis menggunakan close loop system 4.8
- [3] Hutaeruk, J., Bura, R.O., Wibowo, H.B., 2020. Analisis karakteristik material padat (ammonium perchlorate) propelan komposit terhadap kinerja propelan LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL (LAPAN) dalam rangka penguasaan teknologi propelan 2, 14
- [4] Nuriansyah, R., 2020. Rancang bangun meja pemutar objek otomatis berbasis Arduino untuk tomografi 3D pada propelan bahan bakar roket, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Tinjauan Pelaksanaan Sertifikasi Kompetensi Kerja Pekerja Radiasi pada Fasilitas Radiasi dan/atau Kegiatan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion

I Made Ardana

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN,
Jakarta*

Korespondensi penulis:
i.madeardana@bapeten.go.id

Abstrak

Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mewajibkan setiap pekerja radiasi pada fasilitas radiasi dan/atau kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion (petugas FRZR) untuk memiliki izin bekerja. Izin bekerja tersebut diterbitkan oleh BAPETEN apabila calon petugas FRZR telah memiliki sertifikat kompetensi. Sertifikat kompetensi petugas FRZR diperoleh pekerja setelah mengikuti sertifikasi kompetensi sesuai ketentuan dalam perka 16 tahun 2014 tentang izin bekerja petugas FRZR. Menurut UU nomor 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan, sertifikasi kompetensi dilakukan oleh BNSP atau LSP mengacu pada SKKNI dan/atau KKNI. Saat ini, sertifikasi kompetensi petugas FRZR mengacu pada standar kompetensi yang tertelusur atau standar kompetensi yang ditetapkan pada lampiran II Perka 16 tahun 2014. Tulisan ini memuat tentang tinjauan pelaksanaan sertifikasi kompetensi petugas FRZR yang mengacu pada UU 10 tahun 1997 dan Perka 16 tahun 2014 disandingkan dengan ketentuan dalam UU nomor 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan serta peraturan turunannya khususnya yang terkait dengan sertifikasi kompetensi. Hasil tinjauan ini menunjukkan bahwa pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja untuk petugas FRZR belum sepenuhnya sesuai dengan UU nomor 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan dan peraturan turunannya, khususnya ketentuan-ketentuan yang terkait dengan sertifikasi kompetensi kerja. Namun demikian, pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja petugas tertentu bidang FRZR telah dilakukan sesuai dengan amanah Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan peraturan turunannya tentang izin bekerja petugas FRZR.

Kata kunci: sumber radiasi pengion, sertifikat kompetensi, sertifikasi kompetensi, BNSP, LSP, SKKNI, KKNI.

Abstract

Law Number 10 of 1997 concerning Nuclear Energy requires every certain officer who works at a facility that utilizes ionizing radiation sources to have a work permit. A work permit is issued by BAPETEN if certain workers of installations that utilize radiation sources already have competency certificates. Workers obtain competency certificates after participating in a competency certification process in accordance with the provisions in the regulation 16 of 2014 concerning work permits for FRZR officers. According to Law number 13 of 2003 concerning Manpower, competency certification is carried out by the Indonesian National Certification Agency (BNSP) or Professional Certification Body (LSP) referring to the Indonesian National Competency Standard and/or Indonesian National Qualification Framework (SKKNI and/or KKNI). Currently, competency certification for FRZR officers refers to traceable competency standards or competency standards set out in Appendix II of Regulation 16 of 2014. This paper contains an overview of the implementation of the competency certification of certain workers of installations that utilize radiation sources along with the provisions in the Act of the Republic of Indonesia Number 13 year 2003 Concerning Manpower and its derivative regulations. The results of this review indicate that the implementation of standardization of working competencies for certain workers of installations that utilize radiation sources is not fully in accordance with the Act of the Republic of Indonesia Number 13 year 2003 Concerning Manpower and its derivative regulations, particularly provisions related to working competency certification. However, the implementation of work competency certification for certain officers in the FRZR field has been carried out in accordance with

the mandate of Law Number 10 of 1997 concerning Nuclear Energy and its derivative regulations regarding work permits for FRZR officers

Keywords: *ionizing radiation sources, competency certificates, competency certification process, Indonesian National Certification Agency, Professional Certification Body, Indonesian National Competency Standard, Indonesian National Qualification Framework.*

Pendahuluan

Setiap petugas atau personel yang bekerja pada suatu fasilitas diharapkan memiliki kompetensi yang mencakup aspek sikap, keterampilan, dan pengetahuan yang sesuai dengan kebutuhan tempat kerja, termasuk petugas pada bidang ketenaganukliran. Petugas tertentu dalam bidang ketenaganukliran diwajibkan memiliki izin bekerja yang diterbitkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Kewajiban untuk memiliki izin bekerja tersebut diatur pada pasal 19 ayat (1) Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [1]. Dalam bidang ketenaganukliran, khususnya bidang fasilitas radiasi dan zat radioaktif (FRZR), petugas tertentu didefinisikan sebagai setiap pekerja yang bekerja di fasilitas yang memanfaatkan sumber radiasi pengion dan diwajibkan memiliki izin bekerja yang diterbitkan oleh BAPETEN. Tinjauan ini membatasi petugas tertentu sebagai pekerja radiasi pada fasilitas radiasi dan/atau kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion yang selanjutnya ditulis sebagai petugas FRZR. Ketentuan mengenai syarat-syarat dan tata laksana untuk mendapatkan izin bekerja petugas FRZR, termasuk sistem sertifikasi kompetensinya, diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN nomor 16 tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu bidang FRZR (Perka 16 tahun 2014).

Setiap petugas FRZR dipersyaratkan untuk memiliki sikap, keahlian, dan pengetahuan yang disebut dengan kompetensi. Petugas yang kompeten ditunjukkan dengan adanya sertifikat kompetensi. Sertifikat kompetensi tersebut dapat diperoleh setelah seseorang mengikuti sertifikasi kompetensi kerja yaitu suatu proses penerbitan sertifikat kompetensi yang diterapkan secara obyektif dan sistematis melalui asesmen kompetensi. Asesmen kompetensi tersebut dilakukan dengan mengacu kepada standar kompetensi kerja. Di Indonesia, standar kompetensi kerja dibedakan menjadi Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI), Standar Kompetensi Kerja Khusus (SKKK), dan Standar Kompetensi Kerja Internasional (SKKI).

Pasal 18 Undang-Undang Nomor 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan (UU 13 tahun 2003) memberikan jaminan bagi setiap tenaga kerja untuk memperoleh pengakuan kompetensi kerja. Pengakuan kompetensi kerja diperoleh pekerja setelah mengikuti pelatihan kerja. Pelatihan kerja dapat dilakukan oleh lembaga pelatihan kerja swasta, lembaga pelatihan kerja pemerintah, atau pelatihan di tempat kerja masing-masing. Pelatihan kerja dapat dilakukan secara berjenjang berdasarkan program pelatihan yang mengacu pada standar kompetensi kerja yang telah ditetapkan. Upaya pemerintah dalam memastikan terselenggaranya sertifikasi kompetensi kerja dilakukan dengan membentuk Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) melalui Peraturan Pemerintah Nomor 10 tahun 2018 tentang BNSP. Untuk melaksanakan tugas pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja, BNSP dapat melisensi Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk melaksanakan sertifikasi kompetensi kerja. Syarat dan tata cara pemberian lisensi LSP oleh BNSP diatur dalam beberapa pedoman BNSP.

Saat ini, sertifikasi kompetensi kerja petugas FRZR dilakukan oleh LSP atau BAPETEN. LSP melakukan sertifikasi kompetensi kerja terhadap calon petugas tertentu seperti operator radiografi dan ahli radiografi yang bekerja pada kegiatan radiografi industri; operator, petugas dosimetri dan petugas perawatan yang bekerja pada fasilitas iradiator; dan operator dan petugas perawatan yang bekerja pada fasilitas produksi radioisotop dan/atau radiofarmaka. BAPETEN melakukan sertifikasi kompetensi kerja bagi PPR. Mengingat belum tersedianya SKKNI, SKKK, atau SKKI untuk sektor ketenaganukliran, maka sertifikasi kompetensi kerja untuk petugas FRZR selain PPR masih mengacu pada standar kompetensi yang tertelusur. Sedangkan untuk PPR, sertifikasi kompetensinya mengacu pada standar kompetensi kerja yang ditetapkan pada Lampiran II Perka 16 tahun 2014. Kondisi ini menunjukkan bahwa pelaksanaan standarisasi kompetensi kerja untuk petugas FRZR belum sepenuhnya sesuai dengan ketentuan dalam UU 13 tahun 2003 dan peraturan perundang-undangan turunannya. Selain karena belum adanya SKKNI sektor ketenaganukliran, sertifikasi kompetensi

petugas ketenaganukliran bidang FRZR juga belum sepenuhnya dilakukan oleh BNSP atau LSP. Untuk itu, BAPETEN sedang melakukan revisi Perka 16 tahun 2014 dan dalam persiapan penyusunan dan pengembangan SKKNI sektor ketenaganukliran. Tulisan ini memuat tentang tinjauan pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja petugas FRZR yang mengacu pada Perka 16 tahun 2014 dibandingkan dengan ketentuan dalam UU 13 tahun 2003 serta skema sertifikasi kompetensi petugas FRZR yang mungkin dikembangkan mengikuti ketersediaan SKKNI dan LSP di bidang ketenaganukliran. Hasil tinjauan ini diharapkan dapat menjadi gambaran pengembangan skema sertifikasi kompetensi petugas FRZR yang sesuai dengan ketentuan dalam UU 13 tahun 2003 dan peraturan turunannya, khususnya yang terkait dengan sistem sertifikasi kompetensi kerja.

Landasan Teori/Pokok Bahasan

Sertifikat kompetensi merupakan salah satu tanda bahwa seorang pekerja memiliki kompetensi dan dapat bersaing secara nasional maupun global di bidang kerjanya masing-masing. Saat ini, untuk memperoleh pekerjaan, calon tenaga kerja tidak bisa hanya bermodalkan sertifikat kursus, ijazah tanda lulus pendidikan, dan lain sebagainya. Seorang pekerja membutuhkan suatu sertifikat kompetensi sebagai tanda kompetensi kerja yang dapat dijadikan acuan bagi dunia usaha maupun dunia industri dalam melakukan penerimaan tenaga kerja [2]. Untuk memberikan keyakinan dalam bentuk standar pencapaian kemampuan atau kompetensi tertentu atau yang dijabarkan dalam batasan pencapaian nilai minimum diperlukanlah alat uji yang sama dan merata serta seragam untuk seluruh peserta uji. Dalam konteks itulah kemudian diperkenalkan “Uji Kompetensi” yang menghasilkan produk berupa bukti kemampuan (nilai) minimum dalam suatu produk yang dinamakan Sertifikat, jika peserta uji lulus atau mencapai batas nilai minimum yang ditetapkan [3]. Sertifikasi merupakan suatu proses penerbitan sertifikat standar yang diberikan untuk produk, proses, atau sumber daya manusia yang telah memenuhi beberapa tahapan yang disyaratkan. Sertifikasi kompetensi kerja adalah proses pemberian sertifikat kompetensi yang dilakukan secara sistematis dan objektif melalui uji kompetensi yang mengacu kepada Standar Kompetensi Kerja untuk memberikan pengakuan bagi pekerja atas kompetensi yang dimilikinya [4].

Kompetensi merupakan gambaran kemampuan seorang pekerja dalam melaksanakan suatu pekerjaan yang mengacu pada sikap, pengetahuan, maupun keterampilan serta perilaku dengan tingkat kemampuan yang dapat berubah-ubah, tergantung upaya pekerja dalam mengelola keterampilan, pengetahuan, maupun sikap kerjanya [5]. Kompetensi merupakan ukuran yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam mengukur potensi pekerja dalam memberikan kinerja yang optimal di tempat kerjanya. Kompetensi juga dapat dijadikan sebagai gambaran tingkat pengetahuan, keterampilan, dan sikap pekerja dalam menyelesaikan tugas-tugasnya secara profesional dan penuh tanggung jawab. Standar kompetensi memuat aspek sikap, pengetahuan, dan keterampilan pekerja yang diperlukan oleh dunia usaha maupun dunia industri. Dalam menjalankan tugas dan tanggung jawab, para pekerja harus mampu mencapai standar kompetensi yang telah ditentukan yang dapat mencakup aspek keterampilan, manajemen kinerja, sifat dan sikap, pengetahuan, kualitas komunikasi, penerapan serta cara mengembangkannya. Oleh karena itu, setiap kompetensi yang dimiliki oleh pekerja dijadikan sebagai jaminan karakteristik dasar pekerja yang dapat berpengaruh baik terhadap kinerja profesional dan efektif dalam suatu pekerjaan. Penilaian kompetensi kerja dilakukan melalui sertifikasi kompetensi kerja. Sertifikasi kompetensi kerja dilakukan melalui asesmen kompetensi yang dilakukan secara objektif dan sistematis. Sertifikat kompetensi kerja tersebut akan diberikan apabila telah dinyatakan berhasil (lulus) melampaui uji kompetensi yang diterapkan sesuai dengan standar kompetensi kerja [6].

Salah satu penyebab timbulnya kesenjangan antara kompetensi kerja pekerja dengan kompetensi yang diharapkan oleh pemberi kerja adalah adanya ketidaksesuaian keterampilan (skill-mismatch). Kesenjangan antara kompetensi pekerja dengan harapan pemberi kerja terjadi karena belum efektifnya pendidikan dan pelatihan yang dilakukan berbasis kompetensi. Untuk itu, keberadaan suatu standar kompetensi yang merupakan gambaran kebutuhan kompetensi di dunia usaha/dunia industri sangat dibutuhkan. Dalam sistem pelatihan kerja nasional, standar kompetensi merupakan salah satu pilar penting untuk menciptakan kesesuaian antara dunia pendidikan dengan dunia industri. Standar kompetensi merupakan acuan dalam pengembangan silabus dan kurikulum pelatihan. Selain dijadikan acuan dalam pengembangan kurikulum, standar kompetensi juga bisa digunakan dalam mengembangkan program pelatihan bagi lembaga-lembaga pelatihan serta pengembangan karir dan

profesionalisme tenaga kerja yang berlangsung di tempat kerja. Dengan demikian, pendidikan, pelatihan kerja dan sertifikasi kompetensi kerja berbasis standar kompetensi dapat menjadi suatu proses pengembangan kualitas dan kompetensi tenaga kerja yang berkesinambungan, sehingga mampu mendongkrak daya saing bangsa.

Pasal 4 Peraturan Pemerintah Nomor 31 tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional memberikan pengaturan tentang acuan dalam pelaksanaan pelatihan kerja. Pelatihan kerja diselenggarakan oleh lembaga pelatihan kerja pemerintah yang telah memiliki tanda daftar atau lembaga pelatihan kerja swasta yang telah memiliki izin dari instansi yang bertanggung jawab di bidang ketenagakerjaan Kabupaten/Kota. Lembaga pelatihan kerja tersebut dapat memperoleh akreditasi dari lembaga akreditasi pelatihan kerja setelah melalui proses akreditasi. Program pelatihan kerja dapat disusun secara berjenjang atau tidak berjenjang yang disusun berdasarkan SKKNI, Standar Internasional dan/atau Standar Khusus. Untuk program pelatihan kerja yang disusun secara berjenjang mengacu pada jenjang KKNi sedangkan untuk program pelatihan kerja yang tidak berjenjang disusun berdasarkan unit kompetensi atau kelompok unit kompetensi.

SKKNI merupakan rumusan kemampuan kerja setiap individu yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja yang sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Standar Kompetensi Kerja Khusus (SKKK) adalah standar kompetensi kerja yang dikembangkan dan digunakan oleh organisasi untuk memenuhi tujuan internal organisasinya sendiri dan/atau untuk memenuhi kebutuhan organisasi lain yang memiliki ikatan kerja sama dengan organisasi yang bersangkutan atau organisasi lain yang memerlukan. Standar Kompetensi Kerja Internasional (SKKI) adalah standar kompetensi kerja yang dikembangkan dan ditetapkan oleh suatu organisasi multi nasional dan digunakan secara internasional [7].

Untuk memastikan terwujudnya tenaga kerja yang profesional, berdaya saing dan memiliki standar global maka pemerintah membentuk Badan Nasional Sertifikasi Profesi sebagai pelaksanaan ketentuan Pasal 18 ayat (5) Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan. Badan Nasional Sertifikasi Profesi yang selanjutnya disingkat BNSP adalah lembaga independen yang dibentuk untuk mewujudkan tersedianya pekerja yang mempunyai keahlian, keterampilan, dan kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan dunia usaha dan dunia industri.

BNSP ditugaskan untuk melaksanakan sertifikasi kompetensi kerja dengan menjalankan beberapa fungsi, antara lain [8]:

- a. pelaksanaan dan pengembangan sistem sertifikasi kompetensi kerja;
- b. pelaksanaan dan pengembangan sistem sertifikasi pendidikan dan pelatihan vokasi;
- c. pembinaan dan pengawasan pelaksanaan sistem sertifikasi kompetensi kerja nasional;
- d. pengembangan pengakuan sertifikasi kompetensi kerja nasional dan internasional;
- e. pelaksanaan dan pengembangan kerja sama antar lembaga, baik nasional dan internasional di bidang sertifikasi profesi;
- f. pelaksanaan dan pengembangan sistem data dan informasi sertifikasi kompetensi kerja yang terintegrasi.

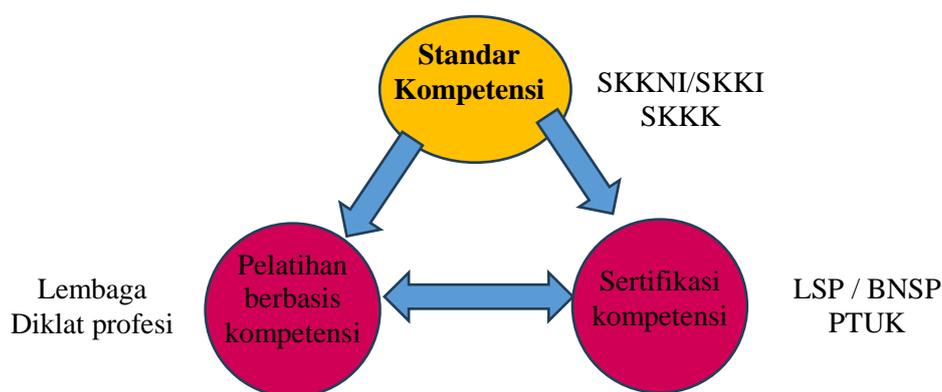
Sebagai otoritas pelaksana profesi, selain memiliki tugas melaksanakan sertifikasi kompetensi kerja, BNSP juga menjalankan beberapa fungsi seperti fungsi regulatif yaitu dengan membuat berbagai kebijakan berupa pedoman, panduan tentang pelaksanaan sertifikasi kompetensi. Fungsi pemberdayaan, yaitu mendorong berbagai pihak yang terkait dalam penggunaan dan pengembangan ketenagakerjaan, untuk mendorong, melaksanakan, mengembangkan sistem sertifikasi kompetensi kerja di sektor dan wilayah kerja masing-masing. Fungsi pelayanan teknis, yaitu melaksanakan proses sertifikasi kompetensi kerja, menunjuk dan memberi lisensi bagi Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP), membina dan mengembangkan perangkat sistem sertifikasi kompetensi. Fungsi pengendalian, yaitu memastikan bahwa seluruh sistem, proses, skema dan mekanisme sertifikasi kompetensi baik yang dilaksanakan oleh BNSP maupun melalui LSP, berjalan sesuai dengan kaidah yang telah ditetapkan [9].

Dalam mendukung pelaksanaan sertifikasi tersebut, BNSP dapat memberikan lisensi kepada LSP guna melaksanakan sertifikasi kompetensi profesi atas nama BNSP. Lisensi tersebut diberikan setelah BNSP melakukan penilaian kesesuaian kepada LSP, sesuai dengan ketentuan BNSP. BNSP telah mengatur pembentukan LSP melalui Pedoman Pembentukan Lembaga Sertifikasi Profesi, yang diberi

tata nama sebagai Pedoman BNSP 202. LSP dibentuk berdasarkan badan atau lembaga yang membentuknya dan sasaran sertifikasinya, dan dikategorikan sebagai LSP Pihak Kesatu, LSP Pihak Kedua dan LSP Pihak Ketiga. Pedoman ini juga menjadi acuan bagi LSP di dalam mengidentifikasi infrastruktur sertifikasi yang diperlukan. LSP menetapkan skema sertifikasi untuk memenuhi permintaan pelanggan dan atau pemangku kepentingannya, yang kemudian diajukan ke BNSP untuk dimintakan lisensi. BNSP melakukan verifikasi terhadap skema sertifikasi yang diajukan oleh LSP. LSP memilih dan mengajukan skema sertifikasi kompetensi yang akan dimintakan sebagai ruang lingkup lisensi kepada BNSP. Skema sertifikasi disusun mengacu pada SKKNI, SKKI, atau SKKK. Selanjutnya BNSP menilai dan menetapkan ruang lingkup lisensi yang diberikan kepada LSP. LSP terlisensi beroperasi hanya dalam skema sertifikasi sesuai ruang lingkup lisensi yang diberikan oleh BNSP.

Di dalam pelaksanaan kegiatan sertifikasi, LSP harus menggunakan tempat kerja atau tempat lainnya yang memenuhi persyaratan sebagai tempat pelaksanaan uji kompetensi (TUK). Berdasarkan sifat lokasinya, komitmennya terhadap penyediaan tempat uji secara berkelanjutan dan hubungannya dengan LSP, TUK diklasifikasikan menjadi tiga yaitu TUK di tempat kerja, TUK sewaktu dan TUK mandiri. LSP adalah organisasi independen yang dibentuk oleh para pemangku kepentingan antara lain industri, asosiasi profesi, asosiasi perusahaan dan para pakar pada sektor atau bidang keahlian tertentu. Menurut pedoman BNSP Nomor 302 tahun 2005 tentang Pedoman Penerbitan Sertifikasi Kompetensi Kerja, LSP adalah lembaga pelaksana uji kompetensi dan sertifikasi kompetensi yang telah diakreditasi dan memperoleh lisensi dari Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP). Lisensi diberikan melalui proses akreditasi oleh BNSP yang menyatakan bahwa LSP bersangkutan telah memenuhi syarat untuk melakukan kegiatan sertifikasi profesi [10]. Dalam hal suatu sektor/sub sektor atau bidang profesi yang belum memiliki LSP, dimana tuntutan masyarakat/industri/pemerintah telah mendesak untuk dipenuhi maka pelaksanaan uji kompetensi dapat dilakukan oleh Panitia Teknis Uji Kompetensi (PTUK). PTUK harus ditetapkan oleh Pleno BNSP. Keanggotaan PTUK merupakan perwakilan dari Asosiasi Profesi/Perusahaan/Instansi Teknis terkait.

Berdasarkan uraian pustaka diatas, pengembangan Sumber Daya Manusia (SDM) berbasis kompetensi bergantung pada 3 (tiga) pilar utama yaitu, standar kompetensi, lembaga pendidikan dan pelatihan, dan lembaga sertifikasi. Standar kompetensi adalah kriteria mengenai kualifikasi kemampuan yang mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan. Standar kompetensi merupakan acuan bagi lembaga diklat dalam menyusun silabus pelatihan. Untuk lembaga sertifikasi, standar kompetensi merupakan panduan dalam melakukan penyusunan skema sertifikasi kompetensi dan acuan asesmen kompetensi. Secara ringkas, tiga pilar utama pengembangan SDM berbasis kompetensi disajikan pada Gambar 1 [11].



Gambar 1. Tiga pilar utama pengembangan SDM berbasis kompetensi [11]

Sertifikasi kompetensi kerja petugas FRZR dilakukan sebagai rangkain penerbitan izin bekerja sebagaimana diatur dalam Perka 16 tahun 2014. Pelatihan petugas tertentu pada bidang FRZR dilaksanakan oleh lembaga pelatihan yang telah terakreditasi. Dalam hal lembaga pelatihan untuk PPR yang telah terakreditasi belum tersedia, maka Kepala BAPETEN dapat menunjuk lembaga pelatihan tersebut. Penunjukan lembaga pelatihan dilakukan berdasarkan pedoman teknis yang diterbitkan oleh Kepala BAPETEN. Pelatihan petugas FRZR harus dilaksanakan berdasarkan Standar Kompetensi dan materi pelatihan yang telah ditetapkan. Standar kompetensi dan materi pelatihan

untuk PPR tercantum dalam Lampiran II dan Lampiran III Perka 16 tahun 2014. Sedangkan standar kompetensi untuk petugas FRZR selain PPR mengacu kepada standar kompetensi kerja yang disahkan oleh kementerian yang menyelenggarakan urusan di bidang tenaga kerja atau standar kompetensi kerja yang tertelusur. Untuk sertifikasi kompetensi petugas FRZR selain PPR dilakukan oleh LSP yang telah terlisensi oleh BNSP. Sedangkan sertifikasi kompetensi untuk PPR dilakukan oleh BAPETEN melalui skema ujian SIB.

Hasil dan Pembahasan

Standardisasi kompetensi kerja dilakukan untuk memastikan setiap pekerja telah memenuhi standar kompetensi yang ditetapkan. Standardisasi kompetensi kerja dilakukan melalui sertifikasi kompetensi. Sertifikasi kompetensi dapat dilakukan apabila sudah tersedia infrastruktur pendukung seperti tersedianya lembaga pelatihan, LSP, dan standar kompetensi kerja (SKKNI, SKKI, atau SKKK). Bagian ini membahas tinjauan pelaksanaan pelatihan kerja dan sertifikasi kompetensi pekerja radiasi pada fasilitas radiasi dan/atau kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion yang mengacu pada UU 10 tahun 1997 serta peraturan turunannya terkait izin bekerja petugas FRZR serta kesesuaiannya dengan ketentuan dalam UU 13 tahun 2003 serta peraturan turunannya khususnya yang terkait dengan sertifikasi kompetensi kerja.

Untuk mendukung peningkatan pelatihan kerja dalam rangka pembangunan ketenagakerjaan, dikembangkan satu sistem pelatihan kerja nasional yang merupakan acuan pelaksanaan pelatihan kerja di semua bidang dan/atau sektor. Ketentuan terkait sistem pelatihan kerja nasional diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional. Peraturan Pemerintah ini menyebutkan bahwa program pelatihan kerja disusun berdasarkan SKKNI, Standar Internasional dan/atau Standar Khusus. Program pelatihan kerja tersebut dapat disusun secara berjenjang atau tidak berjenjang. Dalam hal program pelatihan kerja disusun secara berjenjang, maka program pelatihannya mengacu pada jenjang KKNi. Untuk program pelatihan kerja yang tidak berjenjang, maka program pelatihannya disusun berdasarkan unit kompetensi atau kelompok unit kompetensi. Saat ini, di sektor ketenaganukliran belum terdapat SKKNI maupun KKNi sehingga program pelatihan untuk petugas tertentu pada sektor ketenaganukliran yang bekerja pada fasilitas pemanfaatan sumber radiasi pengion mengacu pada Lampiran II Perka 16 tahun 2014 atau standar kompetensi lain yang tertelusur. Hal ini masih belum sepenuhnya sesuai dengan ketentuan tentang sistem pelatihan kerja nasional yang menyebutkan bahwa program pelatihan disusun mengacu pada standar kompetensi kerja.

Dalam hal sertifikasi kompetensi, UU 13 tahun 2003 menyebutkan bahwa setiap tenaga kerja berhak memperoleh pengakuan kompetensi kerja yang dilakukan melalui sertifikasi kompetensi kerja. Untuk memastikan pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja, pemerintah membentuk BNSP. Mengingat luasnya cakupan sektor/bidang usaha, maka dalam mendukung pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja, BNSP dapat memberikan lisensi kepada LSP guna melaksanakan sertifikasi kompetensi atas nama BNSP. Hal ini menunjukkan bahwa sertifikasi kompetensi kerja dilakukan oleh BNSP atau LSP. Saat ini, di sektor ketenaganukliran khususnya untuk petugas FRZR, sertifikasi kompetensi belum sepenuhnya dilakukan oleh LSP maupun BNSP. Sertifikasi kompetensi untuk PPR masih dilakukan oleh BAPETEN. Hal ini menunjukkan bahwa sertifikasi kompetensi petugas FRZR belum sepenuhnya sesuai dengan ketentuan tentang sertifikasi kompetensi sebagaimana diatur dalam UU 13 tahun 2003 serta peraturan turunannya khususnya yang terkait dengan sertifikasi kompetensi kerja. Selain itu, sertifikasi kompetensi untuk FRZR juga belum mengacu pada SKKNI/KKNi sehingga belum sepenuhnya sesuai dengan Permenaker 2 tahun 2016 tentang Sistem Standardisasi Kompetensi Kerja Nasional.

Belum tersedianya infrastruktur pendukung seperti standar kompetensi kerja dan lembaga sertifikasi profesi dapat menghambat pengembangan kompetensi petugas FRZR yang memenuhi ketentuan UU 13 tahun 2003 serta peraturan turunannya. Hal ini menjadi perhatian penting dalam pengembangan SDM ketenaganukliran dan telah ditindaklanjuti dengan penyesuaian peraturan terkait melalui revisi Perka 16 tahun 2014 dan pengembangan SKKNI sektor ketenaganukliran serta upaya pengembangan LSP ketenaganukliran. Meskipun sertifikasi kompetensi petugas FRZR belum sepenuhnya mengikuti ketentuan UU 13 tahun 2003 serta peraturan turunannya, pengakuan kompetensi kerja petugas FRZR kerja telah dilakukan melalui skema izin bekerja dan validasi izin bekerja sebagaimana diatur dalam

UU 10 tahun 1997 Pasal 19 yang menyebutkan bahwa setiap petugas yang mengoperasikan reaktor nuklir dan petugas tertentu di dalam instalasi nuklir lainnya dan di dalam instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pengion wajib memiliki izin. Tata cara dan persyaratan untuk memperoleh izin bekerja tersebut telah diatur dalam peraturan kepala Badan (Perka 16 tahun 2014 untuk petugas FRZR).

Memperhatikan ketersediaan SKKNI dan LSP di sektor ketenaganukliran, maka pelaksanaan sertifikasi kompetensi bidang ketenaganukliran dapat dilakukan dalam beberapa bentuk. Pertama, sertifikasi kompetensi dilakukan oleh LSP ketenaganukliran berdasarkan skema sertifikasi yang mengacu pada SKKNI/KKNI ketenaganukliran. Skema ini dapat dilakukan apabila sudah tersedia SKKNI/KKNI dan LSP ketenaganukliran. Kedua, sertifikasi kompetensi dilakukan oleh LSP Ketenaganukliran berdasarkan skema sertifikasi yang mengacu pada standar kompetensi yang ditetapkan dalam peraturan badan terkait izin bekerja petugas tertentu atau standar lain yang tertelusur. Skema ini dilakukan apabila sudah tersedia LSP ketenaganukliran, namun belum tersedia SKKNI sektor ketenaganukliran. Ketiga, sertifikasi kompetensi dilakukan oleh PTUK, mengacu pada SKKNI/KKNI ketenaganukliran. Skema ini dilakukan apabila sudah tersedia SKKNI/KKNI namun belum tersedia LSP ketenaganukliran. Keempat, sertifikasi kompetensi dilakukan oleh PTUK, mengacu pada standar kompetensi yang ditetapkan dalam peraturan badan terkait izin bekerja petugas tertentu atau standar lain yang tertelusur. Skema ini dilakukan apabila belum tersedia SKKNI/KKNI dan LSP ketenaganukliran. PTUK sebagai pelaksana sertifikasi kompetensi sebelum terbentuknya LSP ketenaganukliran diusulkan pembentukannya oleh BAPETEN kepada BNSP. Pilihan skema pelaksanaan sertifikasi kompetensi tersebut mengacu pada ketentuan dalam beberapa pedoman BNSP.

Kesimpulan dan Saran

Ketentuan tentang standardisasi kompetensi kerja telah diatur dalam Undang-undang nomor 13 tahun 2013 tentang Ketenagakerjaan. Setiap tenaga kerja berhak memperoleh pengakuan kompetensi kerja yang dilakukan melalui sertifikasi kompetensi kerja. Untuk memastikan pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja, pemerintah membentuk BNSP. Mengingat luasnya cakupan sektor/bidang usaha, maka dalam mendukung pelaksanaan sertifikasi kompetensi kerja, BNSP dapat memberikan lisensi kepada lembaga sertifikasi profesi (LSP) guna melaksanakan sertifikasi kompetensi atas nama BNSP. Tenaga kerja berhak memperoleh pengakuan kompetensi kerja setelah mengikuti pelatihan kerja yang diselenggarakan lembaga pelatihan kerja pemerintah, lembaga pelatihan kerja swasta, atau pelatihan di tempat kerja. Pelatihan dan sertifikasi kompetensi kerja dilakukan secara berjenjang berdasarkan program pelatihan yang mengacu pada standar kompetensi kerja (SKKNI, SKKI, atau SKKK).

Saat ini, di sektor ketenaganukliran belum terdapat SKKNI maupun KKNI. Selain itu, sertifikasi kompetensi untuk petugas proteksi radiasi pada fasilitas pemanfaatan sumber radiasi pengion dilakukan oleh BAPETEN. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa pelaksanaan standardisasi kompetensi petugas ketenaganukliran yang bekerja pada bidang FRZR belum sepenuhnya sesuai dengan UU nomor 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan dan peraturan turunannya, khususnya ketentuan-ketentuan yang terkait dengan sertifikasi kompetensi kerja, antara lain:

1. Sertifikasi kompetensi PPR belum dilakukan oleh LSP.
2. Sertifikasi kompetensi petugas selain PPR belum mengacu pada SKKNI, SKKI, atau SKKK
3. Program pelatihan belum mengacu pada SKKNI, SKKI, atau SKKK.

Namun demikian, pelaksanaan sertifikasi kompetensi petugas tertentu bidang FRZR telah dilakukan sesuai dengan amanah pasal 19 ayat (2) Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Secara khusus, pelaksanaan sertifikasi kompetensi petugas FRZR telah mengikuti Perka 16 tahun 2014. Untuk menyelaraskan skema sertifikasi kompetensi petugas FRZR dengan ketentuan dalam Undang-undang nomor 13 tahun 2013 tentang Ketenagakerjaan, diperlukan adanya penyesuaian peraturan badan terkait izin bekerja petugas FRZR, penyusunan SKKNI, dan pengembangan LSP. Seluruh upaya tersebut sedang diusahakan oleh BAPETEN guna mewujudkan pengembangan SDM ketenaganukliran berbasis kompetensi yang selaras dengan dengan UU nomor 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan serta aturan turunannya terkait sertifikasi kompetensi kerja.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang terkait dalam penyusunan tulisan ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Plt. Direktur Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN atas kesempatannya bagi penulis untuk berpartisipasi dalam Seminar Keselamatan Nuklir Tahun 2023.

Daftar Pustaka

- [1] I. M. Ardana, A. Sanyoto, V. Zahrawati, dan D. R. Meiga (2022) Urgensi Penyusunan Rencana Induk Pengembangan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Sektor Ketenaganukliran. *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2022*, hal. 229–234
- [2] Muhammad Ridha Fauzi, dkk. (2022) Pelatihan Pelatihan dan Pendampingan Sertifikasi Kompetensi untuk Tenaga Kerja Bidang Instalasi Pemanfaatan Tenaga Listrik Tegangan Rendah. *Jurnal Pengabdian UntukMu NegeRI*, vol. 6, no. 1, hal. 187–193
- [3] G. Widjaja (2022) Memahami Makna Sertifikat Kompetensi Dan Sertifikat Profesi Menurut Peraturan Perundang-Undangan Yang Berlaku. *Cendikia : Media Jurnal Ilmiah Pendidikan*, vol. 13, no. 2, hal. 217–231
- [4] I. Wideasanti (2018) Faktor Dominan Penghambat Sertifikasi Kopetensi dalam Persepsi Tenaga Terampil di Sektor Konstruksi. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, hal. 1-5
- [5] Ester Lumempow Ariestides T Dundu dan T. Tj Arsjad (2018) Study Penerapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) Bidang K3 (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Unsrat). *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 12, hal. 1085–1094
- [6] E. Nabila dan A. Winanti (2021) Perlindungan Hukum Bagi Pekerja Terkait Pengakuan Kompetensi Kerja. *Jurnal Widyaiswara Indonesia*, vol. 8, no. 5, hal. 1023-1029
- [7] Menteri Ketenagakerjaan (2016) Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 2 Tahun 2016 Sistem Standardisasi Kompetensi Kerja Nasional
- [8] Pemerintah Republik Indonesia (2018) Peraturan Pemerintah Nomor 10 Tahun 2018 tentang Badan Nasional Sertifikasi Profesi
- [9] Melati Indri Hapsari (2016) Program Kursus Dan Pelatihan Terkait Dengan Jenis Keterampilan, Pengkajian dan Penempatan Lulusan Sertifikasi. *Journal of Nonformal Education*, vol. 2, no. 1, hal. 71-82
- [10] W. Setyowati, C. Nuswandari, Ga. Lisiantara, dan M. Septi Anggraeni (2017) Pembentukan Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) Sebagai Sarana Peningkatan Sumber Daya Manusia Kompeten. *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat (PENAMAS)*, vol. 1, no. 1, hal. 67–74
- [11] Singgih Afifa Putra, dkk (2020) Dampak Pelatihan Berbasis Kompetensi Bagi Guru Kejuruan Bidang Kemaritiman di Indonesia. *Jurnal Widyaiswara Indonesia*, vol. 1, no. 3, hal. 120–129, 2020.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Perbandingan Penentuan Dosis TLD dengan Menggunakan Metode Pengurangan Dosis Latar dan *Residual Dose*

Melly Risky Sarpriani¹, Ratih Kusuma Putri¹, Yanni Andriani¹, Muhammad Muhyidin Farid¹

¹*Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN, Tangerang Selatan (BAPETEN)*

Korespondensi penulis:

melly.sarpriani@brin.go.id

rati012@brin.go.id

yanni.andriani@brin.go.id

muha123@brin.go.id

Abstrak

Thermoluminescence Dosimetry (TLD) digunakan untuk mengukur radiasi pengion (dosis) yang diterima seseorang di tempat kerja (dosimetri personel) atau di lokasi tertentu (dosimetri lingkungan). Jumlah intensitas cahaya yang dipancarkan dapat direkam dan digunakan untuk menghitung dosis yang disimpan pada dosimeter yang mengandung kristal *thermoluminescence*. Besarnya intensitas cahaya yang dipancarkan, tergantung dari jumlah paparan radiasi yang diterima. Tipe TLD-0110 terbuat dari *litium fluoride* (LiF:Mg, Ti). TLD jenis ini adalah TLD yang sering digunakan untuk pemantauan dosis radiasi personel di lingkungan KNS (Kawasan Nuklir Serpong). Tujuan dari penelitian ini adalah menyelidiki metode untuk meningkatkan akurasi pengukuran dengan menerapkan koreksi dosis residu spesifik TLD atau menggunakan koreksi dari dosis latar (TLD Blanko). Dosis residu adalah dosis yang diterima seseorang dari sumber tertentu yang dapat diperkirakan atau diukur dengan mempertimbangkan tindakan perlindungan yang dilakukan untuk sumber, rute, atau orang tersebut sedangkan TLD Blanko digunakan untuk mengukur dosis radiasi yang berasal dari paparan radiasi latar (radiasi *background*) yang ada di lokasi tersebut. Koreksi dari kedua metode secara kualitatif kira-kira setara. Metode perhitungan untuk evaluasi pembacaan TLD harus dapat ditingkatkan secara signifikan, karena proteksi radiasi harus selalu dirancang sedemikian rupa untuk meminimalkan paparan radiasi terhadap pekerja. Dosimeter idealnya hanya merekam dosis rendah dari latar belakang alam (TLD Blanko), faktanya setiap pekerja radiasi mungkin memiliki tingkat paparan radiasi yang berbeda tergantung pada beban kerja yang mereka dapatkan. Metode ini menganggap bahwa semua pekerja memiliki dosis latar yang sama, yang dapat menyebabkan kesalahan dalam menilai risiko kesehatan sebenarnya. Penerapan koreksi dosis residu yang lebih akurat dan sesuai dengan dosis latar yang diterima oleh pekerja radiasi, berdasarkan beban kerja yang sebenarnya, dapat membantu meningkatkan tingkat akurasi pengukuran dosis pekerja. Hal ini berlaku untuk sebagian besar kartu, oleh karena itu koreksi dosis sisa akan meningkatkan pengukuran sejumlah besar kartu.

Kata kunci: Thermoluminescence Dosimeter (TLD), TLD Blanko, dosis sisa, metode pengukuran.

Abstract

Thermoluminescence Dosimetry (TLD) is used to measure the ionizing radiation (dose) that a person receives at work (personnel dosimetry) or at a specific location (environmental dosimetry). The total intensity of the emitted light can be recorded and used to calculate the dose stored on a dosimeter containing a thermoluminescent crystal. The amount of light intensity emitted depends on the amount of radiation exposure received. Type TLD-0110 is made of lithium fluoride (LiF:Mg, Ti). This type of TLD is a TLD that is often used for monitoring personnel radiation doses in the KNS (Serpong Nuclear Area). The aim of this research is to investigate methods to improve measurement accuracy by applying TLD-specific residual dose correction or using background dose correction (Blank TLD). Residual dose is the dose received by a person from a certain source that can be estimated or measured by considering the protective measures taken for the source, route or person, while TLD Blank is used to measure radiation dose that comes from exposure to background radiation (background radiation). at that location. The corrections of the two methods are qualitatively equivalent.

Calculation methods for evaluating TLD readings should be significantly improved, because radiation exposure should always be designed in such a way as to minimize radiation exposure to workers. Dosimeters should ideally only record low doses from natural background (TLD Blanko), in fact each radiation worker may have a different level of radiation exposure depending on the workload they have. This method assumes that all workers have the same background dose, which can lead to errors in assessing true health risks. Applying a residual dose correction that is more accurate and in accordance with the dose level received by radiation workers, based on the actual workload, can help increase the accuracy of worker dose measurements. This is true for most cards, therefore the residual dose correction will increase the size of a large number of cards.

Keywords : *Thermoluminescence Dosimeter (TLD), Blank TLD, residual dose, measurement method.*

Pendahuluan

Thermoluminescence Dosimetry (TLD) merupakan salah satu TLD radiasi pengion, terbuat dari *litium fluoride* (LiF:Mg,Ti) yang diproduksi oleh *Thermo Scientific* dengan nama TLD-0110 digunakan dalam dosimetri individu pekerja yang terpapar radiasi pengion di Kawasan Nuklir Serpong (KNS). *Thermoluminisence (TL)* menyimpan energi dari radiasi pengion, yang kemudian dilepaskan selama proses pembacaan dengan memanaskan TLD [1]. Cahaya yang dipancarkan dapat diplot dalam bentuk *glow curve* (GC), dimana intensitas cahaya yang dipancarkan diplot terhadap waktu yang telah berlalu [2]. Setiap dosimeter pada TLD-0110 terdiri dari dua *chip* berlapis teflon yang terpisah [3]. Pemanasan dilakukan dengan aliran nitrogen panas, yang memanaskan TLD dari 50 hingga 300 °C selama 13,3 detik [4]. Dosimeter digunakan dalam proses dosimetri rutin Laboratorium Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan (PDPL), di mana beberapa ratus dosimeter perlu dibaca setiap bulan. Makalah ini menyelidiki metode untuk meningkatkan akurasi pengukuran dengan menerapkan koreksi dosis residu spesifik TLD. Berlawanan dengan praktik rutin di Laboratorium PDPL, di mana nilai hasil bacaan dosis pekerja radiasi dikurangi oleh dosis latar dari TLD Blanko. TLD Blanko digunakan untuk mengukur dosis radiasi yang berasal dari paparan radiasi latar (radiasi *background*) yang ada di lokasi tersebut. Metode yang diperkenalkan dalam makalah ini menggunakan metode pembacaan pengurangan dosis bacaan pertama dikurangi dengan dosis latar dan metode pembacaan kedua, mengikuti pembacaan asli untuk hitung dan dikurangi dosis sisa, yang hasilnya akan berbeda untuk setiap TLD. Akan terlihat perbandingan perhitungan koreksi menggunakan dosis latar alami dengan dosis sisa. Dosis residu adalah dosis yang diterima seseorang dari sumber tertentu yang dapat diperkirakan atau diukur dengan mempertimbangkan tindakan perlindungan yang dilakukan untuk sumber, rute, atau orang tersebut [5].

Kelemahan menggunakan metode pengurangan dari dosis latar TLD Blanko adalah tidak mempertimbangkan perbedaan beban kerja karena setiap pekerja radiasi mungkin memiliki tingkat paparan radiasi yang berbeda tergantung pada beban kerja yang didapatkan. Metode ini menganggap bahwa semua pekerja memiliki dosis latar yang sama, yang dapat menyebabkan pengukuran dosis yang diterima kurang akurat dan kesalahan dalam menilai risiko kesehatan sebenarnya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan akurasi perhitungan dosis pekerja radiasi menggunakan perhitungan dosis sisa. Metode ini mempertimbangkan beban kerja yang diperoleh pekerja radiasi, sehingga dosis latar disesuaikan dengan paparan radiasi yang sesuai dengan beban kerja individu. Penerapan metode baru yang lebih akurat dan sesuai dengan dosis latar yang diterima oleh pekerja radiasi, berdasarkan beban kerja yang sebenarnya, dapat membantu meningkatkan keselamatan pekerja radiasi dan mengurangi risiko paparan berlebih.

Metode

Metode pada penelitian ini adalah korelasi antara pembacaan pertama dan pembacaan kedua (pembacaan ulang) dari sebuah TLD. Penghilangan dosis sisa di Laboratorium Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan (PDPL) dilakukan secara otomatis dengan cara *annealing*. Jika nilai hasil *annealing* lebih besar dari 1 nC, maka TLD akan di *annealing* ulang hingga mencapai kurang dari 1 nC. *Annealing* adalah proses pemanasan TLD untuk menghilangkan sisa elektron dalam perangkat elektron pada bahan TLD [6]. TL pada umumnya dan eksitasi elektron khususnya menjadi proses stokastik, bahkan pada suhu yang relatif tinggi, perangkat stabil dapat menahan elektron bahkan setelah pembacaan [3]. Oleh karena itu, metode yang disajikan dalam makalah ini hanya menggunakan pembacaan ulang pertama sebagai perkiraan kontribusi dosis residu. Peningkatan yang

dibawa oleh metode ini (Metode 2) harus ditunjukkan dengan membandingkannya dengan yang saat ini diterapkan untuk dosimetri rutin (Metode 1).

1. Metode 1

Evaluasi TLD rutin yang dilakukan di laboratorium PDPL menerapkan faktor spesifik pembaca (RCF - Faktor Kalibrasi Pembaca) dan faktor spesifik TLD (ECC - Koefisien Koreksi Elemen) dan mengurangi nilai konstanta dari hasil pembacaan dari TLD Blanko (radiasi latar alami), seperti pada perhitungan dibawah ini:

$$Dosis = B - B_0 \quad (1)$$

Keterangan: B = Dosis Bacaan (mSv)
B₀ = Dosis Bacaan Blanko (mSv)

2. Metode 2

Setelah penerapan RCF dan ECC, metode ini mengurangi pembacaan ulang setiap TLD. Pada metode 2 ini, perhitungan evaluasi menggunakan pengurangan dari hasil pembacaan kedua (*residual dose*) sebagai asumsi radiasi latar alami (metode 1). Perhitungan evaluasi dosis berdasarkan metode 2, seperti dibawah ini:

$$Dosis = B - B_r \quad (1)$$

Keterangan: B = Dosis Bacaan (mSv)
B_r = Dosis Sisa / *Residual Dose* (mSv)

ECC untuk semua TLD yang digunakan sebelumnya telah dihitung menggunakan iradiasi kalibrasi dari laboratorium dosimetri standar. RCF dihitung menggunakan beberapa TLD yang disinari dengan dosis referensi dari laboratorium dosimetri standar dan kemudian dibaca bersama dengan TLD lainnya. Semua TLD yang digunakan dalam perbandingan kedua metode tersebut menggunakan material LiF:Mg,Ti sebagai TL dan diproduksi oleh *Thermo Scientific* dengan nama TLD-0110. Dosimeter itu sendiri adalah model dua elemen standar, di mana bahan TL digunakan dalam bentuk chip terbungkus teflon, sedangkan TLD *Reader* adalah alat yang mengubah 2 sinyal TLD menjadi Hp(d) setara dosis pribadi [7].

3. Data

Untuk memungkinkan perbandingan kedua metode, beberapa kumpulan TLD diiradiasi dengan dosis foton rendah mulai dari 200 gU menggunakan sumber Sr-90. TLD tambahan dibiarkan tidak disinari untuk dapat menghitung sebagai TLD Blanko (radiasi latar alami).

1) Metode 1

Batch 1 seluruhnya terdiri dari TLD yang sudah diiradiasi berjumlah 15 TLD. Pada metode 1 menyertakan 2 kartu tambahan yang tidak diiradiasi sebagai TLD Blanko.

2) Metode 2

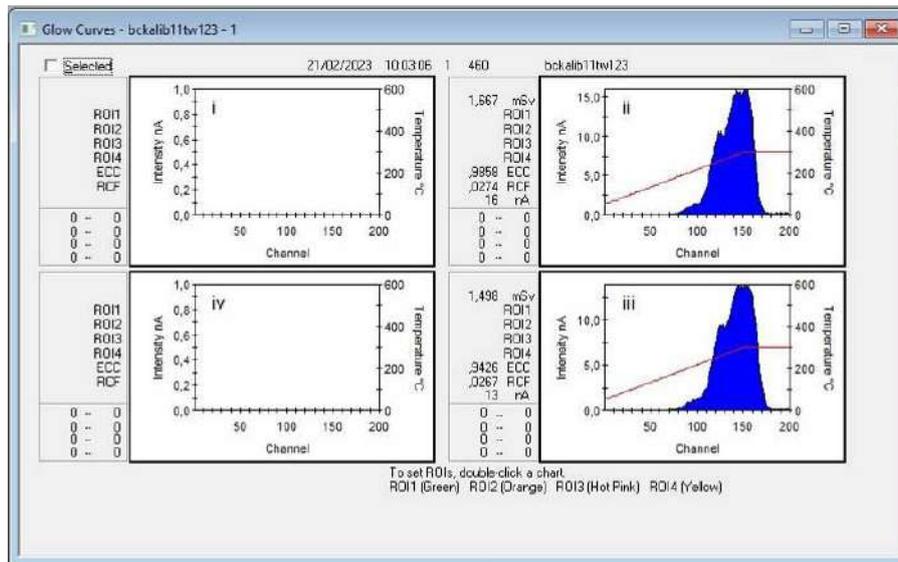
Menggunakan TLD yang sama dari *batch* pertama, *batch* kedua tidak menyertakan kartu tambahan yang tidak diiradiasi. Namun untuk pembacaan dilakukan 2 kali untuk mengetahui *residual dose* dengan jeda waktu selama pembacaan *batch* pertama selesai sebelum pembacaan kedua.

Untuk beberapa perbandingan antara kedua metode (yaitu perhitungan respon dosis), latar belakang alami, yang dihitung dari TLD yang tidak disinari (dengan masing-masing metode), dikurangi. Seperti pada perhitungan 1 dan 2.

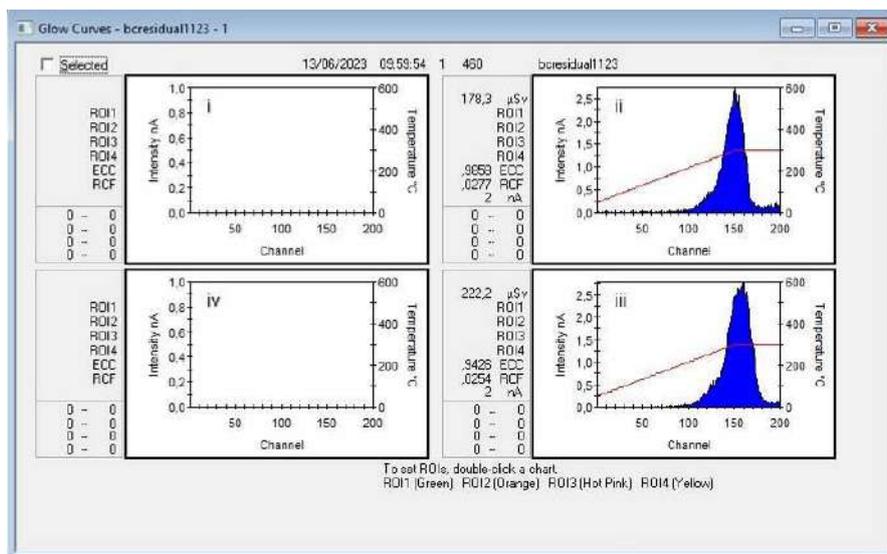
Hasil dan Pembahasan

Pengukuran seperti metode 1 digunakan untuk mengevaluasi pembacaan TLD pekerja dengan koreksi pengurangan dari hasil TLD Blanko. Pengukuran seperti ini adalah pengukuran yang diaplikasikan di Laboratorium PDPL untuk pembacaan rutin dosis TLD pekerja radiasi di KNS. Sedangkan, pengukuran seperti metode 2 adalah metode baru yang akan diuji kualitas serta akurasi. Pengukuran metode 2 ini menggunakan koreksi pengurangan dari pembacaan kedua. Pembacaan kedua ini digunakan untuk mengetahui dosis sisa yang terdapat di TLD sebagai faktor koreksi. Gambar 1 menunjukkan, sebagai contoh, kurva pijar (*glow curve*) pembacaan pertama dari TLD yang diperoleh setelah iradiasi. TLD diiradiasi menggunakan sumber Sr-90 sebesar 200 gU, dengan

menerapkan nilai RCF dan ECC. Gambar 2 menunjukkan, sebagai contoh, kurva pijar (*glow curve*) pembacaan kedua dari TLD yang sudah dibaca di pembacaan pertama.



Gambar 1. *Glow curve* pembacaan pertama TLD setelah diiradiasi



Gambar 2. *Glow curve* pembacaan kedua TLD untuk mengetahui dosis sisa / *residual dose*

Besaran iradiasi yang diketahui adalah untuk memperkirakan nilai dosis dari pembacaan ulang dan untuk mengetahui kualitas dari masing – masing metode. Karena dengan mengetahui dosis iradiasi maka dapat diketahui metode mana yang paling akurat untuk evaluasi dosis TLD yang diterima oleh pekerja radiasi yaitu dosis yang mendekati dengan dosis iradiasi.

1. Hasil Evaluasi Bacaan TLD menggunakan Metode 1

Jumlah TLD yang diiradiasi berjumlah 15 buah. TLD tambahan berjumlah 2 buah tidak diiradiasi untuk dapat menghitung kontribusi dari latar belakang alam atau yang biasa disebut dengan TLD Blanko. Hasil keseluruhan diberikan pada Tabel 1. Ini adalah nilai yang dihasilkan oleh metode pertama, dengan pengurangan latar belakang alami (TLD Blanko).

Tabel 1. Hasil bacaan dosis dengan metode 1

Nomor Barcode	Dosis Bacaan 1 (mSv)	Hasil Dosis (mSv)	Blanko	Dosis Sebenarnya (mSv)
424	1.6685	0.12		1.5485
1791	1.6411	0.12		1.5211
141	1.6257	0.12		1.5057
352	1.6561	0.12		1.5361
421	1.6753	0.12		1.5553
460	1.6667	0.12		1.5467
426	1.7013	0.12		1.5813
1787	1.6421	0.12		1.5221
249	1.6305	0.12		1.5105
179	1.6743	0.12		1.5543
1687	1.655	0.12		1.535
319	1.7502	0.12		1.6302
1799	1.6858	0.12		1.5658
458	1.6715	0.12		1.5515
1598	1.6501	0.12		1.5301

2. Hasil Evaluasi Bacaan TLD menggunakan Metode 2

Metode 2 menggunakan TLD yang sama dengan metode 1 yaitu TLD yang sudah diiradiasi. Namun pembacaan dilakukan 2 (dua) kali, dengan tujuan untuk mengetahui dosis sisa atau dosis residual. Dosis residu muncul misalnya selama pembacaan ulang, yang merupakan prosedur pembacaan kedua yang dilakukan segera setelah yang sebelumnya. Tujuan pembacaan dosis residu ini adalah untuk mengoreksi pengukuran dosis TLD dari pembacaan sebelumnya, jadi untuk metode ini TLD Blanko tidak perlukan. Tabel 3. Ini adalah nilai yang dihasilkan oleh metode kedua, dengan pengurangan dari *residual dose* (dosis sisa) dari pembacaan kedua.

Tabel 2. Hasil bacaan dosis dengan metode 2

Nomor Barcode	Dosis Hasil Bacaan 1 (mSv)	Residual (mSv)	Dose	Dosis Sebenarnya (mSv)
424	1.6685	0.18623		1.48227
1791	1.6411	0.16992		1.47118
141	1.6257	0.17932		1.44638
352	1.6561	0.1792		1.4769
421	1.6753	0.17977		1.49553
460	1.6667	0.17829		1.48841
426	1.7013	0.17866		1.52264
1787	1.6421	0.16757		1.47453
249	1.6305	0.17458		1.45592
179	1.6743	0.17089		1.50341
1687	1.655	0.16737		1.48763
319	1.7502	0.18849		1.56171
1799	1.6858	0.17019		1.51561
458	1.6715	0.183		1.4885
1598	1.6501	0.16845		1.48165

3. Perbandingan Metode 1 dan 2

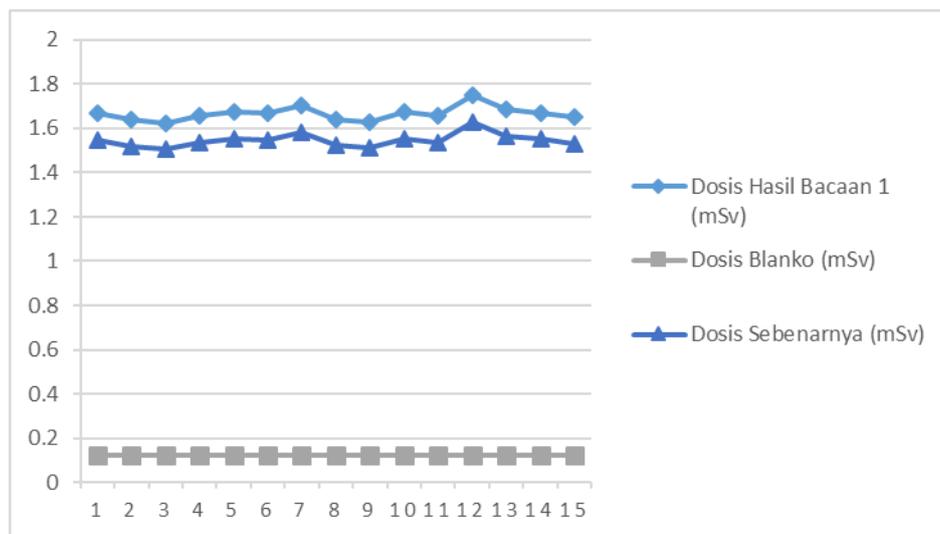
Perbedaan dari kedua metode tersebut adalah pada koreksi pengurangan untuk perhitungan bacaan dosis dari TLD pekerja radiasi. TLD Blanko mempunyai dosis yang lebih kecil karena menurut prosedurnya, TLD ini disimpan di tempat penyimpanan TLD yang jauh dari sumber radiasi dan minimal hanya dibutuhkan dua (2) TLD yang digunakan sebagai TLD Blanko. Sedangkan untuk

perhitungan dengan menggunakan *residual dose* (dosis sisa) masing-masing nilai pembacaan ulang dikurangi sebagai dosis residu individu.

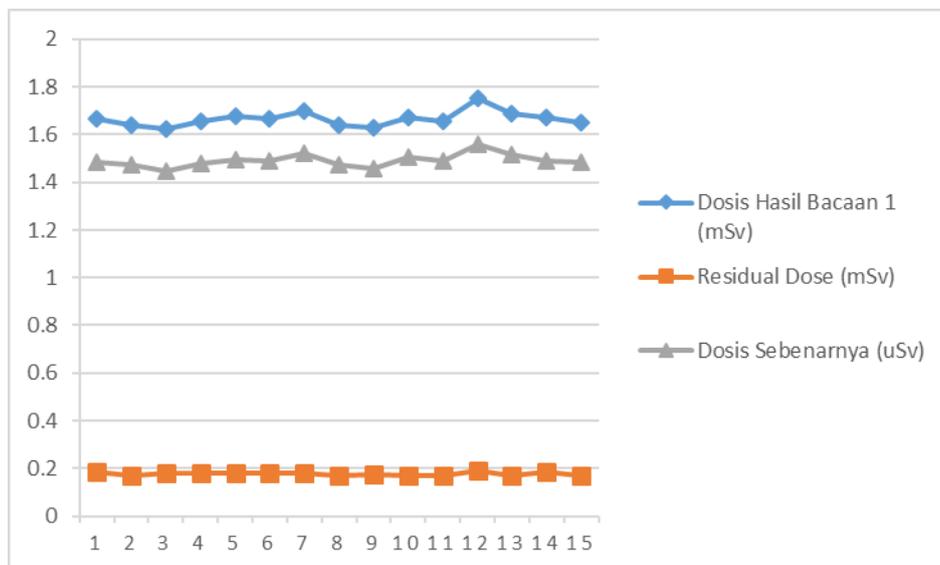
Metode kedua dengan perhitungan *residual dose* secara teori lebih akurat dikarenakan dosis latarnya tidak diasumsikan sama seperti TLD Blanko. Jadi penerimaan dosis sisa sesuai dengan dosis yang diterima oleh pekerja radiasi. Namun, melakukan pembacaan ulang pada setiap prosedur pembacaan tentu saja akan menggandakan waktu yang diperlukan. Apakah ini layak tergantung pada jumlah kartu yang digunakan, atau lebih tepatnya jumlah kartu yang harus dievaluasi setiap bulan.

Pembacaan ulang sebagai *residual dose* dan pembacaan TLD Blanko menghasilkan hasil yang hampir serupa, namun pembacaan ulang lebih memakan waktu untuk diterapkan.

Representasi grafis dari setiap metode diberikan pada Gambar 1 untuk metode pertama, pada Gambar 2 untuk metode kedua.



Gambar 3. Grafik pembacaan dosis menggunakan metode 1



Gambar 4. Grafik pembacaan dosis menggunakan metode 2

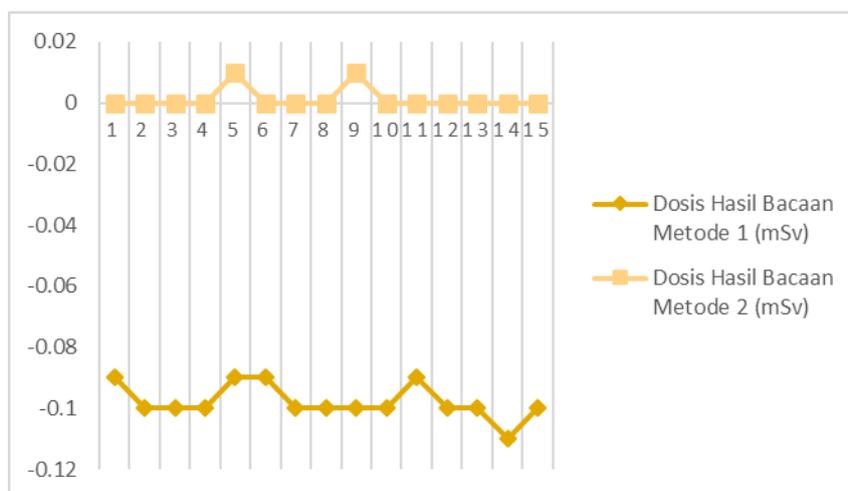
Dosis yang diukur dalam pembacaan kedua menurun, tetapi tidak mencapai 0 (nol). Kartu yang berbeda memiliki dosis nol yang berbeda serta tingkat penurunan dosis sisa yang berbeda. Disimpulkan bahwa besarnya dosis iradiasi berpengaruh terhadap sisa dosis yang tersimpan pada kartu.

Pengurangan lain yang dapat dibuat adalah fakta bahwa bahkan dosis iradiasi nol (0) mSv, tampaknya akan menyebabkan pembacaan ulang bukan nol (0). Hal ini terlihat saat melakukan pembacaan kedua karena kartu telah dikosongkan seluruhnya beberapa detik sebelumnya oleh prosedur pembacaan sebelumnya dan tidak ada iradiasi yang terjadi sejak saat itu, dosis yang diukur seharusnya nol. Namun hal ini tidak terjadi disebabkan oleh arus gelap dari *photomultiplier*. Arus gelap *photomultiplier* adalah arus yang mengalir bahkan tanpa adanya insiden cahaya pada tabung *photomultiplier* [1].

Jika dilihat dari Tabel 1 dan 2, hasil dosis yang dibaca menggunakan kedua metode seperti yang disampaikan diatas, maka perolehan dosis yang mendekati dosis iradiasi adalah cara perhitungan metode 1. Akan tetapi, hal ini berbanding terbalik dengan teori yang menjelaskan bahwa perhitungan menggunakan *residual dose* dari tiap TLD yang digunakan hasilnya akan lebih akurat karena dosis latar yang diterima sesuai dengan TLD yang dipakai oleh pekerja radiasi bersamaan dengan dosis yang mereka terima [1]. Hal ini dapat disebabkan karena TLD yang dipakai untuk penelitian ini bukan TLD baru dan kemungkinan masih terdapat dosis sisa dari iradiasi sebelumnya dan pengaruh arus gelap dari photomultiplier.

4. Hasil Pengukuran Dosis TLD Baru menggunakan Metode 1 dan 2

Hasil yang didapatkan pada perhitungan menggunakan metode 1 dan 2 masih belum sesuai teori. salah satu penyebabnya adalah penggunaan TLD yang tidak baru, karena setiap TLD yang sudah digunakan akan mengalami peningkatan luminesensi karena telah mengumpulkan dosis radiasi dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan TLD baru yang memang tidak diiradiasi sebelum digunakan. Sehingga nilai dosis yang tercatat pada TLD tersebut akan mendekati nol. TLD yang belum diiradiasi akan memiliki tingkat luminesensi awal yang rendah atau bahkan sama sekali tidak bercahaya.



Gambar 5. Grafik pengukuran dosis tld baru menggunakan metode 1 dan 2

Jika dilihat dari gambar 5, pengukuran dosis dengan menggunakan kedua metode hasilnya hampir sama yaitu mendekati nol (0). Namun hasil dengan tingkat akurasi yang tinggi adalah perhitungan dengan metode kedua yaitu pengurangan dengan dosis sisa (*residual dose*). Hal ini dikarenakan, untuk perhitungan dengan metode 1 nilai dari TLD Blanko dianggap sama dan hasil yang diperoleh kurang dari 0, sedangkan untuk perhitungan metode 2 nilai pembacaan kedua berbeda sesuai dengan dosis alam yang diterima oleh TLD baru dan hasil yang diperoleh yaitu 0 (nol) sesuai dengan teori.

Kesimpulan

Koreksi dari kedua metode secara kualitatif kira-kira setara. Perolehan dosis pada penelitian ini menggunakan kedua metode yang mendekati dosis iradiasi adalah cara perhitungan metode 1. Akan tetapi, hal ini berbanding terbalik dengan teori yang menjelaskan bahwa perhitungan menggunakan *residual dose* dari tiap TLD yang digunakan hasilnya akan lebih akurat karena dosis latar yang diterima sesuai dengan TLD yang dipakai oleh pekerja radiasi bersamaan dengan dosis yang mereka terima [1]. Perhitungan pada TLD baru dengan kedua metode juga diperoleh bahwa hasil yang lebih

akurat adalah menggunakan residual dose (metode 2). Hasil yang tidak sesuai pada penelitian ini dapat disebabkan karena TLD yang dipakai untuk penelitian ini bukan TLD baru dan kemungkinan masih terdapat dosis sisa dari iradiasi sebelumnya dan pengaruh arus gelap dari photomultiplier. Karena hasil yang didapat masih berbanding terbalik dengan teori sehingga penelitian ini masih membutuhkan analisa lebih lanjut dan metode perhitungan harus dapat ditingkatkan secara signifikan. Penggunaan fenomena *Phototransfer Thermoluminescence* (PTTL) untuk perhitungan dosis sisa juga dapat menjadi salah satu hal yang harus dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, khususnya untuk perbandingan TL dan PTTL beserta metode perhitungannya. Tingkat akurasi perhitungan penerimaan dosis bagi pekerja radiasi menjadi salah satu hal terpenting karena proteksi radiasi harus selalu dirancang sedemikian rupa untuk meminimalkan paparan radiasi terhadap pekerja, dosimeter idealnya hanya merekam dosis rendah dari latar belakang alam. Sehingga koreksi dosis sisa akan meningkatkan akurasi perhitungan dosis yang diterima oleh pekerja radiasi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh fasilitas riset, dukungan ilmiah serta teknis dari Laboratorium Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan di Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset dan Kawasan Sains dan Teknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Terima kasih kepada seluruh staf di Laboratorium Radiasi Serpong, khususnya rekan-rekan di Laboratorium Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan – BRIN atas bantuan, dukungan serta kerja samanya.

Daftar Pustaka

- [1] G. Wilding, H. Stadtmann, and W. Sprengel, "Accepted Manuscript," 2017, doi: 10.1016/j.radmeas.
- [2] L. Z. Luo, "Long term study of Harshaw TLD LiF - Glow curve peaks and sensitivities," *Radiat. Meas.*, vol. 46, no. 12, pp. 1448–1452, 2011, doi: 10.1016/j.radmeas.2011.06.065.
- [3] Y. S. Horowitz, L. Oster, and I. Eliyahu, "The saga of the thermoluminescence (TL) mechanisms and dosimetric characteristics of LiF:Mg,Ti (TLD-100)," *J. Lumin.*, vol. 214, no. March, p. 116527, 2019, doi: 10.1016/j.jlumin.2019.116527.
- [4] R. Singh and H. S. Kainth, "Effect of heating rate on thermoluminescence output of LiF: Mg, Ti (TLD-100) in dosimetric applications," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 426, no. April, pp. 22–29, 2018, doi: 10.1016/j.nimb.2018.04.025.
- [5] H. Kim, M. C. Kim, J. Lee, I. Chang, S. K. Lee, and J. L. Kim, "Dose re-evaluation in personal dosimetry using the phototransferred thermoluminescence method of LiF:Mg,Cu,Si TLD," *Radiat. Meas.*, vol. 118, no. April, pp. 20–25, 2018, doi: 10.1016/j.radmeas.2018.08.006.
- [6] K. Zhang *et al.*, "Annealing process optimization of 3D coil core based on annealing simulation experiment and thermal mechanical coupling model," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 22, pp. 216–229, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.11.087.
- [7] 'A. Safitri, S. Nurrahmi, and I. U. Mediji, "Journal of Physics and Applied," vol. 1, no. 08, pp. 34–38, 2022.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Tinjauan Infrastruktur Teknis dalam Penyediaan Layanan Kalibrasi *X-Ray Multimeter*

Endang Kunarsih¹, Rusmanto¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif,
BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:
e.kunarsih@bapeten.go.id

Abstrak

Dalam upaya meninjau potensi penyediaan laboratorium kalibrasi *x-ray multimeter* di Indonesia, telah dilakukan serangkaian tahapan peninjauan untuk merumuskan strategi penyediaan laboratorium kalibrasi *x-ray multimeter*. Makalah ini adalah peninjauan tahapan kedua yang merupakan kelanjutan dari makalah Tantangan Penyediaan Layanan Kalibrasi *X-ray Multimeter: Tinjauan Awal*. Makalah ini disusun untuk meninjau kebutuhan teknis yang perlu dipersiapkan dalam upaya membangun laboratorium kalibrasi *x-ray multimeter*. Tinjauan dilakukan berdasarkan telaah pustaka dengan pokok bahasan berfokus pada infrastruktur teknis yang terkait dengan sistem kalibrasi seperti besaran yang mampu diukur, kebutuhan fasilitas, kebutuhan unit kalibrasi dan perlengkapan tambahan, kebutuhan alat dan sumber standar, kemampuan kalibrasi dan kebutuhan kompetensi layanan. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa laboratorium kalibrasi *x-ray multimeter* membutuhkan infrastruktur yang tidak berbeda jauh dengan infrastruktur pada laboratorium kalibrasi peralatan tingkat proteksi maupun tingkat terapi, diantaranya sistem kalibrasi (unit sinar-x, bangku kalibrasi dan perlengkapan pendukung), ruang iradiasi dan ruang kendali, standar sekunder kelas acuan, kualitas radiasi standar, sistem mutu dan kemampuan kalibrasi, dan lainnya.

Kata kunci: kalibrasi, x-ray multimeter, laboratorium kalibrasi.

Abstract

As an effort to review the possibility of providing x-ray multimeter calibration laboratories in Indonesia, a series of reviews have been carried out to formulate a strategy for providing x-ray multimeter calibration laboratories. This paper is the second review which is a continuation of the paper The Challenge of Providing Multimeter X-ray Calibration Services: An Initial Overview. This review was carried out to examine the technical requirements that need to be prepared in an effort to build a multimeter x-ray calibration laboratory. The review was carried out based on a literature review with a focus on technical infrastructure related to calibration systems such as measurable quantities, facility requirements, calibration unit requirements and additional equipment, standard tool and resource requirements, calibration capabilities and service competency requirements. The results of the review show that the x-ray multimeter calibration laboratory requires infrastructure that is not much different from the infrastructure in the calibration laboratory of protective and therapeutic level equipment, including calibration systems (x-ray units, calibration benches and auxiliary equipment), irradiation rooms, and control rooms, reference class secondary standards, radiation quality standards, quality systems and calibration capabilities, and others. A more specific study will be continued to review the projected readiness of LDSS Indonesia to expand its scope of services as well as the potential for LDST Indonesia to upgrade its service capabilities.

Keywords: calibration, x-ray multimeter, calibration laboratory

Pendahuluan

X-ray multimeter adalah sistem dosimeter *solid-state* yang dirancang untuk pengukuran berkas radiologi diagnostik dan mamografi [1]. *X-ray multimeter* digunakan untuk mengukur variabel penting yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, yaitu tegangan puncak, waktu penyinaran, kerma, HVL dan kuat arus [2].

Segmen pengguna *x-ray multimeter* cukup luas, diantaranya pabrikan untuk melakukan uji produk, instalatir untuk melakukan uji fungsi, laboratorium uji kesesuaian (LUK) untuk melakukan uji kesesuaian, BAPETEN untuk kepentingan inspeksi, fasilitas pelayanan kesehatan untuk melakukan kendali mutu internal, institusi pendidikan/lembaga pelatihan untuk keperluan pendidikan, pelatihan atau sertifikasi personel, lembaga penelitian untuk keperluan riset, dan lainnya. Dalam makalah ini tinjauan dibatasi pada *x-ray multimeter* yang digunakan pengujian pesawat sinar-X oleh LUK.

Seiring dengan implementasi regulasi terkait uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, penggunaan alat ukur *x-ray multimeter* untuk pengujian pesawat sinar-X menjadi meningkat. Saat ini jumlah LUK yang ditunjuk oleh BAPETEN per Juni 2023 sebanyak 44 instansi dengan berbagai lingkup layanan [3]. Apabila diasumsikan setiap LUK memiliki 2 (dua) set *x-ray multimeter* maka diperkirakan jumlah *x-ray multimeter* untuk keperluan uji kesesuaian sekitar 88 set dengan merk/model yang beragam.

Untuk memastikan ketertelusuran pengukuran, *x-ray multimeter* harus dikalibrasi secara berkala paling sedikit 1 (satu) kali dalam 2 (dua) tahun, sebagaimana diamanahkan dalam Peraturan BAPETEN (Perbapeten) Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial, Pasal 33 dan 34 [4]. Namun demikian, hingga saat ini di Indonesia belum tersedia laboratorium kalibrasi yang memiliki lingkup layanan kalibrasi *x-ray multimeter*. Kondisi ini menyebabkan proses kalibrasi dilakukan di laboratorium kalibrasi milik pemanufaktur alat tersebut. Hal ini mempengaruhi durasi proses kalibrasi (dari pengiriman hingga penerimaan, ± 3 bulan) dan tingkat biaya yang dianggarkan (15 hingga 40 juta rupiah untuk setiap alat). Durasi waktu kalibrasi tentu akan memperlambat proses layanan, sedangkan tingkat biaya kalibrasi mungkin menyebabkan kenaikan harga untuk layanan pengujian.

Tinjauan awal yang mengidentifikasi jenis laboratorium kalibrasi yang sesuai untuk menyediakan layanan kalibrasi *x-ray multimeter* telah penulis sajikan dalam makalah yang berjudul Tantangan Penyediaan Layanan Kalibrasi *X-ray Multimeter*: Tinjauan Awal [5]. Dalam makalah tersebut disampaikan bahwa kalibrasi *x-ray multimeter* dilakukan oleh LDSS, sehingga LDSS di Indonesia dipandang perlu untuk menambah lingkup layanan, dengan membangun fasilitas baru atau mengembangkan fasilitas yang sudah tersedia sebelumnya. Perluasan lingkup layanan LDSS dapat berimplikasi pada penambahan infrastruktur, sarana prasarana, anggaran, sumber daya lainnya, pertimbangan hukum, dan lainnya, oleh karena itu aspek-aspek yang terkait pengembangan dan perluasan layanan LDSS perlu dipertimbangkan dan dipersiapkan [6].

Makalah ini merupakan kelanjutan dari makalah Tantangan Penyediaan Layanan Kalibrasi *X-ray Multimeter*: Tinjauan Awal. Makalah ini yang disusun dengan tujuan untuk meninjau kebutuhan teknis yang perlu dipersiapkan dalam upaya membangun laboratorium kalibrasi *x-ray multimeter*. Tinjauan dilakukan berdasarkan telaah pustaka dengan pokok bahasan berfokus pada infrastruktur teknis yang terkait dengan sistem kalibrasi seperti besaran yang mampu diukur, kebutuhan fasilitas, kebutuhan unit kalibrasi dan perlengkapan tambahan, kebutuhan alat dan standar, kemampuan kalibrasi dan kebutuhan mutu layanan.

Landasan Teori

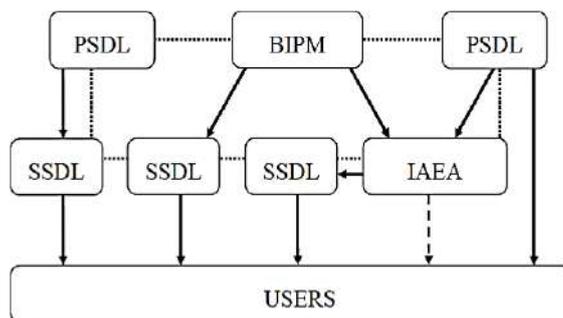
4. Rantai Ketertelusuran Metrologi Radiasi

Metrologi adalah ilmu pengukuran, yang mencakup penentuan secara eksperimental dan teoritis pada tingkat ketidakpastian dalam bidang sains dan teknologi [7]. Metrologi radiasi pengion yang selanjutnya disebut metrologi radiasi merupakan metrologi ilmiah pada bidang radiasi pengion.

Dalam melakukan pengukuran, alat ukur dikategorikan menjadi 3 (tiga) tingkatan, yang bertujuan untuk menjamin ketertelusuran metrologi secara internasional, yaitu [8][7]:

- a) Standar primer. Instrumen dengan kualitas metrologi tertinggi yang memungkinkan penentuan besaran yang diperlukan melalui pengukuran besaran fisik dasar, dan keakuratannya telah diverifikasi dengan perbandingan dengan standar ekivalen dari lembaga lain yang berpartisipasi dalam sistem pengukuran internasional.
- b) Standar sekunder. Instrumen dengan akurasi tinggi dan stabilitas jangka panjang yang dikalibrasi terhadap standar primer atau menggunakan sistem pengukuran menengah.
- c) Standar kerja. Standar sekunder terkalibrasi yang digunakan secara rutin untuk mengkalibrasi atau memverifikasi instrumen pengukuran atau sistem pengukuran pengguna akhir.

Pada bidang metrologi radiasi, terdapat skema ketertelusuran seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 2. Skema ketertelusuran metrologi besaran radiasi

Gambar 1 merupakan representasi sederhana dari sistem pengukuran internasional untuk dosimetri radiasi, dengan keterangan sebagai berikut [8]:

- Panah mewakili arah kalibrasi yaitu memastikan rantai ketertelusuran ke standar pengukuran internasional. Beberapa Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) dapat tertelusur ke Laboratorium Dosimetri Standar Primer (LDSP) atau langsung ke *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) jika tidak tersedia standar primer nasional di negaranya. Namun banyak juga anggota jaringan LDSS yang tertelusur ke standar primer melalui IAEA.
- Garis putus-putus menunjukkan perbedaan level standar primer dan sekunder.
- Panah putus-putus menunjukkan kalibrasi instrumen pengguna (*user*) ke IAEA bagi negara yang tidak memiliki LDSS atau memiliki sumber daya yang sangat terbatas.

Pengguna (*users*) dalam konteks makalah ini adalah pengguna *x-ray multimeter*, yaitu Lembaga Uji Kesesuaian (LUK). Dalam skema ini tidak dikenal laboratorium standar tersier seperti halnya pada Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 1 Tahun 2006.

Penerapan metrologi radiasi dibedakan menjadi 3 (tiga) tingkatan, yaitu terapi, radiologi diagnostik, dan proteksi radiasi [8]. Dalam hal akurasi pengukuran, tingkat terapi tentu mensyaratkan akurasi tertinggi, kemudian diikuti oleh tingkat radiologi diagnostik, dan terakhir adalah tingkat proteksi radiasi. Peralatan *x-ray multimeter* dalam klasifikasi ini dikategorikan sebagai instrumen pengukur tingkat radiologi diagnostik.

5. Laboratorium Dosimetri

Laboratorium dosimetri di Indonesia diklasifikasikan menjadi 3 (tiga), sebagaimana diatur dalam Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 1 Tahun 2006, yaitu [9]:

- Laboratorium Dosimetri Standar Primer (LDSP).
- Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS).
- Laboratorium Dosimetri Standar Tersier (LDST).

Saat ini laboratorium dosimetri di Indonesia adalah jenis LDSS dan LDST yang masing-masing memiliki tanggung jawab memberikan layanan kalibrasi alat ukur radiasi.

Laboratorium kalibrasi alat ukur radiasi yang tersedia di Indonesia sebanyak 5 (lima) laboratorium yang telah beroperasi, 1 (satu) laboratorium sedang dalam tahap konstruksi, dan 1 (satu) laboratorium sedang dalam proses peralihan badan hukum. Dari 5 (lima) laboratorium yang telah beroperasi dan 1

(satu) laboratorium yang sedang dalam tahap konstruksi, semuanya memiliki kemampuan layanan untuk kalibrasi instrumen pengukur tingkat proteksi radiasi (antara lain surveimeter, monitor area, monitor kontaminasi, dosimeter personal), dengan sumber radiasi standar bervariasi antara lain Cs-137 dan Co-60 dengan berbagai aktivitas yang berbeda [10]. Lima laboratorium kalibrasi tersebut termasuk dalam klasifikasi LDST berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2006.

Di Indonesia memiliki 1 (satu) LDSS namun saat makalah ini disusun laboratorium sedang dalam proses peralihan badan hukum. Sebagai catatan, selama kondisi peralihan badan hukum ini belum selesai maka status keanggotaan LDSS Indonesia dalam IAEA SSDL Network Charter masih belum dapat dipastikan, karena keanggotaan masih menggunakan badan hukum yang lama.

Layanan (tugas dan fungsi) utama LDSS, menurut rekomendasi IAEA melalui SSDL Network Charter, adalah memastikan besaran dosimetri radiasi tertelusur hingga pengguna akhir melalui kalibrasi alat ukur, dan membantu penggunaan hasil kalibrasi sesuai level penerapannya. Anggota jaringan LDSS harus menyediakan layanan kalibrasi dan sertifikat kalibrasi untuk instrumen pengukur tingkat terapi radiasi, radiologi diagnostik, proteksi radiasi, atau kombinasi dari semuanya [8], [11]. Selain itu, laboratorium dosimetri perlu mengikuti rantai ketertelusuran dosimetri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 [8].

Berdasarkan rekomendasi tersebut, *x-ray multimeter* sebagai peralatan pengukur tingkat radiologi diagnostik akan dikalibrasi oleh LDSS. Namun demikian, LDSS di Indonesia belum memiliki lingkup layanan kalibrasi instrumen pengukur tingkat radiologi diagnostik.

		External beam Radiation therapy	Brachytherapy	Nuclear Medicine	Diagnostic Radiology	Radiation protection
GENERAL	Standards for dose quantities	ICRU 85a (2011) [10], ICRU 90 (2014) [11]				ICRU Report 74 (2005) [15]
	Standards for dosimeters	ICRU 64 (2001) [12]	ICRU 72 (2004) [13]	ICRU 67 (2002) [14]	IEC 61674:2012 [21] IEC 60580:2000 [22]	ICRU 51 (1993) [16] IEC 60846-1:2009 & IEC 60846-2:2015 [23, 24] IEC 61526: 2010 [25]
SSDL CALIBRATIONS	Comparisons	Key and supplementary comparisons KCD				
	Code of Practice for SSDs	IAEA TRS 469 [2]	IAEA TecDoc 1274 [26] ICRU 72 (2004) [13]	IAEA TRS 454 [27]	IAEA TRS 457 [3] IEC 61267:2005 [28]	IAEA SRS 16 [4] ISO 4037 [29-32] ISO 29661:2012 [33]
FIELD MEASUREMENTS	External check	IAEA comparisons and dose audits				
	Code of Practice for end user	IAEA TRS 398 [34]	IAEA TecDoc 1274 [26] ISO 21439:2009 [35]	IAEA TRS 454 [27]	IAEA TRS 457 [3] ICRU 87 [36]	IAEA comparisons and dose audits
PATIENT DOSIMETRY	External check	Regional or national dose audits				
	Code of Practice patient/personal dosimetry	ICRU 50 (1993) [37] ICRU 62 (1999) [38] ICRU 83 (2010) [39]	ICRU 38 (1985) [40] ICRU 58 (1997) [41] ICRU 89 (2013) [42]		IAEA TRS 457 [3], ICRP 95 (2004) [43]	ISO 27048:2011 [44]

Gambar 3. Panduan internasional untuk rantai dosimetri radiasi

6. Kalibrasi

Dokumen IAEA *Glossary* disebutkan bahwa kalibrasi merupakan serangkaian pengoperasian yang menetapkan, dalam kondisi tertentu, hubungan antara nilai besaran yang ditunjukkan oleh alat ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh ukuran bahan atau bahan acuan, dengan nilai terkait yang direalisasikan oleh standar [12]. Sedangkan menurut BPIM, kalibrasi merupakan pengoperasian yang, dalam kondisi tertentu, pada langkah pertama, menetapkan hubungan antara nilai besaran dengan ketidakpastian pengukuran yang disediakan oleh standar pengukuran dan indikasi yang sesuai dengan ketidakpastian pengukuran terkait dan, pada langkah kedua, menggunakan informasi ini untuk menetapkan hubungan guna memperoleh hasil pengukuran dari suatu indikasi [7].

Kalibrasi diperlukan untuk memastikan kesetaraan hasil pengukuran yang dilakukan oleh berbagai pihak yang berkepentingan. Proses kalibrasi adalah proses untuk menunjukkan kebenaran konvensional atas alat ukur/bahan ukur dengan membandingkannya terhadap alat ukur standar yang mampu telusur ke standar nasional atau internasional untuk satuan ukuran atau bahan acuan tersertifikasi. Dengan demikian dalam proses kalibrasi *x-ray multimeter* akan melibatkan sumber radiasi standar sebagai pengkalibrasi dengan kemampuan yang mencakup pengukuran besaran yang diperlukan dalam pengujian pesawat x-ray.

Hasil dan Pembahasan

1. Besaran yang mampu diukur [13] dan budget ketidakpastian pengukuran [14], [15]

X-ray multimeter merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur variabel penting pada pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional (khususnya untuk keperluan uji kesesuaian), diantaranya akurasi tegangan, akurasi waktu penyinaran, reproduksibilitas, linearitas, dan lainnya [4]. Oleh karena itu laboratorium kalibrasi untuk *x-ray multimeter* setidaknya mampu mengukur besaran-besaran berikut ini:

- *Air kerma* (K), satuan Gy, dengan standar yang biasanya disediakan oleh LDSP
- *Air kerma rate*
- *Kerma area product* (P_{KA}) dan *kerma length product* (P_{KL}), berdasarkan pengukuran kerma dan pengukuran panjang yang dapat dilacak. Hingga saat ini hanya 3 (tiga) laboratorium untuk P_{KA} dan hanya 2 (dua) laboratorium untuk P_{KL} yang memiliki CMC terdaftar di BIPM KCDB [16].
- *Voltage* atau Tegangan puncak
- *Exposure time*
- *Current time product*
- *Total filtration* dan HVL

Setelah kalibrasi selesai, hasil ukur akan dievaluasi termasuk evaluasi ketidakpastian pengukuran. Laboratorium kalibrasi harus mencantumkan ketidakpastian pengukuran dalam sertifikat kalibrasi yang diterbitkan [17]. Ketidakpastian pengukuran merupakan ekspresi dispersi statistik dari nilai-nilai yang diberikan kepada suatu kuantitas yang diukur [7].

Laboratorium harus mengembangkan prosedur untuk memperkirakan ketidakpastian kalibrasi dengan mempertimbangkan semua komponen penting dari ketidakpastian tersebut. Setidaknya komponen-komponen ketidakpastian yang lebih dari 0,1% harus dimasukkan dalam *budget*. Sedangkan komponen ketidakpastian di bawah 0,1% harus dievaluasi dan dipantau agar tetap di bawah 0,1%. Faktor kalibrasi dari detektor kamar ionisasi kelas acuan biasanya memberikan kontribusi terbesar terhadap ketidakpastian. Komponen lain yang mungkin lebih dari 0,1% diantaranya stabilitas kamar ionisasi acuan, kualitas radiasi, keseragaman sinar-X, posisi kamar ionisasi, faktor kalibrasi elektrometer (jika dikalibrasi secara terpisah).

Komponen lain yang harus dievaluasi adalah suhu dan tekanan sekitar, keterulangan indikasi dosimeter standar dan dosimeter pengguna, resolusi dosimeter pengguna, kebocoran, saturasi, linearitas elektrometer, dan lainnya. Ketidakpastian gabungan di bawah 3% ($k=2$, $p=0,95$) seharusnya dapat dicapai.

2. Fasilitas/ruangan [6], [18]

Proses kalibrasi *x-ray multimeter* membutuhkan proses penyinaran menggunakan unit sinar-X, dengan demikian pada laboratorium diperlukan fasilitas ruangan berikut:

- Ruang penyinaran (iradiasi);
- Ruang kendali, bersebelahan dengan ruang iradiasi, untuk panel kendali dan sistem akuisisi data;
- Ruang untuk pengukuran elektronik dan pengecekan fisik lainnya (misalnya memeriksa dan menyiapkan dosimeter untuk kalibrasi);
- Ruang penyimpanan peralatan dan bahan untuk kalibrasi;
- Ruang kantor untuk pekerja dengan infrastruktur teknologi informasi yang sesuai (yaitu PC, printer, dan koneksi jaringan).

Setidaknya satu ruang iradiasi dan satu ruang kendali harus tersedia untuk keperluan kalibrasi.

Proses kalibrasi melibatkan penggunaan radiasi pengion, oleh karena itu ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi serta keamanan sumber menjadi persyaratan yang harus dipenuhi. Akses ke ruang iradiasi, yang diklasifikasikan sebagai daerah pengendalian, dibatasi untuk memastikan keselamatan dan keamanan. Di daerah pengendalian, tindakan proteksi radiasi dan ketentuan keselamatan diperlukan untuk mengontrol paparan normal dan untuk mencegah paparan potensial. Ruang kendali diklasifikasikan sebagai daerah pengawasan. Daerah pengendalian dan daerah pengawasan diberi label dan tanda keselamatan yang sesuai di pintu masuk.

Ukuran ruangan iradiasi harus sesuai untuk menghindari hamburan dari objek lain (dinding, langit-langit, lantai, bangku kalibrasi), oleh karena itu, ruang iradiasi sebaiknya memiliki ukuran minimal panjang 5 m, lebar 4 m dan tinggi 3 m.

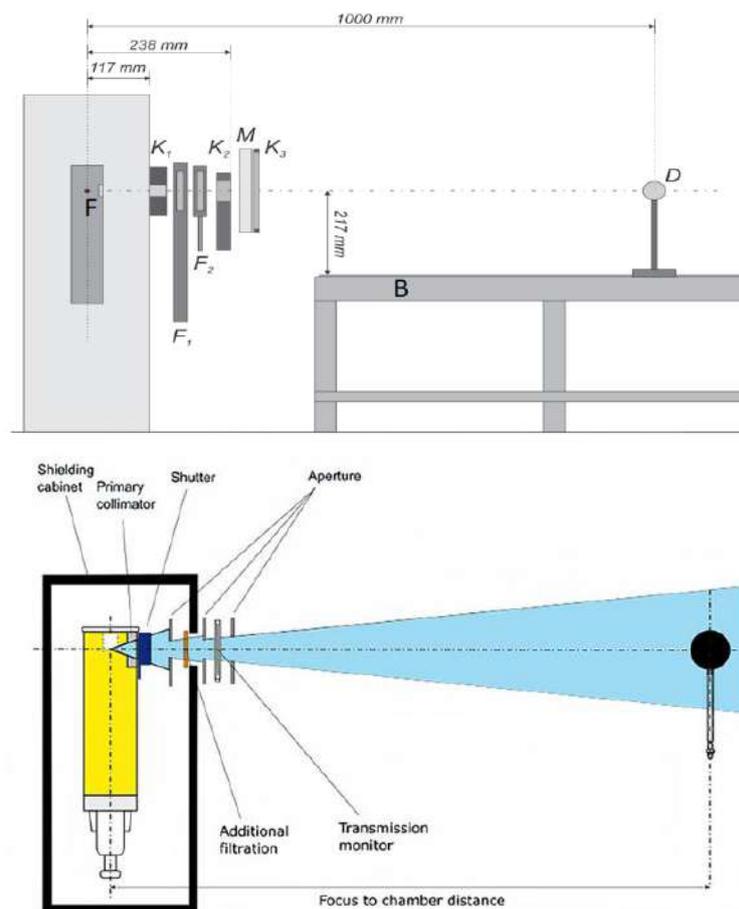
Kondisi lingkungan ruang iradiasi harus dipantau dan dikendalikan karena di dalam ruang tersebut terdapat detektor yang sangat dipengaruhi kestabilannya oleh suhu dan tekanan. Suhu yang diperbolehkan antara 18 °C hingga 24 °C dengan perubahan suhu tidak lebih dari 1 °C/jam. Generator unit sinar-X dan sistem pendingin dapat menyebabkan pemanasan ruangan yang signifikan. Oleh karena itu, sebaiknya generator berada di ruangan terpisah yang bersebelahan dengan ruang iradiasi, untuk menghindari kemungkinan perubahan suhu yang signifikan.

3. Unit sinar-X, bangku kalibrasi dan perlengkapan tambahan [6]

Unit iradiasi sinar-X terdiri dari tabung sinar-X, generator beserta sistem pendingin dan panel kontrol, *housing* dan *shutter*, dan sistem kolimasi. Contoh diagram pengaturan sistem kalibrasi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 3.

Sinar-X memiliki rentang energi yang besar dan spektrum luas. Pada sistem kalibrasi sinar-X, kualitas radiasi (dan spektrum) dapat disesuaikan dengan mengubah tegangan tabung dan/atau menambah filtrasi. Berikut beberapa ketentuan yang digunakan:

- Bahan anoda tergantung pada aplikasinya.
- Sudut anoda tidak boleh lebih besar dari 27° [15] atau lebih kecil dari 9° [19]
- Sebaiknya menggunakan pendingin cair pada anoda.
- Filtrasi inheren lebih rendah dari 2,5 mmAl [15], [19]
- Filter harus memiliki kemurnian 99,9%.
- Ketebalan filter harus diketahui dalam 0,01 mm (filter untuk pengukuran HVL)
- Riak (*ripple*) harus di bawah 10 % (4 % untuk mamografi) [19]
- Bukaan (*aperture*) harus dibangun dengan sudut bukaan yang sesuai [15]



Gambar 4. Ilustrasi tabung sinar-X dan penyiapan kalibrasi [13]

Keterangan:

F = fokus; K₁, K₂, K₃ = kolimator; F1 = filter tambahan; F2 = roda filter;
M = *monitor chamber*; B = bangku kalibrasi; D = detektor

Bangku kalibrasi digunakan untuk menempatkan dosimeter acuan dan dosimeter yang dikalibrasi ke dalam berkas radiasi utama dengan posisi yang akurat. Bangku kalibrasi dapat dipindahkan sepanjang rel di depan iradiator secara paralel dengan pusat berkas, sehingga jarak bidang pengukuran dari sumber atau titik fokus sinar-X dapat disesuaikan. Kisaran jarak tipikal untuk kalibrasi dosimeter radiologi diagnostik adalah 1 m. Bangku, meja dan konstruksi dudukan harus memastikan hamburan radiasi minimum dari berkas utama (misalnya bagian logam dari bangku dan meja silang tidak ditempatkan pada berkas radiasi utama dan dudukan probe harus terbuat dari bahan ringan).

Perlengkapan tambahan untuk penentuan posisi dapat menggunakan laser, teleskop optik, mikrometer batang, dan kaliper digital, sedangkan untuk membaca tampilan instrumen selama kalibrasi dapat menggunakan kamera dengan lensa fokus otomatis yang dipasang di bangku kalibrasi.

4. Kualitas radiasi standar [6]

Dalam situasi optimal, kualitas radiasi yang digunakan untuk layanan kalibrasi harus sesuai dengan kualitas radiasi yang digunakan oleh pengguna akhir. Kemampuan kalibrasi harus mencakup kisaran kualitas radiasi yang digunakan dalam praktik klinis sehingga memungkinkan penggunaan koefisien kalibrasi yang tepat dalam pengukuran oleh pengguna akhir. Tantangan untuk kalibrasi tingkat radiologi diagnostik adalah sangat bervariasinya kualitas radiasi yang digunakan secara klinis, karena kombinasi variasi dari anoda, filter, dan tegangan tabung. Laboratorium perlu menetapkan beberapa set kualitas radiasi standar. Secara praktis, kualitas radiasi ditentukan oleh bahan anoda, filtrasi total, tegangan tabung, HVL pertama dan kedua (untuk kualitas mamografi hanya HVL pertama yang ditentukan). Terdapat beberapa kualitas radiasi yaitu:

- Seri RQR (*incident beams*) dan RQA (*attenuated beams*), untuk kalibrasi dosimeter yang digunakan pada diagnostik umum, fluoroskopi, dan radiologi intervensi (bahan target W, filtrasi Al)
- Seri RQT, untuk kalibrasi dosimeter yang digunakan pada CT (bahan target W, filtrasi Al+Cu)
- Seri RQR-M, untuk kalibrasi dosimeter yang digunakan pada mamografi (bahan target dan filtrasi Mo)

5. Standar sekunder [6], [15], [19]

Detektor acuan yang digunakan sebagai pengkalibrasi merupakan detektor dengan level standar sekunder. Detektor yang digunakan untuk mengukur kerma udara pada radiologi diagnostik merupakan detektor kamar ionisasi yang berbentuk bidang paralel atau silinder. Persyaratan kamar ionisasi kelas acuan tidak didefinisikan secara jelas. Klausul 4.2 dari IEC 61267:2005 memberikan persyaratan sebagai berikut:

- Dosimeter harus sesuai dengan ketentuan pada IEC 61674:2012
- Ketergantungan energi harus dalam $\pm 3\%$ pada rentang kualitas radiasi N-15 hingga N-200
- Dimensi detektor harus sedemikian rupa sehingga benar-benar tercakup dalam berkas utama
- Sensitivitas harus sesuai untuk pengukuran dengan fantom dan filter tambahan untuk penentuan HVL

Sedangkan TRS 457 memberikan tambahan persyaratan seperti pada Gambar 4 berikut:

TABLE 5.2. RECOMMENDED SPECIFICATIONS OF DETECTORS OF A REFERENCE CLASS DOSIMETER (BY APPLICATION)

Application	Type of detector	Range of X ray tube voltage (kV)	Intrinsic error (%)	Maximum variation of energy response (%)	Range of air kerma rate	
					Unattenuated beam	Attenuated beam
General radiography	Cylindrical or plane parallel	60–150	3.2	± 2.6	1 mGy/s – 500 mGy/s	10 μ Gy/s – 5 mGy/s
Fluoroscopy	Cylindrical or plane parallel (preferable)	50–100	3.2	± 2.6	10 μ Gy/s – 10 mGy/s	0.1 μ Gy/s – 100 μ Gy/s
Mammography	Plane parallel	22–40	3.2	± 2.6	10 μ Gy/s – 10 mGy/s	
CI*	Cylindrical (pencil type)	100–150	3.2	± 2.6	0.1 mGy/s – 50 mGy/s	
Dental radiography	Cylindrical or plane parallel	50–90	3.2	± 2.6	1 μ Gy/s – 10 mGy/s	

* The dosimeters must have no greater variation in their sensitivity than $\pm 3\%$ along the active length.

Gambar 5. Daftar rekomendasi spesifikasi detektor dari TRS 457

Penggunaan detektor tidak lepas dari elektrometer (instrumen untuk mengukur muatan atau arus listrik) sebagai satu perlengkapan sistem dosimetri. Detektor kamar ionisasi biasanya hanya menghasilkan arus atau muatan yang sangat kecil, sehingga diperlukan elektrometer yang sensitif untuk pengukuran semacam ini. Dokumen Human Health 44 merekomendasikan spesifikasi elektrometer dalam Gambar 5.

TABLE 3. REFERENCE ELECTROMETER SPECIFICATIONS

Specification	Value
Measured quantity	Charge/current
Measuring range	10 pC/10 pA to 1 C/1 μ A
Resolution	10 fC/1 fA
Long term stability	$\leq 0.2\%$ /year
Zero drift	≤ 5 fA
Leakage	≤ 10 fA
Non-linearity	≤ 5 fA
Built-in high voltage source	at least ± 400 V

Gambar 6. Spesifikasi elektrometer acuan [6]

Biasanya detektor kamar ionisasi dikalibrasi bersama dengan elektrometer di laboratorium yang sama, namun sebagai alternatif dapat juga dikalibrasi secara terpisah, kamar ionisasi di laboratorium dosimetri sedangkan elektrometer di laboratorium kelistrikan.

6. Peralatan pemantau kondisi lingkungan [6]

Kondisi lingkungan harus dipantau dan dikendalikan, dengan perubahan suhu yang tidak signifikan. Oleh karena itu membutuhkan alat-alat berikut:

- Termometer dengan kisaran 10-30°C dan resolusi 0,2°C atau lebih tinggi.
- Barometer dengan resolusi 0,5 hPa atau lebih tinggi, dan terkalibrasi dengan ketidakpastian kurang dari 0,1%.
- Hygrometer dengan akurasi 5–10%

Semua alat harus tertelusur pada standar acuan suhu dan tekanan.

7. Sistem mutu [6]

Sistem penjaminan mutu harus sesuai dengan ISO/IEC 17025 jika mereka ingin menunjukkan bahwa mereka kompeten untuk mengoperasikan sistem penjaminan mutu dan menyebarluaskan hasil yang valid. Ruang lingkup sistem penjaminan mutu harus sesuai dengan tingkat mutu yang dipersyaratkan dan sistem harus dirancang untuk menunjukkan bahwa tingkat kinerja yang dipersyaratkan telah tercapai. Elemen dasar dari sistem mutu dijelaskan dalam manual mutu dan tingkat kerincian yang dimasukkan dalam manual harus sesuai dengan ukuran dan kompleksitas laboratorium. Manual tersebut harus menciptakan kepercayaan terhadap kualitas layanan yang diberikan oleh laboratorium.

Selain manual mutu, dokumen seperti prosedur, standar, spesifikasi, dan instruksi manual yang relevan harus tersedia di laboratorium. Dengan cara ini, dokumentasi sistem mutu dapat digunakan untuk menunjukkan kepatuhan terhadap standar, peraturan, dan persyaratan hukum yang berlaku. Setelah sistem mutu ditetapkan, laboratorium harus memelihara dan memutakhirkannya seperlunya, sesuai dengan pengalaman yang diperoleh selama pengoperasian layanan dan hasil audit internal atau eksternal. Peningkatan kompetensi juga dilakukan melalui keikutsertaan dalam uji banding sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 2. Pembuktian kompetensi laboratorium, dapat dicapai dengan status akreditasi berdasarkan ISO/IEC 17025 dari Komite Akreditasi Nasional, dan mendaftarkan CMC dalam *database* BIPM KCDB.

Berdasarkan tinjauan beberapa infrastruktur teknis di atas, sebagai rekomendasi, dipandang perlu untuk melanjutkan tinjauan dengan lebih spesifik, diantaranya proyeksi kesiapan LDSS Indonesia untuk mengembangkan lingkup layanan, dan juga potensi LDST Indonesia untuk dapat meng-*upgrade* kemampuan layanannya, termasuk skema pengawasan yang relevan.

Kesimpulan

Laboratorium kalibrasi *x-ray multimeter* membutuhkan infrastruktur teknis yang tidak berbeda jauh dengan infrastruktur pada laboratorium kalibrasi pada umumnya untuk peralatan tingkat proteksi maupun tingkat terapi, diantaranya sistem kalibrasi (unit sinar-x, bangku kalibrasi dan perlengkapan tambahan), ruang iradiasi dan ruang kendali, detektor standar sekunder kelas acuan, kualitas radiasi standar, peralatan ukur yang tertelusur, sistem mutu layanan kalibrasi.

Kemampuan kalibrasi dalam hal besaran-besaran yang mampu diukur, spesifikasi detektor standar sekunder dan jenis kualitas radiasi standar perlu disesuaikan dengan penggunaannya.

Daftar Pustaka

- [1] J. Stasko, J. Hull, and W. Culberson, "X-Ray Multimeter Performance in Diagnostic Imaging Calibration Beams," 2023.
- [2] H. Subekti and E. Kunarsih, "Analisis Penggunaan Metode T-test dalam Pengecekan Antara pada Alat Ukur X-ray Multimeter untuk Uji Kesesuaian," *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir*, pp. 102–109, 2018.
- [3] BAPETEN, "<https://balis.bapeten.go.id/portal/web/index.php/sites/sertifikat-uji?jenis=1>."
- [4] BAPETEN, *Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Indonesia, 2018.
- [5] E. Kunarsih and R. Rusmanto, "Tantangan Penyediaan Layanan Kalibrasi Alat Ukur Radiasi Multimeter Sinar-X: Tinjauan Awal," *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, vol. 3, no. 1, pp. 35–40, Jul. 2023, doi: 10.53862/jupeten.v3i1.005.
- [6] IAEA, *HH 44: Establishing a Secondary Standards Dosimetry Laboratory*. Vienna: IAEA, 2023. [Online]. Available: <http://www.iaea.org/Publications/index.html>
- [7] JCGM, *International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*, 3rd ed., vol. JCGM 200:2012. 2012.
- [8] IAEA/WHO, *The IAEA/WHO Network of Secondary Standards Dosimetry Laboratories*, 2nd ed. Vienna, Austria: IAEA, 2018.
- [9] BAPETEN, *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2006 Tentang Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi dan Keluaran Sumber Radiasi Terapi, dan Standarisasi Radionuklida*. Indonesia, 2006.
- [10] BAPETEN, "<https://balis.bapeten.go.id/>."
- [11] IAEA, *GSR Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. Vienna: IAEA, 2014.
- [12] IAEA, *IAEA Nuclear Safety and Security Glossary*, 2022 (Interim). Vienna: IAEA, 2022.
- [13] M. Živanović, "Establishment of Diagnostic Radiology Calibrations in a SSDL." IAEA, Vienna. [Online]. Available: [https://ssdl.iaea.org/Content/IAEA lecture on establishment of diagnostic radiology calibrations at SSDL.pdf](https://ssdl.iaea.org/Content/IAEA%20lecture%20on%20establishment%20of%20diagnostic%20radiology%20calibrations%20at%20SSDL.pdf)
- [14] IAEA, *TECDOC 1585: Measurement Uncertainty - A Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratories*, no. May. Vienna, Austria: IAEA, 2008. [Online]. Available: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1585_web.pdf
- [15] IAEA, *TRS 457 Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*. Vienna, Austria: IAEA, 2007.
- [16] BIPM, "CMC," *KCDB*, 2023. <https://www.bipm.org/kcdb/> (accessed Jul. 15, 2023).
- [17] ISO/IEC, *ISO/IEC 17025:2017 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, 3rd ed. Geneva, 2017. [Online]. Available: www.iso.org
- [18] BAPETEN, *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Indonesia, 2013.
- [19] IEC, *IEC 61267: Medical Diagnostic X-ray Equipment - Radiation Conditions for Use in the Determination of Characteristics*, 2nd ed. IEC, 2005. [Online]. Available: www.iec.ch



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Penerapan Manajemen Persepsi Masyarakat dengan Pendekatan Inklusi Sosial dalam Meningkatkan Penerimaan PLTN di Bangka Belitung

Andri Yanto¹, Hafizh Akbar², Aliefia Noor²

¹*Department of Law, Faculty of Law, Universitas Bangka Belitung, Bangka 33172, Indonesia*

²*PT ThorCon Power Indonesia, Jakarta 12190, Indonesia*

Korespondensi penulis:

andri.fhubb.progresif@gmail.com

hafizh.akbar@thorcon.id

aliefianooraliefianoor@thorcon.id

Abstrak

Pemanfaatan energi nuklir di Indonesia memiliki tantangan yang harus diatasi salah satunya yaitu penerimaan masyarakat. Apabila tidak dilakukan antisipasi dan mitigasi yang tepat, penerimaan masyarakat ini dapat berdampak pada kegagalan pembangunan PLTN, maka dari itu perlu adanya strategi pendekatan sosial. Penelitian ini bertujuan untuk mengelaborasi penggunaan pendekatan inklusi sosial dalam meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTN di Bangka Belitung. Dengan menggunakan metode penelitian deskriptif-kualitatif, penelitian ini menganalisis kecenderungan penggunaan strategi rekayasa sosial yang menyebabkan kegagalan pembangunan PLTN di Bangka Belitung pada 2012. Penawaran strategi inklusifitas sosial mendorong upaya integrasi antara persepsi kebutuhan masyarakat dengan kepentingan pembangunan sebagai satu kesatuan. Strategi ini diorientasikan guna menumbuhkan basis-basis dukungan untuk rencana pembangunan PLTN di Bangka Belitung. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan urgensi penggunaan pendekatan inklusivitas sosial dalam menumbuhkan *sense of crisis*, dan menghadirkan kesadaran melalui kampanye yang secara langsung melibatkan masyarakat. Keberhasilan pembangunan PLTN pertama di Bangka Belitung menjadi kunci penting dalam akselerasi transisi energi di Indonesia.

Kata Kunci: Persepsi, Inklusi Sosial, Penerimaan, Nuklir.

Pendahuluan

Formulasi kebijakan ketenaganukliran Indonesia telah memasuki fase penentuan (decision), yang mengharuskan pemerintah untuk secara konkret mengskematiskan dimulainya pengayaan sumber energi baru dan terbarukan dalam bauran energi nasional [1]. Pembahasan Rancangan Undang-Undang Energi Baru-Terbarukan (RUU EBET) terus bergulir di ruang legislasi, dengan sejumlah tarik ulur terkait dengan penempatan nuklir sebagai sumber energi pilihan [2]. Secara substantif, RUU EBET memperkuat komitmen pemerintah dalam menjadikan energi nuklir sebagai salah satu penopang dalam pencapaian transisi energi di Indonesia [3]. Kebutuhan ini selaras dengan target penurunan emisi karbon dan Net Zero Emission (NZE) tahun 2060 yang dicanangkan oleh pemerintah.

Tantangan pemanfaatan energi nuklir di Indonesia masih demikian kompleks. Beberapa faktor penting seperti penentuan skema pembangunan, dukungan politik (political will), dan penerimaan masyarakat (public acceptance), menjadi tantangan penting yang harus diatasi [4]. Dalam rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Muria pada 2008, sejumlah gelombang demonstrasi penolakan oleh masyarakat terjadi dan menyebabkan gagalnya keseluruhan rencana

pembangunan tersebut [5]. Hal yang sama terjadi saat pemerintah mencanangkan pembangunan PLTN di Bangka Barat, Bangka Belitung pada 2013 yang harus terbengkalai pasca demonstrasi masyarakat yang menyuarakan penolakan [6]. Kondisi ini jelas menjadi penghambat yang dapat menjauhkan Indonesia dari ketercapaian target NZE, transisi energi, dan pemanfaatan energi bersih. Terlebih, studi tapak yang dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) pada 2010-2012 menunjukkan kesesuaian Bangka Belitung sebagai wilayah yang paling memungkinkan untuk dibangun PLTN. Penolakan masyarakat Bangka Belitung terhadap rencana pembangunan PLTN dapat berdampak bagi keseluruhan rencana pemanfaatan nuklir di Indonesia, lantaran Bangka Belitung telah diproyeksikan sebagai wilayah pembangunan PLTN pertama di Indonesia [7].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Universitas Sebelas Maret (UNS) dan Universitas Bangka Belitung (UBB) pada 2021, angka penerimaan masyarakat Bangka Belitung terhadap rencana pembangunan PLTN berbahan bakar thorium, atau Pembangkit Listrik Tenaga Thorium (PLTT) mencapai 73,33% [24]. Penelitian ini mendapati kesetujuan masyarakat didasarkan atas potensi pembukaan lapangan pekerjaan, stabilitas harga kebutuhan pokok, pengembangan usaha dan industri, serta keamanan pasokan listrik untuk mendukung pembangunan di Bangka Belitung. Selain itu, tarif PLTT yang diproyeksikan bersaing dengan harga jual listrik PLN saat ini menjadikannya sebagai sumber energi alternatif yang tidak hanya bebas emisi, melainkan juga murah dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat [8].

Namun, rencana pemerintah untuk mengakselerasikan pembangunan PLTT di Bangka Belitung sepanjang 2020-2023 telah menimbulkan kembali polemik dan ketakutan lama masyarakat. Kendati belum terdapat gelombang penolakan secara terbuka sebagaimana yang terjadi pada 2013, namun potensi yang sama dapat menjadi penghambat rencana pembangunan PLTT untuk kedua kalinya. Untuk itu, pemerintah perlu menjalankan upaya mitigasi dengan memastikan penerimaan masyarakat terhadap PLTT yang akan dibangun di Bangka Belitung.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji potensialitas penggunaan pendekatan berbasis inklusi sosial dalam meningkatkan pemahaman dan penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTT di Bangka Belitung. Telaah dilakukan dengan menjangkau aspek-aspek penting yang dapat mempengaruhi persepsi masyarakat, dan dengan menggunakan pendekatan yang strategis untuk memastikan kesiapan masyarakat dalam menghadapi sejumlah stigma yang banyak tersebar bersamaan dengan rencana pembangunan PLTN.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif-kualitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan konsep inklusifitas sosial guna menumbuhkan persepsi dan penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Bangka Belitung. Metode ini dipilih karena penelitian ini berfokus pada pemahaman dan interpretasi mendalam terhadap sikap dan persepsi masyarakat terkait rencana pembangunan PLTN, bukan pada pengukuran dan analisis statistik [9].

Tahapan dalam penelitian ini terbagi menjadi lima, diantaranya sebagai berikut. **Pertama**, identifikasi masalah. Tahap ini mencakup identifikasi permasalahan yang ingin dikaji dalam penelitian, yaitu pemanfaatan konsep inklusifitas sosial untuk memahami sikap dan persepsi masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTN di Bangka Belitung. **Kedua**, studi pustaka. Data penelitian diperoleh melalui studi pustaka dengan menggunakan buku, jurnal, dan artikel yang kredibel serta dapat dipertanggungjawabkan secara akademis. Studi pustaka ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang konsep inklusifitas sosial dan konteks rencana pembangunan PLTN. **Ketiga**, pengumpulan data. Data penelitian dikumpulkan melalui wawancara, dan observasi terhadap masyarakat yang terlibat atau terpengaruh oleh rencana pembangunan PLTN. Dalam penelitian kualitatif, wawancara mendalam sering digunakan untuk menggali pandangan, persepsi, dan sikap masyarakat. **Keempat**, validasi dan analisis data. Data yang diperoleh dari wawancara atau sumber lainnya kemudian divalidasi untuk memastikan keabsahan dan keandalan informasi. Analisis data dilakukan dengan mengkomparasikannya terhadap sejumlah teori sosial yang relevan, untuk menemukan kesesuaian dan potensi implementasi solusi yang ditawarkan. **Kelima**, interpretasi dan temuan. Dalam tahap ini, peneliti menginterpretasikan data yang telah diperoleh dan menemukan

temuan-temuan yang relevan terkait pemanfaatan konsep inklusifitas sosial dan persepsi masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTN. **Keenam**, penyimpulan. Penyimpulan dilakukan secara deduktif, dengan mengurutkan keadaan umum yang terjadi untuk dikonklusikan secara khusus dan spesifik. Peneliti menyimpulkan hasil temuan penelitian dan memberikan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Hasil dan Pembahasan

7. Diseminasi *Sense of Crisis* Terhadap Transisi Energi

Penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTN dan PLTT selaras dengan tingkat kesadaran terkait manfaat dan kepentingan Indonesia dalam memanfaatkannya [7]. Sebagai sumber energi yang kerap dipandang memiliki risiko tinggi, pemanfaatan nuklir harus didasarkan pada nilai urgensi yang dapat dibuktikan dan dipahami oleh masyarakat. Dalam teori transisi sosial, anggapan-anggapan terkait dengan kondisi yang membutuhkan dilakukannya sesuatu akan menciptakan *sense of crisis*. *Sense of crisis* adalah perasaan atau kesadaran yang mendalam bahwa suatu situasi atau kondisi menghadirkan ancaman serius atau bahaya yang dapat menyebabkan kerugian besar atau bahkan kehancuran. *Sense of crisis* ini akan mendorong masyarakat untuk menerima dan membenarkan suatu kondisi, meski dalam keadaan ‘normal’, kondisi tersebut banyak ditentang dan tidak disetujui oleh masyarakat [10]. Konsep ini sejalan dengan teori kebutuhan (*necessarity theory*) yang menetapkan bahwa kebutuhan akan memunculkan inovasi dan alasan bagi dilakukannya sesuatu yang sebelumnya bahkan tidak terpikirkan untuk mempertahankan stabilitas dan keberlanjutan kehidupan [11].

Secara konseptual, hadirnya *sense of crisis* dilatarbelakangi oleh pemahaman masyarakat yang tinggi terhadap kondisi yang sedang terjadi saat ini [10]. Pemahaman ini akan mendorong tumbuhnya persepsi publik terkait dengan strategi dalam menanggulangi kondisi yang dianggap sebagai krisis [12]. Namun, berlaku juga opisisi biner atas premis tersebut. Pemahaman masyarakat yang rendah akan berakhir dengan ketidaktahuan dan penghindaran atas fenomena krisis, sehingga opsi solusi yang seharusnya dapat digunakan untuk mengatasi krisis yang sedang terjadi akan ditolak oleh masyarakat itu sendiri [12]. Ketiadaan *sense of crisis* menyebabkan masyarakat menilai suatu solusi dalam persepsi negatifnya. Untuk itu, *sense of crisis* harus ditumbuhkan dalam persepsi sosial di masyarakat Bangka Belitung melalui diseminasi urgensi pemanfaatan energi nuklir untuk pembangunan jangka panjang.

Dalam menumbuhkan *sense of crisis* sekaligus mengkonsepsikan nuklir sebagai energi solusi, terdapat tiga aspek dasar yang harus tersampaikan kepada masyarakat Bangka Belitung. **Pertama**, problematika gangguan interkoneksi listrik sebagai konsekuensi ketidakmandirian energi di Bangka Belitung. Gangguan interkoneksi listrik Sumatera-Bangka pada 20 Maret 2023 kemarin, menjadi momentum yang menegaskan kembali posisi rentan Bangka Belitung terhadap ketahanan dan kestabilan energi. Cuaca ekstrem yang ditenggarai mengakibatkan robohnya 5 tower di jalur transmisi Kenten-Tanjung Siapi-Api menyebabkan putusnya aliran listrik ke pulau Bangka dan meninggalkan 1,4 juta penduduk dalam kondisi kesulitan pasokan energi menjelang bulan suci Ramadhan.

Kondisi ini selain menyebabkan terhambatnya aktivitas masyarakat dan sirkulasi ekonomi lokal, juga mengharuskan elaborasi ulang atas kebijakan menyambung interkoneksi jaringan Sumatera sebagai pilihan solusi guna mengatasi ‘krisis listrik’ di Bangka Belitung setahun lalu. Pasalnya, persoalan instabilitas listrik bukan pertama kali terjadi. Pada 2021 lalu, saat pemeliharaan instalasi listrik dilakukan, pemerintah daerah terpaksa menghentikan industri tambak udang yang menelan daya 48 MW, melakukan pemadaman bergilir di seluruh wilayah provinsi selama dua bulan, dan menyarankan masyarakat mengurangi penggunaan listrik hingga 30%. Masyarakat memerlukan solusi pasti dan strategis agar persoalan yang sama tidak terus terjadi secara berulang, terlebih kini listrik telah menjadi bagian kehidupan yang bukan hanya penting, melainkan sangat dibutuhkan.

Kedua, keterbatasan cadangan timah dan keterbatasan energi untuk pembangunan industri [13]. Provinsi kepulauan Bangka Belitung merupakan daerah penghasil timah terkaya di Indonesia, dan menyimpan cadangan timah terbesar kedua di dunia. Kondisi geografis yang unik dan teralienasi oleh selat Bangka dari pulau ‘induk’ dalam landas kontinennya, Sumatera, memberi keuntungan sekaligus tantangan tersendiri bagi Negeri Serumpun Sebalai [14]. Geologi dan geomorfologi Bangka Belitung,

menghasilkan kekayaan alam berupa timah dengan potensi cadangan pada 2022 mencapai 2,25 juta ton, serta thorium sebagai unsur radioaktif langka yang potensial, sebanyak 170.000 ton [15].

Ketergantungan ekonomi masyarakat Bangka Belitung terhadap sektor pertambangan timah demikian akut [16]. Sejak berdiri sebagai sebuah provinsi yang terpisah dari Sumatera Selatan pada 2001, industri pertambangan timah memainkan peran yang sangat signifikan, terutama dengan tingginya nilai ekspor [17]. Pada periode 2015-2020, kontribusi timah terhadap Pendapatan Asli Daerah (PAD) adalah sebesar 60%, dominan. Padahal, menurut prakiraan Kementerian ESDM pada 2022, dengan asumsi laju eksploitasi tetap, maka cadangan timah hanya akan tersisa sampai tahun 2046. Saat ini, pemerintah Bangka Belitung berkepentingan untuk memulai transisi ekonomi, memperkuat basis pendapatan non-pertambangan, terutama industri, pertanian, dan UMKM, yang kesemuanya mengharuskan pasokan daya listrik dengan cukup.

Hingga 2020 lalu, pasokan listrik di Bangka Belitung masih disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) berbahan bakar fosil dengan keluaran daya 183 megawatt (MW) serta emisi karbon (CO₂) sebesar 221.000 ton pertahun [7]. Sementara itu, pemenuhan kebutuhan lokal dengan 1,431 juta penduduk, adalah sebanyak 181 MW. Selain ketersediaan yang sangat terbatas, akibat sistem kelistrikan di Bangka Belitung yang semula terisolasi dari transmisi Sumatera, biaya produksi listrik juga sangat tinggi. Menurut data PLN pada 2022, Biaya Pokok Produksi (BPP) PLTD di Bangka Belitung adalah Rp 2.454 per kWh. Sementara harga jual adalah Rp 1.257 per kWh. Artinya, negara harus mensubsidi sekitar 51% harga listrik untuk menutupi kerugian dan menjaga stabilitas harga.

Dalam upaya mengatasi keterbatasan energi tersebut, Pemerintah dan PLN membangun jaringan transmisi bawah laut yang menghubungkan sistem kelistrikan Bangka Belitung dan pulau Sumatera dengan kapasitas 150 kV. Pembangunan jaringan interkoneksi tersebut menelan dana Rp 1,5 triliun, dan mulai beroperasi pada 2022 lalu. Namun, solusi dengan jaringan interkoneksi ini masih menyisakan tiga masalah pokok yang belum teratasi. Pertama, jaringan interkoneksi dengan penjalaran kabel bawah laut rentan gangguan. Seperti yang baru saja terjadi, cuaca ekstrem menyebabkan robohnya 5 tower, dan secara langsung menyebabkan kekurangan energi yang sangat berdampak bagi masyarakat. Kedua, meski dapat menurunkan nilai BPP sehingga lebih kompetitif terhadap harga jual, namun interkoneksi listrik Sumatera tetap menimbulkan defisit. Dengan kata lain, PLN tetap harus menutupi harga produksi listrik bagi masyarakat Bangka Belitung. Ketiga, jaringan listrik Sumatera masih ditenagai dengan pembakaran energi fosil, sehingga visi transisi energi Indonesia yang menargetkan pembangunan pembangkit *zero carbon* tetap menjadi angan-angan dan tidak segera terealisasi.

Masalah ketidakstabilan energi bukan semata berdampak pada terganggunya aktivitas masyarakat, namun dalam lingkup lebih luas mempengaruhi pembangunan daerah di masa mendatang. Pasalnya, Bangka Belitung dicanangkan untuk memulai apa yang digaung-gaungkan sebagai transisi ekonomi, peralihan sektor ekonomi ekstraktif timah pada industri, pariwisata, pertanian, dan UMKM. Artinya, kebutuhan energi listrik akan meningkat berkali-kali lipat, bahkan diproyeksikan mencapai 450 MW pada 2030 mendatang. Dengan interkoneksi, selain beban biaya yang terus membengkak dan dihantui gangguan yang menyebabkan Bangka Belitung terisolasi secara temporal, keberlangsungan industri juga terancam perkembangannya. Untuk itu, Bangka Belitung perlu memiliki kemandirian energi, bersumber pada energi bersih, berdaya cukup, dan bersaing dalam segi harga [19].

Ketiga, nuklir sebagai solusi atas kebutuhan ekonomi dan lingkungan. Keharusan pemerintah dalam meningkatkan jumlah pasokan energi, dalam mengejar terpenuhinya konsumsi listrik per-kapita secara ideal hingga 2800-3000 kWh, tidaklah linear dengan pembangunan pembangkit listrik semata. Lantaran, kepentingan untuk mengurangi emisi karbon mengharuskan dimulainya transisi ke sumber energi yang lebih bersih, namun berdaya tinggi dan realistis diterapkan di Indonesia berdasarkan perhitungan ekonomi dan keberlanjutan teknologi.

Asesmen yang dapat menjadi pedoman bagi kriteria energi potensial dalam bauran untuk mengganti energi konvensional, ialah dengan pemenuhan empat unsur, yakni reliabilitas tinggi, ramah lingkungan, terjangkau, dan ketersediaan yang cukup (melimpah). Potensialitas energi tersebut dinormatisasi dalam UU Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang menempatkan beberapa sumber energi untuk diproyeksikan sebagai energi pilihan dalam mensubstitusi energi konvensional. Dalam

aspek reliabilitas, energi surya dan nuklir adalah yang paling menjanjikan. Namun, terkait harga, pemanfaatan PLTS di Indonesia memerlukan pendanaan ekstra, dengan rata-rata per 2021 mencapai US\$ 14 sen hingga US\$ 25 sen per kWh. Bandingkan dengan batubara yang ‘hanya’ berkisar US\$ 9-12 sen, gas alam US\$ 7-14 sen dan nuklir US\$ 9 sen. Hingga saat ini, pemanfaatan PLTS di Indonesia masih harus berbenturan dengan harga yang tinggi, selain potensi alamnya yang juga intermitten (bergantung pada cuaca), memerlukan lahan yang sangat luas, dan bergantung pada alam sehingga tidak stabil. Sedangkan pemanfaatan PLTN, meski memerlukan biaya lebih besar di awal pembangunan, namun jauh lebih hemat untuk pemanfaatan jangka panjang, dengan lifetime cost rata-rata BPP adalah US\$ 6-7 sen per kWh. Selain itu, nuklir juga memiliki *ecological footprint* dan emisi karbon yang jauh lebih efisien dibanding sumber energi lainnya.

Studi ekonomis pembangkit listrik tenaga nuklir dengan teknologi ThorCon Molten Salt Reactor 500 MW (TMSR500) yang dilakukan oleh Zeldi Raditya dan Ayong Hiendro (2020) membuktikan bahwa BPP Sistem Pembangkit Khatulistiwa di Kalimantan Barat yang terkoneksi dengan TMSR memiliki harga keenomian yang lebih murah dari pembangkit konvensional (PLTG & PLTD).[8] Secara konklusif, komparasi harha keenomian dapat dilihat dari tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan BPP Pembangkit sebelum dan setelah terkoneksi dengan TMSR500

		Skenario			
		1	2	3	4
PPA	US\$/kWh	0.0625	0.0650	0.0675	0.0700
	Rp/kWh	840	875	910	945
BPP Sistem Khatulistiwa		Rp 1.301/kWh			
BPP Sistem Khatulistiwa setelah terkoneksi TMSR500		Rp 985.14/kWh	Rp 1011,09/kWh	Rp 1037.04/kWh	Rp 1062.99/kWh

Berdasarkan nilai keenomian diatas menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi TMSR500 sebagai pilihan dalam pengembangan pemanfaatan nuklir dalam skala komersil di Indonesia memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dari pembangkit konvensional yang digunakan saat ini.[8] Perihal ketersediaan bahan baku sumber energi, menurut data Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), potensi uranium di Indonesia yang telah diketahui mencapai estimasi 89.000 ton (tU308) dan thorium mencapai 143.234 ton (tTh) [20]. Jumlah ini, apabila dimanfaatkan secara optimal, maka dapat memenuhi kebutuhan listrik 300 juta penduduk dengan konsumsi perkapita 3000 kWh selama lebih dari 1000 tahun [7]. Sebagai provinsi yang telah ditambang selama lebih dari 300 tahun, Bangka Belitung memiliki cadangan *tailing* (tanah sisa penambangan) yang diketahui menyimpan sejumlah potensi Logam Tanah Jarang, termasuk zirkon, monazit, dan thorium. Pengelolaan *tailing* dengan memanfaatkan teknologi tinggi dapat menghasilkan LTJ dan thorium tanpa melakukan ekskavasi baru yang dapat berkontribusi pada kerusakan lingkungan. Oleh karenanya, eksploitasi thorium untuk bahan bakar PLTN dalam skala jangka panjang dapat dilakukan dengan memanfaatkan cadangan *tailing* yang tersedia.

Rencana pemerintah untuk memulai pemanfaatan nuklir dalam bauran energi nasional jelas berkorelasi dengan tingkat kebutuhan terhadap ketahanan energi di masa mendatang. Secara nasional, kemampuan Indonesia untuk memanfaatkan nuklir melalui PLTN akan menjadi pendorong untuk menjalankan industrialisasi secara akseleratif. Sementara bagi Bangka Belitung yang ditargetkan sebagai tempat pembangunan PLTN pertama, keberadaan PLTN dapat memberikan surplus energi, menyelesaikan persoalan krisis dan gangguan listrik, serta mendorong berhasilnya transisi ekonomi pasca-timah.

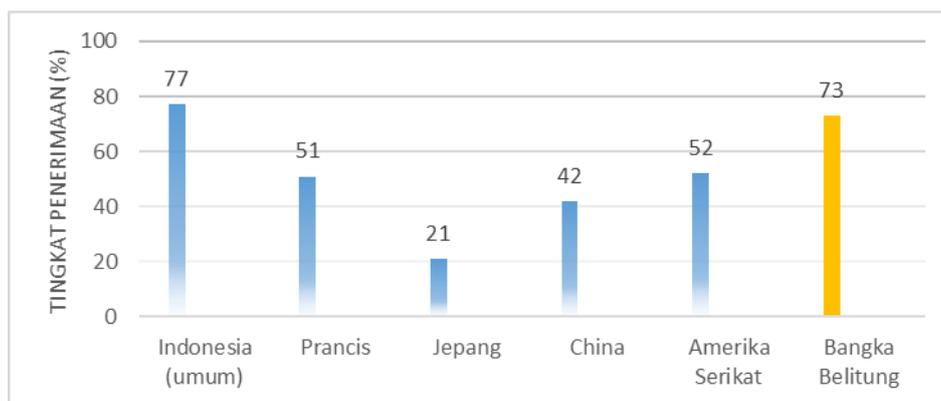
Saat ini, kesiapan berbagai pihak yang menawarkan teknologi guna pembangunan PLTN, diantaranya ialah teknologi *Molten Salt Reactors* (MSRs) yang berdaya 500 MW. Dengan target pembangunan pada 2027 mendatang, maka kebutuhan industri Bangka Belitung yang ditaksir meningkat hingga 450 MW pada 2030 akan terpenuhi tanpa harus bergantung pada interkoneksi. Secara ekonomis, PLTN menawarkan harga BPP yang relatif lebih stabil dan bersaing sehingga negara tidak selalu harus menutupi kekurangan anggaran akibat gap antara biaya produksi dan harga jual listrik di masyarakat. Sedangkan bagi masyarakat, surplus energi dengan PLTN mempercepat tumbuh kembangnya UMKM, mencukupi kebutuhan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Tanjung Kelayang, dan sejumlah kawasan industri, serta mendorong dimulainya transisi ekonomi. Secara linear, percepatan

pembangunan daerah bertautan dengan tingkat ketersediaan energi listrik sebagai penopang sirkulasinya. Terakhir, pembangunan PLTN juga memberi dampak praktis pada kemampuan Indonesia mendirikan pembangkit pertama, dan menjadi *milestone* bagi pembangunan berikutnya. Hingga 2060 mendatang, Indonesia ditargetkan telah *Net Zero Emission*, yang berarti sumber energi harus telah bersih dari emisi. Nuklir jelas menjadi salah satu pemasok energi dalam bauran nasional. Langkah tersebut harus diawali dengan pembangunan PLTN pertama, di Bangka Belitung.

8. Manajemen Persepsi Dengan Pendekatan Inklusi Sosial

Diseminasi pemanfaatan energi nuklir sebagai sumber energi yang dapat diandalkan untuk mengatasi *sense of crisis* dalam masyarakat harus dikonstruksikan melalui pendekatan yang tepat, yakni dengan inklusivitas sosial. Secara definitif, inklusivitas sosial diartikan sebagai program atau kegiatan yang dalam pelaksanaannya secara langsung melibatkan masyarakat. Pendekatan ini mengintegrasikan rasa tanggungjawab publik dengan kepentingan pemerintah untuk secara bahu-membahu mendorong ketercapaian tujuan bersama [21]. Inklusivitas sosial menjadi pendekatan paling tepat dengan paradigma integratif, dan bukan dualistik. Dengan kata lain, kampanye penerimaan nuklir secara langsung dilakukan oleh dan untuk masyarakat, bukan dilakukan oleh pemerintah dan menempatkan masyarakat sebagai pendengar. Pasivitas yang terbangun dalam paradigma dualistik ketika pemerintah dan pihak-pihak yang mendukung pembangunan PLTN menjadikan masyarakat hanya sebagai pihak yang mendengar dan menyetujui, akan mengakibatkan kecenderungan stigmatisasi PLTN sebagai kepentingan sepihak. Penolakan yang terjadi dalam rencana pembangunan PLTN Muria tahun 2008 dan PLTN di Bangka Barat pada 2012 dilatarbelakangi oleh persepsi publik yang rendah dan stigmatisasi pembangunan PLTN sebagai kebijakan yang tidak selaras dengan kepentingan masyarakat Bangka Belitung [4]. Kondisi ini dipersulit dengan realitas bahwa pihak-pihak yang melakukan sosialisasi umumnya merupakan pihak dari luar Bangka Belitung, sehingga membangun kesan sebagai ‘kepentingan orang luar’.

Dalam survei terakhir yang dilaksanakan oleh Tim Kajian Akademis Universitas Sebelas Maret (UNS) pada 2021, penerimaan masyarakat Bangka Belitung terhadap rencana pembangunan PLTN berada pada angka 73,73%. Angka ini berada di atas *Acceptable Level Acceptance* (ALA) rata-rata dunia. Secara komparatif, perbandingan ALA hasil survei 2021 di Bangka Belitung dengan sejumlah negara di dunia, adalah sebagai berikut:[22]



Gambar 1. Grafik Perbandingan ALA Bangka Belitung dan Sejumlah Negara Pengguna PLTN

Berdasarkan data tersebut, penerimaan masyarakat terhadap PLTN di Bangka Belitung, dan bahkan Indonesia, telah melampaui ALA negara-negara pengguna PLTN di berbagai belahan dunia. Angka penerimaan ini menunjukkan kesiapan masyarakat untuk memulai pemanfaatan PLTN sebagai sumber energi pengganti pembangkit listrik konvensional. Kendati demikian, ALA sangat dipengaruhi oleh berbagai kondisi dan tidak bersifat stagnan. Pengaruh penyebaran isu dan miskonsepsi terhadap energi nuklir, narasi ketakutan, dan penyebaran disinformasi dapat secara signifikan mempengaruhi persepsi masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTN. Untuk itu, pendekatan dalam rangka mengarahkan persepsi masyarakat tetap merupakan aspek fundamental dalam rangka menjamin terselesainya rencana pembangunan PLTN di Bangka Belitung.

Kebijakan inklusivitas sebagai pendekatan untuk mendapatkan persepsi masyarakat menjadi pilihan tepat guna menghindari kelemahan-kelemahan diseminasi yang dilakukan sebelumnya. Inklusivitas

sosial dibangun untuk mempersiapkan kelompok masyarakat yang secara terbuka setuju dan mendukung pembangunan PLTN di Bangka Belitung, sehingga potensi penyebaran isu stigmatisasi yang didasarkan pada sifat-sifat lokalitas dapat didekonstruksi. Keberhasilan penggunaan pendekatan ini akan merubah persepsi masyarakat terhadap pembangunan PLTN bukan hanya sebagai kepentingan orang luar atau kepentingan pemerintah, melainkan merupakan kepentingan umum masyarakat Bangka Belitung.

Strategi dalam penguatan persepsi masyarakat berbasis pendekatan inklusivitas dapat dijalankan dengan tiga eksponen program. **Pertama**, pemberdayaan kelompok-kelompok sosial yang mendukung pembangunan PLTN dan pemanfaatan nuklir dalam bauran energi nasional. Kelompok ini dapat dibangun dalam berapa kategori dan diintegrasikan bersama isu yang relevan dengan kategorisasi kondisi sosialnya. Misalnya, dengan pembangunan komunitas dilingkungan mahasiswa dan pemuda yang mendukung PLTN untuk kepentingan perlindungan lingkungan dan keadilan intergenerasi. Kemudian, komunitas, kelompok, dan paguyuban masyarakat yang mendukung PLTN untuk kepentingan ekonomi dan stabilitas pembangunan. Kelompok-kelompok yang setuju dengan pembangunan PLTN juga penting dibentuk berdasarkan konsep profesi, misalnya dosen, guru, ASN, jurnalis, hingga pemerhati lingkungan. Strategi kelompok sosial ditujukan guna membangun basis suara yang memiliki dukungan massa, sehingga upaya diseminasi dapat dilakukan dengan menerapkan konsep akar rumput (*grassroot*) untuk mencapai seluruh lapisan masyarakat [23].

Inklusivitas peran antar generasi melalui gerakan sosial telah dijalankan dalam mendiseminasikan transisi energi dan pemanfaatan potensi thorium untuk PLTN di Bangka Belitung. Berdasarkan hasil observasi, terdapat dua komunitas yang didirikan dan secara aktif mengadvokasi pemanfaatan PLTN, yakni Indonesia Nuclear Youth Society (INYS) dan Komunitas Thorium Untuk Kemasalahan Umat (KEMAT). INYS merupakan organisasi kemahasiswaan yang berdiri pada 2022, memiliki sebaran 9 Chapter di berbagai perguruan tinggi di Indonesia, dan menjalankan kegiatan dibidang edukasi, sosialisasi, serta agenda tahunan Festival Nuklir Nasional. INYS beranggotakan mahasiswa dan pemuda yang mendorong pencapaian visi transisi energi dengan pemanfaatan nuklir di Bangka Belitung dan Indonesia. Selain itu, sejak 2023, INYS turut menginisiasi pembentukan Nuclear Rangers, komunitas yang beranggotakan pelajar di Bangka Belitung dengan visi utama mendorong transisi energi, keadilan antar-generasi, dan pemanfaatan nuklir dalam bauran energi nasional. Sementara KEMAT merupakan paguyuban masyarakat yang berdiri sejak 2018, didirikan oleh masyarakat lokal di Pangkalpinang dan secara aktif mendorong pemerintah daerah untuk turut berkontribusi dalam rencana pengembangan PLTN pertama Indonesia di Bangka Belitung.



Gambar 2. Komunitas INYS, Seminar Nasional dan Pembukaan Festival Nuklir Nasional II (Sumber: Humas INYS (2023)).



Gambar 3. Tim Peneliti bersama Ketua KEMAT, Bapak Marsub (Sumber: dokumentasi peneliti (2023))

Kedua, pendekatan dengan tokoh masyarakat dan pemerintah daerah. Program ini menjadi strategi dasar yang selalu ditempuh dalam setiap pembangunan yang menimbulkan konsekuensi dampak terhadap masyarakat [24]. Dengan memanfaatkan realitas sosial masyarakat Bangka Belitung yang menghormati tokoh-tokoh adat, agama, dan pemerintah daerah, sosialisasi pemanfaatan energi nuklir menjadi lebih efektif dan mengurangi terbentuknya kelompok-kelompok sosial yang menolak rencana pembangunan di daerah-daerah. Berdasarkan hasil observasi, pendekatan terhadap masyarakat telah dijalankan secara rutin, baik melalui peran berbagai komunitas, seperti INYS dan KEMAT, juga oleh pemerintah daerah. Sejak 2020, pemerintah daerah dengan menggandeng sejumlah pihak, seperti DEN, BRIN, dan swasta telah menjalankan sosialisasi di desa Batu Beriga, Bangka, lokasi yang diproyeksikan sebagai daerah rencana pembangunan PLTN pertama di Indonesia.



Gambar 4. Kegiatan Sosialisasi PLTN Bertajuk “Gule Kabung” oleh Pemerintah Daerah dan Sejumlah Pihak di Desa Batu Beriga, Bangka. (Sumber: dokumentasi peneliti (2023))

Ketiga, familiarisasi pemanfaatan nuklir dalam kehidupan masyarakat melalui sejumlah kegiatan yang inklusif, seperti festival, lomba, sosialisasi ke sekolah-sekolah, iklan, penyebaran selebaran, pembukaan ruang-ruang diskusi yang melibatkan tokoh-tokoh masyarakat, serta berbagai bentuk kegiatan lain yang diprogramkan oleh kelompok-kelompok masyarakat sebagaimana dijelaskan dalam strategi pertama. Familiarisasi diorientasikan dalam rangka membiasakan masyarakat untuk menerima informasi positif seputar energi nuklir, sehingga mempersempit ruang bagi isu-isu negatif dan stigma untuk tersebar dan mempengaruhi persepsi masyarakat. Terbangunnya persepsi sosial yang baik akan menjadi modalitas penting dalam mendukung pembangunan PLTN di Bangka Belitung. Inklusivitas sosial menjadi pendekatan jangka panjang yang dapat diintegrasikan sebagai proyek rekayasa sosial dalam jangka 5-10 tahun untuk secara evolutif mengubah persepsi masyarakat terkait dengan rencana pembangunan PLTN. Keberhasilan pembangunan PLTN mensyaratkan kerja kolektif yang melibatkan seluruh eksponen masyarakat sebagai satu kesatuan yang inklusif untuk mendukung ketercapaian transisi energi di Indonesia.

Kesimpulan

Realisasi pembangunan PLTN di Bangka Belitung mensyaratkan terbentuknya persepsi dan penerimaan masyarakat. Potensialitas penolakan masyarakat terhadap pembangunan PLTN dapat menjadi penghambat dalam progresivitas transisi energi Indonesia. Upaya manajemen persepsi untuk memastikan penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTN perlu dikonstruksikan dengan pendekatan inklusivitas sosial. Pendekatan ini dijalankan untuk mendiseminasikan *sense of crisis*, membentuk kelompok-kelompok masyarakat yang mendukung pembangunann PLTN, dan menumbuhkan persepsi positif terhadap energi nuklir dalam masyarakat. Sebagai pendekatan jangka panjang, inklusivitas sosial dapat menjadi instrumen untuk mengubah paradigma masyarakat terhadap energi nuklir, serta mempersiapkan masyarakat dalam menerima nuklir sebagai sumber energi pengganti fosil melalui pembangunan PLTT di Bangka Belitung.

Diseminasi pengetahuan dan urgensitas pemanfaatan energi nuklir di Bangka Belitung telah dan terus dijalankan. Sejumlah bentuk pendekatan inklusif yang berhasil dalam membantu meningkatkan penerimaan masyarakat ditunjukkan melalui pembentukan komunitas mahasiswa dan kepemudaan, paguyuban, sosialisasi ke pelajar sekolah, forum diskusi terbuka oleh pemerintah daerah, pendekatan tokoh masyarakat, serta kegiatan Festival Nuklir Nasional yang secara rutin diadakan dengan berpusat di Bangka Belitung. Kendati demikian, resistensi terhadap isu pembangunan PLTN turut mengemuka dan menunjukkan perlunya akselerasi serta penguatan kapasitas masyarakat melalui pendekatan yang lebih variatif dan konsisten. Dinamika sosial yang terus berkembang mengharuskan upaya manajemen persepsi sebagai kerja kolektif yang dijalankan seiring dengan rencana pembangunan PLTN terlaksana di Bangka Belitung.

Daftar Pustaka

- [1] M. Azhar dan D. A. Satriawan, “Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional,” *Adm. Law Gov. J.*, vol. 1, no. 4, hlm. 398–412, Nov 2018, doi: 10.14710/alj.v1i4.398-412.

- [2] A. Parvez, R. N. Ismail, S. A. Asathin, dan A. Saputra, “Reformulation Rancangan Undang-Undang Energi Baru Terbarukan for Transition to Eco- Friendly Energy Based by Green Legislation,” *IPHMI Law J.*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.15294/ipmhi.v3i1.58069>.
- [3] H. S. Putro dan Ledis, *Perkembangan dan Program Energi Nuklir: Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?* Raffah Press, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.radenfatah.ac.id/id/eprint/8464>
- [4] Haryadi, “Agenda-Setting Pembangunan PLTN dan Pencapaian Ketahanan Listrik (Studi Di Jepara Dan Pangkal Pinang),” *J. Ekon. Dan Kebijak. Publik*, vol. 7, no. 2, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.22212/jekp.v7i2.594>.
- [5] Q. Asmara, “Evaluasi Kebijakan Proses Pembangunan Pltn Di Semenanjung Muria Kabupaten Jepara Jawa Tengah,” *NEO POLITEA*, vol. 1, no. 1, hlm. 32–42, Jun 2020, doi: 10.53675/neopolitea.v1i1.101.
- [6] Suhardi dan M. Zasari, “Peningkatan Partisipasi Masyarakat Melalui Sosialisasi Informasi Nuklir Di Kabupaten Bangka Selatan Dan Bangka Barat,” *J. Pengabd. Kpd. Masy. Univ. Bangka Belitung*, vol. 1, no. 1, 2014.
- [7] A. Yanto, “Sosialisasi Transisi Energi dan Pemanfaatan Nuklir Dalam Bauran Energi Indonesia di Politek Manufaktur Bangka Belitung,” *J. Besaoh*, vol. 2, no. 01, hlm. 20–38, 2022.
- [8] Z. Raditya dan A. Hiendro, “Studi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir ThorCon Molten Salt Reactor (Studi Kasus : Dibangun di Kalimantan Barat),” *J. Tek. ELEKTRO Univ. TANJUNGPURA*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [9] I. M. L. M. Jaya, *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif: Teori, Penerapan, dan Riset Nyata*. Anak Hebat Indonesia, 2020. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=yz8KEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA216&dq=r+elated:EXNx43RgAFwJ:scholar.google.com/&ots=snCc5OyQcW&sig=osp_Peoh5ufaaAyIch2FBBOyU5s&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [10] A. Boin dan A. McConnel, “Preparing for Critical Infrastructure Breakdowns: The Limits of Crisis Management and the Need for Resilience,” *J. Contingencies Crisis Manag.*, vol. 15, no. 1, hlm. 50–59, 2007, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2007.00504.x>.
- [11] J. Bokrantz dan J. Dul, “Building and testing necessity theories in supply chain management,” *J. Supply Chain Manag.*, vol. 59, no. 1, hlm. 48–65, 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/jscm.12287>.
- [12] S. R. Veil, “Mindful Learning in Crisis Management,” *Int. J. Bus. Commun.*, vol. 48, no. 2, 2010, doi: <https://doi.org/10.1177/0021943610382294>.
- [13] A. Yanto, N. Azzahra, A. Gladisya, M. M. Zakirin, dan M. S. Anwar, “Revitalisasi Kewenangan Pengelolaan Pertambangan Oleh Pemerintah Daerah Dalam Mengoptimalkan Pelaksanaan Otonomi Daerah Di Bangka Belitung,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 2, hlm. 8321–8330, 2023, doi: <https://doi.org/10.31004/innovative.v3i2.1386>.
- [14] G. Aleva, E. Bonn, J. Nossin, dan W. Sluiter, “A Contribution to the Geology of Part of the Indonesian Tinbelt: the Sea Areas Between Singkep and Bangka Islands and Around the Karimata Islands,” 1973, doi: 10.7186/BGSM06197316.
- [15] Faculty of Law, University of Bangka Belitung, Bangka, Indonesia, D. Haryadi, I. Ibrahim, Faculty of Social & Political Sciences, University of Bangka Belitung, Bangka, Indonesia, D. Darwance, dan Faculty of Law, University of Bangka Belitung, Bangka, Indonesia, “Environmental Issues Related To Tin Mining In Bangka Belitung Islands,” *PEOPLE Int. J. Soc. Sci.*, vol. 8, no. 3, hlm. 67–85, Nov 2022, doi: 10.20319/pijss.2022.83.6785.
- [16] I. Ibrahim, D. Haryadi, dan N. Wahyudin, “Knowledge of the context, behavior, and expectations of miners in relation to the tin mining policies and practices in Bangka Belitung,” *Masy. Kebud. Dan Polit.*, vol. 31, no. 4, hlm. 358, Des 2018, doi: 10.20473/mkp.V31I42018.358-367.
- [17] I. Ibrahim, D. Haryadi, dan N. Wahyudin, “Already dependent: a dependency analysis of market activity on tin mining in Bangka Belitung,” *E3S Web Conf.*, vol. 91, hlm. 03004, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/20199103004.
- [19] A. Saputro dan Y. H. Azizi, “Analisis Finansial Proyek Pembangunan Interkoneksi Sumatera – Bangka,” *Cakrawala*, vol. 6, no. 2, hlm. 1202–1215, 2023, doi: <https://doi.org/10.52851/cakrawala.v6i2.300>.

- [20] N. M. Kai Putri, B. Js, dan S. Aritonang, "Uranium And Thorium Potential For Indonesia's Future Energy Security," *Int. J. Educ. Soc. Sci. Res.*, vol. 05, no. 01, hlm. 235–251, 2022, doi: 10.37500/IJESSR.2022.5120.
- [21] R. Dwi, "Membangun Kepercayaan Publik Melalui Kebijakan Sosial Inklusif," *J. Ilmu Sos. Dan Ilmu Polit.*, vol. 15, no. 1, 2011, doi: <https://doi.org/10.22146/jsp.10923>.
- [22] D. T. Kartono *dkk.*, "Acceptable Level of Acceptance and the Affecting Factors: What Is the Acceptable Public Acceptance of Building a Nuclear Power Plant," *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2023, hlm. 1–12, Mar 2023, doi: 10.1155/2023/8923578.
- [23] P. Saptomo, "Strategi Peningkatan Kesiapan Masyarakat Kalimantan Barat Terhadap Pendirian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir," *Pros. Semin. Nas. Infrastruktur Energi Nukl. 2019*, 2019.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Film sebagai Media Komunikasi dalam Sosialisasi Pemanfaatan dan Keselamatan Teknologi Nuklir di Indonesia

Maya Meilan Sumarna¹, Maria Magdalena²

¹Corporate Secretary & Corporate Communication PT Karabha Digdaya, Depok

²Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Pancasila, Jakarta

Korespondensi penulis:

mayameilan29@gmail.com, aria.agda@gmail.com

Abstrak

Sosialisasi pemanfaatan dan keselamatan tenaga nuklir di Indonesia sudah banyak dilakukan melalui berbagai media. Artikel, website, youtube bahkan pemberitaan media massa. Hanya saja sampai saat ini yang mengetahui hanya golongan masyarakat tertentu yang terlibat secara langsung, baik peneliti, pengguna, penerima manfaat ataupun pengawas. Sementara masyarakat umum di Indonesia masih banyak yang menilai negatif tentang penggunaan teknologi nuklir, diakibatkan minimnya informasi dan pengetahuan terkait tenaga nuklir itu sendiri. Informasi yang didapatkan hanya melalui film yang bercerita tentang dampak dan bahaya tenaga nuklir sementara belum ada film yang menceritakan dampak positif atau manfaat terkait penggunaan tenaga nuklir. Sehingga informasi yang didapatkan masyarakat umum, tidaklah seimbang. Penelitian ini dibuat untuk menemukan media komunikasi yang paling efektif dalam melakukan sosialisasi pemanfaatan dan keselamatan tenaga nuklir di Indonesia. Film bisa digunakan sebagai media komunikasi yang tepat dalam proses sosialisasi pemanfaatan dan keselamatan tenaga nuklir di Indonesia. Hal ini dikarenakan film dapat menyusun pesan yang diinginkan, memberi informasi yang detail dan terarah, serta rangkaian cerita yang dibangun akan memberikan pemahaman yang lebih bagi penontonnya. Efek dari film sendiri mampu membangun persepsi, merubah sikap, membangun dukungan, serta merubah perilaku penontonnya sesuai pesan yang disampaikan si pembuat film. Hal ini tentu sangat diperlukan terutama jika Indonesia bercita-cita membangun PLTN, karena untuk mendapatkan dukungan dari masyarakat umum perlu memberikan keyakinan bahwa PLTN itu aman jika mengikuti prosedur keselamatan nuklir, dan salah satunya media komunikasi yang tepat dan efektif adalah film.

Kata Kunci: Teknologi Nuklir, Media Komunikasi, Film.

Abstract

Socialization of the use and safety of nuclear power in Indonesia has been widely carried out through various media. Articles, websites, YouTube, and even mass media coverage. It's just that until now, only certain groups of people who were directly involved, whether researchers, users, beneficiaries, or supervisors, knew about it. Meanwhile, the public in Indonesia still has many negative views about the use of nuclear technology due to a lack of information and knowledge regarding nuclear power itself. The information obtained is only through films that tell about the impacts and dangers of nuclear power, while there are no films that tell about the positive impacts or benefits related to the use of nuclear power. So that the information obtained by the general public is not balanced. This research was made to find the most effective communication media in socializing the use and safety of nuclear power in Indonesia. Film can be used as an appropriate communication medium in the process of socializing the use and safety of nuclear energy in Indonesia. This is because films can arrange the desired message, provide detailed and directed information, and the series of stories that are built will provide a deeper understanding for the audience. The effect of the film itself is able to build perceptions, change attitudes, build support, and change the behavior of the audience according to the message conveyed by the filmmaker. This is certainly very necessary, especially if Indonesia aspires to build a nuclear power plant, because to get support from the general public it is necessary to provide confidence that a nuclear power plant is safe if it follows nuclear safety procedures, and one of the appropriate and effective communication media is film.

Keywords: Nuclear Technology, Communication Media, Film

Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi yang besar dalam pemanfaatan teknologi nuklir. Berbagai penelitian di berbagai macam bidang, terus dikembangkan dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Diantaranya penggunaan teknologi nuklir dalam bidang pertanian, untuk mendapatkan bibit unggul dan pengendalian hama. Di bidang lain teknologi nuklir juga dapat dimanfaatkan pada bidang kesehatan, pertambangan, pengawetan makanan maupun produksi bahan bakar dan PLTN (www.batan.go.id). Hasil penelitian ini sudah banyak dimanfaatkan dan diawasi ketat dengan berbagai regulasi standar keamanan nuklir yang dilakukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Tetapi informasi tentang manfaat tenaga nuklir dalam membantu kehidupan manusia serta pengawasan terhadap keselamatan nuklir hanya diketahui segelintir orang yang terlibat di bidang teknologi nuklir saja. Hal ini akhirnya menimbulkan kesenjangan informasi pada masyarakat umum di Indonesia. Sehingga masih banyak masyarakat umum yang memiliki persepsi negatif terhadap keberadaan teknologi nuklir. Padahal saat ini sudah sangat banyak artikel dan berita yang mempublikasikan informasi tentang manfaat tenaga nuklir. Hanya saja yang mengakses artikel dan berita tersebut hanya pihak-pihak atau golongan yang terlibat secara langsung dengan penggunaan tenaga nuklir, baik peneliti, pengawas, maupun pengguna manfaat. Sementara bagi masyarakat umum, hal tersebut masih dianggap tabu dan menakutkan.

Menurut Wijaya, dkk (2021) masih banyak masyarakat yang belum siap dalam menghadapi dampak akibat penggunaan tenaga nuklir. Dalam berbagai artikel disampaikan bahwa masyarakat Indonesia masih banyak yang memiliki persepsi negatif terhadap penggunaan teknologi nuklir di Indonesia. Hal ini penulis melihat sebagai hambatan yang cukup besar dalam upaya pengembangan teknologi nuklir di Indonesia, khususnya penolakan masyarakat untuk pembangunan PLTN. Untuk itu melalui makalah ini, penulis mencoba mencari akar permasalahan yang mendasar yaitu terkait komunikasi dalam penyebaran informasi pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia. Dari hasil riset yang kami temukan, penyebaran informasi selama ini sudah cukup bagus dilakukan melalui berbagai media komunikasi, diantaranya: pemberitaan media, publikasi jurnal, media sosial, website, seminar, dll. Akan tetapi melihat perkembangan di masyarakat saat ini, komunikasi yang dilakukan masih kurang efektif. Hal ini terlihat dari banyaknya masyarakat umum yang masih tidak tahu manfaat tenaga nuklir bahkan melakukan penolakan terhadap pengembangan tenaga nuklir di Indonesia.

Jika hal ini terus dibiarkan, maka cita-cita Indonesia ingin memiliki PLTN atau pemanfaatan tenaga nuklir secara masif, tidak akan bisa diwujudkan. Kami melihat bahwa nuklir adalah sesuatu yang sangat tabu bahkan berbahaya untuk dibicarakan oleh masyarakat umum. Sehingga strategi komunikasi yang dilakukan dalam pendekatan ke masyarakat juga harus berbeda dan lebih hati-hati. Salah satunya pemilihan media komunikasi yang tepat. Selama ini masyarakat umum banyak mengetahui tentang bahaya nuklir dari paparan film-film yang dibuat tentang dampak dari penggunaan teknologi nuklir yang begitu berbahaya. Pesan-pesan yang disampaikan melalui sebuah film, dapat membangun persepsi bagi penontonnya. Hal ini terjadi karena film merupakan sebuah media untuk menyampaikan informasi secara luas dan bersamaan yang tanpa sadar memberikan pesan tersembunyi yang dapat mengubah pandangan penerima pesan.

Film mampu memberikan pandangan yang berbeda dengan masyarakat umum, untuk kalangan anak-anak dapat diberikan edukasi dalam bentuk animasi dengan design yang menarik, sedangkan bila sasarannya orang dewasa dalam bentuk film petualangan atau *live action* yang berisi informasi yang berguna tentang nuklir. Sehingga mulai dari hal tersebut dapat mengubah pandangan masyarakat tentang manfaat nuklir bila digunakan secara maksimal dan menghindari penyalahgunaan pemanfaatan tenaga nuklir. Efek dari sebuah film, tidak hanya dapat membangun persepsi, akan tetapi mampu merubah sikap bahkan perilaku dari penontonnya (Mc Quail, 2011). Cara sebuah film bertutur menceritakan realitas maupun khayalan dari si pembuat film, mampu menyampaikan pesan dengan sangat halus, sehingga sadar atau tidak film mampu membentuk masyarakat sesuai “pesan” yang dikemas dalam film tersebut. Semakin banyaknya film yang menceritakan tentang bahaya tenaga nuklir, maka akan semakin membuat masyarakat kita memiliki persepsi buruk bahkan bertindak menolak terhadap perkembangan tenaga nuklir.

Landasan Teori

Teknologi nuklir adalah suatu teknologi yang berbasis pada pemanfaatan energi yang dibebaskan dari suatu inti atom (nuklida) dalam bentuk radiasi (Irawati, 2007). Nuklir juga adalah istilah yang berkaitan dengan energi yang dihasilkan dari reaksi nuklir, baik itu dalam bentuk pembangkit listrik tenaga nuklir maupun dalam aplikasi lain seperti pengobatan dan penelitian. Namun, penggunaan energi nuklir juga memiliki risiko keselamatan yang harus diawasi dan diatur dengan ketat oleh badan pengawas nuklir (Doloresa, 2014). Suatu badan pengawas untuk memastikan bahwa penggunaan tenaga nuklir dapat dilakukan secara selamat dan aman. Di Indonesia, peran badan pengawas dilakukan oleh BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) (Hermawan, 2016). Pemanfaatan tenaga nuklir terkait erat dengan keselamatan manusia yang ditujukan sepenuhnya untuk mewujudkan kesejahteraan masyarakat yang dilaksanakan secara tepat dan seksama sesuai jiwa UU No. 10 Tahun 1997.

Badan Tenaga Atom Internasional (International Atomic Energy Agency/IAEA) juga telah mendorong percepatan dan promosi penggunaan tenaga nuklir dalam berbagai bidang untuk pemanfaatannya. Agar masyarakat dapat mengerti bahwa tenaga nuklir bukan hanya dipergunakan untuk membuat senjata saja melainkan dapat juga digunakan di berbagai bidang kegiatan positif yang lebih menguntungkan masyarakat internasional. Karena prinsipnya dalam hal penggunaan teknologi nuklir *high risk high return*, nuklir sebagai alternatif modern yang sangat menguntungkan, tetapi memiliki potensi besar juga terhadap timbulnya dampak lingkungan hidup akibat pemanfaatan dan penyalahgunaan tenaga nuklir. Untuk itu Pemerintah berupaya mendukung pemanfaat tenaga nuklir dengan menerbitkan berbagai peraturan perundang undangan yang mencakup semua aspek hukum nuklir dan mengacu pada konvensi dan standar internasional (Phispal, 2013). Untuk kepatuhan terhadap instrumen internasional, standar keselamatan, keamanan nuklir dan persyaratan *safeguards* sangat penting dalam membangun program pemanfaatan nuklir yang bertanggung jawab. Dalam hal ini, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) menjadi lembaga Pemerintah yang mengatur kewenangan dan keselamatan penggunaan tenaga nuklir di Indonesia.

Dalam perkembangan penggunaan teknologi nuklir di Indonesia, komunikasi menjadi bagian penting yang tidak dapat dihindari. Komunikasi berasal dari kata “communicare” yaitu dalam Bahasa latin yang memiliki pengertian “berpartisipasi atau memberitahukan” sedangkan “comunis” berarti Bersamasama. Kesimpulannya komunikasi akan berjalan dengan baik selama ada kesamaan mengenai apa yang dibicarakan. Komponen dalam penyampaian komunikasi ada pengirim pesan (*sender*), pesan yang dikirimkan (*message*), bagaimana pesan tersebut dikirimkan (*delivery, channel* atau media), penerima pesan (*receiver*) dan umpan balik (*feed back*), (Daloressa, 2014). Dalam proses penyampaian pesan terhadap khalayak banyak, maka kita memerlukan bentuk komunikasi massa. Untuk jenis komunikasi ini, diperlukan media komunikasi agar pesan yang disampaikan bisa cepat dan menyeluruh, serta memiliki jangkauan yang cukup luas.

Menurut Hermawan (2016) media komunikasi adalah media atau alat yang digunakan untuk menyampaikan pesan atau informasi dari satu pihak ke pihak lain. Media komunikasi dapat berupa media cetak, media elektronik seperti televisi, radio dan internet atau yang saat ini banyak digunakan adalah media sosial. Penggunaan media komunikasi yang tepat dan efektif menjadi hal yang sangat penting dalam penyebaran sebuah pesan, apalagi di era digital saat ini dimana informasi mudah disebarluaskan dan dapat diakses kapanpun, dimanapun, dan oleh siapapun. Media memiliki fungsi bagi masyarakat, diantaranya: **Fungsi Informasi**, dimana media massa sebagai penyebar berbagai informasi yang dibutuhkan khalayak sesuai dengan kepentingannya; **Fungsi Pendidikan**, yaitu media massa memberikan edukasi dengan cara menanamkan nilai-nilai, etika dan aturan melalui informasi yang disampaikan kepada pendengar; **Fungsi Memengaruhi**, dimana media massa dalam menyampaikan informasi dapat tanpa sadar mempengaruhi pandangan penerima pesan.

Media komunikasi juga bisa berbentuk hiburan salah satunya adalah film. Film tidak hanya menjadi sebuah hiburan, akan tetapi menjadi sumber informasi karena dapat membangun sebuah realitas, bahkan efek yang ditimbulkan dari sebuah film dapat menciptakan perubahan persepsi, sikap, bahkan perilaku. Film sebagai salah satu penyampaian jenis pesan dengan memperhatikan esensi, fungsi dan juga efeknya (Irwanto, 1999).

Film adalah sebuah karya seni budaya yang merupakan pranata sosial dan media komunikasi massa yang dibuat berdasarkan kaidah sinematografi dengan atau tanpa suara dan dapat dipertunjukkan (perturan.go.id). Film dapat menciptakan realitas fiksi sebagai perbandingan realitas, dan memiliki kemampuan dalam meniru realitas kehidupan sedekat mungkin dibandingkan dengan media lain. Film juga dapat diartikan sebagai bentuk penggambaran penggalan kehidupan sosial, yang terkadang mendukung, menolak, mengkritik, atau tetap netral. Film memiliki berbagai elemen, seperti narasi, sinematografi, transisi, dan suara, yang saling terkait dan melengkapi untuk membentuk elemen film yang lengkap dan menyeluruh. Sehingga bisa dijadikan sebagai salah satu media komunikasi yang cukup efektif dalam membentuk realitas sosial di masyarakat.

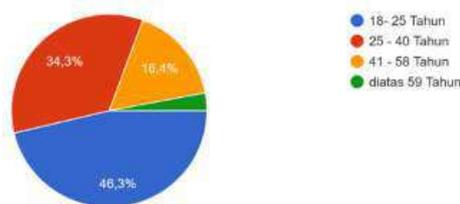
Metode

Makalah ini ditulis dengan metode penelitian survei dengan cara mengumpulkan data dari responden melalui kuesioner yang berisi serangkaian pertanyaan. Menurut Sugiono (2017) Kuesioner atau juga disebut dengan angket yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kuesioner atau angket tertutup, karena responden hanya tinggal memberikan tanda pada salah satu jawaban yang dianggap benar. Instrumen penelitian merupakan alat yang digunakan oleh seorang yang melakukan suatu penelitian guna mengukur suatu fenomena yang telah terjadi. Penulis menyebarkan kuesioner dengan pertanyaan singkat tentang pandangan responden dan media informasi sebagai sumber informasi penyampai pesan tentang nuklir, dalam berbagai latar belakang usia, jenis kelamin maupun Pendidikan.

Pembahasan

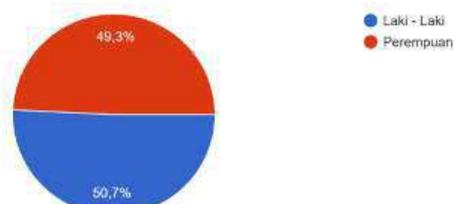
Penelitian yang dimulai dari tanggal 22 Mei 2023 hingga 8 Juni 2023 berhasil mendapatkan responden sebanyak 67 orang. Pada penelitian ini, usia yang terlibat lebih banyak dalam masa produktif yaitu sekitar 18 – 25 tahun, dan usia 25 - 40 tahun (Gambar 1), dengan jenis kelamin antara laki-laki dan perempuan yang hampir berimbang (Gambar 2).

Usia
67 jawaban



Gambar 1

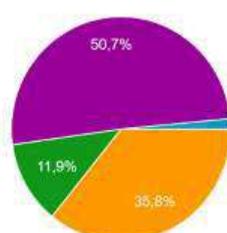
Jenis Kelamin
67 jawaban



Gambar 2

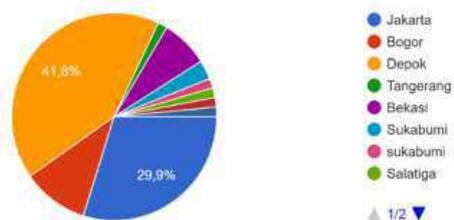
Penulis melakukan penelitian dari berbagai latar belakang pendidikan yang beragam, dengan lokasi lebih banyak di Depok dan Jakarta. Seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan 4.

Pendidikan Terakhir
67 jawaban



Gambar 3

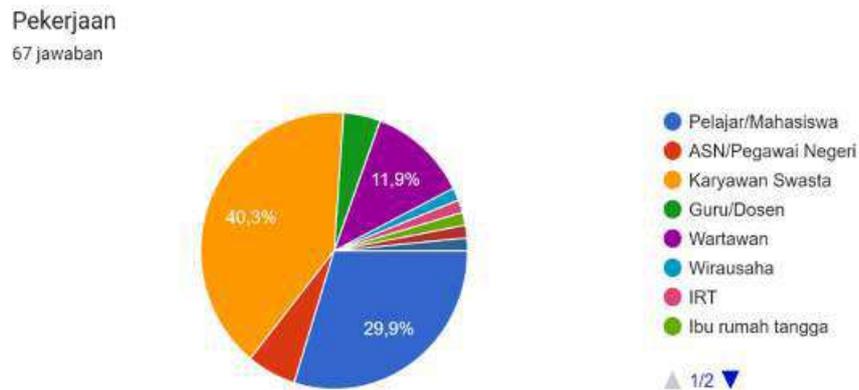
Domisili
67 jawaban



Gambar 4

Untuk mendapatkan data yang lebih objektif, maka kami memilih responden dari berbagai latar belakang pekerjaan yang juga beragam. Diantaranya Guru, Wartawan, ASN, dan berbagai pekerjaan

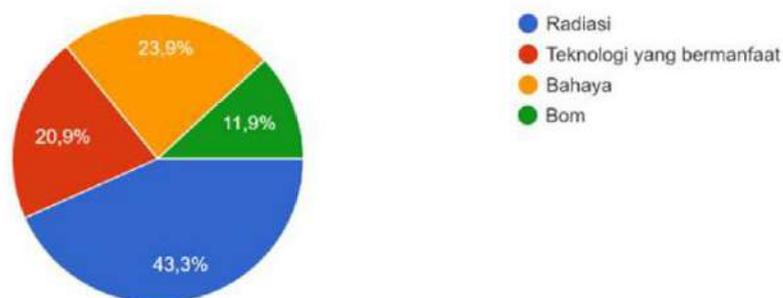
lain, meskipun yang mendominasi tetap karyawan swasta dan Pelajar/Mahasiswa. Keberagaman tersebut bisa kita lihat dalam Gambar 5.



Gambar 5

Dari jumlah 67 responden tersebut hanya 20,9% yang menjawab nuklir sebagai teknologi yang bermanfaat, ketika ditanyakan apa yang terlintas dalam pikiran ketika mendengar kata nuklir. Selebihnya 43,3% menjawab nuklir sebagai radiasi, 23,9% nya berpendapat bahwa nuklir itu berbahaya, dan 11,9% nya nuklir adalah bom. Hal ini bisa terlihat pada Gambar 6 dimana faktanya, persepsi masyarakat umum mengenai nuklir di Indonesia masih cenderung negatif. Padahal mereka tidak pernah mempelajari ataupun berkecimpung langsung dengan dunia nuklir. Hal ini terlihat dari pertanyaan selanjutnya yang ditanyakan penulis. Dimana stigma negatif yang terbentuk di masyarakat umum justru berasal dari informasi yang mereka terima melalui tayangan video dan film. Dalam hal ini kita bisa melihat bahwa film sukses menjadi media komunikasi dalam penyampaian informasi terkait dampak penggunaan tenaga nuklir yang berbahaya. Akan tetapi tanpa disadari, dengan banyaknya film yang beredar justru membuat masyarakat umum semakin takut dan menolak keberadaan tenaga nuklir. Hal ini dikarenakan informasi yang mereka serap tidak seimbang, dimana film yang beredar saat ini lebih banyak menceritakan tentang dampak yang berbahaya. Padahal jika sebuah film berhasil membuat masyarakat menjadi antipati, maka sebaliknya film juga sangat mampu membuat masyarakat bersimpati bahkan mendukung keberadaan dan perkembangan tenaga nuklir.

Apa yang terlintas dalam pikiran anda saat mendengar/membaca kata "Nuklir"?
67 jawaban

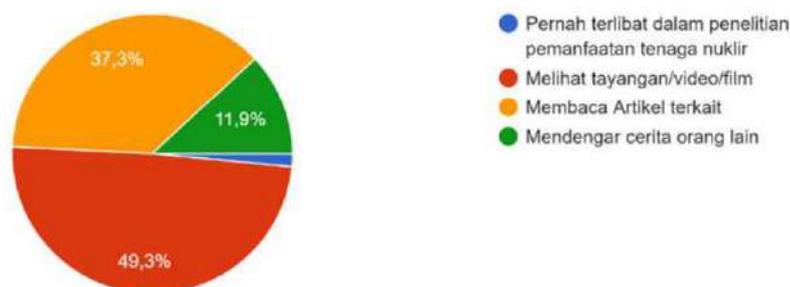


Gambar 6

Kita bisa melihat pada Gambar 7 dimana 49,3% orang berfikir negatif tentang tenaga nuklir dikarenakan informasi yang di dapatkan melalui media video/film. Sementara 37,3% nya mendapatkan informasi tentang bahaya nuklir dari artikel sementara sisanya hanya mendengar cerita dari orang dan pernah terlibat langsung dalam penelitian. Hal ini bisa menunjukkan bahwa tingginya informasi yang didapatkan dan diserap masyarakat umum dari media komunikasi yaitu film/video terkait penggunaan tenaga nuklir di Indonesia dibanding media yang lain.

Apa yang mendasari anda berpikir demikian?

67 jawaban

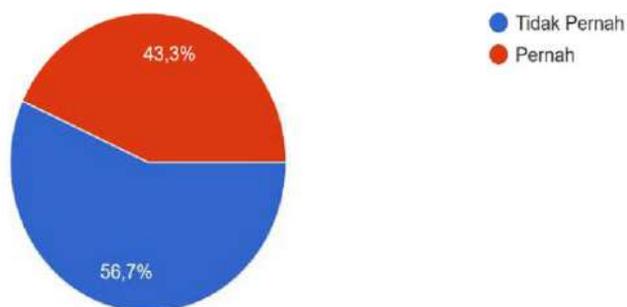


Gambar 7

Pada saat ini informasi terkait manfaat tenaga nuklir masih sangat jarang dikemas dalam bentuk audio visual/film, sehingga menimbulkan kesenjangan informasi yang didapatkan masyarakat umum terkait teknologi nuklir. Padahal film sangat mampu membuat orang memiliki pandangan negatif ataupun positif terkait dengan tenaga nuklir tergantung pesan yang ingin disampaikan. Kami mencoba memberikan pertanyaan terakhir, apakah responden pernah melihat tayangan video atau film yang bercerita tentang manfaat tenaga nuklir? Hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 8 dimana masih banyak yang belum melihat tayangan tentang film atau video yang menjelaskan manfaat dari tenaga nuklir, dengan presentase sebanyak 56,7% menjawab belum, dan 43,3% menjawab pernah. Dari responden yang menjawab pernah, kami kroscek kembali yang ternyata mereka pernah melihat dalam bentuk tayangan atau video di youtube, bukan sebuah film. Dalam hal ini dapat disampaikan bahwa hingga saat ini belum ada satu film pun baik di Indonesia maupun di luar negeri yang bercerita tentang manfaat pengembangan tenaga nuklir untuk kehidupan umat manusia. Jika yang bercerita tentang bahaya dan dampak negatif nya sangat banyak. Sehingga penulis menilai perlu ditingkatkan lagi untuk penyampaian informasi tentang pemanfaatan nuklir lewat media film.

Pernahkah anda melihat tayangan film yang menceritakan tentang manfaat tenaga nuklir?

67 jawaban



Gambar 8

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang penulis lakukan, kami menyimpulkan bahwa peran film sebagai media komunikasi dalam sosialisasi pemanfaatan dan keselamatan teknologi nuklir di Indonesia, sangat berpengaruh terhadap pandangan, dukungan dan sikap masyarakat Indonesia terhadap teknologi nuklir. Hal ini disebabkan tingginya stigma negatif masyarakat umum terhadap teknologi nuklir yang dipengaruhi sebagian besar oleh film. Selain itu media yang digunakan saat ini sebagai alat penyebaran informasi seperti tayangan video di youtube, ataupun artikel ternyata pengaruh yang diberikan tidak sebesar film. Film memiliki kemampuan dalam penyebaran pesan yang baik, bahkan tidak hanya pada level pengetahuan namun bisa lebih jauh lagi yaitu pengambilan sikap dan perubahan perilaku. Sehingga penulis melihat bahwa saat ini, khususnya di Indonesia penggunaan film sebagai media komunikasi dalam sosialisasi pemanfaatan dan keselamatan teknologi nuklir sangat diperlukan. Hal ini demi menunjang pengembangan tenaga nuklir, salah satunya pembuatan PLTN. Karena dampak dari tayangan film, bisa dibentuk sesuai pesan yang ingin disampaikan si pembuat film.

Saran

BAPETEN sebagai lembaga yang memiliki tanggung jawab terhadap sosialisasi keselamatan nuklir, serta memiliki peran dalam pembentukan persepsi positif dari masyarakat mengenai tenaga nuklir di Indonesia, kami menyarankan agar mulai membuat atau menyisihkan anggaran untuk pembuatan film yang profesional mengenai manfaat tenaga nuklir untuk kehidupan masyarakat. Hal ini sangat diperlukan demi mendapatkan simpati dan dukungan dari masyarakat terkait pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia. Karena masyarakat umum juga perlu tahu, tentang manfaat dan sistem keselamatan yang sudah dibangun negara kita dalam penanganan tenaga nuklir. Film bisa menjadi salah satu media komunikasi dalam penyebaran informasi. Film sendiri mampu memberikan edukasi yang dikemas dalam alur cerita menarik. Sehingga penonton bisa diajak bersama mendalami cerita, dan dengan sendirinya penonton akan melakukan perubahan sikap dan perilaku serta dukungan tanpa merasa terpaksa atau digurui. Sebagai contoh film yang dibuat bisa memiliki alur cerita yang menyenangkan, sehingga mudah di ingat oleh penonton, dan dapat memiliki kesan yang mendalam terhadap teknologi nuklir. Harapannya dampak dari film tersebut dapat membangun persepsi positif di masyarakat. Sehingga pada saat pemberian pendapat tentang pembangunan pembangkit tenaga nuklir di wilayah sekitar, diharapkan masyarakat bisa mengambil sikap mendukung pengembangan tenaga nuklir di Indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] Doloressa, Gloria. 2014. *Komunikasi Efektif sebagai kompetensi Inspektur Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir di Indonesia*. Seminar Keselamatan Nuklir. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Available: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/50/022/50022659.pdf>
- [2] Hermawan, Dedi dan Mohamad Mamat. 2016. *Tinjauan Komunikasi Badan Pengawasan Tenaga Nuklir dalam Peraturan di Indonesia*. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. <https://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir> di akses 08 juni 2023
- [3] Irawati, Zubaidah. 2007. *Pengembangan Teknologi Nuklir untuk Meningkatkan Keamanan dan Daya Simpan Bahan Pangan*. Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi. Vol 3 (2). Retrieved from <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2007.3.2.558>
- [4] Irwanto. (1999). *Psikologi Umum*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- [5] Mc Quail, D. 2011. *Teori Komunikasi Massa Mc Quail*. Jakarta: SalembaHumanika
- [6] Phispal, Robert. 2013. *Pengaturan Hukum internasional atas pemanfaatan Tenaga Nuklir dan Dampak lingkungan yang Mungkin Timbul*. Vol. 1 (5). journal bagian hukum dan masyarakat fakultas hukum unsrat. Retrieved from <https://doi.org/10.35796/les.v1i5.3180>
- [7] Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta, CV : Bandung.
- [8] Wijaya, Ivan anantha dkk. 2021. *Persepsi dan Kesiapan Masyarakat terhadap Potensi Nuklir sebagai Pembangkit Listrik*. Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online, Vol. 9 (3) , pp. 22-28, (online) Available: <https://jurnal.fkip.untad.ac.id/index.php/jpft/article/view/1415/1185>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



The Development of Country-Specific Nuclear Safety Culture for Indonesia: a Preliminary Study

Reno Alamsyah¹ and Anggoro Septilarso¹

¹*Center for the Assessment of System and Technology for the Regulation of Nuclear Installation and Material (P2STPIBN), BAPETEN, Jakarta*

Corresponding authors:

r.alamsyah@bapeten.go.id

a.septilarso@bapeten.go.id

Abstract

Standards and technical documents on Nuclear Safety Culture have been intensively developed by the IAEA since the nuclear accident at Chernobyl NPP in 1986. The concept of Culture which is integrated with nuclear safety, leadership and management systems has been stipulated for Indonesia in the 1997 Law on Nuclear Energy. The development of the concept of Nuclear Safety Culture and its regulation in Indonesia has been initiated since 2006 by adopting IAEA standards and guides. From international learning, the question arises was how might national culture influence Nuclear Safety Culture? This question is very important to be answered to build public trust in nuclear safety, especially regarding plans to build NPP in Indonesia. Thus, the purpose of this study is to develop a Nuclear Safety Culture that considers the national cultural values or themes that are believed to exist today and are also expected to happen in the future. As an initial study, this paper applies a qualitative and descriptive method with a comparative approach using secondary data from national and international credible sources. This study found five national cultural values that might influence the implementation of Nuclear Safety Culture in Indonesia. The five values are: 'gotong royong', democracy, diversity, trust, and harmony. This study concludes that the development of the concept of Country-Specific Nuclear Safety Culture for Indonesia may adapt IAEA standards for the characteristics by incorporating various relevant traits and attributes from established countries in implementing Nuclear Safety Culture and taking into account Indonesia's cultural values or themes.

Keywords: Nuclear Safety Culture, National Culture, Nuclear Safety, Leadership, Management System

Introduction

The publication of the IAEA safety series entitled 'Safety Culture' in 1991 demonstrates the response and lessons learned from the nuclear accident at the Chernobyl NPP that occurred in 1986 [1]. Since that standard, until now the definition of Nuclear Safety Culture (SC) has always been similar. The latest IAEA Glossary [2] defines it as: "The assembly of characteristics and attitudes in organizations and individuals which establishes that, as an overriding priority, protection and safety issues receive the attention warranted by their significance". The importance of SC in nuclear safety is demonstrated by the requirements in the IAEA GSR Part 2 [3] which states that leadership, all staff at all levels, and management systems are required to protect and maintain a strong SC.

In Indonesia, SC has been specified in Law No. 10 of 1997 on Nuclear Energy (Law 10/1997) by stipulating that the objective of regulation is to build a strong SC. Then, Government Regulation No 54 of 2012 (GR 54/2012), which regulates nuclear safety and security, also requires Licensee to implement SC that is integrated into the Management System (MS). In GR 33/2007, which regulates

radiation safety, SC is also included as a management requirement that must be implemented by the licensee. In 2006, BAPETEN also issued Guidelines for the Implementation and Development of Nuclear Safety Culture [4] adopting several IAEA standards.

With the above regulations and guidelines, BAPETEN carries out various SC promotion activities at national nuclear facilities operated by BATAN (BRIN). Then BATAN issued Decree No. 200/KA/X/2012, which was later revised by BATAN Decree No. 4 of 2019. This Decree, which also refers to the IAEA standard, is the basis for the development of SC at BATAN. Until the transition from BATAN to BRIN, various SC activities have been carried out such as awareness raising and training, both for staff and senior management levels, focused groups, self-assessments, and internal benchmarking. On the other hand, BAPETEN continues to develop SC oversight methods and guidance in radiation and nuclear facilities. These activities are in line with the increasing uses of ionizing radiation and radioactive sources, and especially with the growing national interests to build NPP.

The arrangements and implementation of SC that have been carried out so far refer to IAEA standards. The question then is whether the values in Indonesian culture are fully in line with SC adopted from the international standards? This question is very important to be answered to build public trust in nuclear safety, especially related to plans to build NPP. In this context, the 2020 *Neilai* Report describes ten cultural values that are considered alive today [5]. Some of them are negative, such as: convoluted bureaucracy/rules, adherence to religious rules rigidly, and corruption. On the other hand, national specific SC has been developed by several advanced countries, such as the USA [6], Sweden [7], and Finland [8]. Thus, the purpose of this study was to develop a basic concept SC that considers the national cultural values believed to exist today and is also expected to happen in the future.

Method

This study was focused on SC for nuclear facilities and their regulation and was a preliminary study employing a desk study, using secondary data from credible national and international publications. The steps of this study are described in Figure 1.



Figure 1. The steps of this study

In the first step (S1), a study was conducted on international standards (IAEA), both for requirements and guides, as well as the supporting technical documentation regarding SC in nuclear installations and their regulatory oversight. At this step, the chronology of issuance and document coverage was considered to determine the significance and maturity factor of the SC concept. Adoption or adaptation of an international standard into a national system will certainly consider these two factors.

In the second step (S2), attention was paid to the documentation of the Country-Specific SC development stages in developed countries that already considers national culture in their SC. Studies conducted by Antonsen show that the nature and processes of organizational culture will always be rooted in, are influenced by, and influence local and national cultures, as well as risk management regimes at the regional, country, and industry levels [9]. At this step, attention is also paid to the relationship between the SC that has been specifically developed and the international standards.

The next step (S3) was a review of international studies to perceive international developments in developing SC that are specific to certain countries or that consider the local or national cultural interactions with SC. In the fourth step (S4), an assessment was carried out on the values in Indonesian culture that are believed to exist today or in the future and are considered to have the

potential to interact with SC. In the last step (S5), with the output of the four steps, a basic concept of SC that was specific to Indonesia was formulated as a model. This basic concept includes the basic SC structure that needs to be adopted in Indonesia, methods for integrating Indonesian national culture, and an example of examining the interaction between values in Indonesian culture and the SC.

Literature Review

1. International Standards and Guides

As the earliest document regarding SC, the IAEA INSAG-4 outlines the definition and characteristics of SC that are general in nature, universal features of SC with various commitment requirements for decision makers down to the individual level, concrete evidence that must be provided to demonstrate the implementation of the commitment to SC, and various SC indicators [1]. The IAEA then published several follow-up documents, such as: Tecdoc-821, which describes the experiences of several countries in strengthening SC in NPP [10], SRS No. 1 that explains the need for independent and effective regulatory oversight, and presents various techniques for building SCs [11], SRS No. 11 that expresses the stages and process of developing SC [12], INSAG-15 that discusses practical problems in improving SC [13], and Tecdoc-1329 as a guideline for strengthening SC. In Tecdoc-1329 it is underlined that safety is the result of interaction between leadership, safety management, and SC [14]. IAEA also issued SRS No. 42 regarding SC in NPP maintenance [15], and for the SC performance appraisal guidelines, the IAEA has also published Tecdoc-860 which describes methods and technical services for SC self-assessment conducted by an international team [16], as well as Tecdoc-1321 which outlines examples of SC self-assessments in several countries [17].

After the above initial period of developing SC, the IAEA issued standard requirements and guidelines that are steady and widely accepted, including in Indonesia. The SC requirements are contained in the IAEA standard GS-R-3 [18], which has now been amended by GSR Part 2 [3]. The GS-G-3.1 guideline standard provides a very solid foundation by outlining the five characteristics of SC, namely: safety is a value that is clearly understood, safety leadership is clear, responsibility for safety is clear, safety is driven by learning, and safety is embedded in all activities [19]. Then, in the guidelines for nuclear installations, GS-G-3.5, the five characteristics with 37 attributes as described in GS-G-3.1 are further explored in various forms of activity, so that the achievement of each attribute and characteristic becomes easy to carry out and assess [20].

In terms of technical documents supporting guideline standards, the IAEA issued SRS No. 74 regarding the application of SC for the pre-operational period of NPP [21]. Then, based on the requirement and guideline standard and referring to the iceberg theory and the Edgar Schein's cultural model, the IAEA simultaneously issued SRS No. 83 which outlines the procedures and processes for conducting SC self-assessments [22] and Service Series No. 32 (SVS No. 32) that describes the IAEA Operational Safety Review Team (OSART) as an SC self-assessment module and assessment services [23].

For regulatory bodies, SVS No. 32 is a very important document because it explains in detail the SC assessment methods, such as questionnaire surveys, field observations, interviews, and focused groups. The SVS No. 32 complements the previous IAEA publication, namely Tecdoc-1707 which outlines the regulatory oversight on the performance of SCs in nuclear installations [24]. Furthermore, the IAEA has also published Tecdoc-1895 which provides examples of good practice in applying SC in regulatory bodies [25], and SVS No. 40 which draws the procedure for SC self-assessment in regulatory bodies [26].

2. International Practices

Countries that have developed SC considering to their national cultures are the USA, Sweden, and Finland. Initially, the USNRC issued policy statements and expectations that the licensee's individuals and organizations establish and maintain positive SCs commensurate with the safety and security significance of their actions and the nature and complexity of their organization and functions. Instead of using the five characteristics, as in the IAEA standard, the USNRC defines nine SC traits, namely: leadership, problem identification and resolution, personal accountability, work processes, continuous

learning, caring environment, communication, respectable environment, and questioning attitude [6]. The USNRC later issued NUREG-2165 which provide a general description of the SC and add 'decision making' as the tenth trait of the SC [27]. The regulatory body also published inspection procedure No. 95003, which is guidance on conducting SC inspections and assessments [28].

Through the activities of the Country-Specific Safety Culture Forum (CSSCF) sponsored by the OECD-NEA, Sweden has succeeded in developing a Swedish-Specific SC. The NEA Document No. 7420 describes the process of identifying the Swedish national context, capturing several cultural traits that are uniquely Swedish, and evaluating their possible influence on several attributes of organizational behavior, namely: staffing/leadership/management, decision-making, accountability, feedback, and learning. The traits found are *Samskap* (unity/harmony), *Allskap* (everyone has the same rights/reasons), security and trustworthiness, hope for freedom, self-satisfaction/national pride, and a desire to share understanding [7]. The matrix between Traits and Organizational Behavior was able to map the advantages and opportunities for improvement of SC that are unique to Sweden.

Finland also utilizes CSSCF to obtain specific attributes of national culture that can influence SC. These attributes are trustworthiness, technical stability, and Finnish communication style (tacit, straightforward, transparent, reserved, and honest). The NEA Document No. 7488 depicts the Method for identifying the national context in Finland and the matrix between these attributes and their combinations of positive impacts and challenges that need to be considered in implementing SC [8]. Apart from Sweden and Finland, the NEA website exposes several other countries, such as Canada and Japan that are in progress to develop their country specific SC through CSSCF [29].

3. International Studies

The scope of international scientific studies regarding SC has grown very broad nowadays. Some have conducted studies that are quantitative, including by applying the Bayesian method [30] and multiple criteria decision analysis using matrix and fuzzy logic [31]. Other research applies the psychometric model [32], explores Schein's cultural model to further develop the SC assessment approach in NPP [33], and develops the assessment and modeling of organizational and human factors in SC by taking the case in Saudi Arabia [34].

Several other studies reviewed the relationship between national culture and SC. The study conducted by Chen, Cao and Cao presents a reflection on SC from the perspective of traditional Chinese culture. This paper reviews several traits rooted in Chinese culture and their influence on SC. The traits are people-oriented philosophy, diversity consciousness, sense of responsibility, leadership and obedience, and dedication and overtime culture [35]. Another study conducted by Trajano presented an analysis of safety culture policies and nuclear safety culture and security culture in East Asia to find good practices and existing challenges. Indonesia as one of the countries reviewed here is appreciated for the establishment of the Center for Nuclear Security and Assessment operated in BATAN and the Indonesia Center of Excellence on Nuclear Security and Emergency Preparedness (I-CoNSEP) in BAPETEN, both in 2014. On the other side, this study also found that Indonesia is a very hierarchical country with a score of 78/100, where managers are in full control requesting obedience and respect from their subordinates, as well as with a communication style that is not direct and hides negative feedback. Furthermore, Indonesians generally prefer to avoid uncertainty with a score of 48/100, where they expect a good working atmosphere and harmonious relationships so that no one wants to convey negative feedback or news to their colleagues. Nonetheless, it was also said that Indonesia realized the importance of continuing efforts to achieve effective nuclear safety and security, with nuclear safety culture and nuclear security culture as the very important elements [36].

4. National Culture

The SC has been required in Indonesia by Law 10/1997 and GR 54/2012. For the implementation, BAPETEN has also published BAPETEN Chairman Regulation No. 4/2010 concerning management system, which also includes SC. In this area, both BAPETEN and BATAN adopted the IAEA documentation on SC. In the implementation or practice, SC interacts with national culture and values in many forms.

To understand those national culture and values, the large-scale national survey involving 50,452 respondents that was conducted by Nenilai in 2020 might be considered. The activity initiated by the

Ministry of Development Planning surveyed personal values, current national culture, and expected national culture, based on the Barrett Seven Level Consciousness Model, which is an expansion of the Maslow's Hierarchy of Needs [5]. The seven consciousness levels are: 1. Survive; 2. Relationships; 3. Self-respect; 4. Transformation, 5. Internal cohesion; 6. Make a difference; and 7. Service. The results of this survey present the top 10 scores for each of the three value groups as presented in Table 1.

Table 1. Main findings of the 2020 Nenilai Survey. (Excerpted from [37])

No.	Personal values	Current national cultural values	Expected national cultural values
1.	Responsible (4)	<u>Gotong royong^{a)}</u> (5)	Fairness/Justice (5)
2.	Simple life/Modest (3)	Convolved bureaucracy/ rules (3)	Social justice (4)
3.	Trusted/Trust (5)	Rigidly stick to religious rules (3)	<u>Human rights</u> (7)
4.	Fairness/Justice (5)	Corruption (1)	<u>Gotong royong</u> (5)
5.	Discipline (1)	Diversity (4)	<u>Democracy</u> (4)
6.	Sincere (5)	<u>Democracy</u> (4)	Long-term thinking (7)
7.	Humorous/Pleasant (5)	Discrimination <u>SARA^{b)}</u> (2)	Responsible (4)
8.	Integrity/Honesty (5)	Domination of the elite/upper class (3)	Integrity/Honesty (5)
9.	Respecting parents (2)	Short-term thinking (1)	Prosperity (1)
10.	Enthusiastic/Vibrant (5)	<u>Human rights</u> (7)	Quality life (6)

Notes:

- The number in parentheses is the Barrett level of consciousness.
- ^{a)} *Gotong royong* was introduced firstly for political influence by the first President of Indonesia. In English, it literally means sharing the load together. In broad understanding might be similar to mutual cooperation, collaboration, solidarity, working together, and helping each other.
- ^{b)} SARA (Suku, Agama, Ras, and Antar golongan) means Ethnic, Religion, Race, and Intergroups/Classes.
- Values in the underline are both the current and the expected national cultural values.

Other studies on culture in Indonesia that have the potential to be related to SC include diversity in Indonesian culture [37], the development of cultural and ethnic values for indigenous and non-native leaders which influence their behavior in leading their organizations [38], the influence of leadership, organizational culture, conflict, and work ethic, in determining employee performance [39], the effect of national culture on innovation [40], and research on government human resource management institutions which shows that the existing culture is hierarchical and the culture chosen is also clan-oriented [41].

The studies above might be used as input for improving relevant policies. Previously, Indonesia through the Ministry of Manpower and Bureaucratic Reforms has issued Regulation No. 39/2012 regarding the guideline to develop occupational culture. This regulation defines occupational culture (culture set) as the attitude and behavior of individuals and groups based on values that are believed to be true and have become traits and habits in carrying out daily tasks and work. Then, following up on the policy from the President of Indonesia, the same ministry published Circular Letter No. 20/2021 concerning the implementation of core values and employer branding of the state civil apparatus. The values, which are promoted in this policy to be applied by all the government institutions, are abbreviated as 'Be-AKHLAK' and consist of: service-oriented, accountable, competent, harmonious, loyal, adaptive, and collaborative. At almost the same time, BAPETEN also issued Decree No. 1711/K/VII/2021 concerning indicators of values at BAPETEN. In this policy, the values upheld by BAPETEN are 'AMPUH', i.e.: trust, independence, care, excellence, and harmony.

Results and Discussion

1. The Basic Structure

From the literature review above, it is clear that the standard requirements and guidelines as well as technical documents issued by the IAEA regarding SC have been a very long process since 1991, with various intensive inputs from experience and knowledge provided by numerous international experts. The IAEA standard that contains SC requirements is GSR Part 2 [3]. Other requirements in GSR Part 2 are considered equivalent to the ISO 9001:2015 standard, which has been globally accepted by the industry for quality management systems [42]. Currently, the guidelines for implementing SC in GS-G-3.1 [19] and GS-G-3.5 [20] are in the process of being amended. Nonetheless, other guidelines, especially SRS No. 83 [22] and SVS No. 32 [23] can be considered as the main reference in conducting assessments, both for implementers and for regulatory agencies.

The structure of the IAEA SC, which was built from five characteristics, can be compared with the concept of SC traits used by developed countries such as the USA with 10 traits [27] and Finland with 7 traits [8] as also described in the regulatory guide YVL A.3 of 2019. The comparison of these basic structures can be seen in Figure 2.

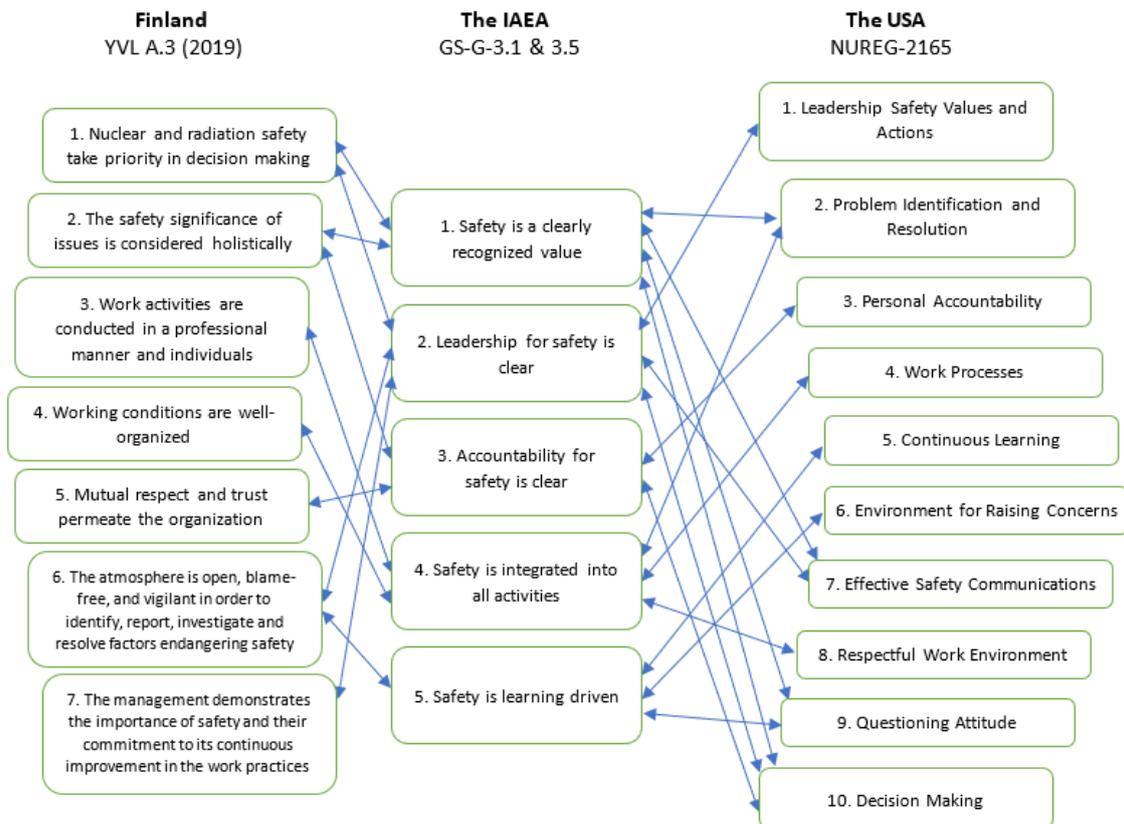


Figure 2. The comparison of SC basic structure from the IAEA, Finland, and the US

The arrow lines in Figure 2 show similarities between the characteristics (IAEA) and the traits (Finland and the US). Figure 2 confirms that the basic structure of the SC promoted by the IAEA is simpler and more flexible. Thus, Indonesia may adapt the basic structure of the SC from the IAEA with these five characteristics, enrich it with relevant traits developed by Finland and the US, and then add some values that are unique to Indonesia.

2. Integration Methods

The Swedish [7] and Finnish [8] CSSCF reports describe the process for obtaining themes that are related to SC. The two documents both start their process with focus group activities and interviews to obtain cultural data, such as cultural values or mottos that are considered important and exist in society. From the data obtained, Sweden classifies it into several 'cultural facts.' One or several cultural facts or even cultural data can be raised into selected themes to explore further the image of the SC's national context. A similar process was also carried out in Finland. Instead of 'cultural facts', Finland uses the term 'identification of relevant cultural norms.' Indonesia might utilize a comparable integration method to formulate a Country-Specific SC for Indonesia. Interviews can be conducted with senior management and SC campaigners, both at the nuclear installation and at BAPETEN. Meanwhile, Focus groups can be organized heterogeneously involving senior management and SC promoters, and national cultural experts. This process is depicted in Figure 3.

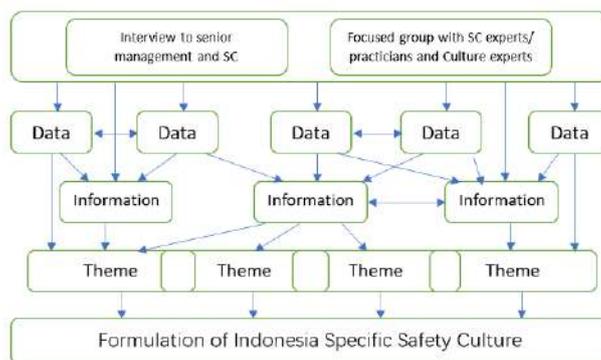


Figure 3. The proposed process to develop the Country-Specific SC for Indonesia

The process as shown in Figure 3 can be initiated, facilitated, and moderated by the regulatory body (BAPETEN) that promotes and evaluates SC on a national scale, as mandated in Law no. 10/1997. Figure 3 does not need to be used rigidly, but only used as a pattern that interviews and focus groups are expected to provide cultural data. Data, information, and themes can interact and intersect with each other in order to capture Indonesian discourse more broadly. In this process, the basic SC structure obtained from the process in Figure 2 might be used as a starting material for further study. Then, cultural values or attributes from the results of the 2020 Nenilai Survey [5], and from the national values policy ‘Ber-AKHLAK’ and the BAPETEN values policy ‘AMPUH’ were also evaluated.

3. Implementation Example

Of the 10 current national cultural values in the 2020 Nenilai survey [5], it can be seen that some of them are negative, namely: convoluted bureaucracy/rules, rigidly stick to religious rules, corruption, discrimination, domination of the elite, and short-term thinking. These values will not be used further in discussing Country-Specific SC for Indonesia. Then, there are three values that must be considered very important because they are also the values that are expected to exist in the future. The three values are *gotong royong*, democracy, and human rights. Nonetheless, democratic values can be considered similar to human rights, so that they can be integrated into the broad framework of democracy. Apart from that, the issue of human rights is also very far related to SC. Hence, from this Nenilai survey, there are three values that have the potential to become material for specific SC studies for Indonesia, namely: *gotong royong*, democracy, and diversity. Scientific studies [37-41] demonstrate the concordance and importance of these three values.

The values contained in the national policy ‘Ber-AKHLAK’ and in regulatory bodies ‘AMPUH’ should be seen not only as the existing values but also as the expected values, so that in general they will be in line with the SC. The ‘accountable’ value of Ber-AKHLAK and the ‘trust’ value of AMPUH are also similar. A study by Galloway stated that trust is the bonding agent and is critically important to the success of Safety Culture Excellence [43]. Furthermore, the ‘harmony’ value exists both in the policies of Ber-AKHLAK and AMPUH. In this case, other studies stated that the style of communication in several East Asian countries, including Indonesia, is indirect and hides negative feedback, and this also falls into harmony discourse [36].

Therefore, trust and harmony are the two national cultural values that can also be raised for the development of Country-Specific SC for Indonesia in addition to the three values taken from the results of the 2020 Nenilai survey. These five values were used for further analysis with the evaluation format adapted from [7] and [8]. The results are presented in Table 2 and Table 3.

Table 2. The impact and challenge of the selected values on SC

	Positive impact	Challenge requiring attention
Gotong royong	<i>Gotong royong</i> creates esprit de corps and mutual understanding within an organization and in turn increases efficiency.	Without clear awareness of SC, <i>gotong royong</i> might lead to silo mentality between organizations.
Democracy	Democracy is fully supporting the questioning attitude in SC.	Leadership has to anticipate many technical and administrative questions on safety and SC.
Diversity	Diversity enriches the culture in an	Management systems and leadership, which

	organization and enhances learning, creativity, and tolerance in social life.	shall be responsible for standardized processes and objectives on safety and SC, should prepare more dialogue in facing diversity.
Trust	Trust generates mutual respect atmosphere within an organization.	The allowance of trust to an external organization that has insufficient credibility.
Harmony	Harmony may build an organization that cares about employee satisfaction and happiness.	The potency for slow progress and conflict of interest should be considered. Conflict avoidance could enhance impediments in dealing with unresolved safety issues.
Democracy + Diversity	Highly confident organization.	Preparation of leadership that suites democracy and diversity environment, which Indonesia as a nation is in the learning process for this.
Trust + Harmony	Excellent communication could be expected throughout the organization.	This combination may deeply challenge leadership and the decision-making process.
Diversity + Trust + Harmony		Leadership might be a critical subject and conflict avoidance could significantly increase the obstacles in solving safety problems.

Table 2 provides an overview of the influence and impact of the selected values on SC as well as anticipating the challenges that may be faced in the future. It has also been shown that the combination of two or more values, each of which is initially considered good, might produce extraordinary challenges. Nonetheless, Table 2 can be used as a modality to further explore the influence of these values on each SC characteristic, as shown in Table 3.

Table 3. Exploratory questions on the selected values to the characteristics of SC

Values	Characteristics of SC				
	Safety is a clearly recognized value	Leadership for safety is clear	Accountability for safety is clear	Safety is integrated into all activities	Safety is learning driven
Gotong royong	How might <i>gotong royong</i> influence the recognition that safety is a paramount value?	What might be the safety implication of <i>gotong royong</i> in decision making and leadership?	What would be the impact of <i>gotong royong</i> on the accountability for safety?	How might <i>gotong royong</i> enhance the integration of safety into all activities?	How might <i>gotong royong</i> support continuous learning on safety and SC?
Democracy	How might democracy enhance the recognition that safety is a paramount value?	What might be the safety implication of democracy in decision making and leadership?	How might democracy enhance accountability for safety?	How might democracy affect the integration of safety into all activities?	How might democracy enhance and maintain continuous learning on safety and SC?
Diversity	How might diversity affect the recognition that safety is a paramount value?	How might diversity influence the decision making on and leadership for safety?	What would the impact of diversity on the accountability for safety?	How might diversity influence the integration of safety into all activities?	How might diversity support continuous learning on safety and SC?
Trust	What would the impact of trust on safety, and how it influences the recognition that safety is of paramount value?	What might be the safety implication of trust in decision making and leadership?	How might trust affect the accountability for safety?	How might trust support the integration of safety into all activities?	How might trust enhance continuous learning on safety and SC?
Harmony	How might harmony affect the recognition that safety is a paramount value?	What might be the safety implication of harmony in decision making and leadership?	How might harmony influence the accountability for safety?	How might harmony influence the integration of safety into all activities?	How might harmony trust affect continuous learning on safety and SC?

The questions in Table 3 are basic patterns that might be developed further, and the answers to all the questions are very important in developing the Country-specific SC for Indonesia. Hence, the influence of national culture on SC can be clearly mapped in the format of Table 2 and Table 3.

Conclusion and Recommendations

It has been shown that Indonesia may adopt the basic SC structure with five characteristics as developed by the IAEA. These five characteristics can be considered comparable to the traits of developed countries that already have an established SC concept, i.e., Finland and the USA. The content of each of the characteristics developed by Indonesia might be improved by adopting the appropriate traits and attributes from the experiences of these countries.

In the process flow in obtaining Indonesian themes that might influence SC, the regulatory body as SC promoters may start with conducting interviews and focus groups on a national scale, involving senior management, SC practitioners, and cultural experts in determining the Indonesian themes.

Through this literature study, five Indonesian values were found, namely: *gotong royong*, democracy, diversity, trust, and harmony. These five values might be used as initial input in the future process of obtaining Indonesian themes. Finally, the concept of Country-Specific SC for Indonesia may be developed by taking into account the influence of acquired Indonesian values or themes on SC in general and on the characteristics of each SC characteristic. This study recommends that BAPETEN should continue the endeavor in developing the Country-Specific SC for Indonesia with relevant national scale interviews and focus groups.

Acknowledgement

The authors wish to acknowledge all the support and encouragement for this project by the management of BAPETEN, specifically by the Center for Nuclear Safety Assessment, BAPETEN.

References

- [1] IAEA (1991) *Safety Series No. 75-INSAG-4 Safety Culture*. IAEA, Vienna.
- [2] IAEA (2022) *Nuclear Safety and Security Glossary: 2022 (Interim)* Ed. IAEA, Vienna.
- [3] IAEA (2016) *GSR Part 2 Leadership and Management for Safety*. IAEA, Vienna.
- [4] BAPETEN (2006) *Seri Dokumen Teknis No. DT-0601 Panduan Penerapan dan Pengembangan Budaya Keselamatan Nuklir*. BAPETEN, Jakarta.
- [5] Pendit, VG et.al. (2021) *Laporan Survei Nenilai 2020*. Nenilai, Jakarta.
- [6] The US Government (2010) *Federal Register Vol. 76, No. 114, NRC-2010-0282 Final Safety Culture Policy Statement*.
- [7] WANO-STUK-NEA (2018) *NEA Publication No. 7420 Country-Specific Safety Culture Forum: Sweden*. NEA, Paris.
- [8] WANO-STUK-NEA (2019) *NEA Publication No. 7488 Country-Specific Safety Culture Forum: Finland*. NEA, Paris.
- [9] Antonsen S (2009) *Safety Culture: Theory, Method and Improvement*. Ashgate, Burlington.
- [10] IAEA (1995) *Tecdoc-821 Experience with Strengthening Safety Culture in Nuclear Power Plants*, IAEA, Vienna,
- [11] IAEA (1997) *Safety Report Series No. 1 Examples of Safety Culture Practices*. IAEA, Vienna.
- [12] IAEA (1998) *Safety Report Series No. 11 Developing Safety Culture in Nuclear Activities: Practical Suggestions to Assist Progress*. IAEA, Vienna.
- [13] IAEA (2002) *INSAG-15 Key Practical Issues in Strengthening Safety Culture*. IAEA, Vienna.
- [14] IAEA (2002) *Tecdoc-1329 Safety culture in nuclear installations: Guidance for use in the enhancement of safety culture*. IAEA, Vienna.
- [15] IAEA (2005) *Safety Report Series No. 42 Safety Culture in the Maintenance of Nuclear Power Plants*. IAEA, Vienna.
- [16] IAEA (1997) *Tecdoc-860 ASCOT Guidelines*. IAEA, Vienna.
- [17] IAEA (2002) *Tecdoc-1321 Self-assessment of safety culture in nuclear installations: Highlights and good practices*. IAEA, Vienna.
- [18] IAEA (2006) *Safety Requirement GS-R-3 The Management System for Facilities and Activities*. IAEA, Vienna.
- [19] IAEA (2006) *Safety Guide GS-G-3.1 The Application of Management System for Facilities and Activities*. IAEA, Vienna.
- [20] IAEA (2009) *Safety Guide GS-G-3.5 The Management System for Nuclear Installations*. IAEA, Vienna.
- [21] IAEA (2012) *Safety Report Series No. 74 Safety Culture in Pre-operational Phase of Nuclear Power Plant Projects*. IAEA, Vienna.
- [22] IAEA (2016) *Safety Report Series No. 83 Performing Safety Culture Self-Assessment*. IAEA, Vienna.
- [23] IAEA (2016) *Service Series 32 OSART: Independent Safety Culture Assessment (ISCA) Guidelines*. IAEA, Vienna.
- [24] IAEA, *Tecdoc-1707 Regulatory Oversight of Safety Culture in Nuclear Installations*, IAEA, Vienna, 2013.
- [25] IAEA, *Tecdoc-1895 Safety Culture Practices for the Regulatory Body*, IAEA, Vienna, 2020.
- [26] IAEA (2019) *Service Series 40 Guidelines for Safety Culture Self-Assessment for the Regulatory Body*. IAEA, Vienna.

- [27] USNRC (2014) *NUREG-2165 Safety Culture Common Language*. USNRC, Washington D.C.
- [28] USNRC (2019) *USNRC Inspection Procedure 95003, Attachment 02 Guidance For Conducting an Independent NRC Safety Culture Assessment*. USNRC, Washington D.C.
- [29] From: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_29571/country-specific-safety-culture-forum-csscf. Accessed on June 23, 2023.
- [30] Kim YG (2022) *A Quantitative Accident Analysis Model on Nuclear Safety Culture Based on Bayesian Network*. *Annals of Nuclear Energy* 166 (2022) 108703.
- [31] Zhang Y-J (2022) *Mathematical Modeling and Evaluation of Safety Culture for the Operating Nuclear Power Plants in China: Critical Review and Multi-Criteria Decision Analysis*. *Annals of Nuclear Energy* 168 (2022) 108871.
- [32] Nascimento CS, Andrade DA, and Mesquita RN (2017) *Psychometric Model for Safety Culture Assessment in Nuclear Research Facility*. *Nuclear Engineering and Design* 314 (2017) 227-237.
- [33] Schobel M, et.al. (2017) *Digging Deeper! Insight from a Multi-Method Assessment of Safety Culture in Nuclear Power Plants Based on Schein's Culture Model*. *Safety Science* 95 (2017) 38-49.
- [34] Alshehri SM, Alzahrani SM, and Alwafi AM (2023). *Modeling and Assessment of Human and Organization Factors of Nuclear Safety Culture in Saudi Arabia*. *Nuclear Engineering and Design* 404 (2023) 112176.
- [35] Chen H, Cao Y, and Cao Y (2022) *Reflection on Nuclear Safety Culture from the Perspective of Traditional Safety Culture*. *Radiation Medicine and Protection* 3 (2022) 196-199.
- [36] Trajano JCI (2019) *A Policy Analysis of Nuclear Safety Culture and Nuclear Security Culture in East Asia: Examining Best Practices and Challenges*. *Nuclear Engineering and Technology* 51 1696-1707.
- [37] Kusumohamidjojo (2022) *Kebhinekaan Masyarakat dan Kebudayaan di Indonesia*. Penerbit Yrama Widya, Bandung.
- [38] Sahertian P and Jawas U (2021) *Culture and excellent leaders: case of indigenous and non-indigenous Indonesian leaders*. *Heliyon* 7 (2021) e08288.
- [39] Ferine KF, et.al. (2021) *An empirical study of leadership, organizational culture, conflict, and work ethic in determining work performance in Indonesia's education authority*. *Heliyon* 7 (2021) e07698.
- [40] Setiawan AS (2020) *The influence of national culture on responsible innovation: A case of CO2 utilisation in Indonesia*. *Technology in Society* 62 (2020) 101306.
- [41] Sensuse DI, Cahyaningsih E, and Wibowo WC (2015) *Knowledge Management: Organizational Culture in Indonesian Government Human Capital Management*. *Procedia Computer Science* 72 (2015) 485 – 494.
- [42] Alamsyah R, et.al. (2019) *Perbandingan antara IAEA GSR Part 2 dengan ISO 9001:2015 untuk Penerapan di Bidang Ketenaganukliran di Indonesia*. Prosiding SKN 2019. BAPETEN, Jakarta.
- [43] Mathis TL and Galloway SM (2013) *Steps to Safety Culture ExcellenceSM*. Wiley, New Jersey.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Ketentuan Pemantauan Dosis Pekerja di Industri yang Melibatkan Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)

Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana¹, Diella Ayudhya Susanti¹

¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:
c.dwipayana@bapeten.go.id

Abstrak

Pemantauan dosis radiasi yang diterima pekerja merupakan salah satu kewajiban pemegang izin untuk menjamin nilai batas dosis tidak terlampaui. Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 hanya mempertimbangkan dosis radiasi yang berasal dari paparan eksternal. Padahal Dosis radiasi dari paparan interna melalui inhalasi juga menjadi kontributor terbesar untuk dosis total yang diterima pekerja. Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 mengamanatkan untuk pembentukan peraturan badan untuk menggantikan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013. Ketentuan terkait pemantauan dosis radiasi sangat penting untuk disempurnakan dengan mempertimbangkan jalur paparan eksternal dan juga paparan interna. Dalam studi ini dilakukan penelaahan terhadap peraturan perundang-undangan yang masih berlaku, dokumen publikasi IAEA, dan dokumen publikasi ARPANSA. Metodologi pemantauan dosis pekerja di industri NORM yang direkomendasikan oleh ARPANSA diusulkan untuk dapat diakomodir dalam peraturan yang akan disusun. Data yang diperlukan untuk melakukan pemantauan dosis paling kurang pembacaan dosimeter eksternal, pengukuran konsentrasi radon di udara, pengukuran konsentrasi aktivitas material, pengukuran konsentrasi partikulat di udara, dan waktu kerja. Laboratorium milik BRIN dinilai mampu memberikan jasa layanan untuk mendapatkan data tersebut. Metodologi yang diusulkan perlu diuji lebih lanjut dengan melakukannya secara langsung di industri-industri yang memiliki izin penyimpanan TENORM/MIR.

Kata Kunci: NORM, Pekerja, Dosis Eksterna, Dosis Interna

Abstract

Worker radiation doses monitoring is one of the obligations of licensee to ensure that dose limits are not exceeded. In BAPETEN Chairman Regulation Number 16 of 2013, only radiation doses from external exposure are considered. However, radiation doses from internal exposure through inhalation also contribute significantly to the total dose received by workers. Government Regulation Number 52 of 2022 mandates the establishment of a new regulation to replace BAPETEN Chairman Regulation Number 16 of 2013. Provisions related to radiation dose monitoring need to be improved by considering both external and internal exposure pathways. In this study, an examination of the existing Indonesia regulations, IAEA publication documents, and ARPANSA publication documents was conducted. The worker dose monitoring methodology recommended by ARPANSA for NORM industry was proposed to be incorporated into the upcoming regulations. Data required for dose monitoring includes external dosimeter readings, radon concentration measurements in air, activity concentration measurements of materials, particulate concentration measurements in air, and work hours. The laboratory under BRIN is considered capable of providing services to obtain this data. The proposed methodology needs further testing by implementing it directly in industries that have license for storage of TENORM/Radioactive Mineral Residue.

Keywords: NORM, Worker, External Dose, Internal Dose

Pendahuluan

Selain dimanfaatkan dalam produksi uranium, keberadaan radionuklida alam atau *Naturally Occurring Radioactive Material* (NORM) banyak ditemukan di fasilitas dan kegiatan yang melibatkan pemrosesan mineral lainnya. Fasilitas dan kegiatan yang dapat melibatkan NORM dalam proses produksinya antara lain pertambangan minyak dan gas bumi, industri pupuk fosfat, ekstraksi unsur tanah jarang, produksi dan penggunaan thorium dan senyawanya, penambangan bijih selain bijih uranium, industri zirkon dan zirkonia, produksi timah, tembaga, aluminium, seng, timbal, serta besi dan baja, serta pembakaran batubara [1]. Kegiatan industri yang melibatkan NORM tersebut memiliki potensi meningkatkan paparan radiasi yang diterima oleh para pekerja.

Pemantauan dosis radiasi yang diterima oleh pekerja di industri yang melibatkan risiko bahaya radiasi pengan sangat penting dilakukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan pekerja. Melalui Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengan dan Keamanan Sumber Radioaktif beserta peraturan turunannya, Pemerintah telah mengatur ketentuan mengenai pemantauan dosis radiasi yang diterima oleh pekerja. Pemantauan dosis radiasi yang diterima pekerja merupakan salah satu kewajiban pemegang izin untuk menjamin agar nilai batas dosis yang telah ditetapkan tidak terlampaui [2]. Salah satu parameter yang menjadi nilai batas dosis berupa dosis efektif yang didasarkan pada akumulasi penerimaan dosis yang berasal dari paparan radiasi eksterna dan paparan radiasi interna [3].

Jalur paparan NORM yang dapat menyebabkan risiko radiasi mungkin bergantung pada jenis kegiatan yang mengakibatkan perubahan tingkat konsentrasi aktivitas NORM. Jalur paparan bersifat kompleks, tetapi dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori besar, yaitu: (i) paparan interna; dan (ii) paparan eksterna. [4].

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM) juga mengatur ketentuan untuk melakukan pemantauan dosis yang diterima personal. Pemantauan dosis yang diterima personal adalah salah satu cara untuk memastikan keselamatan dalam penyimpanan TENORM. Namun dalam peraturan ini hanya mempertimbangkan dosis radiasi yang berasal dari paparan eksterna [5]. Selain paparan radiasi eksterna, jalur paparan radiasi interna memiliki potensi yang signifikan dalam menyumbang dosis radiasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa dosis yang diterima dari paparan radiasi interna bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan dosis yang diterima dari paparan radiasi eksterna. Terdapat penelitian melakukan pengkajian radiologis di fasilitas pemrosesan pasir zircon di Italia dengan hasil estimasi paparan yang diterima pekerja adalah sebesar 1.7 mSv/tahun. Dosis ini berasal dari tiga jalur paparan yaitu paparan eksterna radiasi gamma (0.3 mSv/tahun), paparan interna melalui inhalasi (0.76 mSv/tahun), dan paparan dari gas radon (0.6 mSv/tahun) [6]. Dosis radiasi dari paparan interna melalui inhalasi juga menjadi kontributor terbesar untuk dosis total yang diterima pekerja di fasilitas pemurnian zircon di Valencia Spanyol [7].

Telah dilakukan penelitaian di industri yang melibatkan NORM dan ditemukan bukti kuat yang menunjukkan adanya hubungan antara pemancar alpha dosis rendah dengan risiko terjadinya kanker paru-paru [9]. Juga terdapat bukti yang kuat terkait hubungan antara meningkatnya risiko kanker paru-paru dengan paparan radon yang diterima oleh para penambang uranium [10].

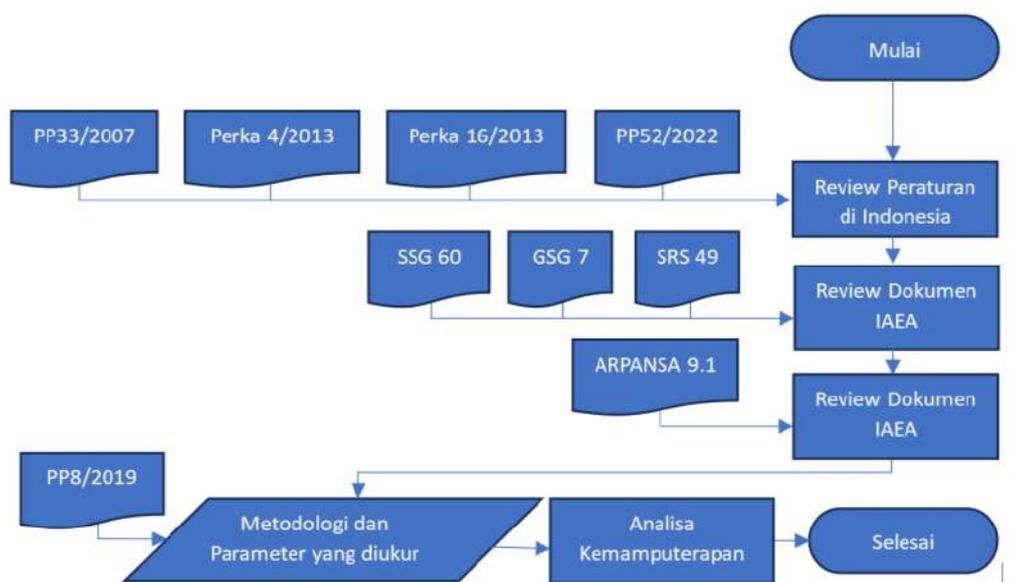
Melalui Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir, terjadi perubahan nomenklatur TENORM. Mineral Ikutan Radioaktif (MIR) menjadi nomenklatur baru yang menggantikan TENORM. Peraturan ini mengatur mengenai keselamatan Mineral Ikutan Radioaktif (MIR). Pasal 55 mengamanatkan untuk pembentukan peraturan badan yang mengatur mengenai keselamatan fasilitas dan kegiatan, Proteksi Radiasi, pengendalian radioaktivitas lingkungan hidup, penanggulangan Kecelakaan, dan pengelolaan limbah radioaktif pada pengolahan dan penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif [8]. Peraturan ini akan menggantikan Perka No. 16 tahun 2013.

Ketentuan terkait pemantauan dosis radiasi sangat penting untuk disempurnakan dengan mempertimbangkan baik jalur paparan eksterna maupun jalur paparan interna. Dalam makalah ini

akan dilakukan penelaahan dokumen literatur untuk memformulasikan usulan muatan pengaturan untuk dapat diakomodir dalam penggantian Perka BAPETEN No. 16 tahun 2013.

Metodologi

Dalam studi ini dilakukan telaah terhadap beberapa dokumen berupa peraturan perundang-undangan dan standar atau rekomendasi dari International Atomic Energy Agency (IAEA) serta negara lain. Telaah terhadap Dokumen peraturan perundang-undangan di Indonesia akan menggambarkan ketentuan yang berlaku terkait pemantauan dosis pekerja di industri yang melibatkan NORM. Dokumen dari IAEA digunakan untuk melihat rekomendasi yang perlu dilakukan untuk melaksanakan pemantauan dosis pekerja. Sedangkan dari pengalaman negara lain, Australia melalui ARPANSA telah memiliki dokumen yang memuat teknik-teknik yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan perkiraan dosis efektif yang diterima pekerja, baik jalur paparan eksterna maupun paparan interna.



Gambar 1. Alur Tahapan Telaah Dokumen

Dari penelaahan dokumen tersebut akan diketahui data apa saja yang diperlukan untuk melakukan perhitungan dosis efektif. Untuk menilai apakah metodologi yang direkomendasikan dapat diterapkan di Indonesia, akan ditinjau pula kemampuan laboratorium yang ada di Indonesia. Salah satu penyedia jasa laboratorium yang mungkin dapat memenuhi kebutuhan ini adalah laboratorium yang dimiliki oleh BRIN (exPTKMR BATAN). Daftar layanan jasa laboratorium tersebut dapat dilihat melalui penelaahan peraturan mengenai Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) yang berlaku di BRIN.

Hasil dan Pembahasan

1. Peraturan Perundang-Undangan di Indonesia

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Kemanan Sumber Radioaktif, Pemegang izin wajib memenuhi persyaratan proteksi radiasi. Persyaratan proteksi radiasi meliputi justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, limitasi dosis, dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Limitasi dosis dilakukan dengan menerapkan nilai batas dosis. Pemegang izin perlu memastikan nilai batas dosis ini tidak terlampaui. Salah satunya adalah dengan melakukan pemantauan dosis yang diterima oleh pekerja.

Evaluasi terhadap hasil pemantauan dosis harus dilakukan oleh laboratorium dosimetri yang terakreditasi. Laboratorium dosimetri kemudian menyampaikan hasil evaluasi kepada pemegang izin dan Bapeten. Pemegang izin memiliki kewajiban untuk menyampaikan hasil evaluasi kepada pekerja. Juga terdapat pengaturan masa penyimpanan hasil pemantauan dosis dan juga pelaporan jika ada pekerja yang menerima dosis melebihi nilai batas dosis [2].

Dalam peraturan pemerintah ini belum memunculkan nilai batas dosis dan juga jalur-jalur paparan yang menyebabkan pekerja menerima dosis radiasi. Pengaturan lebih lanjut mengenai hal tersebut ada dalam Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Nilai Batas Dosis untuk Pekerja ditetapkan dengan ketentuan:

- a. Dosis Efektif rata-rata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 tahun, sehingga Dosis yang terakumulasi dalam 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv; dan
- b. Dosis Efektif sebesar 50 mSv dalam 1 tahun tertentu.

Diatur juga nilai batas dosis berupa dosis ekuivalen untuk organ lensa mata, kulit, dan tangan atau kaki. Namun ketentuan ini tidak relevan untuk industri NORM.

Dosis efektif didasarkan pada akumulasi penerimaan dosis yang berasal dari paparan radiasi eksternal dan paparan radiasi internal. Peraturan ini memiliki lampiran yang memuat ketentuan metodologi perhitungan dosis efektif. Metodologi perhitungan dosis efektif dapat menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$E_t = H_p(10) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh} \quad (1)$$

E_t	=	Dosis Efektif (Sv)
$H_p(10)$	=	Dosis Ekuivalen dari penetrasi radiasi pada kedalaman 10 mm yang didapat dari hasil pembacaan dosimetri perorangan (Sv).
$e(g)_{j,ing}$	=	Dosis Efektif terikat per satuan masukan melalui pencernaan untuk radionuklida j oleh kelompok umur g (Sv.Bq ⁻¹).
$e(g)_{j,inh}$	=	Dosis Efektif terikat per satuan masukan melalui pernafasan untuk radionuklida j oleh kelompok umur g (Sv.Bq ⁻¹).
$I_{j,ing}$	=	masukan melalui pencernaan dari radionuklida j (Bq)
$I_{j,inh}$	=	masukan melalui pernafasan dari radionuklida j (Bq)

Dari persamaan (1) dapat dilihat bahwa dosis efektif merupakan akumulasi dari jalur paparan eksternal, dan paparan internal melalui inhalasi dan melalui ingesti.

Ketentuan mengenai pemantauan dosis yang tercantum pada pasal 34 menyebutkan bahwa pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi dilaksanakan melingkupi paparan radiasi eksternal dan paparan radiasi internal. Paparan radiasi eksternal dipantau dengan menggunakan peralatan pemantauan dosis perorangan yang berjenis *film badge*, *thermoluminescence dosimeter (TLD) badge*, *radiophotoluminescence (RPL) badge*, atau jenis lainnya.

Dalam hal Pekerja Radiasi berpotensi menerima Paparan Radiasi internal pemantauan dosis dilakukan melalui pengukuran *in-vivo* dengan *whole body counter* dan/atau *in-vitro* dengan teknik *bioassay*. *Whole body counter* digunakan untuk mengetahui aktivitas radionuklida dan dosis radiasi internal secara *in-vivo*. Teknik *bioassay* menggunakan sampel urin yang dianalisis untuk mengetahui aktivitas uranium total dan dosis radiasi internal secara *in-vitro* [2]. Ketentuan ini sedikit berbeda dengan yang dimaksud dalam persamaan (1).

Radionuklida yang ada dalam NORM adalah radionuklida deret U-238, deret Th-232, dan K-40. Sehingga untuk pemantauan dosis dari paparan radiasi internal lebih tepat menggunakan rumus yang ada dalam lampiran Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2013. Hal ini juga dikarenakan pengukuran *in-vivo* dan/atau *in-vitro* memiliki keterbatasan untuk menganalisa jalur paparan dan juga radionuklida yang masuk ke dalam tubuh.

Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2013 tersebut berlaku untuk semua jenis pemanfaatan tenaga nuklir, termasuk untuk kegiatan penyimpanan TENORM. Pengaturan mengenai penyimpanan TENORM diatur lebih spesifik dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM)*. Namun dalam peraturan ini, ketentuan pemantauan dosis pekerja sedikit berbeda dengan Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 dan Peraturan Kepala Bapeten

Nomor 4 Tahun 2013. Pemantauan dosis pekerja bukan dalam rangka memastikan nilai batas dosis terlampaui, namun merupakan bagian dari verifikasi keselamatan.

Selain itu, ketentuan pemantauan dosis pekerja pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 juga hanya mempertimbangkan dosis yang berasal dari paparan radiasi eksternal. Hal ini dapat terlihat dalam pasal 33 bahwa pemantauan dosis yang diterima personil harus dilakukan secara periodik paling sedikit 1 kali dalam 1 bulan, apabila menggunakan film badge, atau 1 kali dalam 3 bulan, apabila menggunakan *thermoluminescence dosimeter* (TLD) badge. Kedua alat ini adalah alat yang digunakan untuk mengukur dosis yang berasal dari paparan radiasi eksternal.

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir, diatur ketentuan mengenai proteksi radiasi untuk kegiatan pengolahan Mineral Ikutan Radioaktif (MIR). Walaupun sebenarnya masih banyak perdebatan terkait apakah MIR itu sama dengan NORM, dalam tulisan ini diambil pendekatan bahwa MIR sama dengan NORM. Dalam peraturan pemerintah ini, ketentuan pemantauan dosis pekerja merupakan salah satu muatan dari program proteksi dan keselamatan radiasi. Tidak ada pengaturan lebih lanjut mengenai dosis apa yang perlu dipantau dan dicatat.

Dalam program proteksi dan keselamatan radiasi juga dipersyaratkan untuk melakukan identifikasi sumber radiasi pengion dan jalur paparan. Identifikasi terhadap sumber radiasi pengion dan jalur paparan radiasi meliputi sumber eksternal dan internal. Sumber eksternal berupa radiasi gamma yang berasal dari bijih, produk, dan limbah. Sumber internal berasal dari produk luruh radon dan partikulat radioaktif yang masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi, ingesta dan absorpsi [8]. Sehingga walaupun tidak ada pengaturan lebih lanjut mengenai dosis apa yang perlu dipantau dan dicatat, dapat diambil asumsi bahwa pemantauan dosis pekerja harus mempertimbangkan paparan eksternal dan juga paparan internal.

Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022 tersebut mengamanahkan pembentukan peraturan pelaksana berupa Peraturan Bapeten mengenai proteksi radiasi dalam pengolahan MIR. Dalam peraturan yang akan dibentuk nantinya, diusulkan untuk memperjelas ketentuan mengenai pemantauan dosis pekerja dengan memuat norma bahwa dosis yang harus dipantau meliputi dosis yang berasal dari paparan eksternal dan paparan internal. Ketentuan mengenai metodologi perhitungan dosis juga diusulkan untuk ditetapkan dalam peraturan. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa pemantauan dosis khususnya yang diterima oleh pekerja di industri NORM/MIR dilakukan secara menyeluruh untuk melindungi pekerja dari bahaya radiasi pengion.

1. Rekomendasi IAEA

IAEA telah menerbitkan dokumen *Specific Safety Guide No 60, Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities* pada tahun 2021. Dalam dokumen rekomendasi IAEA ini disebutkan bahwa ketika ada industri NORM masuk dalam lingkup pengawasan, pelaku usaha diharuskan untuk mempersiapkan dan menerapkan program proteksi radiasi sebagaimana tercantum dalam dokumen IAEA GSR Part 3. Program proteksi radiasi harus menjelaskan langkah-langkah yang diambil untuk memastikan bahwa perlindungan pekerja dioptimalkan. Salah satu isi dari program proteksi adalah pemantauan dosis pekerja [1].

Secara umum, proteksi radiasi untuk pekerja dalam pengelolaan residu NORM harus mempertimbangkan tiga jalur paparan utama:

- a. Paparan radiasi eksternal (terutama radiasi gamma);
- b. Pemasukan radionuklida secara langsung melalui inhalasi dan ingesta debu atau secara tidak langsung melalui ingesta air atau makanan yang terkontaminasi; dan
- c. Paparan radiasi karena radon (dan terkadang thoron) yang dilepaskan ke udara.

Namun demikian, pada kondisi operasional normal di industri yang melibatkan NORM, jalur paparan yang berasal dari ingesti air dan makanan yang terkontaminasi dapat diabaikan atau tidak perlu dipertimbangkan.

Dalam Dokumen *General Safety Guide No 7, Occupational Radiation Protection (GSG-7)*, IAEA merekomendasikan metodologi untuk memperkirakan rentang dosis radiasi yang diterima pekerja. Dosis radiasi yang dipertimbangkan adalah dosis yang berasal dari paparan eksternal dan paparan dari

debu yang mengandung material radioaktif yang terhirup. Rentang dosis dihitung dengan menggunakan koefisien hubungan dosis dengan konsentrasi aktivitas [11]. Koefisien ini didasarkan analisis dari beberapa pengukuran dosis di berbagai industri NORM di seluruh negara anggota IAEA. Hasil pengukuran dosis telah dikompilasi dalam dokumen IAEA Safety Reports Series No. 49, Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials. Koefisien hubungan dosis dengan konsentrasi aktivitas berdasarkan hasil analisis pengukuran dosis di berbagai negara disajikan dalam Tabel 1 berikut ini. Konsentrasi aktivitas yang digunakan dalam perhitungan adalah konsentrasi aktivitas tertinggi radionuklida dari deret U-238 dan Th-232. Namun demikian, Pada situasi aktual, dosis cenderung jauh lebih rendah karena sifat konservatif dari asumsi yang dibuat dalam proses pemodelan dosis [12].

Tabel 1. Hubungan antara Dosis dan Konsentrasi Aktivitas untuk Paparan Kerja dari Radiasi Gamma Dan Paparan Akibat Debu Udara [12].

Kategori Material	Contoh	Dosis tahunan per satuan konsentrasi aktivitas radionuklida dengan konsentrasi aktivitas tertinggi. (mSv/tahun per Bq/g)	
		Min	Maks
<i>Bulk quality</i>	Ore body	0.02	0.4
	Large stockpile		
Small quantity	Mineral concentrate	0.008	0.04
	Scale		
	Sludge		
Volatilized material in which only Pb-210 and Po-210 are of concern	Furnace fume	0.0006	0.003
	Precipitator dust		

Penting untuk dicatat bahwa berdasarkan dokumen rekomendasi IAEA tersebut, pada industri yang melibatkan NORM dengan radionuklida dominan berupa K-40, paparan radiasi yang diterima oleh pekerja dapat diabaikan. Dosis efektif per satuan konsentrasi aktivitas K-40 berada pada rentang 0.02 sampai 0.03 mSv/tahun per Bq/g dan konsentrasi aktivitas maksimal pada potassium murni adalah 30.6 Bq/g. Sehingga dosis efektif yang diterima pekerja akan selalu kurang dari 1 mSv/tahun atau lebih kecil dari nilai batas dosis yang ditetapkan bagi anggota masyarakat.

Perhitungan dosis dengan menggunakan koefisien yang berupa rentang menghasilkan nilai dosis yang berupa rentang pula. Jika melihat Tabel 1, koefisien tersebut memiliki rentang yang sangat besar antara nilai minimal dengan nilai maksimalnya. Koefisien maksimal 20x dari koefisien minimal. Penggunaan koefisien ini mungkin dapat digunakan dalam melakukan pendekatan bertingkat untuk menentukan tingkatan perizinan dan juga tindakan proteksi radiasi yang diperlukan. Namun mungkin tidak tepat juga digunakan untuk keperluan pemantauan dosis pekerja. Apalagi koefisien tersebut belum mempertimbangkan dosis yang ditimbulkan dari inhalasi gas radon.

2. Rekomendasi ARPANSA

Australia telah memiliki sistem pengawasan yang lengkap untuk industri yang melibatkan NORM. Salah satu hal yang dapat dicontoh adalah sistem pemantauan dosis yang diterima pekerja dan perekamannya. Dokumen yang langsung memberikan panduan untuk melakukan pemantauan dosis pekerja di industri yang melibatkan NORM adalah Radiation Protection Series Publication No. 9.1, Monitoring, Assessing and Recording Occupational Radiation Doses in Mining and Mineral Processing yang diterbitkan oleh pemerintah Australia. Dokumen ini memuat metodologi perhitungan dosis efektif. Dalam banyak kasus, di lingkungan pertambangan dan pengolahan mineral, penerapan rumus dibawah ini cukup memadai[13].

$$E = E_{ext} + E_{RnD} + E_{inh} \quad (2)$$

E_{ext} adalah dosis dari paparan eksterna

E_{RnD} adalah dosis dari paparan radon

E_{inh} adalah dosis dari inhalasi partikulat radioaktif

Dosis paparan eksternal dapat diketahui melalui peralatan pemantau dosis perorangan. Pekerja yang berpotensi terpapar radiasi eksternal dapat dilengkapi dengan dosimeter baik aktif maupun pasif. Dosimeter pasif dapat berupa film badge, TLD Badge atau OSL Badge.

Dosis dari paparan radon dapat dihitung dengan menggunakan parameter konsentrasi radon di udara pada waktu tertentu. rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E_{RnD} = e_{Rn} \times I_{Rn} \quad (3)$$

E_{RnD} adalah dosis yang dihitung dari paparan radon

I_{Rn} adalah konsentrasi aktivitas radon di udara (Bq/m^3)

e_{Rn} adalah faktor konversi dari ICRP dengan nilai 3.1×10^{-6} mSv/jam per Bq/m^3

Dari rumus di atas data yang diperlukan untuk mengetahui dosis dari paparan radon adalah konsentrasi aktivitas radon di udara dan waktu kerja di daerah tersebut. Konsentrasi aktivitas radon dapat diukur menggunakan detector radon aktif maupun pasif.

Dosis dari inhalasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_{in} = \sum_j e_{j,inh} I_{j,inh} \quad (4)$$

$e_{j,inh}$ adalah faktor konversi dosis efektif per satuan intake radionuklida j

$I_{j,inh}$ adalah intake inhalasi radionuklida j

Dari persamaan (4) tersebut dapat diketahui bahwa untuk menghitung dosis dari inhalasi diperlukan parameter berupa faktor konversi dosis efektif per satuan intake radionuklida dan jumlah intake inhalasi radionuklida. Nilai dari faktor konversi tersebut dapat diambil dari Lampiran 1 Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2013, dimana nilainya dibedakan berdasarkan ukuran partikulat AMAD 1 μm dan 5 μm . Sedangkan jumlah intake inhalasi radionuklida dapat ditentukan menggunakan perhitungan total partikulat yang dihirup pekerja dengan persamaan (5).

$$ADD = Pa \times IRa \times ET \times EF \times Rf \quad (5)$$

ADD adalah partikulat yang dihirup selama 1 tahun (mg/tahun)

Pa adalah konsentrasi partikulat di udara (mg/m^3)

IRa adalah laju pernapasan ($12.5 m^3/jam$)

ET adalah waktu kerja tiap hari (jam/hari)

EF adalah jumlah hari kerja dalam 1 tahun (hari/tahun)

Jika harus mempertimbangkan ukuran partikel AMAD 1 μm dan 5 μm konsentrasi partikulat di udara dapat diukur menggunakan alat cascade impactor. Intake inhalasi radionuklida j adalah hasil kali partikulat yang dihirup selama 1 tahun (mg/tahun) dengan konsentrasi aktivitas radionuklida j ($Bq/gram$). Sehingga untuk memperkirakan dosis dari inhalasi partikulat radioaktif diperlukan data berupa konsentrasi partikulat di udara, konsentrasi aktivitas radionuklida, dan waktu bekerja.

Rekapitulasi isu penting dari dokumen-dokumen yang telah ditelaah tercantum dalam Tabel 2. Metodologi perhitungan dosis yang direkomendasikan oleh ARPANSA dapat menjadi pilihan yang baik untuk diterapkan dalam melakukan pemantauan dosis pekerja di industri yang melibatkan NORM.

Tabel 2. Rekapitulasi Isu Penting yang Dipertimbangkan dalam Telaah

Dokumen	Isu Penting
Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007	<ul style="list-style-type: none"> Pemantauan dosis yang diterima oleh pekerja dilakukan untuk memastikan nilai batas dosis ini tidak terlampaui yang merupakan bagian dari ketentuan limitasi dosis. Belum memunculkan nilai batas dosis dan juga jalur-jalur paparan yang menyebabkan pekerja menerima dosis radiasi.

Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2013	<ul style="list-style-type: none"> Dosis efektif didasarkan pada akumulasi penerimaan dosis yang berasal dari paparan radiasi eksternal dan paparan radiasi interna. Terdapat perbedaan metodologi pengukuran dosis internal pada pasal 34 dan Lampiran I
Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013	<ul style="list-style-type: none"> Pemantauan dosis pekerja bukan dalam rangka memastikan nilai batas dosis terlampaui, namun merupakan bagian dari verifikasi keselamatan. Hanya mempertimbangkan dosis yang berasal dari paparan radiasi eksternal.
Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022	Pemantauan dosis pekerja merupakan salah satu muatan dari program proteksi dan keselamatan radiasi namun tidak ada pengaturan lebih lanjut mengenai dosis apa yang perlu dipantau dan dicatat.
Dokumen IAEA SSG 60, GSG 7, SRS 49	<ul style="list-style-type: none"> Proteksi radiasi untuk pekerja dalam pengelolaan residu NORM harus mempertimbangkan tiga jalur paparan utama yaitu paparan radiasi eksternal, pemasukan radionuklida melalui inhalasi dan ingesta, dan paparan radiasi karena radon (dan terkadang thoron). Dosis diperkirakan dalam sebuah rentang yang dihitung dengan menggunakan koefisien (berupa rentang) hubungan dosis dengan konsentrasi aktivitas.
ARPANSA Radiation Protection Series Publication No. 9.1	<ul style="list-style-type: none"> dosis efektif yang diterima pekerja pertambangan dan pengolahan mineral, merupakan penjumlahan dosis dari paparan eksternal, dosis dari paparan radon, dan dosis dari inhalasi partikulat radioaktif. data yang diperlukan dalam metodologi tersebut berupa pembacaan dosimeter eksternal, pengukuran konsentrasi radon di udara, pengukuran konsentrasi aktivitas material, dan pengukuran konsentrasi partikulat di udara.

Untuk menilai kemungkinan penerapan metodologi tersebut di Indonesia perlu ditelaah apakah parameter data yang dibutuhkan dalam perhitungan mudah untuk diperoleh. Berdasarkan hasil penelusuran diketahui bahwa data-data yang diperlukan dalam metodologi tersebut berupa pembacaan dosimeter eksternal, pengukuran konsentrasi radon di udara, pengukuran konsentrasi aktivitas material, dan pengukuran konsentrasi partikulat di udara, dapat diperoleh dengan memanfaatkan jasa layanan laboratorium radioaktivitas lingkungan.

Salah satu penyedia jasa layanan laboratorium radioaktivitas lingkungan di Indonesia adalah laboratorium teknologi keselamatan dan metrologi radiasi BRIN (exPTKMR BATAN). Sedangkan Untuk parameter waktu kerja dapat diukur sesuai dengan situasi di masing-masing industri tanpa harus melibatkan pihak penyedia jasa.

Tabel 3. Rekapitulasi Jenis Layanan BRIN untuk Memperoleh Data yang dibutuhkan untuk pemantau dosis di Industri yang Melibatkan NORM

Jenis paparan	Data yang diperlukan	Pilihan yang ada di Laboratorium BRIN	Biaya
Eksterna			
Paparan gamma	Pembacaan alat pemantau dosis perorangan	Analisis Film Monitor Gamma (film badge)	Rp 25.000/film
		Analisis TLD beta & gamma	Rp. 80.000/ dosimeter
Interna			
Interna Radon	Pengukuran konsentrasi radon di udara	Analisis Radon di tempat kerja	Rp. 200.000/sampel
Inhalasi Partikulat	Pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida	Analisis TENORM	Rp 4.000.000/paket
		Analisis Partikulat Udara	
		Pengambilan Sampel	Rp 700.000/sampel
		Analisis ukuran partikel	Rp 350.000/sampel

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2019 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Tenaga Nuklir Nasional, terdapat daftar layanan laboratorium radioaktivitas lingkungan beserta dengan biayanya [14]. Rekapitulasi data yang diperlukan untuk melakukan pemantauan dosis pekerja di industri NORM dan juga jenis jasa yang tersedia di Indonesia tercantum dalam Tabel 3.

Kesimpulan

Diusulkan untuk memperjelas ketentuan mengenai pemantauan dosis pekerja dengan memuat norma bahwa dosis yang harus dipantau meliputi dosis yang berasal dari paparan eksternal dan paparan internal dalam peraturan perundang-undangan yang mengatur mengenai NORM/MIR. Ketentuan mengenai metodologi perhitungan dosis juga diusulkan untuk ditetapkan dalam peraturan.

Metodologi pemantauan dosis pekerja di industri NORM melalui pengukuran dan perhitungan yang diusulkan untuk dapat diakomodir dalam peraturan adalah sebagaimana yang direkomendasikan oleh ARPANSA melalui dokumen Radiation Protection Series Publication No. 9.1 Monitoring, Assessing and Recording Occupational Radiation Doses in Mining and Mineral Processing. Dosis efektif merupakan penjumlahan dari dosis paparan eksternal, dosis internal dari inhalasi radon, dan dosis internal dari inhalasi partikulat.

Data yang diperlukan untuk melakukan pemantauan dosis sebagaimana yang direkomendasikan ARPANSA paling kurang pembacaan dosimeter eksternal, pengukuran konsentrasi radon di udara, pengukuran konsentrasi aktivitas material, pengukuran konsentrasi partikulat di udara, dan waktu kerja. Daftar layanan Laboratorium teknologi keselamatan dan metrologi radiasi milik BRIN (exPTKMR BATAN) sebagaimana tercantum dalam PP No.8/2019 dinilai mampu memenuhi kebutuhan data yang digunakan dalam perhitungan.

Rekomendasi metodologi pemantauan dosis pekerja melalui pengukuran dan perhitungan ini perlu diuji lebih lanjut dengan melakukannya secara langsung di industri-industri yang memiliki izin penyimpanan TENORM/MIR. Pemantauan dosis pekerja ini dapat dilakukan oleh BAPETEN melalui Direktorat Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir dalam rangka proses inspeksi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian makalah ini. Terima kasih kepada Balai Pendidikan dan Pelatihan yang telah memfasilitasi penyelenggaraan Diklat Karya Tulis Pengawasan sehingga penulis dapat memiliki wawasan yang lebih luas dalam melakukan penulisan makalah. Terima kasih kepada para pembimbing diklat yang sudah memberikan pendampingan sehingga penulis dapat menentukan topik yang perlu dibahas dalam makalah ini.

Daftar Pustaka

- [1] IAEA, " Specific Safety Guide No. SSG-60 on the Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities," International Atomic Energy Agency (IAEA), IAEA, 2021.
- [2] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif," Kementerian Sekretariat Negara, Jakarta, 2007.
- [3] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), "Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir," BAPETEN, Jakarta, 2013.
- [4] Alharbi, Sami Hamad. "Measurements and monitoring of naturally occurring radioactive materials for regulation." (2016).
- [5] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), "Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material," BAPETEN, Jakarta, 2013.
- [6] Righi, Serena., Andrettan, Massimo., Bruzzia, Luigi. "Assessment of The Radiological Impacts of a Zircon Sand Processing Plant." *Journal of Environmental Radioactivity* 82 (2005) 237-250. (2005)

- [7] Ballesteros, Luisa., Zarza, Isidoro., Ortiz, Josefina., Serradell, Vicente. "Occupational Exposure to Natural Radioactivity in A Zircon Sand Milling Plant". *Journal of Environmental Radioactivity* 99 (2008).
- [8] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir," Kementerian Sekretariat Negara, Jakarta, 2022.
- [9] Grellier, James et al. "Risk of Lung Cancer Mortality in Nuclear Workers from Internal Exposure to Alpha Particle-emitting Radionuclides." *Epidemiology* 2017;28: 675–684. (2017).
- [10] Kreuzer, M., Fenske, N., Schnelzer, M. and Walsh, L. "Lung cancer risk at low radon exposure rates in German uranium miners." *British Journal of Cancer* (2015) 113, 1367–1369. (2015)
- [11] IAEA, "General Safety Guide No. GSG-7 on Occupational Radiation Protection," International Atomic Energy Agency (IAEA), IAEA, 2018.
- [12] IAEA, " Safety Reports Series No. SRS-49 on Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials," International Atomic Energy Agency (IAEA), IAEA, 2006.
- [13] ARPANSA, " Radiation Protection Series Publication No. 9.1 Monitoring, Assessing and Recording Occupational Radiation Doses in Mining and Mineral Processing," ARPANSA, 2011.
- [14] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2019 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Tenaga Nuklir Nasional" Kementerian Sekretariat Negara, Jakarta, 2019.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Perubahan Pengaturan Pengelolaan Mineral Ikutan Radioaktif Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022

Vatimah Zahrawati¹, Dahlia Cakrawati Sinaga¹

¹*Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif
Badan Pengawas Tenaga Nuklir*

Korespondensi penulis:

v.zahrawati@bapeten.go.id

d.sinaga@bapeten.go.id

Abstrak

Tenorm merupakan material yang mengandung sejumlah radioaktif alam yang akibat adanya proses kegiatan manusia konsentrasi zat radioaktif dalam material ini menjadi meningkat. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022 mengenai Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir (PP 52/2022), istilah TENORM (*Technologically enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) diubah menjadi MIR (Mineral Ikutan Radioaktif). PP 52/2022 ini memuat ketentuan tentang keselamatan dan keamanan pengelolaan MIR yang merupakan bagian dari keselamatan dan keamanan pertambangan bahan galian nuklir. Pengaturan MIR sebelumnya Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 mewajibkan penyimpanan MIR, namun dalam PP ini pengaturan MIR dibagi menjadi pengolahan dan penyimpanan MIR. Pengolahan kembali MIR dibuka dalam PP ini dengan memenuhi ketentuan keselamatan dan proteksi radiasi. Beberapa jenis MIR yang berasal dari pertambangan mineral mengandung uranium dan torium yang cukup signifikan dan juga mengandung bahan strategis lain yang signifikan seperti tanah jarang. Mempertimbangkan potensi bahaya tersebut, penanganan atau pengelolaan MIR wajib memperhatikan keselamatan dan keamanan bagi pekerja, masyarakat dan perlindungan terhadap lingkungan hidup. Studi ini menganalisis bagaimana pengaturan pengolahan dan penyimpanan MIR berdasarkan PP 52/2022 dan membandingkan dengan dokumen IAEA dan peraturan perundang-undangan lainnya. Berdasarkan analisis yang dilakukan disimpulkan bahwa pengaturan PP 52/2022 yang membuka peluang untuk dilakukan pengolahan dan pembuangan permanen dapat mengurangi timbunan MIR di penghasil MIR yang dalam peraturan sebelumnya tidak diperbolehkan. Namun implementasi atas kegiatan pengolahan MIR untuk diambil uranium dan thoriumnya masih dipertanyakan kemampuannya mengingat faktor ekonomi, teknologi dan kandungan uranium dan thorium dalam MIR tersebut. Begitu juga dengan pembangunan fasilitas pembuangan permanen oleh pemegang izin. Membuka kesempatan bagi pihak ketiga sebagai penyedia fasilitas pembuangan permanen MIR perlu untuk dipertimbangkan. Selain itu, penggunaan kembali MIR untuk tujuan lain tetap harus diatur bagaimana tindakan keselamatan dan proteksi radiasinya untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup.

Kata Kunci: Mineral Ikutan Radioaktif, NORM hasil samping, Keselamatan, Keamanan, penyimpanan MIR, pengolahan MIR, NORM, TENORM

Abstract

Tenorm is a material that contains a number of naturally occurring radioactive substances, which, as a result of human activities, increases the concentration of radioactive substances in this material. Based on Government Regulation (GR) No. 52 of 2022 concerning the Safety and Security of Nuclear Mining Materials (PP 52/2022), the term TENORM (Technically enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) is changed to MIR (Radioactive Associated Mineral). PP 52/2022 contains provisions regarding the safety and security of MIR management, which is part of the safety and security of nuclear mineral mining. The previous MIR arrangement was Regulation of the Head of BAPETEN No. 16 of 2013, which requires storage of MIR. However, in this GR, the MIR arrangements are divided into processing and storage of MIR. Reprocessing of MIR is opened in this GR by complying with safety and radiation protection provisions. Several types of MIR originating from mineral

mining contain significant uranium, thorium, and other strategic materials such as rare earth. Considering these potential hazards, the handling or management of MIR must pay attention to safety and security for workers, the public, and the protection of the environment. This study analyzes how MIR processing and storage arrangements are based on PP 52/2022 and compares them with IAEA documents and other regulations. Based on the analysis, it was concluded that regulation PP 52/2022, which opens opportunities for permanent processing and disposal, can reduce MIR stockpiles in MIR producers, which in the previous regulation was not allowed. However, the applicability of the implementation of MIR processing activities to extract uranium and thorium is still questionable given the economic, technological, and uranium and thorium content of the MIR, likewise, with the construction of permanent disposal facilities by permit holders. Opening opportunities for third parties as providers of MIR permanent disposal facilities must be considered. In addition, the reuse of MIR for other purposes must still be regulated regarding safety and radiation protection measures to protect workers, the public, and the environment.

Keywords: *Radioactive Associated Minerals, NORM residues, Safety, Security, MIR storage, MIR processing, NORM, TENORM.*

Pendahuluan

Berdasarkan Pasal 16 Undang-undang (UU) No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, “setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup “ [1]. Pemanfaatan Mineral Ikutan Radioaktif (MIR) yang mengandung radionuklida thorium atau uranium wajib memperhatikan keselamatan dan keamanan bagi pekerja dan masyarakat dan perlindungan terhadap lingkungan hidup. MIR yang dikenal juga sebagai TENORM pada beberapa peraturan yang masih berlaku yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan seperti tambang timah, tembaga, zirkon, minyak dan gas, dan juga dari kegiatan industri seperti pabrik pupuk fosfat. Kandungan radionuklida thorium (Th-232) dan Uranium (U-238) dari berbagai jenis MIR sangat berbeda-beda. Studi menunjukkan bahwa mineral ikutan dari penambangan dan pengolahan timah mengandung monasit dan xenotim yang mengandung sedikit unsur radioaktif seperti Thorium dan Uranium [2]. Mineral ikutan radioaktif ini juga masih memiliki potensi ekonomi karena kandungan unsur tanah jarang Ce 28,2 %, La 12,9 %, Nd 9,7 %, Pr 5,2 %, dan Gd 3,9 % yang terdapat pada monasit dan Y 29,5 %, Dy 7,7 %, dan Gd 2,6 % yang terdapat pada xenotim [2].

Pengaturan mengenai TENORM atau sekarang digunakan istilah MIR dalam Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir, didefinisikan sebagai “mineral ikutan dengan konsentrasi aktivitas paling sedikit 1 Bq/gr pada salah satu unsur radioaktif anggota deret uranium dan thorium atau 10 Bq/g pada unsur kalium yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan mineral dan batubara, minyak dan gas bumi, dan industri lainnya”[3]. Definisi ini mengambil batasan TENORM yang sebelumnya sudah digunakan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.

Dalam Peraturan Pemerintah ini, keselamatan dalam pengelolaan MIR menjadi bagian dari ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir. Pertambangan bahan galian nuklir sendiri dalam Pasal 6 dibagi menjadi pertambangan mineral radioaktif, pengolahan MIR dan penyimpanan MIR. Pengaturan untuk pengolahan dan penyimpanan MIR dibagi menjadi keselamatan fasilitas dan kegiatan, keamanan dan garda-aman [3]. Dalam peraturan ini juga diatur mengenai opsi pembuangan akhir untuk MIR. Munculnya opsi untuk mengolah kembali MIR dan juga pengaturan mengenai pembuangan akhir MIR ini menjadi tantangan tersendiri dalam implementasi di lapangan.

Potensi bahaya radiasi yang dihasilkan dari kegiatan MIR adalah paparan radiasi eksternal dan paparan radiasi internal. Paparan radiasi eksternal berasal dari paparan radiasi gamma dan paparan radiasi internal dihasilkan dari paparan radiasi alfa. Paparan radiasi internal yang dapat disebut juga sebagai kontaminasi dapat terjadi melalui inhalasi (saluran pernafasan), ingestion (saluran pencernaan), dan luka pada kulit. Dengan potensi bahaya radiasi yang demikian, harus diupayakan perlindungan terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup untuk kegiatan penyimpanan dan pengolahan MIR. Perlindungan terhadap pekerja dan masyarakat dilakukan dengan mengikuti ketentuan dan persyaratan keselamatan dan proteksi radiasi. Perlindungan terhadap lingkungan hidup dilakukan dengan pengelolaan dan pemantauan radioaktivitas lingkungan hidup yang memadai dan tepat.

Disisi lain, mengingat MIR mengandung uranium dan thorium yang merupakan bahan strategis yang merupakan bahan nuklir, kegiatan penyimpanan dan pengolahan MIR harus memenuhi persyaratan keamanan dan garda aman. Dengan demikian produksi MIR dapat dicegah dari tindakan pemindahan yang tidak sah seperti pencurian dan perampokan MIR dan hanya digunakan untuk tujuan damai. Studi ini melakukan telaah terhadap pengaturan MIR di Indonesia sebelum dan setelah terbitnya PP No. 52 Tahun 2022 dan mengemukakan kekurangan dan kelebihan dari pengaturan tersebut.

Metode

Kajian dalam makalah ini menggunakan metodologi analisis atau kajian yang diambil dari beberapa peraturan perundang-undangan mengenai TENORM/NORM/MIR di Indonesia, laporan dan standar internasional dari Badan Tenaga Atom Internasional. Selain itu juga menggunakan hasil studi dari jurnal yang melakukan penelitian dan kajian tentang kandungan radionuklida MIR dan potensi bahaya MIR serta persyaratan keselamatan dan keamanan MIR.

Hasil dan Pembahasan

1. Status Terkini Kegiatan MIR

Pada saat ini kegiatan MIR di Indonesia hanya dilakukan dalam bentuk kegiatan penyimpanan. Hal ini disebabkan karena peraturan perundang-undangan sebelum terbitnya UU Cipta Kerja dan PP No. 5 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko serta PP No. 52 tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Perbatambangan Bahan Galian Nuklir (PP 52/2022), mengamankan MIR hanya boleh disimpan dan tidak boleh dimanfaatkan atau diolah. Pertimbangan pada saat itu adalah karena MIR diasumsikan sebagai bahan strategis yang belum diprioritaskan untuk pengolahan atau pemanfaatan.

Kegiatan penyimpanan MIR dilakukan oleh lebih dari 15 pelaku usaha yang sebagian besar adalah perusahaan tambang timah yang berada di Kepulauan Bangka Belitung. Para pelaku usaha tersebut telah mendapat izin penyimpanan dari BAPETEN berdasarkan peraturan perizinan yang berlaku. Sebelum terbitnya PP No. 5 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko, dasar hukum untuk proses perizinan adalah PP No. 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir. PP No. 5 tahun 2021 ini berlaku bagi para pelaku usaha. Izin yang diberikan didasarkan pada pemenuhan terhadap persyaratan keselamatan dan keamanan terkait nuklir atau radiasi. Bahan MIR yang disimpan meliputi bahan dengan jenis monasit, ilmenite, zircon, slag I, dan slag II. Gambar 1 menunjukkan contoh timbunan slag di salah satu tempat pengolahan timah. Kemudian laju paparan terhadap slag tersebut terlihat pada gambar 2 yaitu 20,08 microSievert/jam. Nilai ini cukup tinggi dalam memberikan dosis radiasi jika pekerja radiasi atau masyarakat berada pada kawasan timbunan dalam jangka waktu cukup lama dan terus menerus.



Gambar 1. Timbunan slag di tempat pengolahan timah



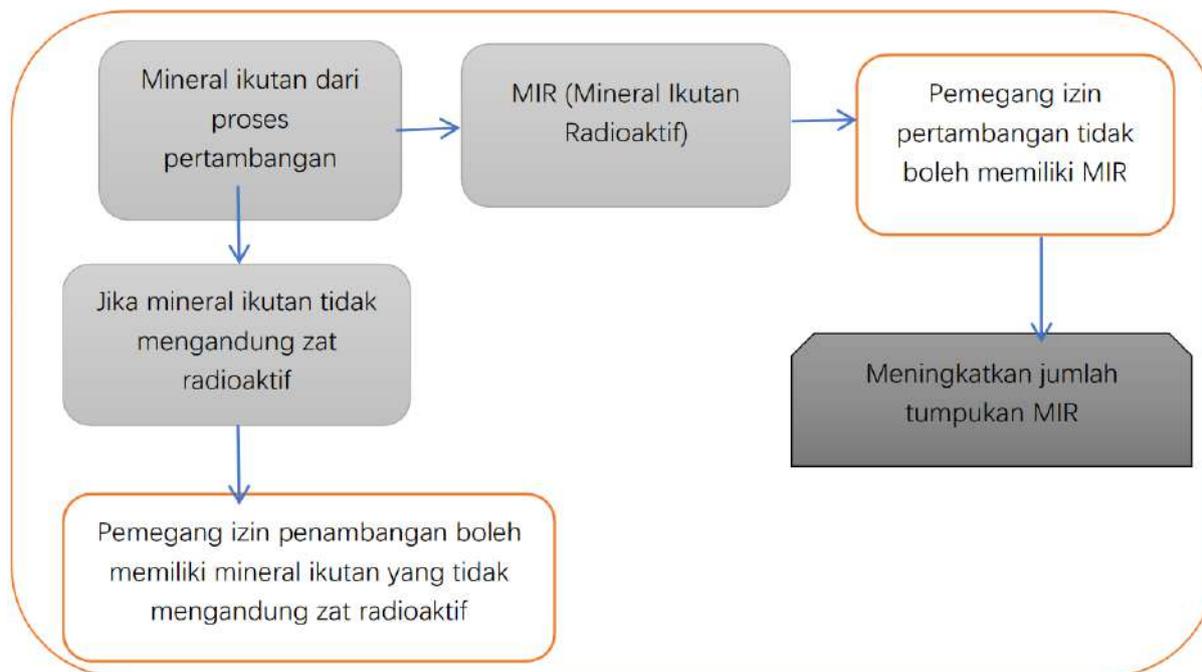
Gambar 2. Laju paparan pada residu slag pengolahan timah pada gambar 1 menunjukkan laju dosis 20,08 microSievert/jam

Pada dasarnya batuan mengandung sejumlah kecil K-40, Th-232 dan U-238, namun konsentrasi batuan tersebut meningkat dengan adanya aktivitas pengambilan kandungan mineral dalam batuan tersebut. Monasit diperkirakan mengandung 6000-20,000 Bq/K Uranium dan thorium series [4].

2. Pengaturan MIR Sebelum Terbitnya PP No. 52 Tahun 2022

Sebelum terbitnya PP No. 52 Tahun 2022, pengaturan MIR diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Paparan yang Berasal dari Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material.

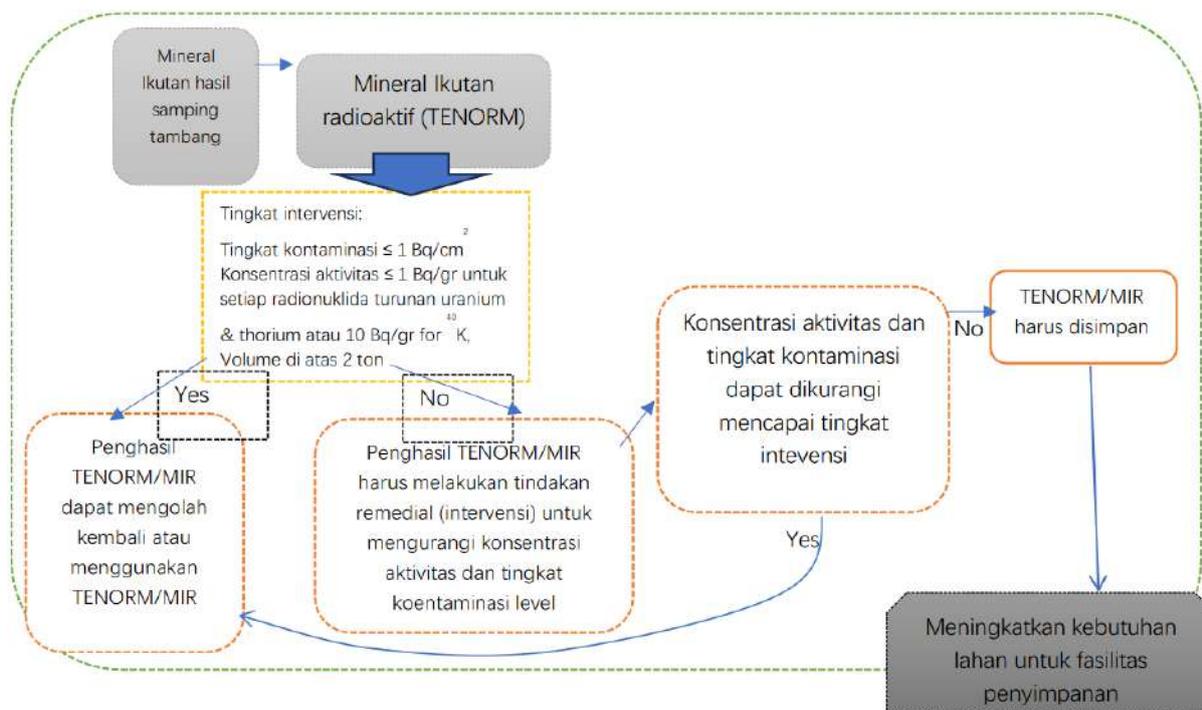
Pengaturan tentang mineral ikutan radioaktif ini juga sudah diatur di Undang-Undang No.4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara dalam Pasal 92 yang menyatakan bahwa “Pemegang IUP (Izin Usaha Pertambangan) dan IUPK (Izin Usaha Pertambangan Khusus) berhak memiliki Mineral, termasuk mineral ikutannya, atau Batubara yang telah diproduksi setelah memenuhi iuran produksi, kecuali mineral ikutan radioaktif”. Tidak ada penjelasan lanjutan apa yang harus dilakukan oleh pemegang IUP dan IUPK terhadap mineral ikutan radioaktif tersebut. Walaupun sebagian ketentuan dalam Undang-Undang No 4 tahun 2009 sudah diubah dalam UU No. 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, ketentuan Pasal 92 ini tidak mengalami perubahan [5]. Ketentuan yang menyatakan bahwa mineral ikutan radioaktif tidak boleh dimiliki pemegang izin usaha pertambangan ini tentu akan meningkatkan deposit mineral ikutan radioaktif di perusahaan tambang. Gambar 3 menunjukkan alur pengaturan MIR berdasarkan UU No. 4 Tahun 2009.



Gambar 3. Proses pengaturan MIR di UU No. 4 Tahun 2009 [6]

Di lain sisi, Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 memiliki aturan yang mewajibkan dilakukannya intervensi terhadap TENORM. Dalam peraturan kepala BAPETEN ini diatur bahwa TENORM harus diturunkan konsentrasinya sampai dibawah 1 Bq/gr [7]. Namun pada kenyataannya, ketentuan ini yang tidak mampu diterapkan di lapangan. Karena menurunkan kandungan MIR akan perlu penambahan material lain yang hanya akan memperbanyak volume MIR itu sendiri. Kemudian ditentukan bahwa jika TENORM tersebut tidak bisa mencapai tingkat intervensi maka TENORM tersebut harus disimpan. Ketentuan penyimpanan selanjutnya diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 [8]. Alur pengaturan Perka No. 9 Tahun 2009 terdapat dalam gambar 4.

Selanjutnya, Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 mengatur bahwa penyimpanan TENORM wajib dilakukan dengan memenuhi persyaratan. Kemudian selama masa penyimpanan dapat dilakukan penggunaan kembali TENORM, namun tidak ada batasan konsentrasi aktivitas yang ditetapkan (gambar 5). Hal ini tentu bertentangan dengan aturan sebelumnya (Perka No. 9/2009) dimana penggunaan kembali TENORM tidak diperbolehkan jika konsentrasinya diatas 1 Bq/gr.



Gambar 4. Proses pengaturan MIR berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN No.9 Tahun 2009 [7]



Gambar 5. Proses pengaturan penyimpanan MIR berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN No.16 Tahun 2013 [8]

Selanjutnya Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 (PP 22/2021) juga mengatur tentang limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Dalam Pasal 317 dan Pasal 329 memuat ketentuan bagi setiap orang yang menghasilkan limbah B3 yang memiliki tingkat kontaminasi radioaktif lebih besar atau sama dengan 1 Bq/cm² dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar 1 Bq/gr untuk tiap radionuklida deret uranium dan thorium atau 10 Bq/gr untuk kalium. Batasan ini sama dengan batasan tingkat intervensi TENORM. Untuk jenis limbah B3 tersebut tidak diperkenankan atau dilarang untuk dimanfaatkan, kecuali tingkat radioaktivitas dapat diturunkan di bawah tingkat kontaminasi dan/atau konsentrasi aktivitas.

Selanjutnya dalam Pasal 367 ayat (4) PP 22/2021 dijelaskan bahwa limbah B3 kategori 2 dari sumber spesifik khusus yang memiliki tingkat kontaminasi dan konsentrasi aktivitas diatas tingkat intervensi harus dilakukan penimbunan paling rendah pada fasilitas penimbunan akhir limbah B3 kelas II. Pada ayat (7) disebutkan jika limbah B3 tersebut berupa tailing dari kegiatan pertambangan dapat

ditempatkan pada fasilitas penimbunan limbah B3 berupa bendungan penampung limbah tambang [9]. Ketentuan ini tentu akan hanya meningkatkan jumlah MIR atau limbah B3 yang mengandung radionuklida tersebut di tempat penimbunan akhir yang saat ini belum tersedia. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dalam Pasal 173 ayat (3) menguraikan bahwa fasilitas penimbunan akhir Limbah B3 kelas II terdiri atas lapisan dasar, lapisan untuk sistem pendeteksi kebocoran, lapisan tanah penghalang, lapisan geomembran, lapisan untuk pengumpulan dan pemindahan lindi dan lapisan pelindung selama operasi [10].

Ketentuan larangan pemanfaatan limbah B3 yang mengandung radionuklida di atas tingkat intervensi dalam PP 22/2021 terlihat bertentangan dengan kebijakan dalam PP 52/2022 dimana dalam PP 52/2022 MIR dapat dilakukan pengolahan. Namun hal yang ditekankan dalam PP 22/2021 ini adalah kata limbah B3, limbah B3 didefinisikan sebagai sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Pada dasarnya MIR yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan juga merupakan sisa suatu usaha dan/atau kegiatan pertambangan. Untuk meluruskan hal ini tentu diperlukan koordinasi antar otoritas pemerintah yang berwenang yaitu Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Namun, untuk menarik irisan dari dua peraturan ini yang dapat di simpulkan adalah ranah yang diatur dalam PP22/2021 ini merupakan limbah B3 yang merupakan sisa suatu usaha dan/atau kegiatan, jika MIR tersebut sudah dianggap sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan, maka tentu harus dilakukan penimbunan atau pembuangan yang dalam PP 22/2021 harus dibuat pada fasilitas pembuangan paling rendah penimbunan akhir limbah B3 kelas II



Gambar 6. Alur pengaturan PP 22/2021 untuk limbah B3 mengandung radionuklida

Dapat dilihat dari ketiga peraturan tersebut (Gambar 3, 4, dan 5) belum ada solusi akhir bagaimana MIR harus dikelola. Jika disimpan, sampai berapa lama mereka akan menyimpan MIR tersebut yang juga belum diatur dengan jelas. Sedangkan skema di Gambar 6 dari PP 22/2021 akan meningkatkan jumlah MIR yang di buang di tempat penimbunan akhir.

3. Pengaturan MIR dalam PP No. 52 Tahun 2022

Peraturan Pemerintah No. 52 tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir telah mengatur persyaratan keselamatan dan keamanan mineral ikutan radioaktif yang menjadi bagian dari persyaratan keselamatan dan keamanan pertambangan bahan galian nuklir. Dengan peraturan ini, para pelaku usaha MIR diharapkan memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan kegiatan MIR, yang mencakup kegiatan penyimpanan dan pengolahan MIR [3]. Pada tabel 1 diberikan persyaratan yang lebih rinci dari kegiatan penyimpanan dan pengolahan MIR. Untuk kegiatan pengolahan MIR pada peraturan pemerintah ini hanya berlaku untuk pengolahan untuk mengambil senyawa uranium terkonsentrasi (*yellowcake*), oksida thorium terkonsentrasi, atau mineral

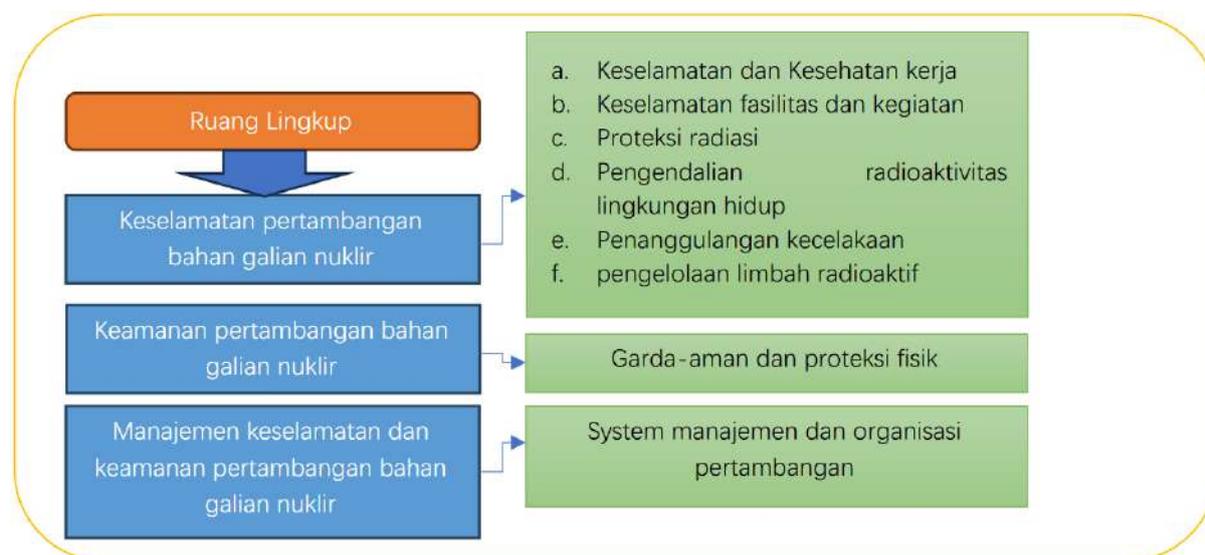
terkonsentrasi yang bersifat radioaktif lainnya. Hal ini dijelaskan dalam bagian penjelasan Pasal 6 ayat (2) huruf f [3]. Dari penjelasan ini dapat kita simpulkan bahwa untuk kegiatan pengolahan yang diatur dalam PP No. 52 Tahun 2022 ini hanya untuk pengolahan MIR untuk diambil uranium dan thoriumnya. Namun menjadi pertanyaan bagaimana dengan pengolahan MIR yang tidak untuk mengambil uranium dan thoriumnya? Ini menjadi kewenangan kementerian yang menyelenggarakan urusan di bidang energi dan sumber daya mineral. Namun pengolahan MIR tersebut tetap harus memperhatikan keselamatan dan proteksi bagi pekerja dan masyarakat.

Tabel 1. Persyaratan Keselamatan dan Keamanan untuk Penyimpanan dan Pengolahan MIR

Persyaratan Keselamatan Penyimpanan MIR	Persyaratan Keselamatan Pengolahan MIR
Penyimpanan Sementara: <ol style="list-style-type: none"> 1. fasilitas penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif; 2. prosedur penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif. 	<ol style="list-style-type: none"> a. keselamatan dan kesehatan kerja, kesehatan masyarakat, kesehatan lingkungan, dan keselamatan lingkungan hidup; b. keselamatan fasilitas dan kegiatan;
Pembuangan permanen: <ol style="list-style-type: none"> 1. memperoleh persetujuan BAPETEN 2. memenuhi kriteria: <ol style="list-style-type: none"> a. berlokasi jauh dari masyarakat; b. dapat menahan pelindian radionuklida ke air tanah dan air permukaan; c. dilengkapi dengan peralatan pemantau radiasi; d. dirancang agar dosis radiasi yang diterima masyarakat tidak melebihi 1 mSv (satu milisievert) per tahun; dan e. menggunakan teknologi dan/atau rancang bangun sesuai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi 3. Pemegang Izin dapat bekerja sama dengan badan usaha lain dan/atau Pemerintah Daerah yang memiliki kemampuan dan keahlian 	<ol style="list-style-type: none"> c. Proteksi Radiasi; d. pengendalian radioaktivitas lingkungan hidup; e. penanggulangan Kecelakaan; dan f. pengelolaan limbah radioaktif.
	Persyaratan Fasilitas dan Kegiatan: <ol style="list-style-type: none"> a. analisis Wilayah Tambang; b. perancangan dan perubahan desain; c. konstruksi; d. penambangan; e. pengolahan; f. modifikasi; dan g. Dekomisioning Pertambangan
	Persyaratan Proteksi Radiasi : <ol style="list-style-type: none"> a. justifikasi pengolahan atau penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif; b. optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi; dan c. limitasi dosis.
	Pengendalian Lingkungan Hidup : <ol style="list-style-type: none"> a. pemantauan parameter lingkungan hidup; dan b. pengelolaan lingkungan hidup.
	Penanggulangan Kecelakaan : <ol style="list-style-type: none"> a. praKecelakaan; b. saat Kecelakaan; dan c. pascaKecelakaan.
Persyaratan Keamanan MIR	

Persyaratan Keselamatan Penyimpanan MIR	Persyaratan Keselamatan Pengolahan MIR
Persyaratan Garda Aman : a. pemberitahuan rencana umum penyimpan dan pengolahan MIR; b. pemberitahuan lokasi, status tahapan kegiatan penyimpanan dan pengolahan, dan jumlah produksi pengolahan MIR atau kapasitas penyimpanan MIR; c. pemberitahuan pemindahan MIR; dan d. pembuatan rekaman dan laporan berkala inventori.	Persyaratan Proteksi Fisik : a. sistem deteksi termasuk kendali akses; b. sistem penundaan; c. sistem respons termasuk kontijensi dan sistem komunikasi; d. sistem pendukung; e. perawatan dan uji fungsi; f. budaya keamanan nuklir; g. rekaman dan pelaporan.

Pengaturan pengolahan dan penyimpanan MIR dalam PP No. 52 Tahun 2022 termasuk ke dalam pengaturan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir yang tertulis dalam Pasal 4. Kemudian pertambangan bahan galian nuklir ini dalam Pasal 6 dibagi menjadi tiga kategori pertambangan mineral radioaktif, pengolahan MIR dan penyimpanan MIR (Gambar 7). Selanjutnya pengaturan mengenai pengolahan MIR dan penyimpanan MIR diatur dalam satu bagian dengan judul Pengolahan dan Penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif. Pasal 34 yang merupakan pembuka dari bagian ini memuat ketentuan tentang kewajiban pemegang izin untuk melaksanakan analisis keselamatan yang bertujuan untuk memastikan kegiatan pengolahan MIR dilakukan dengan mempertimbangkan keselamatan. Sehingga untuk kewajiban melakukan analisis keselamatan ini hanya ditujukan untuk kegiatan pengolahan MIR. Kemudian ketentuan keselamatan fasilitas dan kegiatan untuk pengolahan MIR dalam Pasal 35 diuraikan terdiri atas analisis wilayah tambang, perancangan dan perubahan desain, konstruksi, pengolahan, modifikasi, penyimpanan, pembuangan permanen dan dekomisioning pertambangan (Gambar 8) [3].



Gambar 7. Ruang lingkup pengaturan PP No. 52 Tahun 2022

Dalam Pasal 35 ini terlihat bahwa kegiatan penyimpanan MIR merupakan bagian dari keselamatan fasilitas dan kegiatan pengolahan MIR. Ketentuan untuk penyimpanan ini kemudian diuraikan dalam Pasal 43 yang mensyaratkan fasilitas penyimpanan MIR dan prosedur penyimpanan MIR. Dari struktur pengaturan seperti ini terlihat bahwa ketentuan penyimpanan MIR yang dimaksud disini hanya ketentuan penyimpanan untuk selama proses pengolahan. Namun dalam penjelasan Pasal 6 ayat (1) huruf c disebutkan bahwa penyimpanan MIR yang dimaksud merupakan kegiatan penyimpanan yang terpisah dari kegiatan pengolahan Mineral Ikutan Radioaktif yang menghasilkan unsur uranium dan thorium [3].

Alur proses pengaturan PP 5 Tahun 2022 diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Alur proses pengaturan penyimpanan dan pengolahan MIR berdasarkan PP No. 52 Tahun 2022

Dengan adanya ketentuan dibolehkannya pengolahan MIR untuk tujuan mengambil mineral lain yang masih bernilai maupun uranium dan thoriumnya akan menjadi solusi untuk mengurangi jumlah MIR. Namun tentu perlu penelitian lebih lanjut apakah secara ekonomi pengambilan mineral tersebut masih dapat dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah konsentrasi kandungan uranium yang terkandung ataupun mineral lainnya. Selain itu apakah sudah ada teknologi untuk melakukan proses ekstraksi lebih lanjut tersebut terhadap bahan baku dari MIR tersebut di Indonesia.

Selain itu, pada beberapa kondisi, proses pengolahan uranium dari MIR dapat menjadi cukup rumit. Selama pengolahan MIR, pekerja dapat terpapar radiasi eksternal dari radiasi sinar gamma yang dihasilkan dari bijih tambang, bahan proses, produk dan *tailings*. Paparan radiasi internal dihasilkan dari debu dengan waktu paruh panjang dan produk dengan paparan radon dan peluruhan radon melalui inhalasi dan melalui penyerapan, saluran pencernaan dan kontaminasi luka. Perkiraan dosis pada pekerja dapat dilakukan dengan analisis dan perhitungan untuk dosis total dari paparan internal dan paparan eksternal. Perhitungan dosis juga dilakukan dengan memperhatikan jalur paparan. Pengendalian dan pemantauan paparan radiasi untuk pekerja pengolahan uranium dilakukan dengan berbagai metoda meliputi antara lain:

- a. penilaian paparan eksternal dengan pekerja menggunakan pemantau dosis perorangan thermoluminescent dosimeter (TLD) methods untuk perkiraan dosis gamma individu;
- b. perkiraan paparan internal dari debu dengan waktu paruh panjang dan pengambilan sampel debu dengan menggunakan antara lain metoda pencacahan gross alpha, pemantauan secara berkala terhadap debu yang masuk melalui proses inhalasi dan pemeriksaan urin pekerja;
- c. pemantauan inhalasi dari produk yang menghasilkan radon dan turunannya dengan memperhitungkan waktu kerja dari pekerja;
- d. kajian dosis dengan perhitungan dosis dengan mempertimbangkan metoda *time sheet*, factor konversi dosis, faktor distribusi ukuran debu yang masuk melalui inhalasi, faktor solubilitas dan campuran radionuklida [11].

Opsi untuk pembuangan permanen juga masih menjadi tanda tanya apakah ada pelaku usaha yang mampu membangun tempat pembuangan permanen ini mengingat biaya yang dibutuhkan cukup besar. Berdasarkan PP 52/2022 Pasal 44 disebutkan bahwa yang diwajibkan untuk membuat rencana tempat penyimpanan permanen adalah pemegang izin sebagai akhir dari kegiatan penyimpanan MIR. Dalam membuat tempat penyimpanan permanen tersebut, pemegang izin dapat bekerja sama dengan badan

usaha lain dan/atau pemerintah daerah yang memiliki kemampuan dan keahlian yang sesuai dengan ketentuan perundang-undangan. Sedangkan dalam PP 22/2021 bahwa limbah B3 dari sumber spesifik yang mengandung radionuklida diatas tingkat yang ditentukan harus dilakukan penimbunan di tempat penimbunan limbah B3 kelas II.

Untuk menemukan solusi atas kebijakan pembuangan permanen yang sudah dituliskan dalam PP 52/2022 ini, perlu penambahan pengaturan mengenai kemungkinan pihak ketiga yang mengelola dan membangun tempat pembuangan permanen MIR. Hal ini dapat menjadi solusi mengingat akan sulit jika pelaku usaha atau pemegang izin yang harus membuat tempat pembuangan permanen mereka sendiri. Namun tentu ada kebijakan pemerintah dengan pelaku usaha yang menyediakan tempat pembuangan permanen tersebut bahwa MIR tersebut tidak boleh dimiliki oleh pelaku usaha tersebut, karena ada kemungkinan MIR tersebut masih memiliki sejumlah uranium dan thorium yang dapat digunakan sebagai cadangan energi masa depan.

Selain itu, pengolahan MIR untuk diambil mineral selain uranium dan thorium juga harus tetap mengikuti ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi, mengingat bahan baku MIR yang digunakan memiliki bahaya paparan radiasi interna dan eksterna. Selanjutnya penggunaan kembali MIR untuk tujuan lain juga harus dibuka dengan memenuhi ketentuan keselamatan. Residu dari kegiatan penambangan yang mengandung sejumlah kecil zat radioaktif ini bisa digunakan untuk bahan campuran pembangunan jalan ataupun sebagai material untuk pembangunan landfill konvensional [12]. Pengaturan mengenai proteksi radiasi untuk kegiatan tersebut serta batasan MIR yang diperbolehkan untuk digunakan kembali harus dibuat sebagai acuan bagi para calon pelaku usaha sehingga keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup tetap terjaga.

Kesimpulan

Pengelolaan MIR penting untuk dilakukan mengingat kandungan Uranium dan Thorium yang terdapat di dalamnya berpotensi memberikan dosis kepada pekerja dan masyarakat. Disamping itu juga potensi pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Peraturan terkait pengelolaan MIR sudah dianalisis dan didapatkan kesimpulan bahwa pengaturan tersebut hanya akan meningkatkan jumlah timbunan MIR di fasilitas pelaku usaha pertambangan atau di tempat penimbunan akhir limbah B3 kelas II yang saat ini belum tersedia. Terbitnya PP 52/2022 memberikan opsi pengelolaan MIR untuk diolah lagi dan pembuangan permanen. Namun opsi ini tetap harus memperhatikan keselamatan dan kesehatan masyarakat, pekerja dan lingkungan hidup. Pengaturan ini juga masih membutuhkan waktu untuk diimplementasi mengingat teknologi pengolahan kembali MIR serta pembangunan tempat pembuangan permanen membutuhkan nilai investasi yang cukup besar. Disamping itu juga kandungan MIR itu sendiri sangat bervariasi dan perlu penelitian lebih lanjut bagaimana cara pengolahannya untuk mengambil mineral-mineral yang masih bernilai. Penyimpanan MIR yang diharapkan hanya untuk sementara, tentu masih belum bisa diterapkan karena belum tersedianya tempat pembuangan permanen dan teknologi pengolahannya. Pemanfaatan MIR untuk tujuan lain perlu dipertimbangkan seperti untuk pembangunan jalan raya, namun tentu harus ada aturan batasan yang jelas agar tidak memberikan dampak negatif ke masyarakat.

Daftar Pustaka

- [1] Indonesia, *Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*. 1997.
- [2] Virdhian, S. and E. Afrilinda, *Karakterisasi Mineral Tanah Jarang Ikutan Timah dan Potensi Pengembangan Industri Berbasis Unsur Tanah Jarang*. Metal Indonesia, 2018. **36**(2): p. 61-69.
- [3] Indonesia, R., *Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir*. 2022.
- [4] *Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation*. 2003, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- [5] Indonesia, *UU No. 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara 2020*.
- [6] Indonesia, R., *Undang-Undang No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. 2009.

- [7] Indonesia, R., *Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*. 2009.
- [8] Indonesia, R., *Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*. 2013.
- [9] Indonesia, *Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 2021.
- [10] Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. 2021.
- [11] *Occupational Radiation Protection in the Uranium Mining and Processing Industry*. 2020, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- [12] *Management of NORM Residues*. 2013, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Aspek *Safeguards* pada Perizinan Penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif (MIR)

Yepi Yamani Yosa¹, Agus Waluyo¹

¹*Kelompok Fungsi Perizinan Instalasi Nuklir Non Reaktor, Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)*

Korespondensi penulis:

y.yamanyosa@bapeten.go.id

a.waluyo@bapeten.go.id

Abstrak

Mineral Ikutan Radioaktif (MIR) dapat menimbulkan potensi bahaya akibat terkonsentrasinya radionuklida alam yang terkandung di dalam batu-batuan yang terdapat di dalam bumi. MIR umumnya dihasilkan dari kegiatan industri pertambangan, industri minyak dan gas bumi, dan industri lainnya. Oleh sebab itu maka penghasil MIR wajib melakukan pengelolaan MIR dengan mengajukan izin penyimpanan MIR. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam perizinan penyimpanan MIR adalah aspek *safeguards*. *Safeguards* adalah setiap tindakan untuk memastikan bahwa tujuan pemanfaatan bahan nuklir hanya untuk maksud damai. Pada makalah ini penulis melakukan telaah terhadap perjanjian *safeguards* yang diterapkan oleh Indonesia untuk menentukan sistem *safeguards* yang dapat diterapkan pada perizinan penyimpanan MIR dengan memperhatikan pendekatan bertingkat. Berdasarkan hasil telaah, sistem *safeguards* yang mampu diterapkan dalam perizinan penyimpanan MIR adalah yang didasarkan pada perjanjian protokol tambahan. Protokol tambahan dipilih sebab bahan nuklir pada MIR belum memenuhi komposisi dan kemurnian yang sesuai untuk fabrikasi bahan bakar atau pengayaan isotop. Pada makalah ini telah disusun usulan dokumen *safeguards* yang didasarkan pada informasi deklarasi protokol tambahan, yang digabungkan dengan isi dari prosedur *safeguards* yang ada dalam Peraturan BAPETEN No. 4/2011 yang telah disesuaikan. Diharapkan usulan format dan isi prosedur dapat mempermudah pemohon dalam menyusun dokumen *safeguards*.

Kata kunci: Mineral Ikutan Radioaktif (MIR), izin penyimpanan MIR, *safeguards*, protokol tambahan.

Pendahuluan

1. Latar Belakang

Mineral Ikutan Radioaktif (MIR) di definisikan sebagai mineral ikutan dengan konsentrasi aktivitas paling sedikit 1 Bq/g (satu becquerel per gram) pada salah satu unsur radioaktif anggota deret Uranium dan Thorium atau 10 Bq/g (sepuluh becquerel per gram) pada unsur Kalium yang umumnya dihasilkan dari kegiatan pertambangan, minyak dan gas bumi, dan industri lainnya[1]. Saat ini, pengawasan terhadap penyimpanan mineral ikutan radioaktif dilakukan oleh BAPETEN dengan tiga cara, yaitu melalui peraturan, perizinan dan inspeksi. Mineral ikutan yang mengandung radioaktif umumnya mengandung Uranium atau pun Thorium, yang mana kedua unsur ini termasuk ke dalam golongan bahan nuklir. Bahan nuklir merupakan bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai, atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai[2]. Sebagai contoh, Monazite yang merupakan hasil samping penambangan timah umumnya mengandung U_3O_8 sebesar 0,3-0,5% dan ThO_2 3,0-4,0%. Pasir Monazite umum dihasilkan dari hasil pemisahan tailing pasir timah pada penambangan timah (Gambar 1).



Gambar 1. Pasir Monazite

Pada bahan nuklir, pengawasannya tidak hanya memperhatikan aspek keselamatan (*safety*), tapi juga aspek keamanan (*security*) dan *safeguards*. *Safeguards* adalah setiap tindakan untuk memastikan bahwa tujuan pemanfaatan bahan nuklir hanya untuk maksud damai. Sistem *safeguards* yang berlaku saat ini di Indonesia seperti yang termuat dalam Peraturan BAPETEN No. 4/2011 tentang Sistem *Safeguards* hanya mengenal 2 (dua) jenis pembagian fasilitas, yaitu MBA dan LOF. MBA (*Material Balance Area*) adalah daerah yang di dalamnya dapat ditentukan jumlah setiap bahan nuklir yang masuk, keluar dan inventori fisiknya. Umumnya MBA ini adalah instalasi nuklir (baik reaktor maupun non-reaktor). Sedangkan LOF (*Location Outside Facilities*) adalah setiap instalasi atau lokasi pemanfaatan bahan nuklir yang jumlahnya sama dengan atau lebih kecil dari 1 (satu) kilogram efektif. Kilogram efektif adalah satuan khusus yang digunakan dalam pengendalian bahan nuklir[2]. Sedangkan pada penyimpanan MIR, dua definisi fasilitas *safeguards* seperti yang dijelaskan di atas tidak dapat diterapkan. Karena itu, perlu adanya pendekatan *safeguards* lain agar dapat diterapkan dalam perizinan penyimpanan MIR. Dalam makalah ini, penulis melakukan telaah literatur dan perjanjian *safeguards* untuk menentukan sistem *safeguards* yang dapat diterapkan pada perizinan penyimpanan MIR.

Dalam Peraturan Pemerintah No. 5/2021 tentang Perizinan Berusaha Berbasis Risiko, salah satu persyaratan izin dalam penyimpanan MIR adalah adanya dokumen *safeguards*, tanpa adanya penjelasan lebih lanjut mengenai hal ini. Selain itu, dalam Peraturan Pemerintah No. 52/2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir juga tidak dijelaskan mengenai *safeguards* pada penyimpanan MIR. Dari hasil telaah terhadap sistem *safeguards* pada penyimpanan MIR, penulis membuat pedoman mengenai dokumen *safeguards* yang dapat digunakan oleh pemohon izin dalam mengajukan permohonan izin penyimpanan mineral ikutan radioaktif. Pedoman ini dapat juga digunakan oleh Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir (DPIBN - BAPETEN) melakukan evaluasi terhadap dokumen *safeguards* yang diajukan oleh pemohon.

2. Tujuan

Makalah ini bertujuan untuk menjelaskan *safeguards* yang dapat diterapkan pada penyimpanan mineral ikutan radioaktif, serta pedoman penyusunan dokumen *safeguards* dalam mengajukan permohonan izin penyimpanan mineral ikutan radioaktif.

Aspek *Safeguards* pada MIR

3. *Safeguards* di Indonesia

1) Sejarah *Safeguards* di Indonesia

Indonesia menandatangani Perjanjian *Non-Proliferation Treaty* (NPT) pada 2 Maret 1970, dan meratifikasi NPT pada 18 Maret 1978 melalui Undang-undang (UU) No. 8 Tahun 1978 Tentang Pengesahan Perjanjian Mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata-Senjata Nuklir[3]. Salah satu implikasi dari perjanjian ini adalah tentang kewajiban Indonesia menerapkan sistem *safeguards*. Selanjutnya Indonesia menandatangani perjanjian *safeguards* dengan *International Atomic Energy Agency* (IAEA) pada 1980, dilanjutkan penandatanganan protokol tambahan pada 29 September 1999. Pada Agustus 2003, Indonesia dinyatakan sebagai negara yang telah mengimplementasikan “*Integrated Safeguards*”[4], karena telah menerapkan perjanjian *safeguards* dan protokol tambahan.

2) SPPBN dan Protokol Tambahan

Safeguards dalam pelaksanaannya di Indonesia dapat dibagi menjadi dua berdasarkan jenis perjanjiannya. Pertama, Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir (SPPBN) yang didasarkan pada *Information Circular* (INFCIRC) IAEA No. 153[5]. Dan kedua, *Additional Protocol* (Protokol Tambahan) yang didasarkan pada INFCIRC IAEA No. 540[6]. Namun demikian, walaupun didasarkan pada perjanjian yang berbeda, perlu dipahami bahwa protokol tambahan bukanlah perjanjian yang berdiri sendiri, melainkan sebuah protokol untuk perjanjian *safeguards* yang menyediakan alat tambahan untuk verifikasi IAEA. Secara khusus, hal ini akan secara signifikan meningkatkan kemampuan IAEA untuk memverifikasi penggunaan damai semua jenis bahan nuklir di suatu negara yang menerapkan perjanjian *safeguards*. Lebih lanjut SPPBN diatur oleh Peraturan BAPETEN No. 4/2011 tentang Sistem Seifgard, sedangkan protokol tambahan dan pelaporannya lebih lanjut diatur dalam Peraturan BAPETEN No. 9/2006 tentang Pelaksanaan Protokol Tambahan Pada Sistem Pertanggungjawaban Dan Pengendalian Bahan Nuklir dan Peraturan BAPETEN No. 9/2008 tentang Penyusunan Dan Format Deklarasi Dalam Pelaksanaan Protokol Tambahan Pada Sistem Pertanggungjawaban Dan Pengendalian Bahan Nuklir.

Pada SPPBN, bahan nuklir yang dilaporkan berdasarkan IAEA INFCIRC No. 153 adalah Uranium diperkaya (*Enriched Uranium*), Uranium alam (*Natural Uranium*), Uranium deplesi (*Depleted Uranium*), Plutonium dan Thorium. Selain itu, ketentuan lain yang juga harus dipenuhi berdasarkan Peraturan BAPETEN No. 4/2011 pasal 6 adalah:

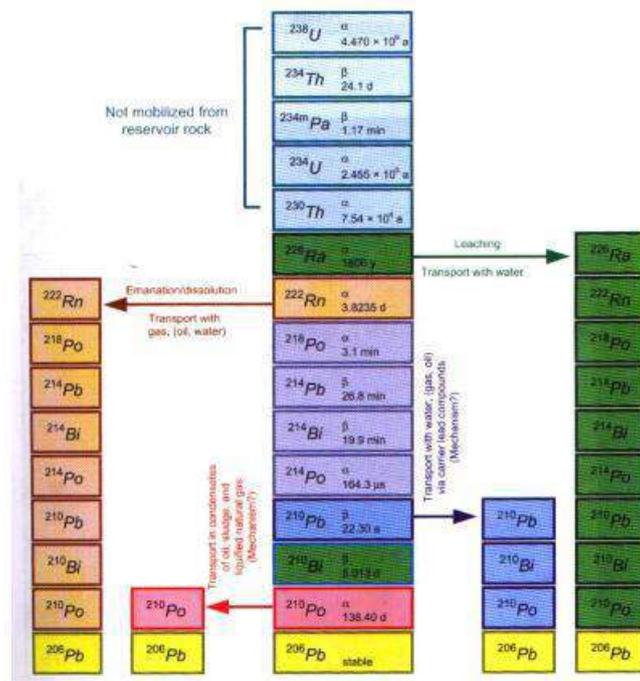
- a. memiliki komposisi dan kemurnian yang memenuhi syarat untuk fabrikasi bahan bakar nuklir;
- b. memiliki komposisi dan kemurnian yang memenuhi syarat untuk diperkaya secara isotopik; atau
- c. merupakan uranium deplesi yang digunakan dalam kegiatan terkait daur bahan bakar nuklir.

Sedangkan berdasarkan ketentuan pasal 7, untuk jenis bahan nuklir lain yang tidak terkena *safeguards* harus memenuhi ketentuan dalam protokol tambahan (dilaporkan dalam protokol tambahan). Pada Peraturan BAPETEN No. 9/2008 lampiran I hal 33, pada pelaporan protokol tambahan terdapat artikel 2.a.(vi) mengenai pelaporan bahan nuklir yang belum mencakup komposisi dan kemurnian yang sesuai untuk fabrikasi bahan bakar atau pengayaan isotop[7].

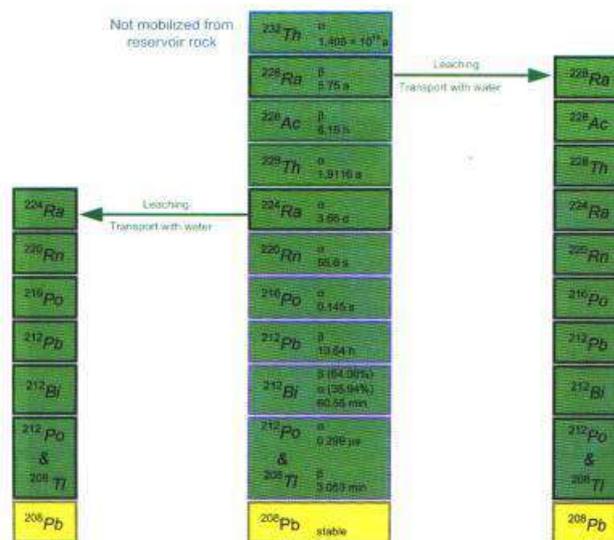
4. Mineral Ikutan Radioaktif (MIR)

Mineral Ikutan Radioaktif atau sering juga disebut dengan TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) adalah suatu bahan radioaktif yang terdapat di alam yang terkonsentrasi atau naik kandungannya yang merupakan *by product* dari kegiatan industri non nuklir yang menggunakan bahan baku dari (dalam) kulit bumi[8]. Kegiatan beberapa industri non-nuklir seperti minyak dan gas bumi, batubara, dan pengolahan pupuk fosfat, dapat memobilisasi radionuklida alam yang terkandung di dalam batu-batuan yang terdapat di dalam bumi. MIR/TENORM awal mula terdeteksi ada pada industri minyak dan gas bumi pada tahun 1904 di Kanada yang kemudian dilakukan kajian radiologi terhadap MIR pada lapangan minyak di laut pada tahun 1980.

Radionuklida dalam MIR berasal dari radionuklida purba/primordial dari peluruhan U-238, Th-232 dan K-40. Peluruhan radioaktif U-238 dan Th-232 dengan mode peluruhan dan energi yang dipancarkan beserta jenis radiasi-nya diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Deret Peluruhan U-238



Gambar 3. Deret peluruhan Th-232

Secara umum radionuklida alam yang dominan ditemukan di dalam MIR adalah U-238, Th-232, Th-228, Ra-226, Ra-228, Rn-222, Rn-220, Pb-210 dan Po-210. Radiasi yang dipancarkan MIR merupakan campuran partikel alpha, beta dan gamma. Berdasarkan sifat dan wujud dari masing radionuklida ini maka metode penentuan setiap radionuklida tersebut berbeda.

Karena potensi bahaya yang ditimbulkan oleh MIR, maka penghasil MIR wajib melakukan pengelolaan MIR dengan mengajukan izin penyimpanan MIR. Izin Penyimpanan MIR diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 5/2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha berbasis risiko. Tata laksana perizinannya dijabarkan lebih rinci pada Peraturan BAPETEN No. 3/2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk Pada penyelenggaraan perizinan Berusaha berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran. Pada peraturan ini, tidak semua jenis MIR mengharuskan adanya izin penyimpanan. Izin penyimpanan hanya diperlukan pada MIR dengan nilai tingkat konsentrasi aktivitas di atas 1 Bq/g (satu becquerel per gram) pada salah satu unsur radioaktif anggota deret Uranium dan Thorium atau 10 Bq/g (sepuluh becquerel per gram) pada unsur Kalium. Oleh karena itu, pihak pemohon harus melakukan analisis untuk menentukan tingkat aktivitas bahan nuklir yang ada pada MIR.

Dalam Peraturan BAPETEN No. 3/2021 disebutkan persyaratan teknis untuk pengajuan izin untuk penyimpanan MIR, yaitu:

1. Dokumen spesifikasi Mineral Ikutan Radioaktif
2. Program proteksi dan keselamatan radiasi
3. Dokumen rencana proteksi fisik
- 4. Dokumen sistem *safeguards***
5. Dokumen rencana tempat pembuangan permanen

Pada peraturan ini, tidak dijelaskan lebih lanjut mengenai dokumen sistem *safeguards*, sehingga dapat menimbulkan kebingungan bagi pemohon izin.

5. Penerapan Safeguards Pada MIR di Negara Lain

Aspek *safeguards* pada MIR di negara lain belum banyak dibahas sehingga sulit untuk mencari referensinya. Di Amerika Serikat (AS), perhatian pada penyimpanan MIR hanya ditujukan pada keselamatan radiasi dan bersifat umum. Di AS penyimpanan MIR harus memenuhi ketentuan paparan radiasi bagi pekerja tidak melebihi 1 mSv/tahun (100 mR/tahun)[9]. Tidak ada ketentuan *safeguards* terhadap penyimpanan MIR. Hal yang sama juga terjadi di Australia[10], dimana issue utama adalah kesehatan pekerja dan masyarakat. Namun ketentuan *safeguards* pada MIR dapat didekati dengan ketentuan *safeguards* pada tambang Uranium/Thorium. Berdasarkan IAEA INFCIRC No. 153 artikel 33, bahan sumber yang masih berada di penambangan atau dalam proses penambangan tidak perlu dimasukkan dalam pelaporan bahan nuklir. Bahan sumber yang ada di penambangan Uranium/Thorium dapat dilaporkan ke IAEA menggunakan ketentuan pada IAEA INFCIRC No. 540 artikel 2.a.(v) (*Information specifying Uranium mines and concentration plants*) dan artikel 2.a.(vi) (*Information regarding source material*)[11].

6. Dokumen Safeguards MIR

Isi dan konten dokumen *safeguards* untuk persyaratan izin penyimpanan MIR tidak dijelaskan dalam Peraturan Pemerintah No. 5/2021 tentang Perizinan Berusaha Berbasis Risiko. Hal ini akan menimbulkan kebingungan pada calon pemohon izin dalam melengkapi persyaratan izin. Secara umum, istilah *safeguards* sendiri masih asing bagi kalangan industri penghasil MIR. Oleh karena itu, diperlukan pedoman pembuatan dokumen *safeguards* yang sederhana dan mudah di pahami oleh pemohon izin.

Peraturan yang menyebut dokumen *safeguards* ada pada Peraturan BAPETEN No. 4/2011 tentang Sistem Seifgard. Dalam peraturan ini, isi dokumen tersebut adalah Prosedur *Safeguards* yang dimiliki fasilitas, berikut metode rekaman dan pelaporannya. Namun perlu diingat bahwa dokumen *safeguards* yang dimaksud pada peraturan tersebut dimaksudkan untuk diterapkan pada instalasi nuklir yang menerapkan MBA (*Material Balance Area*) dan LOF (*Location Outside Facility*), karena hal ini sangat terkait sistem pembukuan bahan nuklir yang memang merupakan hal yang krusial dalam penerapan SPPBN di instalasi nuklir. Prosedur *safeguards* berdasarkan Peraturan BAPETEN No. 4/2011 pasal 27 meliputi informasi mengenai:

1. Ruang lingkup;
2. Tanggung jawab PI, pengawas dan pengurus inventori bahan nuklir;
3. Pemindahan bahan nuklir antar MBA;
4. Pemindahan bahan nuklir antar KMP;
5. Pengukuran inventori bahan nuklir;
6. Penghitungan bahan nuklir yang hilang dalam proses serta bahan nuklir yang hilang dan dihasilkan selama iradiasi;
7. PIT;
8. Penghitungan MUF;
9. Pemeliharaan rekaman;
10. Pelaporan; dan
11. Tindakan yang diambil dalam hal terjadi peristiwa di luar kebiasaan.

Isi dokumen *safeguards* seperti di atas terlalu rumit diterapkan untuk penyimpanan MIR. Beberapa hal seperti MBA dan KMP juga tidak berlaku, sebab area penyimpanan MIR umumnya bukan fasilitas

nuklir. Kegiatan yang terkait aktivitas SPPBN seperti pengukuran inventori bahan nuklir, perhitungan MUF (*Material Unaccounted For*), PIT (*Physical Inventory Taking*) dan perhitungan NL/NP (*Nuclear Loss/Nuclear Production*) juga dapat kita hilangkan karena tidak diperlukan dalam *safeguards* penyimpanan MIR. Selain itu, pada penyimpanan MIR tidak ada pengawas dan pengurus bahan nuklir. Sehingga isi dokumen di atas dapat diringkas menjadi sebagai berikut:

1. Tanggung jawab PI;
2. Pemandahan bahan nuklir;
3. Pemeliharaan rekaman; dan
4. Pelaporan.

Jika dilihat lagi tentang jenis bahan nuklir yang ada pada MIR di mana belum memiliki komposisi dan kemurnian yang memenuhi syarat untuk dilakukan pembukuan bahan nuklir, maka pencatatannya lebih difokuskan untuk memenuhi ketentuan yang ada di dalam protokol tambahan. Pada Peraturan BAPETEN No. 9/2008 lampiran I hal 33 pada bagian Petunjuk Pengisian Deklarasi untuk Pasal 5 ayat (2) huruf f [Article 2.a. (vi)][7], pelaporannya mencakup:

Lokasi penyimpanan, yang dapat berisi alamat maupun koordinat lokasi penyimpanan.

- Komposisi kimia bahan nuklir, contohnya U3O8 atau ThO2.
- Jumlah bahan nuklir (dalam ton), dan
- Kode tujuan penggunaannya, diisi dengan kode N untuk nuklir, atau NN untuk non-nuklir, atau ND untuk aktivitas yang belum ditentukan.
- Tujuan penggunaan, diisi dengan penggunaan bahan sumber saat itu.

Pada pelaporan protokol tambahan, data-data tersebut disajikan dalam bentuk tabel berdasarkan format yang sudah ditentukan. Deklarasi bahan sumber pada artikel 2.a.(vi) dapat dilihat pada gambar berikut.

Part (a) - Holdings as of the last day of the declaration period

Entry	Ref.	Location	Chemical Composition	Quantity (tonnes of element U or Th)	Intended Use Code	Intended Use	Comments
1	7-1	Heavy Metals, Inc., 48 Wilson Avenue, R-7813, Speyar, Indonesia	U ₃ O ₈	370	NN	ceramics	

Gambar 4. Contoh Deklarasi Bahan Sumber Pada Protokol Tambahan[7]

Berdasarkan telaah di atas, penulis membuat usulan format dan isi prosedur *safeguards* yang lebih sederhana dengan memperhatikan pendekatan bertingkat. Penyederhanaan ini didasarkan pada informasi deklarasi protokol tambahan, yang digabungkan dengan isi dari prosedur *safeguards* yang ada dalam Peraturan BAPETEN No. 4/2011 yang telah disesuaikan. Diharapkan usulan format dan isi prosedur dapat mempermudah pemohon dalam menyusun dokumen *safeguards*. Usulan dokumen dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Usulan Isi Prosedur Safeguards Pada Izin Penyimpanan MIR

Bab	Isi	Penjelasan	Acuan
I. Pendahuluan	Profil perusahaan singkat	Nama perusahaan/institusi penghasil MIR	- Deklarasi 2.a.(vi): <i>Location, Chemical Composition, Quantity, Intended Use.</i>
	Jumlah MIR	Berisi informasi jumlah MIR yang dimiliki saat pengajuan izin, dan proyeksi selama izin penyimpanan berlangsung (5 tahun kedepan), beserta kandungannya (dengan melampirkan hasil pengujian laboratorium),	- Dokumen Safeguards: -
	Lokasi penyimpanan tempat penyimpanan MIR	Berisi alamat lokasi penyimpanan, bila perlu dapat menyertakan koordinat penyimpanan.	
II. Organisasi	- Personil penanggung jawab MIR - Struktur Organisasi	Bagian ini berisi uraian personil yang bertanggung jawab untuk pencatatan inventori MIR (jumlah orang dan kualifikasi). Personil yang dimaksud tidak harus memiliki SIB (Surat Izin Bekerja) petugas inventori bahan	- Deklarasi 2.a.(vi): - - Dokumen Safeguards: Tanggung jawab PI

	Perusahaan	nuklir, namun cukup personil yang ditunjuk dengan surat tugas untuk bertanggung jawab terhadap pencatatan inventori MIR. Informasi ini penting terkait dengan PIC (<i>person-in-charge</i>) yang dapat dihubungi jika sewaktu-waktu terdapat informasi yang harus diverifikasi.	
III. Prosedur Pemandangan MIR	- Prosedur Keluar Masuk MIR - Prosedur Penyimpanan MIR	Bagian ini menjelaskan prosedur penerimaan, penyimpanan dan pengiriman MIR, termasuk prosedur pencatatan MIR pada saat pengiriman.	- Deklarasi 2.a.(vi): - - Dokumen Safeguards: Pemandangan bahan nuklir
IV. Rekaman dan Laporan	- Form Keluar Masuk MIR - Form Penyimpanan MIR	Pada bagian ini dapat dilampirkan form penerimaan, penyimpanan dan pengiriman MIR, termasuk dari dan ke luar lokasi perusahaan. Di dalam form ini juga harus menjelaskan jenis dan jumlah MIR yang dipindahkan.	- Deklarasi 2.a.(vi): - - Dokumen Safeguards: Pemeliharaan rekaman, Pelaporan.

Kesimpulan

Aspek *safeguards* pada penyimpanan MIR merupakan aspek yang belum dijelaskan pada peraturan mengenai perizinan penyimpanan MIR. Pada makalah ini telah ditelaah mengenai sistem safeguards yang dapat diterapkan pada perizinan penyimpanan MIR, yaitu dengan mengacu pada penerapan protokol tambahan. Hal ini karena bahan nuklir yang terkandung dalam MIR yang belum mencakup komposisi dan kemurnian yang sesuai untuk fabrikasi bahan bakar atau pengayaan isotop. Dokumen *safeguards* sebagai salah satu syarat perizinan penyimpanan MIR belum dijelaskan pada Peraturan Pemerintah No. 5/2021 tentang Perizinan Berusaha Berbasis Risiko. Oleh karena itu, perlu adanya pedoman pembuatan dokumen *safeguards* yang sederhana dan mudah di pahami oleh pemohon izin. Dokumen didasarkan pada informasi deklarasi protokol tambahan, yang digabungkan dengan isi dari prosedur *safeguards* yang ada dalam Peraturan BAPETEN No. 4/2011 yang telah disesuaikan. Diharapkan usulan format dan isi prosedur dapat mempermudah pemohon dalam menyusun dokumen *safeguards*.

Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2011 Tentang Sistem Seifgard, 2011.
- [3] Undang-undang (UU) No. 8 Tahun 1978 Tentang Pengesahan Perjanjian Mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata-Senjata Nuklir.
- [4] IAEA “*The Safeguards Statement for 2003*”, Overall Conclusions for 2003, Desember 2003.
- [5] International Atomic Energy Agency, Information Circular No. 153 (Corrected) *The Structure and Content of Agreements Between The Agency and States Required in Connection With The Treaty on The Non-Proliferation of Nuclear Weapons*.
- [6] International Atomic Energy Agency, Information Circular No. 540 (Corrected) *Model Protocol Additional To The Agreements Between States And The International Atomic Energy Agency For The Application Of Safeguards*.
- [7] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan BAPETEN No. 9 Tahun 2008 Tentang Penyusunan Dan Format Deklarasi Dalam Pelaksanaan Protokol Tambahan Pada Sistem Pertanggungjawaban Dan Pengendalian Bahan Nuklir.
- [8] Bunawas, Syarbini, *Penentuan Potensi Risiko Tenorm Pada Industri Non Nuklir*, Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN, April 2005.
- [9] Ruth E. McBurney, *Development of a Regulatory Framework for Naturally Occurring Radioactive Material in the United States*, Conference Of Radiation Control Program Directors, 2019.
- [10] Lubi Dimitrovski, *Report on Recent Status of NORM/TENORM in Australia*, Japan Health

- Physics., 2005
- [11] Akos Petoe, *Safeguards Obligations related to Uranium/Thorium Mining and Processing*, Division of Concepts and Planning, Department of Safeguards IAEA, 2009.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Dosis dari Penggunaan Terak Timah 2 sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus dalam Pembuatan Mortar pada Bangunan dengan RESRAD-BUILD

Hermawan Puji Yuwana

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis:

h.puji@bapeten.go.id

Abstrak

Analisis dosis dari penggunaan terak timah 2 sebagai substitusi parsial agregat halus dalam pembuatan mortar pada bangunan dengan RESRAD-BUILD. Industri pengolahan dan peleburan timah menghasilkan hasil samping salah satunya berupa terak timah 2. Terak timah 2 memiliki kandungan radionuklida anak luruh dari deret uranium dan thorium dengan konsentrasi aktivitas tertentu. Aspek penggunaan kembali (*reuse*) dan pengolahan kembali (*recycle*) terhadap terak timah 2 masih sangat terbatas dan minim karena sifat radioaktif yang terkandung tersebut. Tujuan dari penelitian ini untuk mensimulasikan penilaian penggunaan terak timah 2 dalam suatu ruangan dengan ukuran tertentu. Terak timah 2 digunakan sebagai substitusi parsial dalam pembuatan mortar. Mortar diasumsikan dan disimulasikan digunakan sebagai plesteran dinding dan lantai. Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi aktivitas terak timah 2 menunjukkan bahwa radionuklida ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th memiliki konsentrasi di atas dari kriteria yang ada yaitu berturut-turut sebesar 5,724 Bq/gram, 16,590 Bq/gram, dan 14,29 Bq/gram. Batasan konsentrasi aktivitas sesuai dengan peraturan perundangan adalah 1 Bq/gram untuk radionuklida anggota deret uranium dan thorium atau 10 Bq/g pada unsur kalium. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak RESRAD-BUILD versi 4.0 dengan skenario yaitu 2 ukuran ruangan, 2 ketebalan plesteran, dan 2 faktor okupansi. Skenario posisi reseptor pada ruangan diasumsikan pada posisi di pusat ruangan. Pada 2 asumsi ukuran ruangan yaitu 4x3x2,5 m dan 4x5x2,8 m, didapatkan hasil bahwa semakin besar ukuran ruangan, dosis yang diterima akan semakin kecil. Pada 2 asumsi ketebalan lapisan plester terhadap masing-masing 2 asumsi ukuran ruang yaitu 1 cm dan 1,5 cm, didapatkan hasil bahwa semakin tebal lapisan plesteran, dosis yang diterima akan semakin besar. Kemudian pada 2 asumsi faktor okupansi yaitu 0,5 dan 0,08 menunjukkan bahwa semakin kecil faktor okupansi dengan asumsi inputan lain yang tetap, akan berpengaruh terhadap dosis yang akan semakin mengecil.

Kata kunci: terak timah, substitusi parsial, mortar, simulasi

Pendahuluan

Istilah *Naturally Occurring Radioactive Material* (NORM) merujuk pada radiaktivitas yang secara alami dapat berasal dari mineral bijih atau mineral bahan baku [1] [2]. Aktivitas dan/atau kegiatan manusia akan menyebabkan peningkatan radioaktivitas alam tersebut yang kemudian dikenal dengan *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* (TENORM) [2]. Hanya saja dengan Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022, dikenalkan dan digunakan istilah Mineral Ikutan Radioaktif (MIR) untuk merujuk produk hasil samping atau ikutan dari suatu kegiatan. Terlepas dari penggunaan istilah ini, tidak membedakan konsep pengawasan yang berbasis pada konsentrasi aktivitas anak luruh deret uranium dan thorium serta potasium. MIR didefinisikan sebagai mineral ikutan dengan konsentrasi aktivitas paling sedikit 1 Bq/g pada salah satu unsur radioaktif anggota deret uranium dan thorium atau 10 Bq/g pada unsur kalium yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan mineral dan batubara, minyak dan gas bumi, dan industri lainnya [3]. Kegiatan yang

ditengarai dapat menghasilkan MIR ini juga berkesesuaian dengan beberapa rekomendasi IAEA [1] [4] [5].

Indonesia kaya akan sumber daya mineral yang dimiliki salah satunya adalah mineral timah. Data tahun 2019 menunjukkan bahwa cadangan timah Indonesia adalah terbesar kedua di dunia [6]. Besaran cadangan timah yang dimiliki ekuivalen dengan 23% cadangan timah dunia. Sedangkan produksi logam timah juga menjadi terbesar kedua di dunia yang ekuivalen dengan 22% produksi timah dunia. Produksi timah yang terus meningkat akan berdampak pada peningkatan pertumbuhan ekonomi bahkan juga akan mempengaruhi hasil samping yang dihasilkan.

Siklus pengolahan timah dari hulu ke hilir akan dihasilkan hasil samping berupa *tailing* [7] [8] [9] dan terak timah [10] [11] [12]. Pada umumnya aktivitas eksploitasi dan pengolahan akan menghasilkan material/bahan buangan yang disebut dengan *tailing*. Sedangkan terak timah merupakan material sisa dari proses peleburan atau pemurnian logam yang terapung pada permukaan logam cair yang terbentuk dari campuran imbu, pengotor bijih/logam, abu bahan bakar, dan bahan pelapis tanur [13].

Terak timah memiliki beberapa karakteristik yang khas seperti bentuknya yang keras, tajam, dan berwarna coklat kehitaman [14] [15]. Warnanya juga akan menghitam setelah mendapatkan perlakuan seperti proses pencucian [16]. Terak timah juga memiliki konsentrasi aktivitas yang beragam. Setiap lokasi juga kadang akan memberikan nilai konsentrasi aktivitas yang berbeda. Beberapa informasi dalam makalah atau hasil penelitian dengan sampel terak timah tertentu juga didapatkan konsentrasi aktivitas yang beragam [11] [16] [17] [18]. Pengukuran dengan menggunakan spektrometer gamma atau ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*) diperlukan untuk memastikan besaran konsentrasi aktivitas terak timah [10].

Terak timah bisa dianggap hasil samping yang masih dapat digunakan dan diolah kembali. Beberapa upaya yang dilakukan seperti penelitian untuk pengambilan logam tanah jarang [19] [20] [21] [22] [23] [24]. Upaya lainnya adalah penelitian dengan memanfaatkan terak timah sebagai substitusi material lain dalam pembuatan mortar dan beton juga telah dilakukan [16] [24] [25] [26] [27] [28]. Memang semuanya masih pada tahap penelitian dan belum pada skala produksi. Kondisi saat ini terak timah banyak ditumpuk atau disimpan [28]. Salah satu tantangan belum termanfaatkannya terak timah karena kandungan radioaktif yang didominasi radionuklida deret uranium dan thorium [17] [29].

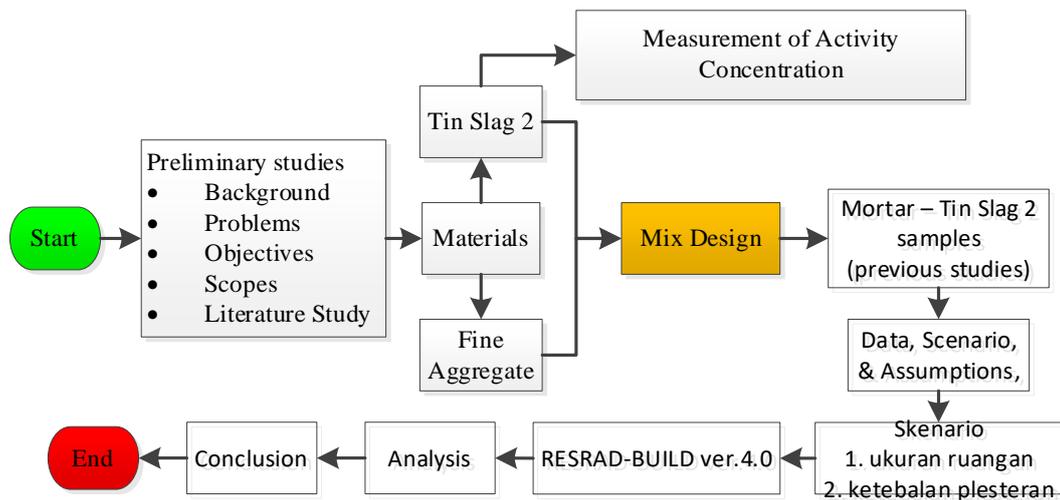
Dari aspek material menunjukkan bahwa penggunaan terak timah pada pembuatan mortar dapat memenuhi kualitas mutu tertentu dilihat dari aspek kuat tekan dalam pemenuhan Standar Nasional Indonesia tertentu [16]. Hanya saja dari aspek radiologi, konsentrasi aktivitas terak timah masih berada di atas kriteria atau nilai yang diizinkan. Baik dari aspek karakteristik material dan radiologi menjadi pertimbangan dalam fisibilitas penggunaan terak timah sebagai material substitusi dalam pembuatan mortar.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan penggunaan terak timah 2 terhadap dosis yang diterima pada ruangan dengan ukuran tertentu. Terak timah 2 digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan mortar. Mortar yang digunakan diasumsikan sebagai sebuah plesteran dinding dan lantai dalam suatu ruangan tertentu. Salah satu variabel yang diamati adalah besaran dosis yang diterima oleh reseptor dalam ruangan tersebut. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak RESRAD-BUILD.

Metodologi

Terak timah 2 yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT Sariwiguan Bina Sentosa di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Terak timah 2 dilakukan pengukuran konsentrasi aktivitasnya dari radionuklida anak luruh dari uranium dan thorium serta potasium. Pengukuran dengan perangkat spektrometri gamma di laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Beberapa data sekunder dalam simulasi ini didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya, penelitian lain, dan data *default* dari perangkat lunak RESRAD BUILD. Data densitas dari campuran mortar – terak timah 2 yang digunakan didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya. Simulasi dengan menggunakan perangkat lunak RESRAD-BUILD versi 4.0. Diagram alir penelitian sebagaimana dituangkan pada Gambar 1 berikut ini.

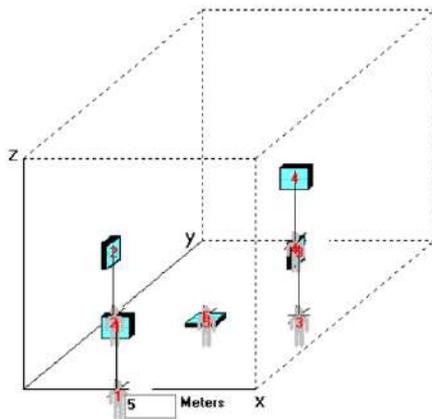


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

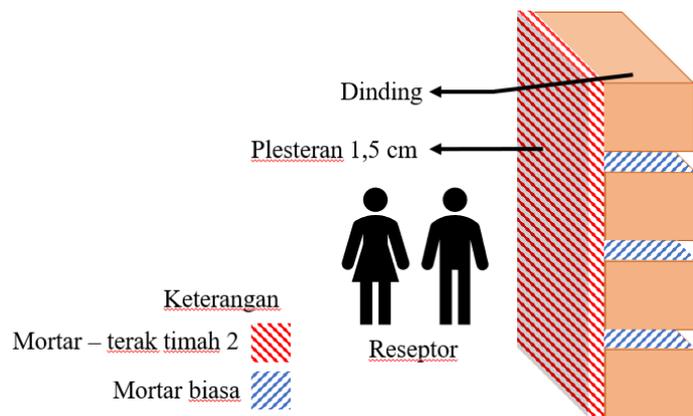
Desain campuran mortar – terak timah 2 didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Hermawan et al. (2022) [16]. Pada penelitian tersebut komposisi terak timah 2 divariasikan pada 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap agregat halus. Kemudian variasi semen dibanding pasir 1:3 dan rasio air/semen (W/C) yang digunakan sebesar 0,7. Data sekunder yang didapatkan dalam penelitian tersebut dan digunakan pada simulasi ini adalah nilai densitas dari sampel mortar – terak timah 2. Skenario yang dibuat adalah mortar – terak timah 2 diaplikasikan untuk plesteran dinding dan lantai dengan ketebalan tertentu. Dalam pemodelan ini akan diskenariokan dalam beberapa variabel yaitu ukuran ruangan, letak reseptor dalam ruangan, lapisan plesteran, dan faktor okupansi dalam ruangan.

Ukuran ruangan divariasikan menjadi 2 yaitu 4x3x2,5m dan 4x5x2,8m [30]. Pada umumnya jika kita amati ukuran perumahan yang ada di Indonesia yang dibuat oleh sebuah pengembang rumah (*developer*) akan memiliki beberapa ukuran seperti 21 m², 27 m², 36 m², 45 m², 54 m²dst. Tantangan untuk membuat ukuran seperti ini adalah terkait dengan standarisasi ukuran ruangan tersebut. Sebagai contoh misalnya tipe 21 m² yang dapat bermakna ukuran ruangan (panjang dan lebar) adalah 6x3,5 m atau 5x4,5 m, dst. Sehingga batasan yang diambil adalah ruangan ini ruangan tunggal dengan ukuran yang fix.

Ketebalan plesteran yang digunakan untuk rumah tinggal umumnya adalah 1,5 cm [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37]. Menurut Handoyo (2015), ketebalan plesteran minimum yaitu 1,1 cm dan maksimum 1,6 cm. Referensi lain menyebutkan ketebalan plesteran berkisar pada 1 – 2 cm [38] setebal 2 cm [39]. Pada simulasi ini digunakan variasi ketebalan plesteran 1 cm dan 1,5 cm. Kemudian untuk reseptor akan ada 5 variasi letak yaitu 1 reseptor berada di pusat ruangan dan 4 reseptor dekat dengan masing-masing dinding seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini. Sedangkan batasan pada pembahasan diamati reseptor nomor 5 yaitu pada pusat ruangan. Pada Gambar 3 merupakan gambaran dari hubungan antara pengaplikasian mortar – terak timah 2 dengan reseptor. Sedangkan pada Tabel 1 berikut ini merupakan ringkasan dari parameter input dalam simulasi dengan perangkat lunak RESRAD-BUILD.



Gambar 2. Gambaran Pemodelan RESRAD-BUILD



Gambar 3. Skema Hubungan Reseptor dan Mortar – Terak Timah 2

Tabel 1. Skenario dan Parameter dalam Pemodelan RESRAD-BUILD

No.	Skenario	Keterangan
1.	Ukuran ruang	4x3x2,5m
		4x5x2,8m
2.	Ketebalan plesteran	1 cm dan 1,5 cm
3.	Konsentrasi aktivitas	$^{226}\text{Ra}= 5,724 \text{ Bq/gram}$
		$^{228}\text{Th}= 14,290 \text{ Bq/gram}$
		$^{40}\text{K}= 1,161 \text{ Bq/gram}$
4.	Faktor hunian/ okupansi	12 jam/hari (0,5)
		2 jam/hari (0,08)
5.	Laju pertukaran udara	0,8 per/jam
6.	Kecepatan deposisi dalam ruangan	0,01 m/detik
7.	Laju resuspensi	5×10^{-7} per detik
8.	Laju inhalasi	16,56 m ³ /hari [40]
9.	Laju ingesti	0,0001 m ² /hari
10.	Fraksi udara	0,357
11.	Densitas mortar	1,9 g/cm ³

Hasil dan Pembahasan

1. Konsentrasi Aktivitas Terak Timah 2

Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas sampel terak timah 2 dengan spektrometri gamma didapatkan hasil beberapa radionuklida di atas kriteria konsentrasi aktivitas yang diizinkan. Radionuklida pada sampel terak timah 2 yang melampaui kriteria yaitu ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th berturut-turut sebesar 5,724 Bq/gram, 16,590 Bq/gram, dan 14,29 Bq/gram. Sedangkan potasium memiliki nilai konsentrasi aktivitas 1,161 Bq/gram.

2. Simulasi dengan RESRAD-BUILD

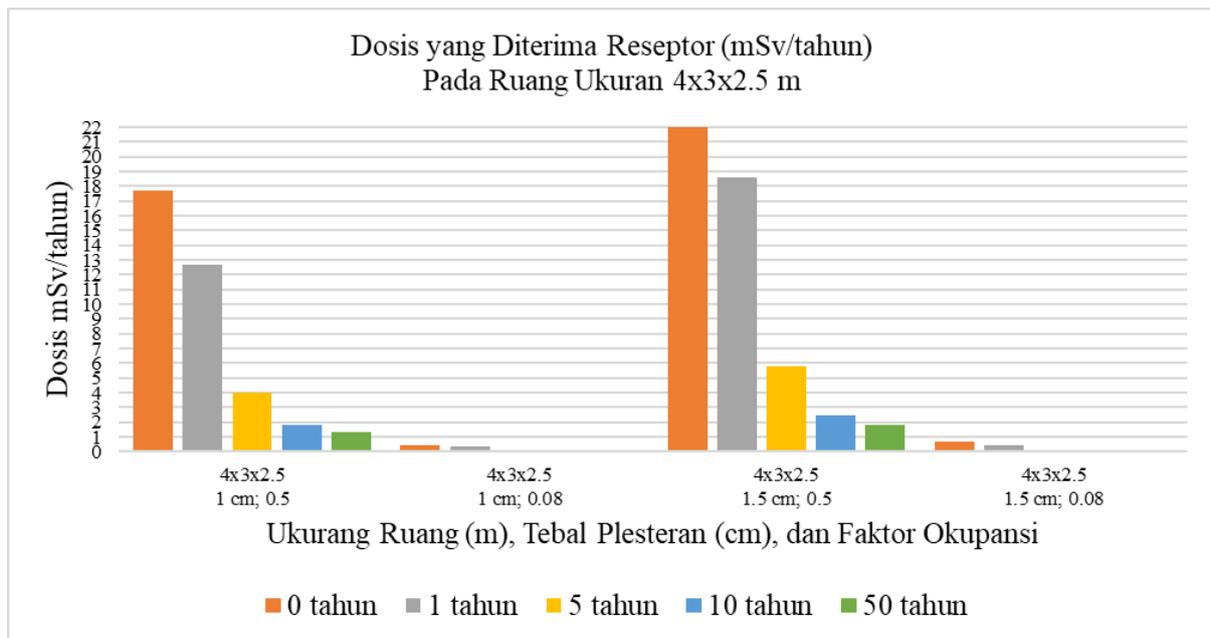
Telah dilakukan simulasi dengan menggunakan pemodelan RESRAD-BUILD terhadap beberapa skenario input seperti ukuran ruangan, ketebalan plesteran, dan faktor okupansi penggunaan ruangan. RESRAD-BUILD digunakan sebagai perangkat untuk mengevaluasi skenario dari beberapa jalur paparan yang mungkin ada serta mengevaluasi dosis radiologi potensial untuk individu yang bekerja atau tinggal di gedung yang terkontaminasi material radioaktif. Penulis mensimulasikan bahwa material terak timah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan mortar. Mortar disimulasikan digunakan sebagai material plesteran dinding dan lantai dengan gambaran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada Tabel 2 kemudian divisualisasikan pada Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan dosis yang diterima reseptor dengan 2 variasi masing-masing yaitu ukuran ruangan, tebal plesteran, dan faktor okupansi. Posisi reseptor dalam ruangan, akan mempengaruhi dosis yang diterima. Sebagai contoh adalah reseptor yang terletak pada posisi pusat ruangan (kode reseptor 5), mendapatkan dosis dari beberapa sumber sekeliling dinding. Kemungkinan besar bahwa reseptor nomor 5 akan mendapatkan dosis tertinggi dari beberapa reseptor lainnya. Dari hasil yang tertuang pada Gambar 4 dan 5 menunjukkan pengaruh hubungan ruangan, ketebalan plesteran dan faktor okupansi terhadap dosis. Ketebalan plesteran yang digunakan di variasikan menjadi 2 untuk melihat pengaruh tebal dan tipisnya plesteran terhadap dosis yang akan diterima. Sedangkan faktor okupansi divariasikan menjadi 2 yaitu fraksi 0,5 dan 0,08.

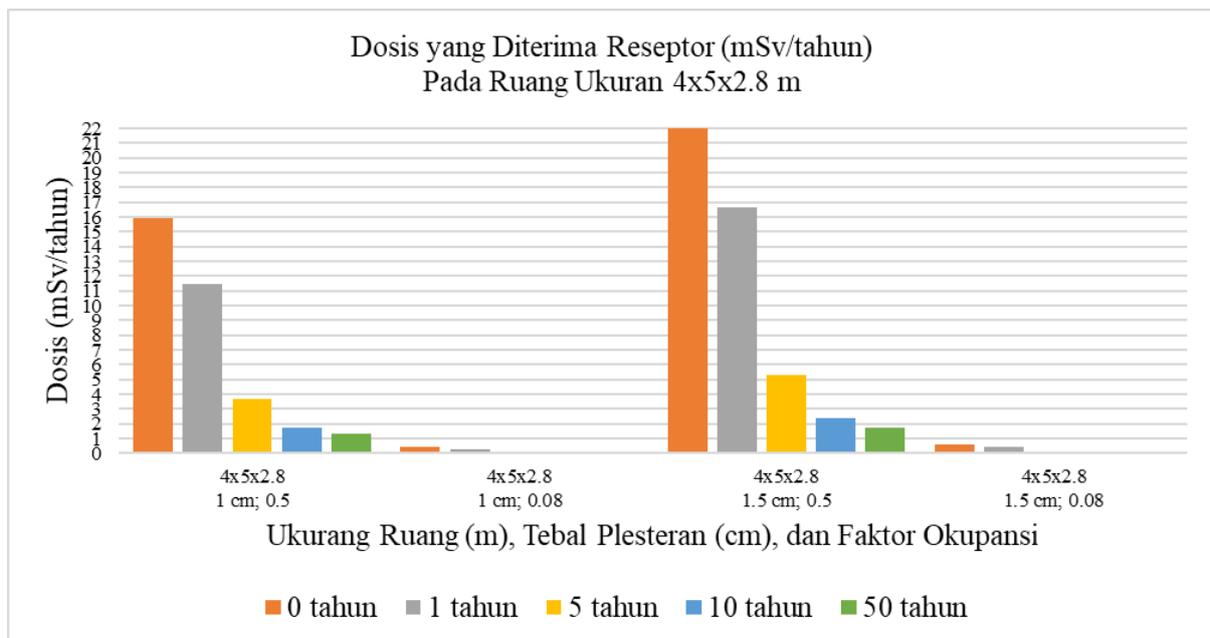
Tabel 2. Nilai Dosis (mSv) Berdasarkan pada Skenario Variasi Ruang, Tebal Plesteran, dan Faktor Okupansi

No.	Ukuran Ruang dan Faktor Okupansi	Nilai Dosis (mSV) pada tebal Plesteran 1 cm pada Tahun ke-					Nilai Dosis (mSV) pada tebal Plesteran 1,5 cm pada Tahun ke-				
		0	1	5	10	50	0	1	5	10	50
1.	4x3x2,5 m Faktor okupansi 0,5	17,700	12,700	4,040	1,810	1,350	25,900	18,600	5,780	2,500	1,830
2.	4x3x2,5 m Faktor okupansi 0,08	0,453	0,326	0,103	0,046	0,035	0,662	0,475	0,148	0,064	0,047
3.	4x5x2,8 m Faktor okupansi 0,5	15,900	11,500	3,710	1,710	1,300	23,200	16,700	5,290	2,360	1,760
4.	4x5x2,8 m Faktor okupansi 0,08	0,408	0,294	0,095	0,044	0,033	0,594	0,428	0,135	0,060	0,045

Dari aspek ukuran ruangan, dosis pada ukuran ruangan 4x3x2,5 m memberikan kontribusi dosis lebih besar dibandingkan ukuran 4x5x2,8 m. Dengan ukuran kecil, maka jarak reseptor dengan material dinding yang mengandung bahan radioaktif akan semakin dekat. Terlebih jika ketebalan plesteran baik dinding atau lantai juga diasumsikan semakin tebal, akan memberikan kontribusi dosis yang besar juga.



Gambar 4. Dosis (mSv/tahun) yang Diterima Reseptor 5 terhadap Waktu, Ketebalan Plesteran, dan Faktor Okupansi Pada Ruang Ukuran 4x3x2,5 m



Gambar 5. Dosis (mSv/tahun) yang Diterima Reseptor 5 terhadap Waktu, Ketebalan Plesteran, dan Faktor Okupansi Pada Ruang Ukuran 4x5x2,8 m

Pada simulasi dengan asumsi 2 variasi ketebalan. Pada umumnya plesteran dinding masih diberikan lapisan seperti acian atau ditambah dengan cat dinding pada bagian paling luar. Akan tetapi dalam simulasi tidak mempertimbangkan lapisan tambahan dan jenisnya setelah plesteran. Begitu halnya dengan plesteran lantai dimana bagian atasnya masih bisa diberikan lapisan ubin dengan berbagai macam material dari kayu, keramik, granit, dan lain-lain. Dengan adanya penambahan plesteran dari 1 cm ke 1,5 cm memberikan dari Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa memberikan peningkatan dosis yang cukup signifikan untuk masing-masing simulasi ruangan. Pada Tabel 3 berikut merupakan persentase kenaikan nilai dosis terhadap variasi ketebalan plesteran. Terlihat bahwa kenaikan nilai dosis berkisar dari 26 – 31%. persentase kenaikan ini relatif hampir sama pada variasi ukuran ruangan, ketebalan, dan faktor okupansi tersebut. Akan tetapi nilai dosis yang didapatkan tetap berbeda sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Persentase Peningkatan Nilai Dosis dengan Variasi Ketebalan Plesteran

No.	Ukuran Ruang dan Faktor Okupansi	Kondisi	Persentase Peningkatan Nilai Dosis (mSv) pada Tahun ke-				
			0	1	5	10	50
1.	4x3x2,5 m Faktor okupansi 0,5	Tebal 1 cm ke tebal 1,5 cm	31,78%	31,72%	30,10%	27,60%	26,23%
2.	4x3x2,5 m Faktor okupansi 0,08	Tebal 1 cm ke tebal 1,5 cm	31,57%	31,37%	30,41%	27,66%	26,07%
3.	4x5x2,8 m Faktor okupansi 0,5	Tebal 1 cm ke tebal 1,5 cm	31,47%	31,14%	29,87%	27,54%	26,14%
4.	4x5x2,8 m Faktor okupansi 0,08	Tebal 1 cm ke tebal 1,5 cm	31,31%	31,31%	29,56%	27,20%	26,00%

Simulasi dengan mempertimbangkan faktor okupansi penting untuk dilihat juga dalam perencanaan awal penggunaan terak timah 2 sebagai substitusi pembuatan mortar. Simulasi bersifat kasuistis sesuai dengan rencana penggunaan dapat memberikan perkiraan nilai dosis yang berbeda. Dalam ini simulasi menggunakan 2 asumsi faktor okupansi 0,5 (sebanding dengan 12 jam/hari) dan 0,08 (sebanding dengan 2 jam/hari). Faktor okupansi 0,08 misalnya diasumsikan bahwa ruangan tersebut digunakan sebagai suatu tempat penyimpanan dengan okupansi yang sangat minim (maksimal 2 jam/hari). Dari Tabel 2, Gambar 4, dan Gambar 5 terjadi penurunan yang sangat drastis dari simulasi ini. Nilai dosis yang didapatkan dari simulasi pada 2 skenario ruangan dan 2 ketebalan plesteran menunjukkan nilai dosis di bawah 1 mSv/tahun.

Dengan melihat hasil simulasi dari beberapa skenario dari aspek nilai dosis yang bakal diterima, terak timah 2 sebagai substitusi dalam pembuatan mortar memungkinkan untuk digunakan. Terdapat beberapa pertimbangan dalam beberapa pengembangan selanjutnya yaitu:

- 1) Pertimbangan pertama terkait dengan tantangannya konsentrasi aktivitas terak timah 2 yang digunakan masih sangat tinggi dan lebih dari kriteria 1 Bq/gram. Semakin banyak sampel terak timah 2 yang diambil untuk diukur konsentrasinya akan memberikan informasi dan data yang rinci. Akan tetapi hal ini juga akan mempengaruhi aspek pembiayaan dalam proses pengukuran. Pada contoh pengambilan sampel yang dilakukan oleh penulis, sampel terak timah 2 yang diambil dan diukur diasumsikan homogen dan mewakili kondisi tumpukan dari lokasi penyimpanan sementara terak timah 2 tersebut.
- 2) Pertimbangan kedua terkait dengan parameter input dari RESRAD-BUILD yang sebagian besar masih menggunakan parameter setelan standar (*default*) dari pemodelan tersebut.
- 3) Pertimbangan ketiga perlu membandingkan dan menganalisis hubungannya dengan beberapa indeks seperti indeks radium ekuivalen (Raeq), indeks bahaya eksternal (Hex), indeks bahaya internal (Hin), dosis serap (D), dan dosis efektif tahunan (E) sebelum dilakukan simulasi. Nilai konsentrasi aktivitas tidak dapat digunakan secara langsung untuk memberikan gambaran terhadap risiko dari paparan yang ditimbulkannya. Sehingga dibutuhkan indeks untuk membantu memperkirakan penilaian secara holistik dari nilai konsentrasi aktivitas anak luruh uranium dan thorium.
- 4) Pertimbangan keempat perlu mempertimbangkan ketentuan peraturan yang ada saat ini terkait dengan konsep penggunaan kembali (*reuse*) dan pengolahan kembali (*recycle*). Meskipun dari aspek material terak timah 2 tersebut dapat dimanfaatkan.

Kesimpulan

Telah dilakukan simulasi penggunaan terak timah 2 sebagai substitusi parsial pembuatan mortar pada bangunan tertentu. Mortar yang digunakan diasumsikan sebagai sebuah plesteran dinding dan lantai dalam suatu ruangan bangunan tertentu. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas dari terak timah 2 didapatkan beberapa radionuklida seperti ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th melebihi nilai 1 Bq/gram yaitu sebesar 5,724 Bq/gram, 16,590 Bq/gram, dan 14,29 Bq/gram. Simulasi dengan menggunakan RESRAD-BUILD dengan beberapa skenario yaitu 2 nilai ukuran ruangan, 2 nilai ketebalan plesteran, dan 2 nilai faktor okupansi terhadap perkiraan dosis yang dihasilkan. Pada 2 asumsi ukuran ruangan yaitu 4x3x2,5 m dan 4x5x2,8 m, didapatkan hasil bahwa semakin besar ukuran ruangan, dosis yang diterima akan semakin kecil. Pada 2 asumsi ketebalan lapisan plester terhadap masing-masing 2 asumsi ukuran ruang yaitu 1 cm dan 1,5 cm, didapatkan hasil bahwa semakin tebal lapisan plesteran, dosis yang diterima akan semakin besar. Kemudian pada 2 asumsi faktor okupansi yaitu 0,5 dan 0,08 menunjukkan bahwa semakin kecil faktor okupansi dengan asumsi inputan lain yang tetap, akan berpengaruh terhadap dosis yang akan semakin mengecil. Dengan demikian, penggunaan terak timah 2 dari aspek material (memiliki potensi untuk digunakan sebagai material substitusi, tetapi dari aspek radiasi yang ditimbulkan harus dipertimbangkan. Terlebih nilai konsentrasi aktivitas dari terak timah 2 yang digunakan dan disimulasikan memiliki nilai lebih besar dari kriteria pengawasan 1 Bq/gram untuk anak luruh uranium dan thorium.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Sariwiguna Bina Sentosa, beberapa rekan kerja di BAPETEN dan BRIN atas diskusi dan sarannya pada saat pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) Management of NORM Residues (TecDoc 1712). IAEA, Vienna.
- [2] Republik Indonesia (2007) Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Jakarta
- [3] Republik Indonesia (2022) Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir. Jakarta
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). IAEA, Vienna
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021), Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities (SSG-60). IAEA, Vienna
- [6] Kementerian ESDM (2020) Potensi Investasi Timah di Indonesia. Kementerian ESDM, Jakarta
- [7] S. J. Suprpto (2007) Tinjauan Tailing Sebagai Sumber Daya. Buletin Sumber Daya Geologi, vol. 2, no. 3
- [8] Ronaldo Izron, Purnama Sendjaja, Kurnia. Imtihanah, dan Joko Subandrio (2014) Kandungan Rare Earth Elements dalam Tailing Tambang Timah di Pulau Singkep. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, vol. 15, no. 3: 143-151
- [9] Fajar Indah Puspita Sari dan Delita Ega Andini (2019) Identifikasi Mineral pada Tailing Tambang Timah Lepas Pantai di Perairan Pulau Bangka. Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat, Pangkal Pinang
- [10] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006) Safety Report Series 49: Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials. IAEA, Vienna
- [11] M. Alfian (2011) Penggunaan Perangkat Lunak RESRAD-OFFSITE untuk Memperkirakan Resiko Radiologik Suatu Fasilitas Landfill Slag Timah. Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2011
- [12] Yayat Iman Supriyatna, Bening NH Kambuna, Kurnia Trinopiawan, dan Panggi Aditya Putra (2019) Ekstraksi Zirkonium dari Terak Peleburan Timah Menggunakan Tungku Busur Listrik. Seminar Geologi Nuklir dan Sumber Daya Tambang Tahun 2019, Jakarta

- [13] Kementerian ESDM (2017) Peraturan Menteri ESDM No. 5 Tahun 2017 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri. Jakarta
- [14] Ariyo Suharyanto, Eko Sulistiyono, F. Firdiyono (2014) Pelarutan Terak Timah Bangka Menggunakan Larutan NaOH. *Metalurgi*, vol. 29, no. 3
- [15] G. C. Wang (2016) *Nonferrous metal extraction and nonferrous slags*. Woodhead Publishing
- [16] Hermawan Puji Yuwana, Mochamad Adhiraga Pratama, Nuraziz Handika, and Sugeng Purnono (2022) Tin Slag 2 Waste Utilisation as Fine Aggregate Substituent on Mortar: Characteristics and Compressive Strength. *The 7th International Engineering Students Conference (IESC)*, Depok
- [17] M. Omar, M. S. Hamzah, and A. K. Wood (2008) Radioactive Disequilibrium and Total Activity Concentration of NORM Waste. *J NUCL. & Rel. TECH*, vol. 5, no. 2:47-56
- [18] B. Ismail, I. L. Teng, and Y. Muhammad Samudi (2011) Relative radiological risks derived from different TENORM wastes in Malaysia. *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 147, no. 4:600-607
- [19] Ariyo Suharyanto, Eko Sulistiyono, F. Firdiyono (2014) Pelarutan Terak Timah Bangka Menggunakan Larutan NaOH. *Metalurgi*, vol. 29, no. 3
- [20] Eko Sulistiyono, F. Firdiyono, dan Ariyo Suharyanto (2014) Proses Pelarutan Asam Sulfat dan Asam Klorida terhadap Hasil Reduksi Terak Timah. *Metalurgi*, vol. 29, no. 3
- [21] J. W. Soedarsono, S. Permana, J. K. Hutauruk, R. Adhyputra, A. Rustandi, A. Maksum, K. S. Widana, K. Trinopiawan, and M. Anggraini (2018) Upgrading Tantalum and Niobium Oxides Content in Bangka Tin Slag With Double Leaching. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 316:1-9
- [22] S. Permana, J. W. Soedarsono, A. Rustandi, and A. Maksum (2016) Other Oxides Pre-removed from Bangka Tin Slag to Produce a High Grade Tantalum and Niobium Oxides Concentrate. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 131:1-10
- [23] S. Permana, J.W. Soedarsono, A. Rustandi, A. Maksum, K.S. Widana, K. Trinopiawan, and M. Anggraini (2018) The Enhancement of Uranium and Thorium in Bangka Tin Slag. *Atom Indonesia*, vol. 44, no. 1:37-42
- [24] E. Prasetyo, Y. I. Supriyatna, F. Bahfie, K. Trinopiawan (2020) Extraction of Thorium From Tin Slag Using Acidic Roasting and Leaching Method. *Proceedings of the 3rd International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM2019)*
- [25] Andi Rustandi, Agung Cahyadi, Sonia Taruli Siallagan, Fuad Wafa' Nawawi, Yudha Pratesa (2018) Corrosion Behavior of Carbon Steel in Concrete Material Composed of Tin Slag Waste in Aqueous Chloride Solution. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 299:1-7
- [26] Irma T. Aryani, R. Riastuti, M. Ibnu, Afif Shidqi (2018) The Study of the Effect of Final Tin Slag as Partial Substitution in Portland based Concrete towards Corrosion Resistance of Reinforcement Steel against Chloride Environment with Linear Polarization Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 553:1-9
- [27] R Riastuti, A Cahyadi, Y Pratesa, and S T Siallagan (2018) The study of corrosion resistance of reinforcement steel embedded in concrete composed of commercial Portland cement and final tin slag against chloride environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 431:1-7
- [28] Melita dan Indra Gunawan (2015) Pengaruh Penggunaan Limbah Pengolahan Timah (Tin Slag) Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Fropil*, vol. 3: 41-51
- [29] O. Gunawan, E. Pudjadi, M. Musbach, and Wahyudi (2019) Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) Analysis of Bangka Tin Slag. *Journal of Physics: Conference Series*:1-7
- [30] S. Pepin (2018) Using RESRAD-BUILD to Assess the External Dose from the Natural Radioactivity of Building Materials. *Construction and Building Materials*, vol. 168: 1003-1007
- [31] Badan Standarisasi Nasional (BSN) (2008) SNI-2837-2008 tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Plesteran Untuk Konstruksi Bangunan Gedung Dan Perumahan. Jakarta
- [32] F. Hidayat (2010) Studi Perbandingan Biaya Material Pekerjaan Pasangan Dinding Bata Ringan dengan Bata Merah. *Media Teknik Sipil*, vol. X:36-41
- [33] Kementerian PUPR (2016) Permen PUPR No. 28 Tahun 2016 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Jakarta

- [34] Trijeti Trijeti, Sevina Yasti Putri, Andika Setiawan (2017) Perbandingan Dinding Prefab Cement Wall dengan Bata Konvensional Pada Bangunan Rumah. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017, Jakarta
- [35] Y. Hanafiah (2019) Analisis Material Waste Pada Pekerjaan Plesteran Dinding (Analysis Of Waste Material In Wall Plastering Work). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- [36] Gradeo Rori, Deane R. O. Walangitan, Revo L. Inkiriwang (2010) Analisis Perbandingan Biaya Material Pekerjaan Pasangan Dinding Bata Merah dengan Bata Ringan. Jurnal Sipil Statik, vol. 8, no. 3:311-318.
- [37] Muhammad Nur Rochim, Rahayu Isnin Astuti, Risma Dwi Atmajayani, Yuniar Alam, (2022) Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Pemasangan Dinding Batu Bata Merah dan Batako pada Pembangunan Gedung Kantor Urusan Agama (KUA) di Kecamatan Wates Kabupaten Blitas Jawa Timur. Jurnal Pendidikan: Riset & Konseptual, vol. 6, no. 1:196-204
- [38] H. W. Puruhita (2018) Perbandingan Biaya, Waktu, dan Kualitas dalam Pemasangan Dinding dengan Material Bata Merah dan Bata Ringan pada Pembangunan Rumah Tinggal. vol. 19, no. 1: 6-18
- [39] S. Harahap (2021) Analisa Perbandingan Biaya Serta Waktu Pelaksanaan Material Dinding Batu Bata Dan Batako Pada Rumah Type 36," Jurnal Education and development Institut Pendidikan Tapanuli Selatan, vol. 9, no. 3:20-26
- [40] Deddy Alif Utama, Anwar Daud, and Masni (2018) Air Pollution Index and Inhalation Risk Assessment to Carbon Monoxide and Nitrogen Dioxide to Traders in Bus Station. Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Risks and Public Health, Makasar



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis dan Evaluasi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 untuk Mendukung Program Penataan Regulasi dengan Instrumen Standar Baku Pedoman PHN-HN.01.03.07

Suci Prihastuti¹, Nur Syamsi Syam¹, Zulfiandri¹, Mira Wahyu Nugraheni¹, Donni Taufiq¹

¹ *Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

s.prihastuti@bapeten.go.id

n.syam@bapeten.go.id

z.zulfiandri@bapeten.go.id

m.nugraheni@bapeten.go.id

d.taufiq@bapeten.go.id

Abstrak

Sesuai dengan amanat Pasal 95A Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan, dinyatakan bahwa pemantauan dan peninjauan Undang-Undang merupakan bagian dari proses pembentukan Undang-Undang yang dilakukan setelah Undang-Undang berlaku. Sejalan dengan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2022, dalam Pasal 29 Peraturan BAPETEN Nomor 8 Tahun 2018 tentang Tata Cara Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Perba No. 8 Tahun 2018), juga ditetapkan bahwa evaluasi peraturan perundang-undangan perlu dilakukan untuk menilai kemampooterapan suatu peraturan perundang-undangan. Dalam rangka melaksanakan ketentuan dalam Pasal 31 ayat (2) Perba Nomor 8 Tahun 2018 yang menyatakan bahwa evaluasi peraturan badan di bidang ketenaganukliran perlu dilakukan, maka dilakukan evaluasi terhadap Perka Nomor 1 Tahun 2009 karena peraturan ini telah berlaku lebih dari 5 (lima) tahun. Metode yang digunakan dalam analisis berdasarkan Pedoman Evaluasi Peraturan Perundang-undangan No. PHN-HN.01.03-07 yang diterbitkan oleh Biro Pembinaan Hukum Nasional-Kementerian Hukum dan HAM. Berdasarkan pertimbangan bahwa jenis PUU adalah Peraturan Badan, maka dipilih 5 dari 6 dimensi penilaian untuk dilakukan evaluasi secara rinci berdasarkan variabel dan indikator yang diberikan dalam pedoman evaluasi. Kesimpulan analisis dan evaluasi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 tahun 2009 adalah mendesak untuk dilakukan penggantian atau revisi agar lebih komprehensif dan dapat diterapkan mengikuti perkembangan regulasi terkini, demi terciptanya efektifitas dan keselarasan untuk mendukung infrastruktur pengawasan dalam hal peraturan yang dikeluarkan BAPETEN.

Kata Kunci: Analisis, Evaluasi, Peraturan Badan

Abstract

As mandate by Article 95A of Law Number 13 Year 2022 on Second Amendment to Law Number 12 Year 2011 on Formation of Laws and Regulations, stated that monitoring and reviewing the Law is part of the Law formation process carried out after the Law comes into force. In line with Law Number 13 Year 2022, in Article 29 of BAPETEN Chairman Regulation (BCR) Number 8 Year 2018 On Procedures for the Formation of Legislation at the Nuclear Energy Regulatory Agency (BCR No. 8 Year 2018), also stipulated that evaluation of laws and regulations needs to be carried out to assess the applicability of a law and regulation. In order to implement the provisions in Article 31 paragraph (2) of BCR No. 8 Year 2018 which states that the evaluation of agency regulations in the nuclear energy need to carried out, so an evaluation is carried out on BCR Number.1 Year 2009, because this regulation has been more than 5 (five) years. The method used is based on the Guidelines for Evaluation of Laws and Regulations No. PHN-HN.01.03-07 issued by the National Law Development Bureau-Ministry of Law and Human Rights. Based on the consideration that the type of regulation is an Agency Regulation, 5 from 6 assessment dimensions were selected for detailed evaluation based on the

variables and indicators given in the evaluation guidelines. The conclusion of the analysis and evaluation of BCR Number 1 Year 2009 is urgent to replace or revise to make it more comprehensive and applicable following the latest regulatory developments, in order to create effectiveness and harmony to support the infrastructure in terms of regulations issued by BAPETEN.

Keywords: Analysis, Evaluation, Bapeten Regulation

Pendahuluan

Untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan memberikan perlindungan terhadap lingkungan Untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan memberikan perlindungan terhadap lingkungan fungsinya melakukan penyusunan peraturan, penerbitan izin, dan pelaksanaan inspeksi. Peraturan mengenai reaktor nuklir telah dimuat dalam Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir (PP No.2 Tahun 2014) dan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (PP No.54 Tahun 2012) yang telah diimplementasikan dan dibuat peraturan turunannya untuk memberikan ketentuan dan persyaratan teknis secara operasional [1, 2].

Sesuai dengan amanat Pasal 95A Undang-Undang No. 13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan (PUU), dinyatakan bahwa pemantauan dan peninjauan Undang-Undang merupakan bagian dari proses pembentukan Undang-Undang yang dilakukan setelah Undang-Undang berlaku sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pemantauan dan peninjauan dilakukan oleh pemerintah untuk Undang-Undang yang diprakarsai oleh Pemerintah. Pemantauan dan peninjauan dapat dilakukan dalam bentuk evaluasi peraturan perundang-undangan atau disebut analisis penerapan peraturan.

Sejalan dengan Undang-Undang No. 13 Tahun 2022, dalam Pasal 29 Peraturan BAPETEN No. 8 Tahun 2018 tentang Tata Cara Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Perba No.8 Tahun 2018), juga ditetapkan bahwa evaluasi peraturan perundang-undangan perlu dilakukan untuk menilai kemampooterapan suatu peraturan perundang-undangan. Adapun lingkup dari evaluasi tersebut meliputi [3]:

- a. tujuan dan sasaran peraturan perundang-undangan;
- b. implementasi peraturan perundang-undangan; dan
- c. kesesuaian dengan tujuan dan sasaran peraturan perundang- undangan dan implementasinya.

Selanjutnya dalam Pasal 30 Perba No. 8 Tahun 2018 tersebut dinyatakan bahwa pelaksanaan evaluasi Peraturan Perundang-undangan didasarkan pada [4]:

- a. Peraturan Perundang-undangan yang terkait langsung dengan Renstra lembaga;
- b. Peraturan Perundang-undangan yang terindikasi terdapat permasalahan; dan
- c. Peraturan Perundang-undangan yang telah berlaku 5 (lima) tahun.

Dalam makalah ini diuraikan analisis dan evaluasi terhadap Perka No.1 Tahun 2009 tentang Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir, dimana peraturan tersebut telah berlaku lebih dari 5 (lima) tahun, dan melaksanakan ketentuan dalam Pasal 31 ayat (2) Perba No. 8 Tahun 2018.



Gambar 1. Siklus Pembentukan Peraturan Perundang-undangan

Metodologi

Dalam penyusunan analisis dan evaluasi penerapan peraturan Kepala BAPETEN No.1 Tahun 2009 dilakukan dengan metode yang diberikan dalam Pedoman Evaluasi Peraturan Perundang-undangan No. PHN-HN.01.03-07, yang diterbitkan oleh Biro Pembinaan Hukum Nasional-Kementerian Hukum dan HAM. Evaluasi dilakukan dengan panduan standar baku Kementerian Hukum dan hak Asasi Manusia agar rekomendasi evaluasi yang dihasilkan memiliki kualitas berdasarkan kaidah keilmuan [5].

Landasan Teori

Dalam Pedoman Evaluasi yang dikeluarkan oleh BPHN, dijelaskan bahwa evaluasi peraturan perundang-undangan dilakukan dengan menggunakan enam dimensi yang di dalamnya terdapat beberapa variabel dan indikator penilaian, yaitu [5]:

1. Dimensi Pancasila

Evaluasi pada Dimensi Pancasila dilakukan untuk menilai sejauh mana peraturan perundang-undangan mengakomodasi nilai-nilai yang terkandung dalam sila-sila Pancasila. Variabel dan indikator untuk penilaian pada dimensi ini didasarkan pada sila-sila Pancasila yang meliputi ketuhanan, kemanusiaan, persatuan, kerakyatan, dan keadilan.

2. Dimensi ketepatan jenis peraturan perundang-undangan

Penilaian terhadap dimensi ini dilakukan untuk memastikan bahwa peraturan perundang-undangan yang dievaluasi sudah sesuai dengan jenis dan hierarki peraturan perundang-undangan, karena setiap jenis peraturan perundang-undangan memiliki batasan untuk mengatur materi muatannya.

3. Dimensi disharmoni pengaturan

Dalam penerapan peraturan perundang-undangan harus dipastikan tidak terjadinya disharmoni satu peraturan perundang-undangan dengan peraturan perundang-undangan lainnya. Hal ini perlu dihindari mengingat disharmoni pengaturan dapat menimbulkan dampak antara lain:

- 1) timbulnya ketidakpastian hukum;
- 2) Peraturan perundang-undangan tidak dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien; dan
- 3) terjadinya disfungsi hukum, yaitu bahwa hukum tidak dapat berfungsi dan memberikan pedoman pelaksanaan suatu kewajiban subyek hukum atau masyarakat.

4. Dimensi kejelasan rumusan

Penyusunan peraturan perundang-undangan dilakukan sesuai dengan teknik penyusunan peraturan perundang-undangan sebagaimana diatur dalam UU Pembentukan Peraturan Perundang-undangan.

5. Dimensi kesesuaian asas bidang hukum peraturan perundang-undangan yang bersangkutan
Peraturan perundang-undangan harus memenuhi asas-asas lain sesuai dengan bidang hukum peraturan perundang-undangan yang bersangkutan. Analisis pada dimensi ini dilakukan untuk menilai apakah ketentuan-ketentuan dalam peraturan perundang-undangan tersebut telah mencerminkan makna yang terkandung dari asas lain sesuai dengan bidang hukum peraturan perundang-undangan yang bersangkutan.
6. Dimensi efektivitas pelaksanaan peraturan perundang-undangan
Setiap pembentukan peraturan perundang-undangan harus mempunyai kejelasan tujuan yang hendak dicapai, dapat dilaksanakan, serta berdaya guna dan berhasil guna. Penilaian Dimensi ini dilakukan untuk melihat sejauh mana kejelasan tujuan serta kedayagunaan dan kehasilgunaan dari suatu peraturan perundang-undangan yang bersangkutan di masyarakat. Penilaian Dimensi ini perlu didukung dengan data yang terkait dengan pengimplementasian peraturan perundang-undangan tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Dari makalah ini akan diuraikan beberapa hasil analisis dan evaluasi penerapan Perka BAPETEN No.1 Tahun 2009 pada Tabel 2.

1. Dimensi Pancasila
Secara umum, tidak terdapat ketentuan dalam Perka No.1 Tahun 2009 yang bertentangan dengan nilai-nilai Pancasila. Selain itu, mengingat peraturan ini bersifat teknis yang merupakan peraturan pelaksana dari Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan Peraturan Pemerintah di bawahnya, maka berdasarkan hal tersebut tidak ditemukan adanya ketidaksesuaian dengan dimensi Pancasila.
2. Dimensi Ketepatan Jenis Peraturan Perundang-Undangan
Pengaturan mengenai sistem proteksi fisik tidak didelegasikan secara langsung dalam PP No.2 Tahun 2014 dan PP No.54 Tahun 2012, namun didelegasikan dalam PP No.52 Tahun 2022. Meskipun demikian terdapat beberapa pengaturan dalam PP No.2 Tahun 2014 dan PP No.54 Tahun 2012 tersebut mengenai sistem proteksi fisik yang masih bersifat umum dan perlu peraturan yang lebih teknis administratif. Oleh karena itu jenis PUU dalam bentuk Peraturan Kepala sudah sesuai.
3. Dimensi Disharmoni Pengaturan
Berdasarkan penilaian yang dilakukan terhadap Peraturan di atasnya dan peraturan yang setingkat tidak ditemukan adanya potensi disharmoni, namun antar pasal terdapat potensi disharmoni, terdapat 3 temuan.
4. Dimensi Kejelasan Rumusan
Analisis terhadap kejelasan rumusan ini diperlukan untuk mengurangi pengaturan yang menimbulkan berbagai macam interpretasi dalam pelaksanaannya. Temuan yang diperoleh dalam evaluasi untuk aspek ini merupakan temuan dengan jumlah terbesar terdapat 10 temuan, antara lain ketidaksesuaian dengan kaidah pembentukan PUU, perlunya perbaikan judul.
5. Dimensi Kesesuaian Asas Bidang Hukum Peraturan Perundang-undangan yang Bersangkutan
Asas-asas yang dapat digunakan dalam peraturan ini saling berkaitan dengan bidang hukum tertentu dan berbeda-beda antara satu dan lainnya, oleh karena itu tidak dilakukan evaluasi secara rinci mengenai asas yang dipenuhi oleh Perka No. 1 Tahun 2009. Salah satu asas yang dipenuhi oleh Perka No.1 Tahun 2009 ini adalah asas kepastian, asas tidak menyalahgunakan kewenangan, dan asas pelayanan yang baik, dan terdapat potensi bertentangan dengan asas kepastian hukum pada salah satu pasal, terdapat 1 temuan.
6. Dimensi Efektivitas Pelaksanaan Peraturan Perundang-undangan
Pada dimensi ini dilihat apakah tujuan yang menjadi dasar dari pembentukan suatu produk hukum tersebut telah dapat diwujudkan di lapangan maka dapat dikatakan implementasi dari ketentuan hukum tersebut telah efektif. Pada Perka No.1 Tahun 2009 terdapat temuan terkait implementasi dari norma dalam perka dan adanya kekosongan hukum, terdapat 6 temuan.

Tabel 2. Hasil Analisis dan Evaluasi Peraturan Perundang-undangan

No.	Pengaturan	Dimensi	Variabel	Indikator	Analisis	Rekomendasi
1.	Judul: PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR	Kejelasan Rumusan	Kesesuaian dengan sistematika dan teknik penyusunan peraturan perundang-undangan		Menggunakan frase Peraturan Kepala BAPETEN, yang seharusnya Peraturan Badan	Ubah menjadi Peraturan Badan
2.	Bab I Ketentuan Umum Pasal 1	Kejelasan rumusan	Penggunaan bahasa, istilah, kata sistematika dan perundang-undangan	Dapat menimbulkan ambiguitas/multitafsir	Penggunaan istilah yang telah didefinisikan batasan pengertian dalam batang tubuh belum mengikuti kaidah P3. Penggunaan istilah yang telah diberikan definisi dan batasan pengertian dalam Ketentuan Umum tidak dituliskan dengan huruf kapital sehingga dapat menyebabkan ambiguitas (contoh definisi: Daerah Dalam, Daerah Proteksi,	Melakukan perubahan penggunaan istilah dalam batang tubuh dengan menggunakan huruf kapital sesuai kaidah P3
3.	Bab II Ruang Lingkup Pasal 2 Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur sistem proteksi fisik untuk : a. instalasi nuklir, termasuk instalasi radiometalurgi; dan b. bahan nuklir selama penggunaan, penyimpanan, dan pengangkutan.	Efektivitas Pelaksanaan PPU	Kekosongan Hukum	Belum ada pengaturan	<ul style="list-style-type: none"> Sistematika memenuhi Ruang lingkup pengaturan perka No.01 Tahun 2009 sudah mengatur instalasi nuklir termasuk instalasi radiometalurgi dan Bahan Nuklir selama penggunaan, penyimpanan dan pengangkutan. <p>Mengingat Pasal 2 huruf b PP No.52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir (BGN) menyatakan bahwa PP ini mengatur aspek pada seluruh tahapan pertambangan BGN yaitu keamanan pertambangan BGN sehingga ada kekosongan hukum.</p>	Sistematika tetap Ruang lingkup ubah dengan menambahkan pengaturan tentang penambangan Bahan Galian Nuklir
4.	Pasal 3 Peraturan Kepala BAPETEN ini bertujuan untuk memastikan pelaksanaan sistem proteksi fisik terhadap instalasi dan bahan nuklir secara efektif dan efisien	Kesesuaian Asas	Asas Kepastian	Tujuan PPU	Dari sisi kepastian, Perka 1/2009 ini hanya memberikan ketentuan proteksi fisik terhadap instalasi dan bahan nuklir, sedangkan untuk pertambangan bahan galian nuklir tidak diatur dalam Perka	Revisi dengan menambahkan ketentuan proteksi fisik dalam pertambangan BGN

No.	Pengaturan	Dimensi	Variabel	Indikator	Analisis	Rekomendasi
					1/2009 ini. Politik hukum pada tahun 2009 berbeda dengan tahun 2023. Pada tahun tersebut belum ada pengaturan Pertambangan BGN.	
5.	Bab III SISTEM PROTEKSI FISIK Pasal 4 (1)... (2) Sistem proteksi fisik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) bertujuan: a. mencegah pemindahan secara tidak sah terhadap bahan nuklir; b. menemukan kembali bahan nuklir yang hilang; dst.	Efektivitas Pelaksanaan POU	Operasional atau tidaknya Peraturan	Pengaturan dalam peraturan tidak dapat dilaksanakan secara efektif.	pelaksanaan sistem proteksi fisik tidak dapat menjamin bahan nuklir yang hilang dapat ditemukan kembali.	Revisi dengan mengubah sistem proteksi fisik. Usulan: "menjadi panduan dalam upaya menemukan kembali bahan nuklir yang hilang".
6.	Pasal 9 Untuk kawasan yang mempunyai lebih dari satu instalasi nuklir, maka PIN dari masing-masing instalasi tersebut dapat melakukan koordinasi dalam pelaksanaan proteksi fisik.	Penilaian Efektivitas	Aspek Koordinasi kelembagaan/ tata organisasi	Efektivitas Koordinasi antar instansi terkait	Koordinasinya seperti apa tidak ada penjelasan lebih lanjut.	Dalam revisi dijabarkan bentuk koordinasinya
7.	Bab IV Penggolongan Bahan Nuklir Pasal 18 1. Penggolongan bahan nuklir dilakukan berdasarkan: a. risiko potensial bahan nuklir; b. komposisi isotop; c. bentuk fisik dan kimia;	Efektivitas Pelaksanaan POU	Relevansi dengan situasi saat ini.	Pengaturan dalam peraturan masih relevan untuk diberlakukan secara efisien.	Pengaturan penggolongan BN dalam peraturan ini masih relevan untuk diperlakukan secara efisien pada IN dan BN, namun memerlukan perluasan lingkup (memasukkan pertambangan BGN) dan menyesuaikan dengan peraturan di atasnya	Ubah ditambahkan lingkup pengaturan
8.	Pasal 20 (1) Bahan nuklir golongan I harus digunakan atau disimpan hanya di daerah dalam, yang merupakan bagian dari daerah proteksi. (2) Penyimpanan bahan nuklir golongan I sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dilakukan di dalam ruangan kokoh yang terkunci, termonitor, dan dilengkapi sistem deteksi. (3) Apabila bahan nuklir golongan I sebagaimana dimaksud pada ayat (1) di luar jam kerja	Disharmoni pengaturan	kewajiban	Ada pengaturan mengenai kewajiban yang tidak konsisten/ bertentangan antar pasal (dalam peraturan yang sama).	Ayat (1) menyatakan bahwa bahan nuklir golongan I harus disimpan dan digunakan hanya di daerah dalam, sedangkan ayat (3) dinyatakan bahwa apabila bahan nuklir ditinggalkan pada daerah kerja di luar jam kerja maka perlu ditetapkan prosedur penyimpanan. Kondisi ini dapat mengancam keamanan bahan nuklir karena tidak dapat dipastikan tersedianya penghalang fisik, padahal sistem proteksi fisik pada dasarnya merupakan	Perlu perbaikan rumusan dengan menambahkan persyaratan bahwa daerah kerja tersebut dipastikan memenuhi ketentuan daerah dalam, atau mengganti daerah kerja menjadi daerah dalam

No.	Pengaturan	Dimensi	Variabel	Indikator	Analisis	Rekomendasi
	ditinggalkan di daerah kerja, atau di dalam tempat penyimpanan di daerah kerja, maka PIN harus menetapkan prosedur penyimpanan bahan nuklir di daerah kerja.				interaksi antara personil, prosedur,	
9.	Pasal 21 (1) Daerah dalam sebagaimana dimaksud dalam Pasal 20 ayat (1) harus didesain dengan langit-langit, pintu, dinding, dan lantai yang kokoh agar dapat menghambat pemindahan bahan nuklir secara tidak sah. (2) Setiap pintu darurat dan titik akses potensial di daerah dalam harus kokoh dan dipasang alat deteksi gangguan.	Disharmoni pengaturan	Kesesuaian dengan sistematika dan teknik penyusunan PUU		Pengaturan dalam Pasal 21 ayat (1) dan ayat (2) secara substansi sama dengan Pasal 20 ayat (2)	Pengaturan dalam Pasal 20 ayat (2) diusulkan untuk dihapus.
		- Disharmoni pengaturan - Kejelasan rumusan	Penggunaan Bahasa, Istilah, Kata	Konsisten antar ketentuan, dan ambigu/multitafsir	Definisi di dalam UU 10/1997 - Zat radioaktif adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar dari pada 70 kBq/kg (2 nCi/g). - Bahan nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai. Sedangkan, definisi di dalam PP 58/2015 disebutkan bahwa "Pengangkutan Zat Radioaktif adalah pemindahan zat radioaktif yang memenuhi ketentuan teknis Keselamatan Radiasi".	Perlu diubah sesuai dengan definisi di dalam peraturan perundang-undangan yang lebih tinggi. Walaupun di dalam Pasal 3 ayat (1) huruf e, cakupan Pengangkutan Zat Radioaktif diperluas yang mencakup pula Bahan Fisil. Akan tetapi, Bahan Fisil di dalam ayat (4) dipersempit lagi dengan menjadi bagian bahan nuklir.
10.	Bab VI Sistem Proteksi Fisik Terhadap Pengangkutan Bahan Nuklir Pasal 48 ayat (1)	Kejelasan rumusan	Kesesuaian dengan Sistematika dan Teknik Penyusunan PUU	Redaksional substansi pengaturan	Redaksional substansi pengaturan mengandung batasan pengertian atau definisi dengan menggunakan kata 'adalah', yang tidak sesuai dengan ketentuan di dalam	Perlu diubah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

No.	Pengaturan	Dimensi	Variabel	Indikator	Analisis	Rekomendasi
					UU 13/2022.	
11.	Pasal 63 ayat (5)	Kejelasan rumusan	Penggunaan Bahasa, Istilah, Kata	Ambigu/multitafsir	Pusat kendali pengangkutan apakah posisinya bergerak atau diam? Apabila mengacu ke definisi Pusat kendali pengangkutan (adalah suatu instalasi yang melakukan pemantauan lokasi kendaraan, keadaan keamanan secara terus menerus dan komunikasi dengan kendaraan pengangkut, penjaga, satuan perespon dan pengirim/penerima) dipahami bahwa pusat kendali pengangkutan yang memantau kendaraan selama pengangkutan berada pada posisi diam. Oleh karena itu, dirasa kurang tepat pusat kendali pengangkutan dipasang sistem pelacak data transmisi, yang harusnya sistem pelacak ini dipasang di kendaraan pengangkutan.	Redaksional perlu diubah
12.	Pasal 74 Tindakan proteksi fisik terhadap sabotase berlaku untuk setiap instalasi dan semua golongan bahan nuklir	Kejelasan rumusan	Penggunaan bahasa atau istilah	tidak efisien	Dalam ketentuan Pasal 1 angka 19 PP No. 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Proteksi Fisik didefinisikan sebagai upaya yang ditujukan untuk mendeteksi dan mencegah pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan mencegah sabotase instalasi nuklir Berdasarkan definisi tersebut, "proteksi fisik" sudah menunjukkan suatu upaya yang dapat berupa salah satunya tindakan. Dengan demikian, penggunaan kata "tindakan" tidak efektif untuk digunakan.	Kata "tindakan" dihapus
13.	Pasal 75 (1) PIN wajib menerapkan proteksi fisik terhadap sabotase instalasi nuklir atau sabotase yang melibatkan bahan nuklir .	Kejelasan rumusan	Penggunaan bahasa	ambigu/multitafsir	Rumusan ayat (1) mengatur bahwa PIN wajib menerapkan proteksi fisik terhadap sabotase instalasi nuklir atau sabotase yang melibatkan bahan nuklir. Rumusan ini multitafsir. Salah satu	Ditambahkan kata "potensi/ ancaman" sebelum kata sabotase

No.	Pengaturan	Dimensi	Variabel	Indikator	Analisis	Rekomendasi
					penafsirannya, proteksi fisik diterapkan terhadap sabotase. Hal ini berarti sabotase sudah terjadi, seharusnya proteksi fisik diterapkan terhadap ancaman/potensi sabotase. Apabila proteksi fisik diterapkan ketika sudah terjadi sabotase, akan menjadi sia-sia.	
14.	Pasal 76 (1) Proteksi fisik terhadap sabotase bertujuan untuk mencegah atau menunda akses menuju daerah vital. (2) Untuk mencapai tujuan sebagaimana dimaksud pada ayat (1), PIN harus: a. memasukkan aspek proteksi fisik dalam desain instalasi nuklir; b. membatasi jumlah minimum individu yang memiliki akses ke daerah vital; dan c. melakukan penentuan tingkat kepercayaan terhadap semua pekerja yang diizinkan masuk ke daerah vital tanpa pengawal.	1. Kejelasan rumusan 2. Efektivitas Pelaksanaan Peraturan Perundang-Undangan	1.1 Penggunaan bahasa /istilah 2.1 Aspek operasional atau tidaknya Peraturan	Multitafsir 2.1 Pengaturan dalam peraturan tidak dapat dilaksanakan secara efektif.	Ayat (2) huruf c. melakukan penentuan tingkat kepercayaan terhadap semua pekerja yang diizinkan masuk ke daerah vital tanpa pengawal Cara melakukan penentuan tingkat kepercayaan. Seharusnya diberikan kriteria atau batasan. Ayat (2) huruf c Berdasarkan hasil inspeksi terdapat kesulitan bagi Pemegang Izin untuk menerapkan dan membuat prosedur terkait analisis tingkat kepercayaan terhadap semua pekerja	Ditambahkan kriteria Perlu disusun pedoman untuk menerapkan norma ini
15.	Pasal 77 (1) PIN harus menentukan bahan nuklir, sistem dan/atau peralatan tambahan minimum yang harus dilindungi terhadap sabotase.	Kejelasan rumusan	Penggunaan bahasa/ istilah	ambigu/ multitafsir	rumusan "PIN harus menentukan bahan nuklir" tidak jelas. Apanya yang harus ditentukan, misal jenis, golongan, atau yang lainnya	Perlu ditambahkan spesifikasi tentang apa yang harus ditentukan dari bahan nuklir tersebut
16.	Pasal 78 (3) Tamu, pekerja perbaikan, perawatan atau pekerja bangunan yang akan memasuki daerah proteksi dan daerah vital harus dikawal oleh petugas yang berwenang masuk tanpa dikawal, dan semuanya harus menggunakan tanda pengenal.	Kejelasan rumusan	Penggunaan bahasa /istilah	Tidak efisien	Ayat (3), "...petugas yang berwenang masuk tanpa dikawal" Frase ini tidak efektif. Jika petugas berwenang sudah dapat dipastikan apabila memasuki daerah vital tidak perlu dikawal	Frase "masuk tanpa dikawal" dihapus
17.	Pasal 80 Setelah periode shutdown dan/atau perawatan, PIN harus meningkatkan kewaspadaan untuk mendeteksi terhadap kemungkinan gangguan keamanan,	Efektivitas	Bukan kalimat normatif	Rumusan ini tidak bersifat mengatur. Seharusnya PIN tanpa diaturpun sudah melakukan tindakan ini	Pasal 80 dihapus	Pasal 80 Setelah periode shutdown dan/atau perawatan, PIN harus meningkatkan kewaspadaan untuk

No.	Pengaturan	Dimensi	Variabel	Indikator	Analisis	Rekomendasi
	sebelum mengoperasikan kembali instalasi nuklir					mendeteksi terhadap kemungkinan gangguan keamanan, sebelum mengoperasikan kembali instalasi nuklir

Temuan yang diperoleh selanjutnya dimasukkan dalam hasil penilaian berdasarkan pembobotan dengan mempertimbangkan 5 (lima) dimensi selain dimensi pancasila, dan berdasarkan pertimbangan bahwa jenis PUU adalah Peraturan Badan, maka hasil penilaian menunjukkan bahwa sifat rekomendasi adalah mendesak (66% untuk 5 dimensi).

Tabel 3. Hasil Penilaian Terhadap Perka 1 Tahun 2009 (5 Dimensi)

Variabel	Ketepatan Jenis PUU	Potensi Disharmoni	Kejelasan Rumusan	Kesesuaian Asas	Efektivitas Pelaksanaan	Total	Sifat Rekomendasi
Bobot	10%	30%	20%	10%	30%	100%	
Hasil Penilaian	0	3	5	2	4	66	Mendesak

Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2009 mendesak untuk dilakukan penggantian atau revisi agar lebih komprehensif dan dapat diterapkan mengikuti perkembangan regulasi terkini, demi terciptanya efektifitas dan keselarasan untuk mendukung infrastruktur pengawasan dalam hal peraturan yang dikeluarkan BAPETEN. Salah satu alasan utama untuk penggantian tersebut adalah adanya disharmoni dengan peraturan di atasnya dan kebutuhan akan perluasan lingkup obyek yang diatur.

Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN (2014), Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta.
- [2] BAPETEN (2012), Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta.
- [3] KEMENKUMHAM (2022), Undang-Undang No. 13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan, Jakarta.
- [4] BAPETEN (2018) Peraturan Kepala No. 8 Tahun 2018 tentang Tata Cara Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan di Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- [5] BPHN (2019), Pedoman Evaluasi Peraturan Perundang-undangan No. PHN-HN.01.03-07, Jakarta.
- [6] BAPETEN. (2009). *Peraturan Kepala No. 1 Tahun 2009 Tentang Sistem Proteksi Fisik untuk Instalasi dan Bahan Nuklir*. Jakarta.
- [7] IAEA. (2011). *Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Security Series No. 13*. Vienna.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Keamanan Reaktor Daya Terapung

Liliana Yetta Pandi¹, Lilis Susanti Setianingsih¹, Petit Wiringgalih¹

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif,
BAPETEN, Jakarta

Korespondensi penulis
p.liliana@bapeten.go.id
pandililiana@gmail.com

Abstrak

Reaktor daya terapung adalah jenis pembangkit listrik baru yang dapat digunakan untuk menghasilkan tenaga, dapat mencapai wilayah terpencil dengan transportasi kereta api, truk, tongkang, atau kapal ke lokasi yang ditentukan. Reaktor daya terapung dapat menyediakan solusi untuk kebutuhan energi untuk daerah di pulau yang tidak memiliki jaringan listrik yang saling terhubung. Namun, dalam pengoperasian reaktor daya terapung akan ditemukan masalah keamanan reaktor daya terapung, yaitu masalah dari keamanan bahan nuklir, keamanan instalasi/reaktor nuklir, keamanan pelabuhan dan/atau keamanan tempat bersandar reaktor daya terapung dan keamanan laut, serta masalah keamanan pengangkutan reaktor daya terapung. Makalah ini hanya membahas mengenai masalah keamanan reaktor daya terapung di lokasi yaitu tempat ditambatkannya reaktor daya terapung, dengan menganggap reaktor daya terapung sebagai fasilitas nuklir dan membahas mengenai yaitu ancaman dasar desain keamanan pada reaktor daya terapung dan hambatan/penghalang fisik, Dari makalah ini dapat diambil kesimpulan bahwa keamanan terkait reaktor daya terapung bukan keamanan bahan bakar nuklir dan fasilitas nuklir saja, namun juga terkait keamanan di pelabuhan/dermaga; keamanan reaktor daya terapung dapat mengacu pada standar internasional dan peraturan nasional; dalam menyusun ancaman desain keamanan dapat mengacu pada standar IAEA dan peraturan nasional; dan perlu dilakukan pengawasan yang dikoordinasikan antar kementerian/Lembaga terkait.

Kata Kunci: reaktor daya terapung, ancaman, keamanan, desain

Abstract

Floating nuclear power reactors are a new type of power plant that can be used to generate power, which can reach remote areas by rail, truck, barge or ship transportation to a specified location. Floating nuclear power reactors can provide a solution to the energy needs of areas on islands that do not have an interconnected power grid. However, in the operation of a floating nuclear power reactor there will be security problems in a floating power reactor, namely problems of nuclear material security, nuclear installation/reactor security, port security and/or floating power reactor berth security and maritime security, as well as problems in the transport of floating power reactors. This paper only discusses the security issues of the floating nuclear power plant at the location (i.e., location where the floating nuclear power plant is moored/laying), by considering the floating nuclear power plant as a nuclear facility and discussing the basic threats to the security design of the floating nuclear power plant and physical barriers. From this paper can be concluded that security is related floating nuclear power plant are not only related to security of nuclear fuel and nuclear facilities, but also related to security at ports/berth; the security of floating nuclear power plant can be compromised by international standards and national regulations; in compiling security threats the security design can refer to IAEA standards and national regulations; and it is necessary to carry out coordinated supervision between relevant ministries/institutions.

Keywords: floating nuclear power plant, threat, security, design

Pendahuluan

Reaktor daya terapung adalah jenis pembangkit listrik yang sedang berkembang dan dapat digunakan untuk menghasilkan tenaga. Reaktor daya terapung dapat mencapai wilayah terpencil dengan transportasi kereta api, truk, tongkang, atau kapal ke lokasi yang ditentukan, dan dapat memberikan solusi kebutuhan energi bagi negara-negara dengan kebutuhan energi listrik di pulau, dengan daerah terpencil tanpa jaringan listrik yang saling terhubung, atau untuk negara-negara dengan kebutuhan energi yang mendesak, namun reaktor daya terapung memiliki serangkaian tantangan/masalah keamanan. [1]

Saat ini, kapal pembangkit listrik non nuklir sudah digunakan di Indonesia untuk memasok listrik ke pulau-pulau atau daerah terpencil. Kapal pembangkit listrik adalah kapal yang memiliki sumber tenaga listrik yang ditempatkan di atas tongkang/kapal, biasanya digunakan pada saat kapal hanya mensuplai listrik pada satu area saja. Pembangkit listrik jenis ini disebut pembangkit listrik terapung atau pembangkit listrik yang dipasang di kapal atau tongkang [2].

Pembangkit listrik terapung dapat menggunakan berbagai sumber energi, antara lain energi uap, energi gas, energi nuklir, energi matahari, energi arus laut, dan energi gelombang laut. Baru-baru ini, ada perusahaan swasta yaitu ThorCon Indonesia yang berencana membangun pembangkit listrik tenaga nuklir (selanjutnya disebut reaktor daya terapung), di salah satu pulau di sekitar Pulau Bangka. [3]

Banyak masalah akan muncul selama pengoperasian reaktor daya terapung. Masalah yang muncul seperti masalah keamanan reaktor daya terapung sendiri, keamanan bahan nuklir, keamanan instalasi nuklir, keamanan pelabuhan dan/atau tempat bersandar, dan keamanan laut, serta masalah keamanan yang berkaitan dengan transportasi. Makalah ini hanya membahas mengenai masalah keamanan reaktor daya terapung di lokasi (tempat ditambatkannya/bersandarnya reaktor daya terapung) dengan menganggap reaktor daya terapung seperti fasilitas nuklir berbasis darat.

Pokok Bahasan

Reaktor daya terapung adalah jenis pembangkit listrik tenaga nuklir yang dapat diangkut. Mengingat bahwa reaktor daya terapung dapat diangkut, sifat keamanan pengangkutan, aliran bahan nuklir dalam rantai pasokan energi adalah kompleks dan berpotensi rentan saat bahan bakar nuklir sedang transit atau bersandar.

Keamanan reaktor daya terapung yang dipasang di tongkang dan berlabuh di lokasi yang ditentukan, kemungkinan akan menimbulkan masalah teknis dan peraturan tertentu dan akan pasti menarik perhatian tingkat tinggi. Tipologi tertentu dari serangkaian lokasi yang berbeda (di lepas pantai) yang seharusnya menjadi tempat pembangkit nuklir yang dipasang di tongkang dapat menghadirkan kerentanan keamanan dan perlindungan fisik yang perlu ditangani dengan hati-hati. [4]

Tindakan pengamanan terhadap kejahatan harus diperhitungkan dalam desain dan pengoperasian kapal nuklir untuk mencapai perlindungan kapal dan bahan dapat belah di atas kapal. Upaya keamanan dan keselamatan harus konsisten dan selaras. Tidak ada tindakan pengamanan yang dapat mencegah orang keluar dengan segera dan selamat dari kompartemen mana pun di kapal jika terjadi kebakaran yang disengaja atau keadaan darurat lainnya akibat dari rindakan kejahatan. atau mencegah masuknya ke dalam kompartemen sebagaimana diperlukan untuk pelaksanaan fungsi keselamatan. [5] Dua tujuan utama dari sistem proteksi fisik adalah untuk mencegah pencurian bahan nuklir dan untuk mencegah ancaman terhadap reaktor daya terapung yang berdampak radiologi. Apabila reaktor daya terapung adalah reaktor baru, maka memungkinkan kedua skenario niat jahat yaitu, untuk mengambil bahan bakar atau menyabot reaktor sedemikian rupa sehingga menyebabkan lepasan radiologi, sehingga diperlukan sistem proteksi fisik dan mitigasi berdasarkan penilaian ancaman dan menggunakan elemen desain utama, seperti pertahanan berlapis, paparan minimal terhadap ancaman, dan kepercayaan yang mapan dari orang-orang yang memiliki akses, otoritas, atau pengetahuan khusus.

Makalah ini hanya membahas keamanan saat di lokasi atau reaktor daya terapung ditambatkan, sehingga dalam hal ini reaktor daya terapung dianggap sebagai fasilitas nuklir, pokok bahasan keamanan reaktor daya terapung di lokasi/ditambatkan yaitu ancaman dasar desain keamanan pada reaktor daya terapung dan hambatan/penghalang Fisik.

Hasil dan Pembahasan / Pembahasan

Pada makalah ini, reaktor daya terapung diklasifikasi sebagai fasilitas nuklir. Berdasarkan standar keamanan nuklir No. 20 yang diterbitkan oleh IAEA tentang Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime. Pada standar keamanan nuklir IAEA No. 20, fasilitas nuklir didefinisikan sebagai fasilitas (termasuk bangunan dan peralatan terkait) di mana bahan nuklir diproduksi, diproses, digunakan, ditangani, disimpan atau dibuang dan untuk itu diperlukan otorisasi atau lisensi. Selain itu, istilah fasilitas terkait juga didefinisikan sebagai fasilitas (termasuk bangunan dan peralatan terkait) di mana bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya diproduksi, diproses, digunakan, ditangani, disimpan, atau dibuang dan untuk itu diperlukan otorisasi. [6]

Ketika reaktor daya terapung di lokasi atau berlabuh atau ditambatkan di fasilitas Pelabuhan, maka reaktor daya terapung diiklasifikasikan/dianggap sebagai fasilitas nuklir atau fasilitas terkait, meskipun fasilitas tersebut mengambang/terapung, fasilitas tersebut berisi perangkat reaktor, turbin uap, bahan nuklir dan area penyimpanan bahan nuklir.

Dalam hal keamanan, jika berlabuh di fasilitas pelabuhan, system keamanan reaktor daya terapung akan menyerupai sistem keamanan pada reaktor daya berbasis darat (seperti tujuan keamanan fisik, dengan pertahanan berlapis yang sesuai dan upaya keamanannya.

Secara umum, negara harus membentuk ketentuan terkait keamanan nuklir yang efektif untuk mengatur dan mengawasi reaktor daya terapung dan kegiatannya. Organisasi pengoperasi reaktor terapung harus diwajibkan oleh peraturan nasional untuk mengembangkan, dan menerapkan rencana keamanan dan mematuhi ketentuan keamanan nuklir yang relevan seperti PP No. 54 tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, PP No. 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Peraturan ini mengatur perizinan Pembangunan, Pengoperasian, Dekomisioning Instalasi Nuklir, serta pemanfaatan Bahan Nuklir, PP No. 31 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Pelayaran, PP No. 21 tahun 2010 tentang Perlindungan Lingkungan Maritim, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. Penerapan *Convention on the Physical Protection of Nuclear Material* INFCIRC/225/Rev.5 dan amandemennya yang sudah diratifikasi dengan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 49 tahun 1986 dan Peraturan Presiden No. 46 Tahun 2009, ISPS (*International Ship and Port Facility Security Code* yang diadopsi melalui peraturan pemerintah No, 31 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Pelayaran.

Terkait keamanan nuklir, perbedaan utama antara reaktor daya terapung dan reaktor daya berbasis darat adalah penilaian ancaman, atau ancaman basis desain (DBT). Dalam Menyusun DBT harus dianalisis melalui scenario yang menggambarkan musuh yang cakap yang menyerang fasilitas/utilitas dan fasilitas harus terlindungi dari scenario tersebut.. DBT ini juga digunakan untuk membantu merancang dan mengevaluasi sistem proteksi fisik. Untuk reaktor daya terapung, DBT harus mempertimbangkan karakteristik, atribut, alat, kendaraan, dan taktik musuh termasuk profil serangan udara, permukaan, dan bawah permukaan air. [1]

Ancaman Dasar Desain Keamanan Pada Reaktor Daya Terapung

Pembangkit listrik tenaga nuklir lepas pantai menimbulkan beberapa tantangan keamanan dan keuntungan dibandingkan dengan yang berbasis darat. Kerugian yang paling signifikan adalah jarak antara pembangkit listrik dan pasukan respon eksternal yang mendukung petugas keamanan di atas kapal. Tantangan keamanan baru lainnya adalah kemungkinan ancaman bawah air/laut. Untuk mengatasi ancaman terhadap keamanan reaktor daya terapung diperlukan suatu rencana keamanan dan sistem proteksi fisik.

Tujuan utama dari rencana keamanan adalah: [7]

- a. untuk melindungi instalasi dari serangan,
- b. mencegah kerusakan pengungkung, dan
- c. mencegah lepasan radiologis atau hilangnya kendali reaktor.

Untuk mencapai tujuan tersebut, maka dalam penyusunan ancaman dasar desain oleh pemohon izin harus memenuhi persyaratan.

Untuk memenuhi persyaratan, penyusunan rencana keamanan dan elemen responsnya harus memperhitungkan hal berikut: [7]

- (a) penetapan ancaman dasar desain (DBT/Design Basic Threat)
- (b) identifikasi target dan kumpulan target
- (c) rancangan skenario serangan musuh
- (d) Pengembangan strategi proteksi awal dan, dari sini, mengilhami desain dengan
- (e) komponen keamanan untuk mendukung strategi
- (f) penunjukan kemampuan strategi untuk bertahan melawan DBT.

Dalam mendisain reaktor daya terapung perlu mempertimbangkan desain keamanannya karena ancaman pada reaktor daya terapung dapat berdampak pada keselamatan. Pada Tabel 1 di bawah ini membahas desain keamanan yang dimasukkan dalam fitur keselamatan desain reaktor daya terapung.

Tabel 1. keamanan dalam Desain Reaktor Daya Terapung [8]

Desain	Persyaratan Fungsional	Persyaratan Fitur desain	uraian
Perlindungan dari serangan permukaan dengan kapal cepat kecil	Identifikasi segera kapal yang melintasi batas area aman + kapal tunda 20 menit di batas area terkendali	Sistem deteksi radar dan bom penghalang permukaan	Dilengkapi alat pendeteksi dan penghalang
Perlindungan dari serangan bawah air oleh kendaraan bawah air	Mencegah pendekatan untuk lambung instalasi	Penyelam jaring bawah air dan sistem deteksi sonar	Penggunaan jarring di bawah air untuk mencegah masuknya penyelam
Perlindungan ruang kendali dari serangan bersenjata	Pintu masuk ke ruang kendali di tingkat yang aman	Penyerang tidak bisa memasuki ruang kendali. Ruang kontrol memiliki dinding yang keras	Dinding ruang kendali harus tidak mudah dijebol/ dirusak
Perlindungan pengungkung dari ledakan bawah air	berdasarkan desain pengungkung mempertahankan integritas struktural dan kemampuan PCCS/ <i>Passive Containment Cooling System</i>	Dua lapisan baja, kompartemen yang dibanjiri air dan disk/cakram pemberat antara laut dan pengungkung	Proteksi pengungkung dari kerusakan oleh tabrakan kapal berdasarkan desain
Proteksi pengungkung dari kerusakan akibat tubrakan kapal berdasarkan desain	Pengungkung mempertahankan integritas struktural dan kemampuan PCCS	Posisi pengungkung lebih rendah dari draft kapal bertabrakan terbesar yang didalilkan	tubrakan dasar desain adalah dengan supertanker minyak yang memiliki <i>draft</i> 20 m, perpindahan 400.000 ton, bergerak pada 15 km. Draft kapal adalah salah satu dimensi utama dari setiap kapal yang dilalui air dan didefinisikan dalam istilah teknis sebagai jarak antara lunas kapal dan garis air kapal. [9] Lunas adalah pelat yang membujur dari batang ke buritan kapal dan memiliki ketebalan sedikit lebih dari pelat yang bersebelahan karena kapal.[10]
reaktor terapung daya tetap mengambang/ terapung saat bertabrakan dengan kapal	instalasi harus mengapung dengan volume kumulatif terbesar dari 3 kompartemen yang berdekatan tergenang	instalasi dibagi menjadi 4 sektor kedap air azimut dan 6 tingkat aksial kedap air	

Ancaman Dasar Desain yang harus diperlengkapi instalasi/fasilitas untuk bertahan termasuk kemungkinan serangan oleh pasukan penyerang yang diperlengkapi dengan baik dengan perahu dan peralatan, seperti unit pasukan khusus negara bagian. Aktor sub-negara mengacu pada teroris atau kelompok gerilya, yang beroperasi secara resmi di luar perlindungan negara bagian mana pun. Peralatan dan organisasi mereka dapat bervariasi dari pemrotes non-agresif hingga militan yang terlatih dan diperlengkapi dengan baik. Ancaman ini harus menjadi fokus utama dari rencana keamanan, karena lebih mungkin daripada serangan negara yang bermusuhan, dan lebih berpotensi merusak daripada serangan oleh individu. Serangan individu adalah serangan oleh satu orang, bertindak secara independen. Serangan individu ini mungkin tidak lebih dari satu orang tanpa rencana, yang tidak dapat cukup mempengaruhi operasi instalasi/fasilitas. Namun, mungkin juga penyerang individu bisa menjadi karyawan instalasi/fasilitas, yang memutuskan untuk merusak instalasi/fasilitas dengan cara tertentu dari dalam. Sebagai orang dalam, orang seperti itu memiliki kesempatan dan pengetahuan untuk menimbulkan kerusakan besar pada instalasi/fasilitas. Tabel 2 membahas tentang uraian di atas tentang kemungkinan ancaman, asal ancaman yang dapat dari darat, permukaan dan bawah air. dan subyek ancaman. Pemegang izin harus menetapkan tanggung jawab terkait keamanan, pihak terkait, wewenang dan tanggung jawab keamanan reaktor daya terapung dapat dilihat pada Tabel 3. [7, 11, 12]

Tabel 2. Tabel Ancaman terhadap Keamanan Reaktor Daya terapung [7]

Ancaman Asal	Berbasis Darat	Ditambahkan di Permukaan	bawah air
Negara Bermusuhan	(i) Serangan Langsung a. Serangan Darat b. Pengeboman c. Serangan Angkatan Laut Permukaan (dari sungai)	(i) Serangan Langsung a. bording b. Pengeboman c. Serangan Angkatan Laut Permukaan	(i) Serangan Langsung (a) Torpedo yang Diluncurkan dari Udara (b) Serangan Bawah Permukaan i. Kapal Selam/Mini-sub ii. Penyelam
	(ii) Serangan terhadap Infrastruktur a. Serangan Dunia Maya b. Bahan Nuklir di c. Penyimpanan atau Transit d. Sekunder Khusus Lokasi e. Ancaman (misalnya bendungan, f. tanggul)	d. Serangan Bawah Permukaan i. Kapal Selam/ Mini-sub ii. Penyelam (ii) Serangan terhadap Infrastruktur a. Serangan Dunia Maya b. Bahan Nuklir di c. Penyimpanan atau Transit d. Tambang e. Jalur Pasokan	(ii) Serangan terhadap Infrastruktur (a) Serangan Dunia Maya (b) Bahan Nuklir di Penyimpanan atau Transit (c) Tambang (d) Jalur Pasokan
Teroris dan Aktor Non-Negara	(i) Serangan Langsung (a) Serangan Darat (b) Pembom Bunuh Diri i. Bom Truk ii. Pesawat/Drone (c) <i>Standoff Attack</i> (Roket/Mortir) (ii) Serangan pada Infrastruktur (a) Serangan Cyber (b) Bahan Nuklir dalam Penyimpanan atau Transit (c) Jalur Pasokan (d) Ancaman Sekunder Khusus Lokasi	(i) Serangan Langsung a. Bording b. Bom Bunuh Diri i. Kapal Cepat ii. Penyelam iii. Airplane/Drone c. <i>Standoff Attack</i> (Roket/Mortir) i. Perahu Kecil ii. Berbasis Pantai d. Tabrakan yang Disengaja (ii) Serangan pada Infrastruktur (a) Serangan siber	(i) Serangan Langsung (a) Pembom Bunuh Diri (b) Torpedo i. Diluncurkan Udara ii. Sub-diluncurkan (c) Penyelam (ii) Serangan pada Infrastruktur (a) Serangan siber (b) Bahan Nuklir di Penyimpanan atau Transit (c) Jalur Pasokan

		(b) Bahan Nuklir di Penyimpanan atau Transit	
		(c) Jalur Pasokan	
		(d) Ranjau	
orang dalam	(i) Serangan Langsung (a) Sabotase i. Gangguan Operasi ii. Kerusakan Radioaktif (b) Bahan Peledak i. Gangguan ii. Kerusakan iii. Pelepasan Radioaktif	(i) Serangan Langsung (a) Sabotase i. Gangguan Operasi ii. Kerusakan Radioaktif (b) Bahan Peledak i. Gangguan ii. Kerusakan Radioaktif iii. Pelepasan Radioaktif	(i) Serangan Langsung (a) Sabotase i. Gangguan Operasi ii. Kerusakan Radioaktif (b) Bahan Peledak i. Gangguan ii. Kerusakan Radioaktif iii. Pelepasan Radioaktif
	(ii) Serangan Sekunder/Tidak Langsung (a) Serangan siber (b) Ancaman Bom (c) Informasi kepada penyerang	(ii) Serangan Sekunder/Tidak Langsung (a) Serangan siber (b) Ancaman Bom (c) Informasi kepada penyerang	(ii) Serangan Sekunder/Tidak Langsung (a) Serangan siber (b) Ancaman Bom (c) Informasi kepada penyerang

Tabel 3. Tanggung jawab terkait Keamanan [11,12]

	Negara Tuan Rumah	Tim Keamanan OFNP
Udara	(i) Pesawat Militer (ii) Dron militer (iii) Pesawat Komersial (iv) Peralatan Militer	(i) Drone Remote Control/dron Terkendali Jarak Jauh (ii) Pesawat Ringan (iii) Helikopter
Permukaan	(i) Tanker Besar (ii) Kapal Militer	(i) Kapal Permukaan Non-militer (ii) Perenang
Di bawah permukaan	(i) Kapal Selam Besar	(i) Kapal selam mini (torpedo) (ii) Penyelam (iii) Kendaraan Pengiriman Bawah Laut (UDV/ <i>Underwater Delivery Vehicle</i>) (iv) Hewan Terlatih (dengan bahan peledak)

Hambatan/Penghalang Fisik

Hambatan fisik pertama dan utama akan menjadi rentetan ledakan dan jaring berlabuh ke dasar laut yang akan membentuk area terproteksi (PA/Protected Area). Jenis penghalang ini dirancang untuk menghentikan *Boat-Borne Improvised Explosive Devices* (BBIED). Jaring kapal selam akan digantung di bawah tiang dan akan ditambatkan ke dasar laut untuk mencegah penyelam dan kapal selam mini.

Hambatan proteksi berikutnya adalah tata letak fasilitas itu sendiri. Tangga yang digunakan untuk menaiki peron akan ditutup setiap saat kecuali ada pergerakan personel yang diketahui terjadi. Ini akan memaksa musuh untuk naik ke ke reaktor data terapung melalui pengait atau beberapa metode

lain yang akan membuat mereka lelah dan rentan terhadap api. Lambung *platform* akan berlapis ganda untuk meningkatkan perlindungan terhadap tabrakan kapal besar dan BBIED. Pintu masuk yang diperkuat yang dilengkapi di sepanjang dek platform akan mencegah musuh masuk dan keluar dari ruangan yang berbeda dengan mudah. Akhirnya, tata letak kamar dek bawah itu sendiri akan memaksa musuh untuk menghabiskan waktu serangan yang berharga untuk mencoba menemukan area yang rentan kecuali orang dalam dapat memberikan peta lokasi/tapak sebelumnya kepada musuh. [12]

Dari tabel 2 di atas, maka diperlukan adanya harmonisasi peraturan nasional, kebijakan tingkat nasional dan daerah, mekanisme koordinasi antara otoritas berwenang yang relevan, atau kombinasi keduanya harus dipertimbangkan untuk menangani keamanan nuklir untuk reaktor daya terapung. Selain itu, strategi untuk memastikan kepatuhan terhadap ketentuan nasional untuk keselamatan, keamanan, dan safeguard juga harus ditetapkan. Praktik yang baik adalah mengidentifikasi satu otoritas kompeten utama untuk mengoordinasikan upaya multi-lembaga untuk keamanan nuklir. (BAPETEN mengoordinasikan upaya pengaturan dan kepatuhan untuk keamanan nuklir dan bekerja sama dengan otoritas kompeten lainnya bila diperlukan dengan kementerian/Lembaga terkait keselamatan dan keamanan nuklir).

Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa keamanan terkait reaktor daya terapung bukan keamanan bahan bakar nuklir dan fasilitas nuklir saja, namun juga terkait keamanan di pelabuhan/dermaga; keamanan reaktor daya terapung dapat mengacu pada standar IAEA, juga standar internasional terkait seperti aturan keamanan pelabuhan dan peraturan nasional; dalam menyusun DBT dapat mengacu pada standar IAEA dan peraturan nasional; dan terkait keamanan reaktor daya terapung perlu dilakukan pengawasan yang dikoordinasikan antar kementerian/Lembaga terkait.

Daftar Pustaka

- [1] Fialkoff M., Duguay R., Anderson K., and Karcz J. (2020), *Harmonizing Maritime and Nuclear Security for the Physical Protection of Floating Nuclear Power Plants*, Proceedings of the INMM 61st Annual Meeting, Baltimore, MD, USA
- [2] Devara B.T. (2017), *Desain Kapal Pembangkit Listrik Menggunakan Tenaga Gelombang Air Laut Untuk Daerah Papua*, Thesis, Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Pandi L.Y. dan Siwhan N (2022), *Study on Site Evaluation of Floating Nuclear Power Plant*, dipresentasikan dalam SKN 2022, Bali.
- [4] International Atomic Energy Agency/IAEA (2013), *Legal and Institutional Issues of Transportable Nuclear Power Plants: A Preliminary Study*, Nuclear Energy Series Technical Reports No. NG-T-3, Vienna, Austria.
- [5] *Nuclear Ship Code, Code of safety for nuclear merchant ships* - Res. A.491(XII) Permalink: http://puc.overheid.nl/doc/PUC_3002_14
- [6] International Atomic Energy Agency/IAEA (2013), *Objective And Essential Elements of A State's Nuclear Security Regime*, Nuclear Security Fundamentals, Nuclear Security Series No. 20, Vienna, Austria
- [7] Kindfuller V., Todreas N., Buongiorno J., et al. (2016), *Overview Of Security Plan For Offshore Floating Nuclear Plant*, Proceedings of the International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, pp. 973– 983. ICONE24 June 26-30, ICONE24-61029, Charlotte, USA
- [8] Jurewicz J. M. (2015), *Design and Construction of an Offshore Floating Nuclear Power Plant*, tesis, Massachusetts Institute of Technology, USA
- [9] <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/vessel-draft-vessel-draught-ship>
- [10] <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/importance-of-ships-keel-and-types-of-keel/>,
- [11] Conway J. T. (2018), *Security and the Offshore Nuclear Plant (ONP): Security Simulation Testing and Analysis of the Multi-Layer Security System*, Department of Nuclear Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, thesis of Degree of Bachelor of Science in Nuclear Science and Engineering, USA

- [12] Conway J., Todreasa N., Halsem J., et al. (2019), *Physical security analysis and simulation of the multi-layer security system for the Offshore Nuclear Plant (ONP)*, *ScienceDirect, Nuclear Engineering and Design* 352, 110160, <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.110160>]



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Kajian Regulasi Pengawasan Manufaktur Komponen PLTN

Diah Hidayanti Sukarno

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:
d.hidayanti@bapeten.go.id

Abstrak

Keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di masa mendatang di Indonesia merupakan suatu kebutuhan yang tidak dapat dielakkan lagi karena keterbatasan energi fosil dan tuntutan *zero carbon emission*. BAPETEN sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Indonesia memikul tanggung jawab utama dalam menyiapkan infrastruktur pengawasan PLTN, termasuk aspek regulasi. Permasalahannya adalah belum semua regulasi pengawasan pada seluruh tahap pembangunan dan pengoperasian PLTN tersedia secara memadai. Salah satunya adalah belum tersedianya peraturan BAPETEN yang secara langsung terkait dengan pengawasan tahap manufaktur komponen/peralatan PLTN. Makalah ini bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang perlu diadopsi dalam peraturan BAPETEN terkait pengawasan manufaktur PLTN. Kajian tersebut dilakukan melalui studi literatur terhadap regulasi pengawasan manufaktur yang berlaku di negara lain, yaitu Turki dan Afrika Selatan. Dari hasil kajian ini dapat diidentifikasi empat kelompok informasi yang perlu diketahui oleh badan pengawas dalam melakukan penilaian terhadap kegiatan manufaktur komponen PLTN, yaitu informasi yang terkait dengan pemilik instalasi nuklir, pabrikan, komponen/peralatan yang dibuat dan proses manufaktur. Pada prinsipnya, melalui keempat kelompok informasi tersebut, badan pengawas dapat memastikan bahwa proses manufaktur dilakukan dengan baik oleh pabrikan, termasuk subkontraktornya, yang memiliki kapabilitas teknis memadai dan bahwa komponen/peralatan telah dibuat sesuai dengan spesifikasi desain, standar dan mutu yang ditetapkan oleh pemilik instalasi nuklir.

Kata Kunci: pengawasan, manufaktur, komponen, PLTN, peraturan, pabrikan, mutu

Abstract

The existence of nuclear power plants (NPPs) in Indonesia is an unavoidable necessity due to limited fossil energy and demands for zero carbon emission. BAPETEN as the nuclear regulatory agency in Indonesia bears the main responsibility for preparing the NPP regulatory infrastructure, including regulation. The unavailability of adequate regulations at all stages of NPP has become a problem. BAPETEN regulations which are directly related to the oversight of the manufacturing stage of NPP components/equipment are not available. This paper aims to identify matters that need to be adopted in BAPETEN regulations regarding the oversight of NPP manufacturing. The study was carried out through a literature study on manufacturing regulations in other countries, i.e. Turkey and South Africa. From the results of the study, four groups of information can be identified that need to be known by the regulatory agency in conducting an assessment of the manufacturing activities of NPP components, namely information related to the owner of the nuclear installation, the manufacturer, the components/equipment made and the manufacturing process. In principle, through these information, the regulatory body can ensure that the manufacturing process is performed well by the manufacturers, including their subcontractors, which have adequate technical capability and that components/equipment have been manufactured according to design specification, standard and quality set by the nuclear installation owner.

Keywords: oversight, manufacture, components, NPP, regulation, manufacturer, quality

Pendahuluan

Sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Indonesia, sudah menjadi tugas BAPETEN untuk menyiapkan perangkat pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), baik dari sisi regulasi, sistem perizinan, maupun inspeksi. Banyaknya vendor PLTN yang menjajaki kemungkinan pembangunan PLTN pertama di Indonesia juga turut mendorong kebutuhan untuk melakukan percepatan dalam persiapan infrastruktur pengawasan PLTN. Infrastruktur pengawasan PLTN yang disiapkan harus mencakup seluruh tahap pembangunan dan pengoperasian PLTN, yaitu dari tahap pemilihan tapak (*siting*), konstruksi, komisioning, operasi, hingga dekomisioning. Dari seluruh tahap tersebut, infrastruktur pengawasan, khususnya peraturan BAPETEN, yang terkait dengan tahap konstruksi belum tersedia secara memadai. Salah satu kegiatan yang termasuk dalam tahap konstruksi adalah kegiatan manufaktur komponen reaktor. Pengawasan terhadap kegiatan manufaktur cukup penting untuk dilakukan karena mutu komponen reaktor yang diproduksi sangat ditentukan oleh proses manufakturnya. Untuk struktur, sistem dan komponen (SSK) yang penting bagi keselamatan (*important to safety component*), mutu komponen akan menentukan kinerja keselamatan reaktor. Regulasi yang sudah ada saat ini yang terkait dengan pengawasan kegiatan manufaktur komponen reaktor terdapat pada Pasal 125 Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [1]. Pada Pasal 125 dinyatakan bahwa BAPETEN memiliki kewenangan untuk melakukan inspeksi termasuk verifikasi mutu terhadap vendor/pabrikasi. Ketentuan regulasi tersebut hanya mengatur kewenangan badan pengawas untuk melakukan inspeksi terhadap pelaksana kegiatan manufaktur, yaitu pabrikasi. BAPETEN belum menyusun regulasi/ketentuan berupa skema otorisasi (perizinan/persetujuan) atau sertifikasi produk yang dapat memastikan bahwa kegiatan manufaktur dilakukan dengan baik oleh pabrikasi yang memiliki kapabilitas teknis memadai dan menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi desain, standar dan mutu yang ditetapkan oleh pemilik reaktor. Maraknya permasalahan CFSI (*Couterfeit, Fraudulent and Suspect Items*) saat ini juga semakin menekankan pentingnya pengawasan kegiatan manufaktur komponen reaktor nuklir karena komponen dengan mutu yang tidak semestinya berpotensi untuk menimbulkan kejadian tidak biasa (*unusual events*) atau insiden di PLTN.

Kajian ini bertujuan untuk menggali hal-hal penting atau norma-norma yang dapat diadopsi dalam peraturan BAPETEN yang terkait dengan pengawasan manufaktur komponen PLTN melalui pembelajaran dari regulasi negara lain.

Metode Kajian

Kajian ini dilakukan melalui studi literatur tentang regulasi pengawasan manufaktur PLTN di negara Turki dan Afrika Selatan. Berdasarkan pengetahuan dan wawasan yang diperoleh dari hasil studi literatur tersebut, selanjutnya diidentifikasi hal-hal yang perlu untuk diadopsi dalam peraturan BAPETEN.

Regulasi Pengawasan Manufaktur di Turki

Kegiatan manufaktur komponen dan peralatan yang akan digunakan pada fasilitas nuklir merupakan salah satu kegiatan yang harus mendapatkan otorisasi dari badan pengawas. Hal ini dinyatakan dalam *Nuclear Regulation Law* Nomor 7381 Pasal 4 [2]. Pengawasan aspek manufaktur komponen PLTN di Turki telah diatur secara rinci, yaitu salah satunya melalui "*Regulation Regarding Equipment Procurement Process and Approval of Manufacturers for Nuclear Facilities*" [3]. Berdasarkan peraturan tersebut, pemilik instalasi (*owner*) harus memiliki izin pengadaan (*procurement permit*), mendaftarkan notifikasi manufaktur, dan memperoleh persetujuan manufaktur (*manufacturing approval*). Selain itu, pabrikasi yang akan mengikuti proses pengadaan wajib memiliki persetujuan pabrikasi (*manufacturer approval*).

Izin Pengadaan (*Procurement Permit*)

Pemilik instalasi harus memiliki izin pengadaan sebelum melakukan proses pengadaan untuk semua peralatan (SSK) yang digunakan di fasilitas nuklir. Untuk mendapatkan izin pengadaan, pemilik

instalasi harus mengajukan permohonan kepada badan pengawas (*Nuclear Regulatory Authority* atau Nükleer Düzenleme Kurumu–NDK) dengan menyertakan dokumen sistem pengadaan yang telah ditentukan dalam sistem manajemen mutu dan bukti pembayaran permohonan izin. Permohonan tersebut akan dievaluasi oleh badan pengawas dalam waktu 30 hari kerja dan dapat diperpanjang jika diperlukan. Setelah izin pengadaan diberikan, pemilik instalasi harus menyampaikan rencana pengadaan dan daftar peralatan beserta klasifikasi keselamatan, mutu, dan seismiknya sebelum proses pengadaan dimulai.

Beberapa tanggung jawab yang harus diemban oleh pemilik instalasi terkait proses pengadaan adalah:

- a. Pemilik instalasi harus memastikan bahwa proses inspeksi dapat dilakukan oleh badan pengawas di fasilitas manufaktur, diantaranya yaitu dengan memastikan bahwa pabrik mengakomodir rencana inspeksi badan pengawas dalam rencana proses manufaktur. Pemilik instalasi harus memasukkan pernyataan dalam kontrak bahwa pabrik dan subkontraktornya menyetujui adanya inspeksi dari badan pengawas.
- b. Pemilik instalasi harus menyetujui semua gambar desain untuk manufaktur setiap peralatan dan menyimpan salinannya.
- c. Pemilik instalasi harus menyimpan dengan baik semua dokumen dan rekaman yang terkait dengan proses pengadaan. Dokumen dan rekaman yang wajib disimpan minimal terdiri dari:
 - Gambar desain akhir termasuk gambar teknik terpasang;
 - Sertifikat kesesuaian;
 - Hasil inspeksi dan pengujian;
 - Laporan ketidaksesuaian dan laporan tindakan perbaikan yang dilakukan;
 - Rekaman pengadaan;
 - Instruksi kerja penyimpanan, pengangkutan, pemasangan, dan pengujian;
 - Manual operasi dan perawatan; dan
 - Batasan dan Kondisi Operasi.

Semua dokumen dan rekaman tersebut harus dapat diakses oleh badan pengawas. Jika terdapat salah satu atau beberapa dari dokumen dan rekaman tersebut yang tidak diperlukan untuk peralatan yang akan dibuat, maka hal tersebut diperbolehkan dengan syarat mendapatkan justifikasi dari badan pengawas.
- d. Pemilik instalasi harus menjamin bahwa peralatan yang dibuat mampu menjalankan fungsi keselamatannya dalam batasan desain melalui analisis/kajian dan pengujian.
- e. Pemilik instalasi harus menjamin bahwa peralatan telah dibuat sesuai dengan desain melalui berbagai upaya kendali dan inspeksi.
- f. Pemilik instalasi harus melakukan inspeksi terhadap proses manufaktur dan menentukan keberterimaan peralatan yang dibuat. Dalam proses penetapan keberterimaan tersebut, badan pengawas tidak terlibat dan hanya bertindak sebagai pengamat.
- g. Pemilik instalasi harus mensyaratkan pabrik dan subkontraktornya memiliki sistem manajemen mutu yang tersertifikasi.
- h. Dalam menentukan organisasi yang melakukan pengujian, pemeriksaan, dan pengawasan, pemilik instalasi harus memastikan bahwa organisasi tersebut, antara lain:
 - tidak memiliki hubungan korporasi dengan pabrik dan perancang (*designer*);
 - memiliki sistem manajemen mutu yang tersertifikasi;
 - memiliki pengalaman kerja yang memadai; dan
 - memiliki sumber daya manusia yang memadai.

Notifikasi Manufaktur

Setelah memperoleh izin pengadaan, pemilik instalasi harus menyampaikan notifikasi manufaktur kepada badan pengawas untuk setiap peralatan yang penting bagi keselamatan paling lambat 2 bulan sebelum proses manufaktur dimulai. Satu notifikasi manufaktur dapat mencakup lebih dari satu peralatan. Notifikasi tersebut harus disertai dengan:

- salinan dari kontrak dan persyaratan teknis yang telah disetujui;
- daftar peraturan, standar dan pedoman yang akan diterapkan dalam proses manufaktur;
- salinan Sertifikat Persetujuan Pabrik (*Manufacturer Approval Certificate*);
- rencana mutu yang disusun oleh pabrik dan disetujui oleh pemilik instalasi. Rencana mutu tersebut harus mencakup, antara lain rencana inspeksi manufaktur yang akan dilakukan oleh pemilik instalasi, prosedur manufaktur, serta rencana pemeriksaan dan pengujian; dan

- sertifikat akreditasi yang menunjukkan bahwa organisasi yang melakukan pengujian, pemeriksaan, dan pengawasan dalam proses manufaktur telah diakreditasi oleh *Turkish Accreditation Agency* atau organisasi akreditasi nasional yang tercantum dalam *Mutual Recognition Agreement of International Accreditation Forum*.

Terkait dengan rencana inspeksi yang harus diakomodir dalam rencana mutu, badan pengawas harus menyusun rencana inspeksi keselamatan nuklir termasuk *hold points* dan *witness points* untuk proses manufaktur peralatan serta menyampaikan rencana tersebut kepada pemilik instalasi. Selain terhadap pabrik, badan pengawas juga dapat melakukan inspeksi terhadap subkontraktor dari pabrik.

Persetujuan Manufaktur (*Manufacturing Approval*)

Untuk peralatan yang memerlukan proses pengadaan cukup lama, pemilik instalasi dapat mengajukan permohonan persetujuan manufaktur sebagai pengganti notifikasi manufaktur kepada badan pengawas. Satu persetujuan manufaktur dapat mencakup lebih dari satu peralatan. Dokumen yang diperlukan untuk pengajuan persetujuan manufaktur adalah:

- dokumen-dokumen yang diperlukan untuk notifikasi manufaktur;
- kondisi batas yang menentukan desain peralatan dan dasar desain;
- informasi desain yang menunjukkan bahwa peralatan berada dalam dasar desain; dan
- laporan yang menunjukkan kemampuan peralatan dalam memenuhi fungsi keselamatannya.

Badan pengawas melakukan penilaian terhadap dokumen permohonan persetujuan manufaktur, khususnya dasar desain dan kecukupan fungsi keselamatan, selama tiga bulan dan dapat diperpanjang. Setelah persetujuan manufaktur dikeluarkan, badan pengawas membuat notifikasi tertulis di bagian lampiran persetujuan manufaktur yang berisi rencana inspeksi keselamatan nuklir termasuk *hold points* dan *witness points*.

Persetujuan Pabrik (*Manufacturer Approval*)

Pabrik yang ikut serta dalam proses pengadaan komponen dan peralatan yang penting bagi keselamatan di PLTN wajib mendapatkan Persetujuan Pabrik. Dokumen-dokumen yang diperlukan untuk memperoleh persetujuan pabrik adalah:

- Dokumen yang menunjukkan bahwa pabrik terdaftar secara resmi (memiliki izin usaha) dan dalam kondisi aktif dalam melakukan kegiatan komersial;
- Dokumen yang memberikan informasi tentang personil yang berwenang mewakili organisasi dan bertanggung jawab atas pengajuan permohonan pabrik, disertai dengan pernyataan bertanda tangan dari personil tersebut;
- Sertifikat ISO 9001 atau Sertifikat Sistem Manajemen Mutu yang berlaku di tingkat internasional. Sertifikat tersebut diberikan oleh lembaga sertifikasi yang telah diakreditasi oleh *Turkish Accreditation Agency* atau lembaga akreditasi lain yang ikut serta dalam *Mutual Treaty of International Accreditation Forum*;
- Manual mutu dan prosedur terkait dari pabrik, yang mencakup struktur organisasi, tugas, wewenang dan tanggung jawab divisi, kompetensi dan persyaratan kualifikasi untuk personil teknis, serta pengaturan manajemen pengadaan dan sistem pengendalian;
- Daftar peralatan yang diproduksi yang tercakup dalam lingkup persetujuan pabrik;
- Laporan yang merinci: 1) jenis, sifat dan klasifikasi keselamatan peralatan yang diproduksi, 2) daftar peraturan, kode dan standar yang digunakan dalam proses manufaktur peralatan tersebut beserta sertifikat dan stempel jika ada, 3) informasi lokasi manufaktur, 4) kecukupan infrastruktur pabrik dalam lingkup pekerjaan yang akan dilakukan, 5) sistem produksi termasuk perangkat lunak, serta 6) pengalaman dan peralatan pabrik;
- Bukti pembayaran biaya permohonan persetujuan dari bank; dan
- Sertifikat perizinan dari badan pengawas negara lain yang terkait dengan kegiatan manufaktur, jika ada.

Badan pengawas melakukan penilaian dalam waktu 30 (tiga puluh) hari kerja dan dapat diperpanjang oleh badan pengawas jika diperlukan dengan menginformasikan kepada pemohon izin secara tertulis. Selama tahap evaluasi persetujuan pabrik, badan pengawas dapat melakukan inspeksi ke pabrik

jika diperlukan. Persetujuan pabrikan berlaku selama lima tahun. Lampiran sertifikat persetujuan pabrikan berisi daftar peralatan yang diproduksi. Persetujuan pabrikan dapat diperpanjang setiap periode lima tahun. Permohonan perpanjangan harus dilakukan paling lambat dua bulan sebelum masa berlaku persetujuan berakhir.

Pabrikan dapat melakukan perubahan daftar peralatan yang tercakup dalam persetujuan pabrikan dengan cara menyerahkan beberapa dokumen sebagai berikut kepada badan pengawas:

- Pembaruan dokumen yang diajukan ketika permohonan atau permohonan perpanjangan persetujuan pabrikan.
- Bukti pembayaran biaya permohonan persetujuan dari bank.

Namun pabrikan tidak dapat mengajukan perubahan ruang lingkup peralatan jika masa berlaku persetujuan pabrikannya akan berakhir dalam jangka waktu enam bulan ke depan.

Pabrikan yang telah memiliki persetujuan pabrikan memiliki beberapa tanggung jawab sebagai berikut:

- Pabrikan wajib bertanggung jawab atas mutu pekerjaan dan produk dan/atau memastikan efisiensi sistem manajemen mutu yang terkait dengan kegiatan manufaktur. Meski demikian, tanggung jawab tersebut tidak menghilangkan atau mengurangi tanggung jawab pemilik instalasi reaktor.
- Pabrikan wajib mengupayakan agar inspeksi badan pengawas terselenggara sesuai jadwal yang telah direncanakan. Kewenangan badan pengawas untuk melakukan inspeksi manufaktur ke pabrikan selama masa berlakunya persetujuan pabrikan dinyatakan dalam “*Regulation on Construction Inspection of the Nuclear Power Plants*” [4].
- Pabrikan wajib mematuhi semua kondisi persetujuan pabrikan selama masa berlakunya persetujuan.
- Pabrikan wajib memberitahukan kepada badan pengawas jika terdapat perubahan organisasi dan infrastruktur yang memerlukan amandemen kondisi persetujuan.
- Pabrikan wajib menyimpan semua rekaman dan laporan kegiatan yang terdapat dalam ruang lingkup persetujuan pabrikan selama masa berlakunya persetujuan.

Jika di Indonesia maka sertifikat Penerapan Sistem Manajemen Mutu yang harus dimiliki oleh pabrikan seharusnya berdasarkan pada SNI ISO 9001 dari Lembaga Sertifikasi yang diakreditasi oleh KAN atau oleh badan akreditasi penandatanganan IAF/PAC MLA dengan ruang lingkup yang setara.

Regulasi Pengawasan Manufaktur di Afrika Selatan

Pengawasan terhadap instalasi nuklir di Afrika Selatan dilakukan oleh *National Nuclear Regulator* (NNR). Pengawasan tersebut diberlakukan selama tahap *siting*, desain, konstruksi, operasi, manufaktur komponen, dekontaminasi, dan penutupan (*closure*) instalasi nuklir sebagaimana dinyatakan pada Section 5 (b) NNR Act 47 of 1999 [5]. Terkait hal ini, NNR membuat ketentuan bahwa untuk komponen yang memerlukan proses pengadaan dan jangka waktu manufaktur yang lama atau dikenal dengan istilah *Long Lead Time Items* sehingga proses manufakturnya harus dimulai sebelum dikeluarkannya izin konstruksi, pemilik instalasi nuklir harus mengajukan permohonan izin manufaktur. Namun izin manufaktur hanya dapat diajukan jika pemilik instalasi nuklir juga telah mengajukan permohonan izin konstruksi.

Untuk mengajukan izin manufaktur, diperlukan dokumen-dokumen sebagai berikut: [6]

- Dokumentasi manajemen keselamatan dan mutu. Di Afrika Selatan, sistem manajemen keselamatan dan mutu pemilik instalasi harus memenuhi ketentuan NNR No. RD-0034 tentang *Quality and Safety Management Requirements for Nuclear Installations* [7].
- Dokumen proses pengadaan
- Dokumen kualifikasi pemasok dan proses kendali
- Dokumen proses klasifikasi (keselamatan, mutu, seismik dan lingkungan)
- Informasi dasar desain, termasuk fitur-fitur keselamatan dan penghalang pada instalasi nuklir
- Parameter desain tapak terpostulasi dan analisis serta evaluasi desain komponen berdasarkan parameter tapak tersebut.
- Dokumentasi proses kode dan standar
- Daftar kode dan standar yang berlaku

- Daftar rinci komponen yang akan dimanufaktur beserta klasifikasi keselamatannya serta kode dan standar yang digunakan.
- Desain rinci komponen atau *outline* spesifikasi desain jika desain dilakukan oleh pabrik.
- Justifikasi kesesuaian dan antarmuka komponen dengan instalasi.
- Rincian sumber daya teknis, kualifikasi dan pengalaman pemohon izin.
- Rencana manufaktur
- Rencana inspeksi dan pengujian
- Ketentuan organisasi tentang pelatihan dan penyegaran bagi personal yang terkait dengan manufaktur komponen yang penting bagi keselamatan beserta ketersediaan fasilitas pelatihan.

Setelah izin manufaktur terbit, pemohon izin masih harus menyediakan dan menyerahkan kepada badan pengawas dokumen-dokumen sebagai berikut: [6]

1. Dokumen evaluasi keselamatan, yang berisi:
 - Persyaratan kinerja dan dasar desain
 - Justifikasi teknis atau dasar penetapan persyaratan kinerja
 - Evaluasi yang diperlukan untuk menunjukkan terpenuhinya fungsi keselamatan.
2. Dokumen *input* desain yang berisi:
 - Spesifikasi desain
 - Katalog pembebanan
 - Dokumen-dokumen antar muka
 - Laporan pemilihan material
 - Justifikasi kode.
3. Dokumen desain yang berisi laporan desain dan gambar desain
4. Dokumen manufaktur keseluruhan yang berisi:
 - Daftar pengelasan
 - *Quality Control Plan* (QCP)
 - Gambar dan dokumen (dasar desain dan ukuran) pembelian
 - Pesanan pembelian dan spesifikasi
5. Dokumen manufaktur sub-pemasok yang berisi *Manufacturing Plan*, prosedur pengujian (NDE), dan gambar-gambar.
6. Dokumen manufaktur milik pemasok yang berisi:
 - Rangkaian dan jadwal manufaktur
 - *Quality Plan*
 - *Inspection and Test Plan*
 - Prosedur inspeksi dan pengujian
 - Gambar-gambar.

Setelah proses manufaktur selesai berlangsung, pemilik instalasi harus menyampaikan laporan akhir yang setidaknya berisi: [6]

- Laporan desain akhir
- Sertifikat kesesuaian
- Hasil inspeksi dan pengujian
- Laporan ketidaksesuaian
- Rekaman pengadaan
- Perintah penyimpanan, transportasi, pemasangan dan pengujian
- Manual operasi dan perawatan
- Batasan dan kondisi operasi (BKO)
- Gambar terpasang.

Pembahasan

Dari hasil studi literatur tentang pengaturan pengawasan manufaktur di Turki dan Afrika Selatan, terdapat 4 kelompok informasi penting yang diperlukan oleh badan pengawas dalam pengaturan pengawasan manufaktur komponen PLTN, yaitu:

- Informasi terkait pemilik instalasi nuklir atau pemegang izin;
- Informasi terkait pabrik;
- Informasi terkait komponen/peralatan yang akan dimanufaktur; dan

- Informasi terkait proses manufaktur.

1. Informasi terkait pemilik instalasi nuklir atau pemegang izin

- a. Dokumentasi sistem manajemen, termasuk manajemen keselamatan dan manajemen mutu; Di Indonesia ketentuan mengenai sistem manajemen fasilitas dan kegiatan nuklir tertuang dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir [8].
- b. Pengaturan manajemen pengadaan dan sistem pengendalian;
- c. Dokumen dan rekaman proses pengadaan;
- d. Informasi dasar desain, termasuk fitur-fitur keselamatan dan penghalang pada instalasi;
- e. Parameter desain tapak terpostulasi dan analisis/evaluasi desain komponen berdasarkan parameter tapak tersebut;
- f. Dokumen proses klasifikasi (keselamatan, mutu, seismik dan lingkungan);
- g. Desain rinci komponen, termasuk antara lain:
 - gambar desain,
 - spesifikasi desain,
 - katalog pembebanan,
 - daftar kode dan standar yang berlaku beserta justifikasinya,
 - justifikasi kompatibilitas dan antarmuka komponen dengan instalasi, dan
 - pemilihan material;
- h. Dokumen evaluasi keselamatan, yang berisi:
 - persyaratan kinerja dan dasar desain,
 - justifikasi teknis atau dasar penetapan persyaratan kinerja, dan
 - evaluasi yang diperlukan untuk menunjukkan terpenuhinya fungsi keselamatan;
- i. Dokumen kualifikasi pemasok dan proses kendali; serta
- j. Ketentuan organisasi tentang pelatihan dan penyegaran bagi personil yang terkait dengan manufaktur komponen yang penting bagi keselamatan beserta ketersediaan fasilitas pelatihan.
- k. Rencana inspeksi yang tertuang dalam kontrak pengadaan, baik inspeksi terhadap pabrikan maupun sub-kontraktornya.

2. Informasi terkait pabrikan

- a. Izin usaha yang berlaku menurut ketentuan peraturan perundang-undangan;
- b. Personil yang berwenang mewakili organisasi disertai pernyataan bertanda tangan dari personil tersebut;
- c. Struktur organisasi, tugas, wewenang dan tanggung jawab unsur organisasi yang terkait dengan proses manufaktur;
- d. Kompetensi dan persyaratan kualifikasi untuk personil teknis yang terkait dengan kegiatan manufaktur;
- e. Sistem manajemen mutu pabrikan dan subkontraktornya yang tersertifikasi SNI ISO 9001:2015 atau sertifikat sistem manajemen mutu yang berlaku di tingkat internasional. Sertifikasi tersebut harus diberikan oleh lembaga sertifikasi yang terakreditasi KAN atau lembaga akreditasi lain yang menandatangani IAF/PAC MLA dengan ruang lingkup yang setara;
- f. Sertifikat perizinan/persetujuan yang terkait dengan kegiatan manufaktur dari badan pengawas negara lain, jika ada, misalnya Sertifikat Persetujuan Pabrikan (Manufacturer Approval Certificate);
- g. Kecukupan pengalaman manufaktur; serta
- h. Kecukupan infrastruktur (khususnya peralatan) pabrikan dalam lingkup pekerjaan manufaktur yang dilakukan.

3. Informasi terkait komponen/peralatan

- a. Jenis, spesifikasi teknis (termasuk material) dan klasifikasi keselamatan peralatan yang diproduksi;

- b. Gambar desain peralatan/komponen yang akan dimanufaktur, baik gambar desain akhir maupun gambar teknik terpasang;
- c. Batasan dan Kondisi Operasi (BKO);
- d. Analisis/kajian yang menunjukkan bahwa peralatan yang dibuat mampu menjalankan fungsi keselamatannya dalam batasan desain;
- e. Manual operasi dan perawatan; serta
- f. Dokumentasi produk setelah proses manufaktur selesai.

4. Informasi terkait proses manufaktur

- a. Prosedur/proses manufaktur termasuk antara lain daftar pengelasan dan dokumentasi proses manufaktur;
- b. Proses manufaktur yang dikontrakkan ke subkontraktor;
- c. Dokumen manufaktur sub-pemasok yang berisi *Manufacturing Plan*, prosedur pengujian (NDE) dan gambar-gambar;
- d. Daftar pemasok bahan baku, prosedur evaluasi pemasok dan prosedur pemeriksaan bahan baku.
- e. Jadwal rangkaian kegiatan manufaktur;
- f. Informasi lokasi manufaktur termasuk lokasi penyimpanan hasil manufaktur;
- g. Daftar peraturan, kode, standar dan pedoman yang digunakan dalam proses manufaktur beserta sertifikat dan stempel jika ada;
- h. Sistem produksi termasuk perangkat lunak;
- i. *Quality Control Plan* (QCP) beserta rekaman pelaksanaannya;
- j. Kriteria keberterimaan peralatan/komponen;
- k. Rencana dan prosedur pemeriksaan dan pengujian (*examination and testing*);
- l. Sertifikat akreditasi dari organisasi yang melakukan pemeriksaan dan pengujian. Akreditasi tersebut dapat dilakukan oleh KAN untuk di Indonesia atau oleh organisasi akreditasi lainnya yang menandatangani IAF/PAC MLA dengan ruang lingkup yang setara. Selain terakreditasi, organisasi yang melakukan pemeriksaan dan pengujian juga seharusnya memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - tidak memiliki hubungan korporasi dengan pabrikan dan perancang (designer);
 - memiliki sistem manajemen mutu yang tersertifikasi;
 - memiliki pengalaman kerja yang memadai; dan
 - memiliki sumber daya manusia yang memadai;
- m. Rencana inspeksi manufaktur yang akan dilakukan oleh pemilik instalasi dan/atau badan pengawas. Rencana ini seharusnya juga masuk dalam kontrak antara pemilik instalasi dengan pabrikan dan subkontraktornya;
- n. Laporan yang menunjukkan kemampuan peralatan dalam memenuhi fungsi keselamatannya;
- o. Laporan hasil inspeksi dan pengujian;
- p. Sertifikat kesesuaian;
- q. Prosedur pengendalian dan penanganan/perbaikan ketidaksesuaian; serta
- r. Instruksi kerja penyimpanan, pengangkutan, pemasangan, dan pengujian.

Dari keempat kelompok informasi di atas, badan pengawas diharapkan dapat memastikan beberapa hal penting, yaitu antara lain bahwa:

- Seluruh pihak yang terlibat dalam kegiatan manufaktur memiliki dan melaksanakan sistem manajemen, terutama sistem manajemen mutu untuk pengendalian mutu komponen/peralatan yang dibuat.
- Desain komponen yang dibuat sesuai dengan dasar desain, karakteristik tapak, serta kelas mutu dan keselamatan yang memadai.
- Semua pihak yang terlibat dalam kegiatan manufaktur memiliki kapabilitas dan kualifikasi teknis yang memadai. Sebagai contoh, pabrikan memiliki izin/persetujuan manufaktur dari negara lain untuk ruang lingkup komponen yang sama atau lembaga yang melakukan pemeriksaan dan pengujian harus memiliki akreditasi nasional atau internasional yang diakui. Kualifikasi teknis yang memadai dalam hal desain dan manufaktur juga merupakan salah satu persyaratan yang ditentukan oleh US NRC dalam memberikan izin manufaktur bagi organisasi/perusahaan yang melakukan manufaktur komponen PLTN [9].

- Komponen hasil produksi telah sesuai dengan spesifikasi desain dan standar mutu yang ditetapkan melalui serangkaian kegiatan inspeksi, pemeriksaan, pengujian, dan perbaikan/pengendalian.

Jadi, melalui skema pengaturan kegiatan manufaktur yang ditetapkan oleh BAPETEN nantinya, bisa berupa skema otorisasi (perizinan/persetujuan) atau skema sertifikasi produk, BAPETEN harus dapat memastikan beberapa hal penting tersebut.

Regulasi atau ketentuan yang berlaku dalam rangka pengawasan kegiatan manufaktur komponen PLTN di negara Turki dan Afrika Selatan jelas merupakan suatu praktik yang baik karena dengan hal itu badan pengawas dapat memastikan bahwa kegiatan manufaktur komponen PLTN dilakukan dengan baik oleh pabrik, termasuk subkontraktor/sub-pemasoknya, yang memiliki kapabilitas teknis yang memadai sehingga menghasilkan produk yang sesuai dengan desain, standar dan mutu yang ditetapkan oleh pemilik instalasi reaktor. Dengan demikian badan pengawas dapat memastikan bahwa aspek keselamatan PLTN terpenuhi dari segi kualifikasi/mutu SSK reaktor.

Kesimpulan

Dalam peraturan yang terkait dengan pengawasan manufaktur komponen PLTN terdapat empat komponen informasi yang harus diketahui dan dapat diterima oleh badan pengawas, yaitu informasi yang terkait dengan pemilik instalasi nuklir, pabrik, komponen/peralatan yang akan dibuat, dan proses manufaktur. Tujuan dari ketersediaan informasi tersebut adalah agar badan pengawas dapat memastikan bahwa kegiatan manufaktur komponen PLTN dilakukan dengan baik oleh pabrik, termasuk subkontraktor/sub-pemasoknya, yang memiliki kualifikasi teknis yang memadai dan bahwa komponen/peralatan telah dibuat sesuai dengan spesifikasi desain dan standar mutu yang ditetapkan oleh pemilik instalasi nuklir.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Sekretariat Negara RI (2014) Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.
- [2] Nuclear Energy Agency (2022) Nuclear Regulation Law No. 7381 (Unofficial Translation). Official Gazette No. 31772.
- [3] Nuclear Regulatory Authority (2015) Regulation Regarding Equipment Procurement Process and Approval of Manufacturers for Nuclear Facilities (Unofficial Translation). Official Gazette No. 29369.
- [4] Nuclear Regulatory Authority (2017) Regulation on Construction Inspection of the Nuclear Power Plants (Unofficial Translation). Official Gazette Number: 30024.
- [5] National Nuclear Regulator (1999) National Nuclear Regulator Act 1999, Act 47 of 1999, and Regulations.
- [6] Bester P et al. Manufacturing of Components for Nuclear Installations. Position Paper No. PP-0012 Rev. 0.
- [7] National Nuclear Regulator (2008) Requirement Document No. RD-0034: Quality and Safety Management Requirements for Nuclear Installations.
- [8] BAPETEN (2010) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [9] U.S. NRC. 10 CFR Part 50 - Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities. <https://www.nrc.gov>.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Kajian Resiko Seismik di Kawasan Nuklir Serpong dengan Studi *Horizontal Vertical Spectral Ratio*

Agung Satriyo^{1,2}, Wiwit Suryanto¹, Titi Anggono³, Moch Luthfi Al Kamali¹, Hanna Salsabila Yufi¹

¹ *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UGM, Yogyakarta*

² *Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN, Jakarta*

³ *Pusat Riset Kebencanaan Geologi, BRIN, Bandung*

Korespondensi penulis:

agungsatriyo1989@mail.ugm.ac.id, ws@ugm.ac.id

titi.anggono@brin.go.id, hanasalsabilayufi@mail.ugm.ac.id, mochluthfialkamali@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Perubahan nilai potensi percepatan tanah di wilayah akan mempengaruhi kondisi keselamatan dalam pengelolaan fasilitas ketenaganukliran di KNS khususnya instalasi reaktor RSG-GAS. Studi tapak yang dilakukan untuk rencana pembangunan RDE memberikan gambaran terbaru terkait terjadinya kenaikan potensi resiko gempa bumi khususnya di area KST BJ Habibie dengan nilai maksimum percepatan tanah hingga 0,57 g, sedangkan desain RSG-GAS yang diketahui maksimum bernilai 0,25 g. Tujuan penelitian memberikan gambaran terkini terkait dengan kondisi bawah permukaan wilayah KNS dan sekitarnya, dan memastikan kondisi tapak RSG-GAS masih aman untuk pengelolaan RSG-GAS. Hasil penelitian ini didapatkan nilai f_0 pada rentang 2.8468 Hz hingga 4.4362 Hz, serta f_0 rata-rata 3,4964 Hz, nilai A_0 antara 2,1149 hingga 4,8886 serta A_0 rata-rata 2,8406, dan nilai K_g antara 1,3431 hingga 4,3936, serta K_g rata-rata sebesar 2,7272. Untuk kondisi bawah permukaan RSG-GAS yang diwakili dengan titik HK9 yang memiliki jarak 124 meter dari gedung reaktor RSG-GAS mendapatkan nilai f_0 sebesar 3,6544 Hz, A_0 2,3433, dan nilai K_g sebesar 1,5026 dimana nilai-nilai tersebut ini masih lebih rendah (kecuali nilai f_0) dibandingkan nilai rata-rata KNS dan sekitarnya. Kondisi HK9 diasumsikan dapat menggambarkan bahwa kondisi tanah tempat RSG-GAS berdiri memiliki resiko rendah.

Kata Kunci: Resiko, kawasan nuklir Sepong, HVSR, frekuensi natural, factor amplifikasi, indeks kerentanan seismik.

Abstract

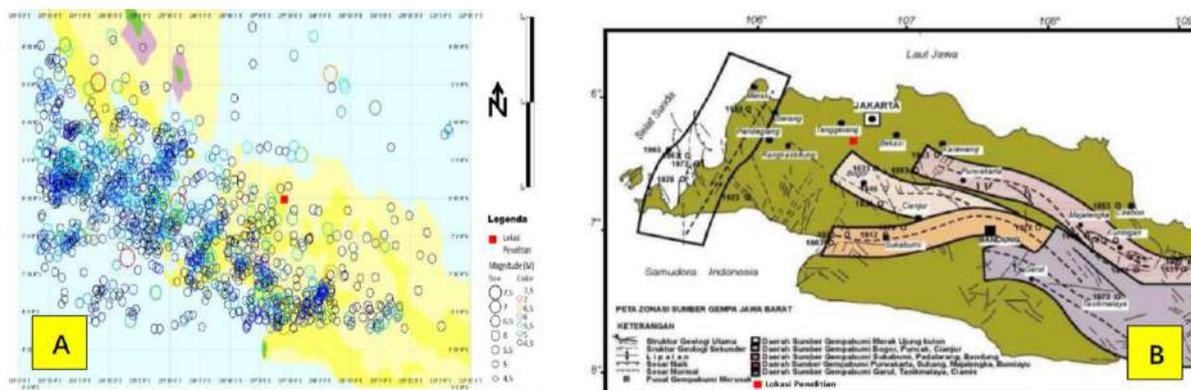
Changes in the value of the ground acceleration potential in the region will affect safety conditions in the management of nuclear facilities at KNS, especially the RSG-GAS reactor installation. The site study conducted for the RDE development plan provides an up-to-date picture regarding the potential increase in earthquake risk, especially in the BJ Habibie KST area with a maximum ground acceleration value of up to 0.57 g, while the RSG-GAS design is known to have a maximum value of 0.25 g. The aim of the research is to provide an up-to-date picture regarding the subsurface conditions in the KNS area and its surroundings, and to ensure that the RSG-GAS site is still safe for the management of RSG-GAS. The results of this study obtained f_0 values in the range 2.8468 Hz to 4.4362 Hz, and an average f_0 of 3.4964 Hz, A_0 values between 2.1149 to 4.8886 and an average A_0 of 2.8406, and K_g values between 1.3431 to 4.3936, and an average K_g of 2.7272. For the subsurface conditions of the RSG-GAS which is represented by point HK9 which has a distance of 124 meters from the RSG-GAS reactor building, the f_0 value is 3.6544 Hz, A_0 is 2.3433, and the K_g value is 1.5026 where these values are still lower (except for the f_0) compared to the average value of KNS and its surroundings. HK9 conditions are assumed to illustrate that the soil conditions where RSG-GAS stands have a low risk.

Keywords: Risk, Sepong nuclear area, HVSR, natural frequency, amplification factor, seismic vulnerability index.

Pendahuluan

Fasilitas ketenaganukliran khususnya instalasi reaktor nuklir merupakan suatu fasilitas yang memiliki resiko serta manfaat yang besar dalam menunjang kehidupan manusia. Resiko yang dimiliki oleh reaktpr tidak dapat dihilangkan, namun resiko tersebut dapat di minimalisir sehingga tidak dapat mengancam kehidupan manusia dan lingkungan di sekitarnya. Metode untuk meminimalisir resiko telah dilakukan mulai dari perencanaan awal pembangunan reaktor, yaitu dengan melaksanakan pengujian studi tapak di wilayah calon berdirinya reaktor. Salah satu contoh reaktor nuklir yang dimiliki Indonesia ialah Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS). RSG-GAS merupakan reaktor riset atau Reaktor Non Daya (RND) dengan daya operasi dapat mencapai 30 MWth (*Mega Watt Thermal*). Hasil studi tapak tahun 1980-an tersebut menghasilkan nilai percepatan tanah maksimum yang mungkin terjadi di area ini sebesar 0,25 g [1]. Nilai tersebut tentunya sudah mempertimbangkan sejarah kegempaan yang pernah terjadi dan resiko geologi yang berada di sekitar area rencana pembangunan fasilitas RSG-GAS pada saat itu.

Semenjak tahun 2019, kajian studi tapak RSG-GAS tersebut dipertanyakan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai badan regulasi ketenaganukliran di Indonesia terkait relevansinya jika dibandingkan dengan perkembangan keilmuan dan teknologi terkait dengan resiko geologi di sekitar RSG-GAS . Pertanyaan BAPETEN tersebut merujuk kepada dokumen rencana pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di dalam kawasan KST B.J. Habibie. Area tapak calon RDE tersebut kurang lebih berjarak 2 km dari lokasi Kawasan Nuklir Serpong (KNS) dimana RSG-GAS berada, dan setelah dilakukan studi tapak untuk pembangunannya, dihasilkan potensi resiko gempa bumi dalam kurun waktu 10.000 tahun memiliki percepatan maksimum hingga 0,57 g dengan mempertimbangkan *epicenter* gempa bumi berasal dari *megathrust* [2]. Jika dilihat sejarah gempa bumi, dengan rentang periode Januari 1990 hingga Februari 2022 pada katalog USGS gempa bumi dengan skala $M \geq 4,5$ terjadi sebanyak 1255 kali di daerah sekitar RSG-GAS dan dapat berpotensi merusak terhadap struktur bangunan gedung RSG-GAS, (Gambar 1A) [3].



Gambar 1. Peta persebaran gempa bumi yang pernah terjadi di sekitar daerah penelitian dengan periode Januari 1990 hingga Februari 2023 berdasarkan katalog USGS. Peta persebaran ini selain menunjukkan episentrum gempa bumi, namun juga menunjukkan besaran *magnitudo* gempa yang terjadi antara 4,5 hingga 7,5 (A). Peta pola struktur sesar regional Jawa Barat dan Banten. Sesar-sesar tersebut menjadi suatu resiko tambahan di luar jalur subduksi lempeng tektonik antara lempeng Eurasia dan Indo-Australia terhadap keberadaan fasilitas ketenaganukliran khususnya RSG-GAS [4] (B).

Dengan cukup tingginya intensitas gempa bumi tersebut, hal ini merupakan ancaman yang cukup besar terhadap keberlangsungan pengelolaan reaktor RSG-GAS. Gempa bumi yang terjadi tersebut tidak hanya terjadi di area subduksi saja, namun cukup banyak epicenter gempa bumi yang terjadi di darat. Hal ini juga menjadi ancaman untuk reaktor RSG-GAS karena dikelilingi juga oleh sesar-sesar yang tersebar di daratan pulau Jawa khususnya Jawa Barat dan Banten, seperti yang tergambar pada gambar 1B. Sesar Baribis yang berada di bagian utara Jawa Barat dan Sesar Cimandiri yang berada di area tengah Jawa Barat merupakan bagian dari “Zona Sesar Besar Jawa (ZSBJ)”. Kedua sesar tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya gempa bumi dengan kedalaman dangkal hingga menengah [5]. Kondisi lokasi penelitian yang diapit oleh kedua sesar ZSBJ, meningkatkan potensi resiko terjadinya gempa bumi selain bersumber dari zona subduksi pertemuan lempeng di utara dan selatan pulau Jawa. Berdasarkan Gambar 1A dan 1B menunjukkan besarnya potensi terjadinya gempa bumi yang dapat mengancam keberlangsungan pengelolaan reaktor RSG-GAS. Untuk menggambarkan karakteristik area KNS diperlukan studi untuk memodelkan kondisi bawah

permukaan tanah di area KNS dan sekitarnya dengan menggunakan *microtremor single station*.

Mikrotremor atau mikroseismik merupakan getaran asli bumi yang berasal dari pergerakan batuan atau lempeng bumi serta aktifitas magma di dalam bumi secara terus-menerus yang merambat hingga permukaan. Berbagai penelitian yang sudah dilakukan, mikrotremor terdiri dari gelombang badan dan permukaan, meskipun gerakan gelombang belum dapat dijelaskan secara rinci oleh teori [6]. Selain dari getaran dalam bumi, terdapat juga mikrotremor alami dan mikrotremor buatan. Contoh sumber dari mikrotremor alami lainnya dapat berasal dari hujan, angin, aliran air, serta deburan ombak, sedangkan sumber dari mikrotremor buatan umumnya berasal dari aktifitas industri dan manusia, diantaranya suara mesin, mobil, manusia berjalan, dan sebagainya. Amplitudo yang dimiliki mikrotremor sangat kecil sehingga sulit di deteksi oleh manusia, namun dengan perkembangan teknologi terciptalah instrumentasi yang dapat mendeksi gelombang tersebut yang biasa disebut dengan seismometer [7].

Observasi mikrotremor mudah untuk dilakukan dan dapat diaplikasikan pada daerah-daerah dengan tingkat seismisitas tinggi sampai rendah. Nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva *Horizontal Vertical Spektral Ratio* (HVSR) hasil pengukuran mikrotremor di tempat tersebut. Nilai periode dominan atau frekuensi dominan yang diperoleh dari kurva HVSR mempunyai korelasi dengan tingkat ketebalan dari lapisan sedimen [8]. Pada penelitian ini, getaran ambien diperoleh dari getaran yang timbul disekitar titik seismometer. Getaran ambien yang ditangkap pada seismometer ditangkap dari getaran yang ditimbulkan dari alam. Akan tetapi rekaman getaran ambien/mikrotremor ini dapat mengandung gangguan akibat noise/derau buatan seperti kendaraan, industri, dan aktivitas manusia. Metode HVSR (atau H/V, atau metode Nakamura) dipopulerkan oleh Nakamura [9] untuk menganalisis karakteristik dinamik lapisan tanah. Investigasi yang sebelumnya banyak dilakukan menggunakan pengeboran menjadi lebih efektif, cepat, dan murah menggunakan observasi mikrotremor dengan analisis HVSR. Sesuai dengan kelebihan yang dimiliki, dalam bidang geoteknik metode ini digunakan untuk mengidentifikasi tanah terlebih sebelum melakukan penelitian selanjutnya melalui pengeboran, sehingga menjadi lebih efektif dan efisien. Untuk menggambarkan nilai variable kedalam parameter fisis yang ada di bumi, berikut ini penjabaran nilai variable tersebut yang tertuang di dalam Tabel 1 dan Tabel 2 [10].

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikrotremor, dan menurut Kanai dan Omote – Nakajima berdasarkan periode (T) (modifikasi [11] dan [12]).

Tipe	Klasifikasi Tanah		Frekuensi / f_0 (Hz)	Periode/ T (s)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi	Karakter
	Jenis/ Kanai	Omete-Nakajima					
IV	I	A	6,6667 – 20	0,05 – 0,15	Batuan tersier lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras	Keras
	II		4 – 10	0,10 – 0,25	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m, terdiri dari <i>sandy - gravel, dandy hard clay, loam</i> dll	Ketebalan sedimen permukaan termasuk dalam kategori menengah 5-10 meter	
III	III	B	2,5 – 4	0,25 – 0,40	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaan termasuk dalam kategori tebal sekitar 10-30 meter	Lunak
II	IV	C	<2,5	< 0,40	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll dengan kedalaman	Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal	Sangat Lunak

Tipe	Klasifikasi Tanah		Frekuensi f_0 (Hz)	Periode/ T (s)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi	Karakter
	Jenis/ Kanai	Omete- Nakajima					
30 m atau lebih							

Frekuensi natural (f_0) atau biasa dikenal dengan frekuensi dominan yaitu frekuensi yang membawa energi paling dominan pada gelombang tersebut. Nilai ini dipengaruhi dari besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen yang ditempuh gelombang dalam merambat di bawah permukaan tanah. Dengan definisi tersebut, nilai f_0 memiliki nilai berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Hal ini mengidentifikasi daerah yang memiliki lapisan sedimen tebal akan menghasilkan nilai f_0 yang cenderung kecil, begitu juga sebaliknya.

Tabel 2. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi [13]

Zona	Klasifikasi	Faktor Amplifikasi (A_0)
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A \leq 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	> 9

Faktor amplifikasi (A_0) dipengaruhi oleh kecepatan gelombang, jika kecepatan gelombang semakin kecil maka faktor amplifikasi semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa faktor amplifikasi berhubungan dengan tingkat kerapatan batuan, dimana semakin berkurangnya kerapatan batuan maka nilai faktor amplifikasinya akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh sedimen lunak yang memperlambat durasi gelombang merambat di daerah tersebut, yang menyebabkan getaran bangunan semakin besar, begitu juga sebaliknya [14].

Pengukuran HVSR sebelumnya di KST BJ Habibie tepatnya di lokasi calon RDE (2 Km dari area studi ini) mendapatkan nilai frekuensi dominan berkisar antara 3,06 Hz hingga 23,27 Hz, nilai amplifikasi berkisar antara 1,84 hingga 6,37, dan kerentanan seismik mulai dari 0,28 hingga 9,26. Peta amplifikasi dan indeks kerentanan seismik menunjukkan bahwa wilayah timur laut dan tenggara RDE merupakan wilayah amplifikasi dan kerentanan seismik yang lebih tinggi. Menurut kondisi geologis, daerah tersebut tergenang dalam bentuk sedimen lunak. Secara kondisi geologi area tersebut merupakan kipas aluvium berupa sedimen lunak. Sebagian besar peta sebaran nilai frekuensi, amplifikasi, dan Indeks Kerentanan Seismik sesuai dengan informasi geologi area penelitian [15].

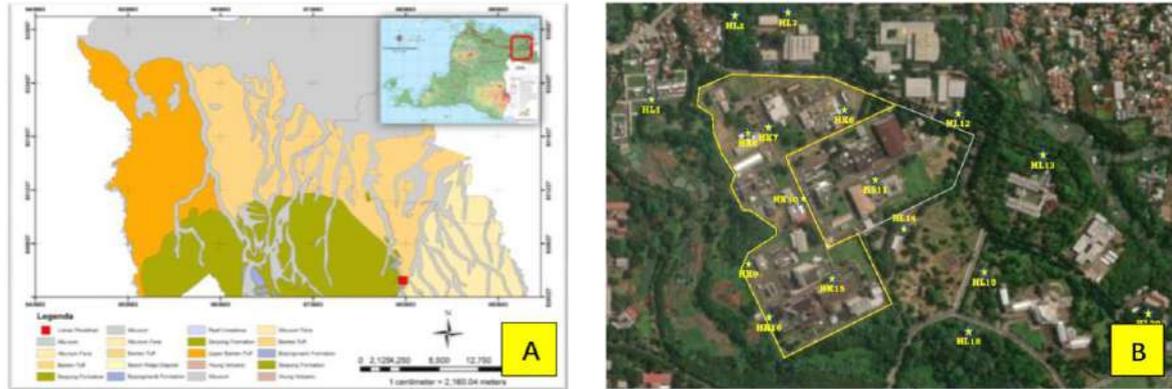
Penelitian atau studi ini lebih memfokuskan pemodelan bawah permukaan area KNS dan sekitarnya saja, sehingga dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan KNS yang terkini, diharapkan hasil dari pemodelan ini dapat memberikan gambaran resiko di wilayah KNS dan sekitarnya. Studi microtremor merupakan pengamatan secara pasif, dimana kita merekam semua gelombang tanpa pembuatan sumber gelombang seismik. Pemilihan metode ini dikarenakan metode ini cukup mudah dilakukan, serta murah, namun efektif dalam memodelkan kondisi bawah permukaan dan dapat menggambarkan faktor amplifikasi yang diakibatkan gempa bumi.

Metode/Metodologi

HVSR sesuai dengan namanya, merupakan metode pengolahan data dengan membandingkan spektrum komponen gelombang seismic yang memiliki arah horizontal yaitu komponen gelombang yang merambat dari utara-selatan (NS) dan gelombang yang merambat dari timur-barat (EW) dibandingkan dengan spektrum komponen gelombang yang merambat secara vertical (V). Tujuan dari studi ini adalah mendapatkan karakteristik geologi kondisi bawah permukaan KNS yang terkini berupa nilai frekuensi natural (f_0), nilai faktor amplifikasi tanah alami (A_0) serta nilai indeks kerentanan seismik KNS. Dari hasil tersebut dan dipadukan dengan table 1 dan 2, dapat kita interpretasikan gambaran pemodelan bawah tanah wilayah KNS dan sekitarnya untuk menjadi

referensi mitigasi bencana (jika diperlukan) untuk keberlangsungan pengelolaan fasilitas ketenaganukliran yang berada di KNS serta keselamatan lingkungan sekitar.

KNS sebagai wilayah penelitian berada di dalam KST BJ. Habibie Kecamatan Setu, Tangerang Selatan, Provinsi Banten. Total pengambilan data *microtremor* adalah sebanyak 20 titik lokasi (Gambar 2B). Pengambilan data *microtremor* dilakukan pada tanggal 11 s/d 14 Januari 2023. Panjang rekaman yang dilakukan pada satu titik lokasi adalah selama 31 menit dengan sampling frekuensi 100 Hz disetiap komponen. Seismometer yang digunakan pada studi ini adalah merk *Lennartz Electronic* tipe LE-3D/20s dengan frekuensi natural 0,05 Hz (Gambar 3A), Data logger yang dipakai ialah data logger dari *DATAQ Instruments* tipe DI-710-ULS (Gambar 3B).



Gambar 2. Peta geologi daerah Serpong yang merupakan bagian dari provinsi Banten. Lokasi penelitian ditandai dengan kotak berwarna merah dan berada di irisan empat formasi batuan [16] (A). Lokasi titik perekaman HVSR di area dalam dan sekitar KNS. Jarak yang diberikan antara titik pengukuran tersebut maksimum sekitar 300 meter yang tersebar menjadi 20 titik lokasi pengukuran. Titik pengukuran yang terdekat dengan RSG-GAS adalah HK15 dengan jarak sekitar 30 meter dan HK9 yang memiliki jarak 124 meter. Area yang dibatasi warna kuning merupakan area KNS, sedangkan nama titik rekaman yang tersebar memiliki nama sesuai dengan posisi titik tersebut, titik HK yaitu titik HVSR di dalam pagar kuning, titik HS yaitu titik HVSR di dalam pagar *silver* sedangkan HL yaitu titik HVSR di luar area KNS (B).



Gambar 3. Peralatan yang digunakan untuk studi ini seismometer (A), data logger (B), handy GPS (C), kontainer, laptop, serta software untuk merekam data (D).

Gelombang yang dianalisa tersebut berasal dari rekaman gelombang mikrotremor dengan tujuan memperkirakan frekuensi natural dan amplifikasi tanah yang dikondisikan dari dinamika lapisan permukaan. Persamaan matematis analisa HVSR ialah [17]:

$$HVSR = \frac{\sqrt{NS(\omega)^2 + EW(\omega)^2}}{Z(\omega)} \quad (1)$$

atau persamaan (1) dapat diartikan sama dengan persamaan (2) :

$$HVSR = \frac{\sqrt{[S \tanah (f)_E]^2 + [S \tanah (f)_N]^2}}{[S \tanah (f)_Z]} \quad (2)$$

dengan:

- HVSR : rasio spektrum horizontal dan vertikal
- $Z(\omega)$ atau $[S \tanah (f)_Z]$: spektrum gelombang vertikal
- $NS(\omega)$ dan $EW(\omega)$ atau $[S \tanah (f)_E]$ dan $[S \tanah (f)_N]$: spektrum gelombang horizontal (arah NS dan EW)

Indeks Kerentanan Seismik (K_g) menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. K_g akan sangat berkaitan dengan kondisi geomorfologi, nilai indeks tinggi biasanya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen lunak dan menunjukkan bahwa daerah tersebut rawan gempa bumi, dan jika terjadi gempa dapat terjadi guncangan yang kuat, dengan tingkat kerusakan yang lebih tinggi lagi [18] [10]. K_g dapat dicari dengan persamaan berikut, [19]:

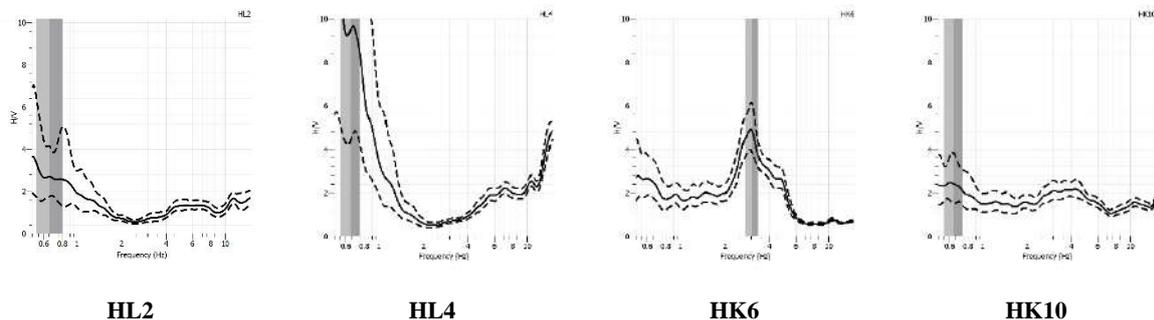
$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (3)$$

dengan:

- K_g : Indeks kerentanan seismik
- A_0 : faktor amplifikasi
- f_0 : frekuensi natural

Hasil dan Pembahasan

Berikut ini adalah hasil pengolahan data awal dengan menggunakan *software* geopsy untuk menghasilkan nilai f_0 , dan A_0 disetiap titik perekaman. Dari hasil tersebut akan dilakukan pengujian data berupa reabilitas serta *clear peak* dari hasil yang diperoleh dari geopsy, untuk menentukan data yang baik [20]. Untuk data rekaman HL20 hasil rekaman gagal didapatkan dengan baik, sehingga hasil pengolahan HVSR untuk HL20 tidak dapat dilanjutkan, begitu juga untuk pengolahan data seterusnya. Pada Gambar 4 akan ditampilkan contoh hasil pengolahan geopsy dari kurva yang baik dan kurva yang kurang baik berdasarkan panduan [20].



Gambar 4. Kurva hasil dari pengolahan HVSR dengan *software* geopsy. Kurva titik pengukuran HL2 dan HL4 merupakan contoh kurva hasil yang tidak baik, hal ini dikarenakan kedua kurva tersebut tidak memiliki puncak kurva (*clear peak*). Kurva titik pengukuran HK6 merupakan contoh kurva yang baik, karena kurva tersebut menunjukkan puncak kurva (*single peak*) yang jelas. Sedangkan kurva titik pengukuran HK10 menunjukkan kurva yang memiliki (*multiple peak*) sehingga membutuhkan analisa yang lebih lanjut untuk menentukan puncak kurva yang sesungguhnya dalam menggambarkan keadaan bawah permukaan di wilayah penelitian.

Dari hasil pengolahan reabilitas serta *clear peak*, hanya ada 8 data titik pengukuran yang dapat diteruskan pengolahan datanya, hal ini dikarenakan pengujian dari 19 data yang ada (Tabel 3), 11 data memiliki kriteria keberterimaan yang lebih sedikit dari 19 data yang ada. Kurang baiknya data yang diperoleh diakibatkan dari beberapa faktor, diantaranya kondisi lingkungan dan bawah permukaan lokasi titik pengukuran yang dilaksanakan. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data dari 8 titik pengukuran tersebut yang ditampilkan pada tabel 3.

Berdasarkan gambar 4, nilai f_0 untuk titik HL3 dan HK10 memiliki perbedaan yang signifikan dari titik-titik yang lain, dimana titik-titik yang lain menunjukkan nilai f_0 rata-rata berada kurang lebih 3 Hz, kedua kurva tersebut memiliki *multiple pick*, dimana *pick* yang lainnya berada di sekitar nilai yang sama dengan rata-rata f_0 KNS dan sekitarnya. Hal ini kemungkinan dapat terjadi karena posisi rekaman ke dua titik tersebut pada permukaan hingga bagian bawah permukaannya terdapat bagian sedimen sangat lunak (Table 1) sehingga dapat menimbulkan nilai f_0 yang lain yang lebih dominan dari nolai f_0 rata-rata2 daerah KNS dan sekitarnya, sehingga untuk nilai f_0 HL3 penulis mengasumsikan nilai f_0 sebenarnya di 3,8321 Hz, A_0 2,2687, dan K_g 1,3431 sedangkan untuk titik HK10 bernilai di 4,4362 Hz, A_0 2,2454, dan K_g 1,1365. Sehingga dapat disimpulkan untuk nilai f_0 untuk wilayah KNS berada pada rentang 2,8468 hingga 4,4362 Hz, sehingga rata-rata f_0 KNS dan

sekitarnya di nilai 3,4964 Hz. Nilai rata-rata tersebut jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya [15], masih termasuk dalam nilai yang didapatnya, sehingga dapat disimpulkan jika lapisan tanah KST B.J. Habibie mayoritas homogen.

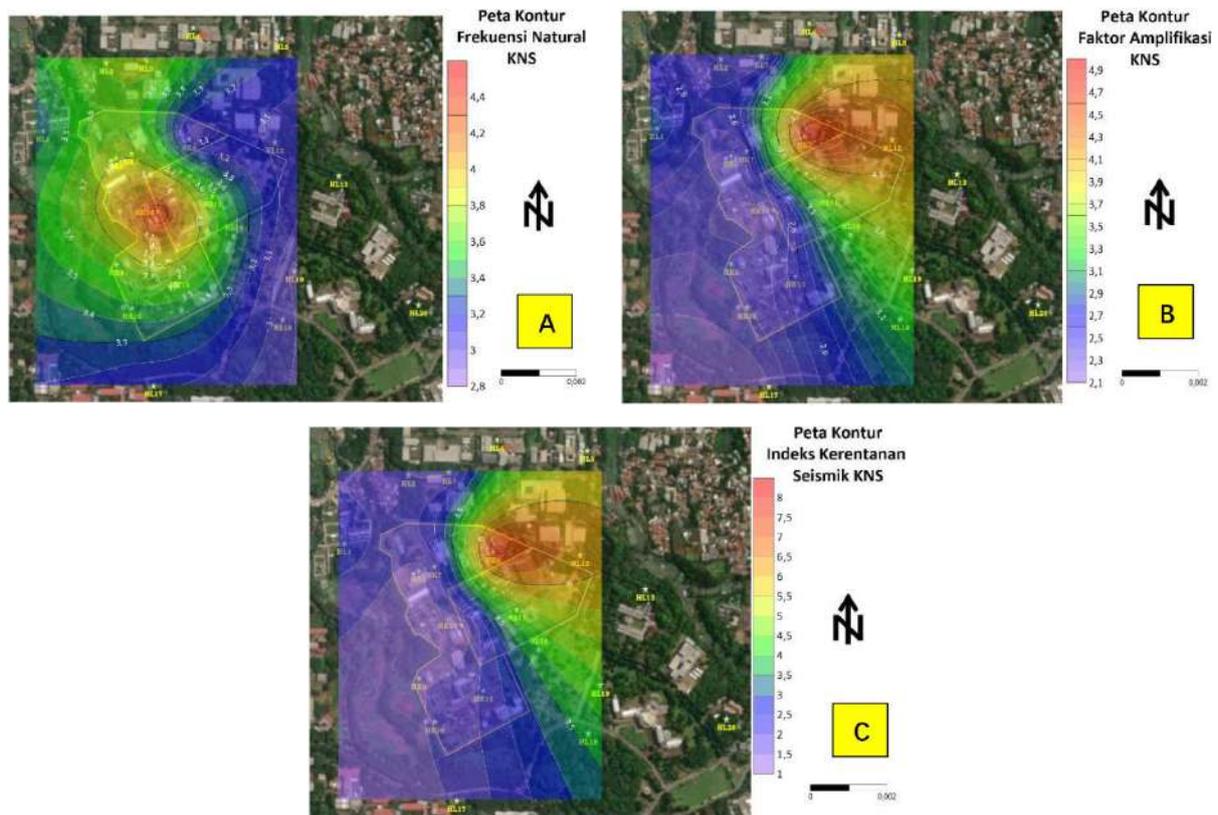
Tabel 3. Hasil pengolahan data HVSR dan indeks kerentanan seismik untuk wilayah KNS dan sekitarnya

Nama Titik	Koordinat					Indeks Kerentanan Seismik	
	Derajat		Elevasi	f_0	A_0		T
	Lat	Long					
HL1	-6,348272	106,659758	39	3,3014	2,8934	0,3029	2,5358
HL3	-6,346490	106,662627	58	3,8321	2,2687	0,2609	1,3431
HK6	-6,348583	106,663896	59	3,0277	4,8886	0,3303	7,8932
HK7	-6,348927	106,662213	56	3,7645	2,4339	0,2656	1,5736
HK9	-6,351719	106,661803	52	3,6544	2,3433	0,2736	1,5026
HK10	-6,350566	106,663061	55	4,4362	2,2454	0,2254	1,1365
HL17	-6,355076	106,662416	53	3,1082	2,1149	0,3217	1,4391
HL19	-6,352133	106,666715	60	2,8468	3,5366	0,3513	4,3936

Klasifikasi tanah nilai f_0 yang ada pada table 3 berdasarkan table klasifikasi yang ada pada Tabel 1, seluruh titik pengukuran kecuali HK10 termasuk dalam klasifikasi tanah berada pada tipe III yaitu berdasarkan klasifikasi kanai merupakan batuan *alluvial*, dengan ketebalan >5 m. Terdiri dari *sandy-gravel*, *sandy hard clay*, *loam*, dll dengan deskripsi ketebalan sedimen permukaan termasuk dalam kategori tebal sekitar 10 - 30 m, dan berkarakter lunak. Untuk titik HK10 pada frekuensi tersebut sulit untuk menentukan *peak* frekuensi yang ideal karena kurva eliptisitasnya cukup *flat*. Akan tetapi, rentang *peak* frekuensi adalah sekitar 2,4785 Hz – 4,6873 Hz, bisa diperkirakan bahwa tipe *soil* di titik HK10 ini termasuk tipe II yaitu dengan klasifikasi Batuan *alluvial* yang terbentuk dari sedimentasi delta, top *soil*, lumpur, dll dengan kedalaman 30 m atau lebih dengan deskripsi ketebalan sedimen permukaan sangat serta berkarakter sangat lunak dan juga termasuk ke dalam tipe tanah ke III sepertihalnya dengan titik pengukuran lainnya. Untuk mendapatkan gambaran persebaran nilai f_0 di daerah penelitian, dapat dilihat pada Gambar 5A.

Hasil A_0 yang terdapat pada Tabel 3, nilai A_0 di area KNS dan sekitarnya memiliki range antara 2,1149 hingga 4,8886 dan nilai rata-rata sebesar 2,8406. Berdasarkan klasifikasi pada table 2, mayoritas seluruh titik pengukuran kecuali titik HK6 dan HL19 memiliki nilai A_0 di bawah 3 yaitu berkisar atau masuk dalam zona 1 dengan klasifikasi rendah, dan pada umumnya sering dianggap sebagai nilai *threshold* atau nilai ambang batas. Untuk mendapatkan gambaran persebaran nilai A_0 di daerah penelitian, dapat dilihat pada Gambar 5B.

Untuk nilai Kg berdasarkan tabel 3 yang diperoleh dalam penelitian ini untuk wilayah KNS dan sekitarnya bernilai antara 1,3431 hingga 4,3936 dengan nilai Kg rata-rata sebesar 2,7272. Nilai distribusi rentang tersebut umumnya berada di sekitar kurang dari 2, namun terdapat titik pengukuran yang memiliki nilai di atas nilai rata-rata yaitu pada titik HK6 dengan nilai Kg 7,8932 dan HL19 bernilai 4,3936. Untuk mendapatkan gambaran persebaran nilai Kg di daerah penelitian, dapat dilihat pada Gambar 5C.



Gambar 5. Peta kontur bawah permukaan yang menggambarkan nilai f_0 untuk wilayah KNS dan sekitarnya (A), Peta kontur bawah permukaan yang menggambarkan nilai A_0 untuk wilayah KNS dan sekitarnya (B), Peta kontur bawah permukaan yang menggambarkan nilai K_g untuk wilayah KNS dan sekitarnya (C).

Kesimpulan

Penelitian ini secara umum memberikan gambaran bahwa kondisi bawah permukaan KNS dan sekitarnya dalam kemungkinan menghadapi gempa bumi yang mengakibatkan percepatan tanah di area KNS dan sekitarnya masih dapat dikategorikan aman, hal ini berdasarkan nilai semua parameter yang didapatkan pada ke 8 titik pengukuran mayoritas termasuk dalam kategori rendah. Penilaian tersebut berdasarkan hasil yang di dihasilkan pada nilai f_0 pada rentang 2,8468 Hz hingga 4,4362 Hz, serta f_0 rata-rata 3,4964 Hz, nilai A_0 antara 2,1149 hingga 4,8886 serta A_0 rata-rata 2,8406, dan nilai K_g antara 1,3431 hingga 4,3936, serta K_g rata-rata sebesar 2,7272.

Untuk kondisi bawah permukaan RSG-GAS yang diwakili dengan titik HK9 yang memiliki jarak 124 meter dari gedung reaktor RSG-GAS mendapatkan nilai f_0 sebesar 3,6544 Hz, A_0 2,3433, dan nilai K_g sebesar 1,5026 dimana nilai-nilai tersebut ini masih lebih rendah (kecuali nilai f_0) dibandingkan nilai rata-rata KNS dan sekitarnya. Kondisi HK9 diasumsikan dapat menggambarkan bahwa kondisi tanah tempat RSG-GAS berdiri memiliki resiko rendah.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada beasiswa *Degree By Research* Badan Riset dan Inovasi Nasional (DBR-BRIN) atas dukungan serta dana pendidikannya serta seluruh jajaran manajemen dan pegawai Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK-BRIN) Kawasan Nuklir Serpong (KNS) dan Instalasi Reaktor Serba Guna (IRSG) atas bantuannya menjadi subjek penelitian sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] T. P. L. RSG-GAS, Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS Rev.11, Tangerang Selatan: Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2020.
- [2] T. S. T. R. D. Eksperimental, "Laporan Evaluasi Tapak Reaktor Daya Eksperimental Kawasan PUSPIPTEK Serpong, III.A.1. Aspek Kegempaan," Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 2016.
- [3] USGS, "Earthquake Hazard Program," USGS, [Online]. Available: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. [Accessed 26 12 2022].
- [4] Y. Sanjaya, "Mengenal Sesar Baribis Kendheng yang Melintasi Cirebon, Semarang dan Kota Besar Lainnya," Radar Cirebon, 34 November 2022. [Online]. Available: <https://radarcirebon.disway.id/read/145410/mengenal-sesar-baribis-kendheng-yang-melintasi-cirebon-semarang-dan-kota-besar-lainnya/30>. [Accessed 9 Februari 2023].
- [5] Sutrisno, "Penentuan Percepatan Tanah Maksimum di daerah Jawa Barat dan Sekitarnya Dengan Metode Atkinson-Boore.," *Jurnal Fisika Al-Fiziya*, vol. IX, no. 2, pp. 58-62, 2015.
- [6] Nakamura, *Vulnerability Investigation of Roman Collisseum Using Microtremor*, 2000.
- [7] O. H, *The microtremor survey method*, Society of Exploration Geophysicists with the cooperation of Society of Exploration Geophysicists of Japan and Australian Society of Exploration Geophysicists, 2003.
- [8] Partono, "Aplikasi Metode HVSR Pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang," *Jurnal MKTS*, vol. 19, no. 2, pp. 125-134, 2013.
- [9] Nakamura, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface," *QR of RTRI*, vol. 30, no. 1, p. 25-33, 1989.
- [10] Arifin, "Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya," *J. Geofis. Eksplora*, vol. 2, no. 1, pp. 30-40, 2014.
- [11] Kanai., "On Microtremors," in *Bulletin of The Earthquake Research Institute*, Earthquake Research Institute, 1960.
- [12] BMKG, "Sumberdaya Geologi," in *Buletin Meteorologi dan Geofisika No.4*, Jakarta, BMKG, 1998.
- [13] Setiawan, *Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya (Tesis)*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2019.
- [14] Hartati, *Pemetaan Tingkat Resiko Gempabumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor (Tesis)*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2014.
- [15] Iswanto., "Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) di Tapak RDE. Serpong," *Eksplorium*, vol. 40, no. 2, pp. 105-114, 2019.
- [16] ESDM, "Peta geologi daerah Serpong, Banten, Layanan informasi data geologi Indonesia," ESDM, [Online]. Available: <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-interpretasi-citra-inderaan-jauh-lembar-tangerang-banten>. [Accessed 19 Februari 2023].
- [17] Dian-Ping, "Nakamura spectral ratio characteristics of microseism signal induced by relieve-shot," *Procedia Engineering*, vol. 26, pp. 1296-1304, 2011.
- [18] Daryono., "Pengkajian Local site Effect di Graben, Bantul Menggunakan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor," *J. Kebencanaan Indones*, vol. 2, no. 1, pp. 456-467, 2009.
- [19] Saaduddin, "Pemetaan Indeks Kerentanan Sesimik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Titik Kerusakan Gempa Bumi 30 September 2009," in *Seminar Nasional Kebumihan Ke-8*, 2015.
- [20] SESAME, *Site Effects Assessment Using Ambient Excitations. Report of the WP04 H/V Technique : Empirical Evaluation. Deliverable D16.04*, 2014.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pengujian Lindi Mortar dengan Menggunakan Terak Timah 2 sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus

Hermawan Puji Yuwana¹, Mochamad Adhiraga Pratama², Nuraziz Handika², Sugeng Purnomo³

¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

²Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok

³Instalasi Pengelolaan Limbah Nuklir, Dit. Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN

Korespondensi penulis:

h.puji@bapeten.go.id

Abstrak

Terak timah 2 merupakan produk samping dari industri pengolahan dan peleburan timah yang mengandung radionuklida anak luruh dari deret uranium dan thorium. Pemanfaatan atau penggunaan terak timah 2 masih sangat terbatas karena adanya sifat radioaktif yang terkandung tersebut. Tujuan dari penelitian ini untuk mensimulasikan lepasan radionuklida dalam mortar dengan terak timah 2 sebagai material substitusi agregat halus. Terak timah 2 digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan mortar. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas terak timah 2 didapatkan radionuklida ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th dengan konsentrasi aktivitas berturut-turut sebesar 5,724 Bq/gram, 16,590 Bq/gram, dan 14,29 Bq/gram. Hasil pengujian agregat halus dan terak timah 2 terhadap parameter kadar lumpur, kadar organik, kadar air, berat jenis, gradasi agregat halus, dan modulus halus butir menunjukkan beberapa parameter sesuai dengan kriteria dalam Standar Nasional Indonesia dan ASTM. Dalam pembuatan mortar terak timah 2 divariasikan pada 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap agregat halus. Mortar yang telah dibuat kemudian dilakukan simulasi pelindian untuk mengetahui tingkat imobilisasi kandungan radionuklida terak timah 2 dalam mortar. Pengukuran air lindi dari mortar-terak timah 2 dilakukan pada hari ke- 14, 21, 28, dan 56 dengan menggunakan spektrometri gamma. Beberapa radionuklida yang diamati seperti ^{212}Pb , ^{228}Ac , ^{214}Pb , ^{208}Tl , dan ^{40}K . Hasil pelindian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelindian (dengan batasan waktu 14 – 56 hari), maka semakin besar aktivitas yang terukur. Sedangkan untuk laju lindi, semakin lama waktu pelindian, maka laju lindi akan semakin kecil.

Kata Kunci: mortar, terak timah, substitusi parsial, uji lindi

Pendahuluan

Proses pertambangan, pengolahan, peleburan, dan pemurnian timah merupakan salah satu kegiatan atau bidang usaha yang memiliki potensi menghasilkan hasil samping. Hasil samping dapat dibedakan menjadi 2 yaitu *tailing* dan terak timah. Material/bahan buangan dari aktivitas eksploitasi dan pengolahan disebut dengan *tailing* [1, 2, 3]. Sedangkan material/bahan yang menjadi hasil samping selama proses peleburan dan pemurnian dikenal dengan terak timah [4, 5, 6]. Terak merupakan material sisa dari proses peleburan atau pemurnian logam yang terapung pada permukaan logam cair yang terbentuk dari campuran imbuhan, pengotor bijih/logam, abu bahan bakar, dan bahan pelapis tanur [7].

Hasil samping dalam *tailing* dan terak timah tersebut memiliki nilai radioaktivitas tertentu. Radioaktivitas secara alami berasal dari mineral bijih dan mineral bahan baku yang sebelumnya dikenal dengan istilah *Naturally Occurring Radioactive Material* (NORM) [8,9]. Selain secara alami,

radioaktivitas juga dapat diakibatkan karena adanya aktivitas kegiatan manusia atau penggunaan teknologi proses yang sebelumnya dikenal dengan istilah *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* (TENORM) [9]. Dengan terbitnya Peraturan Pemerintah No. 52 Tahun 2022, pada level nasional telah diperkenalkan dan digunakan istilah mineral ikutan radioaktif (MIR). Berbagai macam rekomendasi internasional dan peraturan yang ada saat ini, telah mengidentifikasi selain pada bidang usaha terkait dengan pertambangan dan pengolahan timah, beberapa kegiatan atau bidang usaha yang berpotensi menghasilkan MIR diantaranya bidang industri dan energi sumber daya mineral, eksploitasi minyak dan gas bumi, pembangkitan listrik (batubara), penambangan, pengolahan, peleburan, pemurnian logam, hingga pengelolaan air minum [8, 10, 11].

Terak timah menjadi salah satu hasil samping yang menjadi perhatian bersama. Dari aspek kimia penyusun, terak timah mengandung beberapa mineral seperti ilmenit (FeTiO_3), kwarsa (SiO_2), kolumbit – tantalit $[(\text{Fe}, \text{Mn}) (\text{Ta}, \text{Nb})\text{O}_6]$, zirkon (ZrSiO_4), rutil (TiO_2), xenotim (YPO_4), monasit ($\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th}$) PO_4 , dan pirit (FeS_2) [12, 13]. Beberapa mineral tersebut diklasifikasikan sebagai logam tanah jarang yang memiliki nilai ekonomi. Dengan kondisi Indonesia sebagai produsen timah terbesar kedua di dunia [14], produksi yang meningkat akan sebanding dengan peningkatan terak timah yang dihasilkan.

Hasil samping berupa terak timah tetap masih didominasi oleh anak luruh dari radionuklida deret uranium, thorium, dan potasium yaitu ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , dan ^{40}K [15, 16, 17]. Konsentrasi aktivitas dari terak timah 2 juga bervariasi dengan nilai konsentrasi aktivitas bervariasi [5, 17]. Untuk memastikan konsentrasi aktivitas yang terkandung dari terak timah memang perlu dilakukan pengukuran dengan menggunakan beberapa teknis seperti spektrometer gamma, ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*), dll [4].

Beberapa penelitian telah menguji pemanfaatan terak timah 2 seperti pengambilan logam tanah jarang, substitusi agregat halus dan semen pada pembuatan mortar dan beton [12, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. Beberapa penelitian memiliki obyek untuk menilai unjuk kerja dari pemanfaatan terak timah 2 tersebut. Dalam pemanfaatan tersebut perlu di cek kembali pengaturan yang ada di Indonesia. Beberapa peraturan telah ada dan menjadi dasar dalam pengawasan yang sebelumnya masih menggunakan istilah TENORM yaitu Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007, Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2021, Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009, Peraturan Kepala BAPETEN No.16 Tahun 2013, dan Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 3 Tahun 2021. Dari beberapa peraturan yang ada belum menjelaskan secara detail kriteria penggunaan kembali TENORM. Padahal material hasil samping tersebut berpotensi diolah atau digunakan kembali seperti pada *landfill*, jalan, bahan bangunan, beton, batu bata, dll [28].

Mortar memiliki fungsi dan digunakan sebagai matriks pengikat atau bahan pengisi/ penyusun suatu konstruksi. Terak timah 2 memiliki potensi bahaya radiasi karena adanya radionuklida dengan konsentrasi aktivitas tertentu yang terkandung didalamnya. Sehingga campuran mortar – terak timah 2 juga memiliki potensi untuk memaparkan radiasi karena adanya campuran terak timah 2 didalamnya. Beberapa metode digunakan untuk menguji kualitas dari mortar sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan. Uji lindi merupakan salah satu metode untuk mengevaluasi seberapa besar kemungkinan terjadinya lepasan radionuklida dari matriks mortar ke lingkungan. Terlebih mortar yang dibuat menggunakan material substitusi yang mengandung zat radioaktif.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan seberapa besar lepasan radionuklida dalam mortar - terak timah 2. Terak timah 2 digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus dalam pembuatan mortar. Agregat halus dan terak timah 2 masing-masing akan dilakukan karakteristik materialnya. Komposisi terak timah 2 akan divariasikan pada 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap agregat halus. Mortar yang telah dibuat kemudian dilakukan simulasi pelindian untuk mengetahui tingkat imobilisasi kandungan radionuklida terak timah 2 dalam mortar.

Metodologi

Semen yang digunakan jenis *Portland Cement (PC)* dengan merek Tiga Roda. Terak timah 2 yang digunakan berasal dari PT Sariwiguna Bina Sentosa dari Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Sedangkan agregat halus yang digunakan berasal dari daerah Rangkas Bitung. Pada terak timah 2 dan agregat halus dilakukan serangkaian pengujian seperti kadar lumpur, kadar organik, kadar air, berat

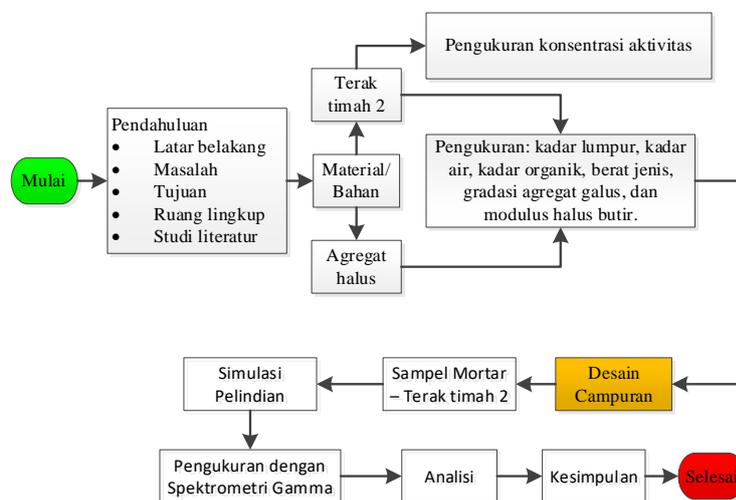
jenis, gradasi agregat halus, dan modulus halus butir. Prosedur pengujian mengikuti ketentuan standar nasional indonesia atau ASTM yang berlaku.

Terak timah 2 yang akan digunakan untuk pembuatan mortar diukur konsentrasi aktivitas radionuklida anak luruh dari uranium dan thorium serta potasium. Pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida dengan menggunakan spektrometri gamma di Laboratorium Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (LTKMR) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Sampel mortar yang dibuat didekati dengan praktik yang dilakukan di Instalasi Pengolahan Limbah Nuklir (IPLN) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Sampel berbentuk silinder dengan ukuran diameter $\pm 3,5$ cm dan tinggi ± 4 cm. Kemudian untuk variasi semen dibanding pasir yang digunakan adalah 1:3 dan faktor air semen (*water/cement ratio*) sebesar 0,7. Pada Tabel 1 berikut merupakan rencana desain campuran mortar yang dibuat. Rencana desain campuran mortar sebagaimana tertuang pada Tabel 1 didasarkan dari tujuan penggunaan, literatur, dan hasil hasil uji coba (*trial error*) berdasarkan pada karakteristik pengujian material baik agregat halus dan terak timah itu sendiri. Sehingga didapatkan rencana desain campuran tersebut sebagaimana tertuang pada Tabel 1. Adonan mortar dimasukkan dalam cetakan tersebut dan dikeluarkan dari cetakan setelah didiamkan selama 24 jam. Sampel yang telah dikeluarkan dari cetakan kemudian direndam dalam kurun waktu tertentu dan dilakukan pengujian pelindian. Diagram alir penelitian sebagaimana dituangkan pada Gambar 1 berikut ini.

Tabel 1. Rencana Desain Campuran Mortar

Sampel	A	B	C	D	E
Semen (%)	100	100	100	100	100
Pasir (%)	100	95	90	85	80
Terak Timah 2 (%)	0%	5%	10%	15%	20%
Faktor Air Semen (<i>Water/Cement Ratio</i>)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengukuran air lindi dari mortar-terak timah 2 dilakukan dengan menggunakan spektrometri gamma. Sebelum melakukan pengujian terhadap larutan lindi mortar tersebut, perlu dilakukan kalibrasi efisiensi dengan menggunakan sumber standar. Sumber standar yang digunakan adalah ^{152}Eu yang memiliki beberapa energi dan puncaknya. Pengukuran air lindi dilakukan pada hari ke-14, 21, 28, dan 56.

Hasil dan Pembahasan

1. Konsentrasi Aktivitas Terak Timah 2 dan Karakteristik Material

Hasil pengukuran sampel terak timah 2 dengan spektrometri gamma menunjukkan konsentrasi aktivitas radionuklida anak luruh deret uranium dan thorium serta potasium berada di atas kriteria konsentrasi aktivitas yang diizinkan. Jika mengacu pada beberapa peraturan yang ada batasan tersebut adalah 1 Bq/gram untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium, atau 10 Bq/gram untuk potasium. Radionuklida dalam sampel terak timah 2 yang melampaui kriteria tersebut adalah ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th dengan konsentrasi aktivitas berturut-turut sebesar 5,724 Bq/gram, 16,590 Bq/gram, dan 14,29 Bq/gram.

Agregat halus dan terak timah 2 dilakukan serangkaian pengujian untuk memperoleh gambaran sifat dan karakteristik materialnya. Pengujian dilakukan dengan mengacu pada SNI dan ASTM yang berlaku untuk masing-masing parameternya. Pada Tabel 2 berikut merupakan hasil pengujian untuk setiap parameter.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus dan Terak Timah 2

No.	Parameter	Hasil Pengujian		Standar Pengujian
		Agregat Halus	Terak Timah 2	
12.	Kadar Lumpur (saringan No. 200)	6,60%	4,29%	SNI-03-4142-1996 [29], ASTM C117 [30]
13.	Kadar Organik	Jernih	Jernih	SNI-03-2816-2014 [31], ASTM C40 [32]
14.	Berat jenis kering permukaan jenuh	0%	5%	SNI-1970-2008 [33], ASTM C128 [34]
15.	Penyerapan	6,046%	0,04%	SNI-1970-2008 [33], ASTM C128
16.	Analisa Saringan	Gradasi pasir di luar dari zona I – IV	Gradasi zona I, ukuran butir kasar	SNI-03-1968-1990, SNI-03-2834-2000 [35], ASTM C33 [36]
17.	Modulus Halus Butir	1,80	3,37	SNI-03-1968-1990, SNI-03-2834-2000 [35], ASTM C33 [36]

Terdapat 2 parameter sebagaimana tertuang dalam Tabel 2 yang perlu menjadi perhatian yaitu kadar lumpur dan modulus halus butir. Agregat halus memiliki kadar lumpur sebesar 6,6%. Kadar lumpur ini dapat diketahui berdasarkan pada metode pencucian menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm). Material halus seperti partikel tanah liat, serpihan, atau partikel yang larut dalam air dapat dihilangkan dengan cara dicuci. Nilai kadar lumpur dalam agregat halus ini melebihi kriteria keberterimaan 5%. Dengan demikian agregat halus ini harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan penyusun mortar. Kandungan lumpur dapat mempengaruhi ikatan semen dan agregat dalam mortar.

Kemudian dari parameter analisa saringan menunjukkan bahwa agregat halus memiliki tingkat kehalusan butir yang sangat kecil. Jika mengacu pada SNI-03-2834-2000 yang mana membagi gradasi agregat halus ke dalam 4 zona. Sedangkan jika mengacu pada ASTM C33, hanya menggunakan 1 nilai tunggal tanpa dibagi dalam 4 zona. Agregat halus yang digunakan berasal dari Rangkas Bitung ini memiliki ukuran butir yang sangat halus.

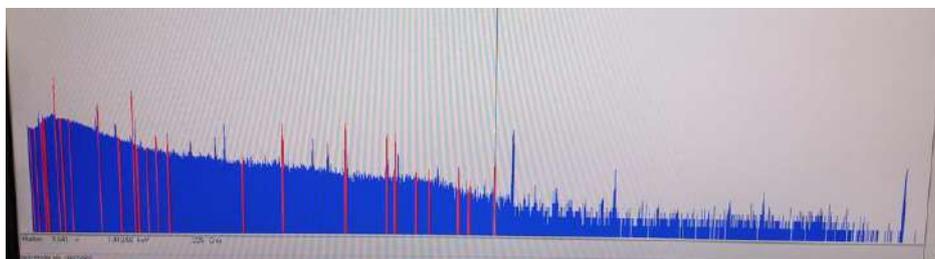
Dari parameter modulus halus butir mengacu pada ASTM C33 tidak boleh kurang dari 2,3 atau lebih dari 3,1. Dari hasil pengujian baik agregat halus dan terak timah 2 seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 2 memiliki nilai di luar rentang dari kriteria dalam ASTM C33. Nilai modulus halus butir ini akan memberikan pengaruh terhadap kualitas dari mortar yang akan dibuat nanti.

2. Kalibrasi Efisiensi dengan Sumber ^{152}Eu

Sebelum melakukan pengujian terhadap sampel larutan lindi mortar – terak timah 2, perlu dilakukan kalibrasi efisiensi dengan menggunakan sumber standar ^{152}Eu . Sumber standar ^{152}Eu memiliki beberapa puncak dan tepat digunakan sebagai standar. Pada Gambar 2 berikut merupakan contoh spektrum energi dari radionuklida standar ^{152}Eu yang memiliki beberapa puncak. Parameter aktivitas, waktu paruh, dan tanggal kalibrasi terdapat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Profil Sumber Standar ^{152}Eu

No.	Parameter	Keterangan
1.	Energi	121,8 – 1408 keV
2.	Waktu paruh	13,33 tahun
3.	Aktivitas	2100 Bq
4.	Aktivitas per tanggal kalibrasi	13 September 2000
5.	Tanggal pengukuran	30 Maret 2022
6.	Jarak waktu pengukuran (t)	7868 hari
7.	Aktivitas pada tanggal pengukuran	684,734 Bq



Gambar 2. Spektrum Sumber Standar ^{152}Eu

Dalam sistem spektroskopi, terdapat parameter seperti efisiensi yang berpengaruh terhadap pengukuran. Setiap jenis detektor seperti isian gas, sintilasi, dan semikonduktor memiliki karakteristik efisiensi yang berbeda-beda. Efisiensi adalah hubungan antara laju cacah (cps) terhadap aktivitas (Bq) dan probabilitas pemancaran radiasi (*yield* dalam %) dari sumber standar tersebut [37, 38, 39, 40, 41, 42]. Hasil spektrum yang terbaca dari pengukuran sumber standar ^{152}Eu ditampilkan dalam Tabel 4 di bawah. Dalam rangka kemudahan interpretasi hasil pengukuran, kemudian dibuat grafik kurva kalibrasi hubungan antara energi puncak dan efisiensi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.

$$\varepsilon = \frac{Rs}{A_{st} \times p}$$

ε = efisiensi (%)

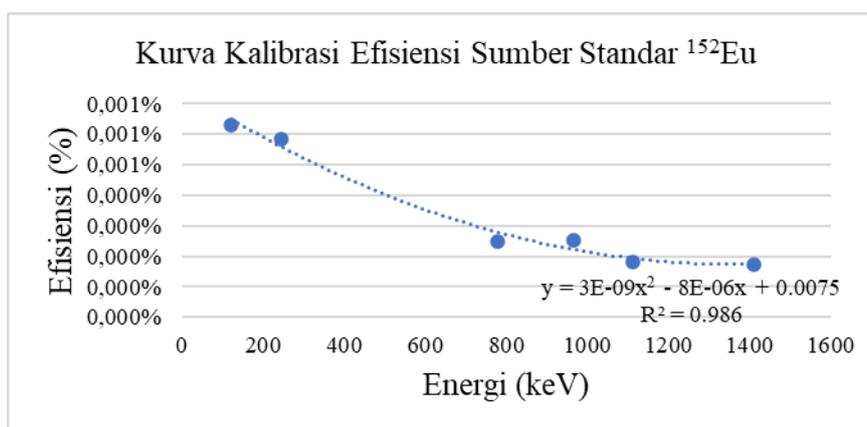
R_s = laju cacah (cacah per detik/cps)

A_{st} = aktivitas sumber standar pada saat pengukuran dilakukan (Bq)

p = probabilitas pemancaran radiasi/ *yield* (%)

Tabel 4. Hasil Pengukuran Sumber Standar ^{152}Eu dan Efisiensinya

Energi	Net Area	Net Count Rate (cps)	Kelimpahan (%)	Aktivitas (Bq)	Efisiensi
122,33	7359	1,23	28,40%	684,734	0,633%
245,36	1820	0,3	7,49%	684,734	0,585%
780,32	1323	0,22	12,96%	684,734	0,248%
965,35	1985	0,25	14,34%	684,734	0,255%
1113,58	1026	0,17	13,55%	684,734	0,183%
1409,8	1975	0,25	20,87%	684,734	0,175%

Gambar 3. Kurva Kalibrasi Efisiensi Sumber Standar ^{152}Eu

3. Pelindian Mortar – Terak Timah 2

Mortar – terak timah 2 yang di uji lindi terdiri dari 4 variasi sampel penambahan terak timah 2 yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pada Gambar 4 berikut merupakan contoh sampel motar pada variasi 20% yang siap untuk di rendam sebagai bagian dari simulasi pelindian. Terdapat beberapa batasan yaitu air yang digunakan dalam simulasi pelindian merupakan air yang berasal dari Kawasan Nuklir Serpong dan tidak dilakukan pengecekan terhadap nilai keasaman air (pH).



Gambar 4. Perendaman Mortar dalam Rangka Simulasi Pelindian

Pengukuran air lindi dari simulasi pelindian mortar – terak timah 2 dengan spektrometer gamma dilakukan untuk mendeteksi radionuklida anak luruh dari uranium dan thorium seperti ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , dan ^{40}K . Hal ini dapat dilakukan dengan dengan asumsi telah terjadi kesetimbangan sekuler pada sampel lindi tersebut. Radionuklida anak luruh dari ^{238}U yang diukur seperti ^{226}Ra , ^{214}Bi , dan ^{214}Pb . Kemudian radionuklida anak luruh dari ^{232}Th yang diukur seperti ^{228}Ac , ^{212}Bi , ^{212}Pb . Sedangkan ^{40}K didapatkan langsung dari hasil pencacahan [40, 42, 43]. Radionuklida ^{228}Th juga

merupakan bagian dari deret ^{232}Th yang menghasilkan radionuklida anak luruh seperti ^{208}Tl dan ^{212}Bi [42, 44]. Harb et al. (2008) bahkan menggunakan lima puncak dari radionuklida ^{228}Ac yaitu 338,32 keV, 463,1 keV, 911,02 keV, dan 968,67 keV untuk mendapatkan nilai ^{228}Ra .

Beberapa radionuklida yang diamati adalah ^{226}Ra ditentukan dari anak luruhnya, yaitu ^{214}Bi pada puncak energi 609,31 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 44,8% dan ^{214}Pb pada puncak energi 351,92 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 35,8%. Radionuklida ^{232}Th ditentukan dari anak luruhnya, yaitu ^{228}Ac pada puncak energi 911,21 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 26,6% dan ^{212}Pb pada puncak energi 238,63 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 43,30%. Radionuklida ^{228}Ra juga dapat ditentukan dari anak luruhnya, yaitu ^{208}Tl pada puncak energi 583,96 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 84,5%. Radionuklida ^{40}K ditentukan secara langsung pada energi 1461 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 10,67%.

Secara teori diperlukan pemeraman dan perlakuan lain seperti menutup rapat benda uji sehingga didapatkan kondisi telah terjadi kesetimbangan sekuler pada benda uji. Radionuklida induk memiliki waktu paruh yang jauh lebih panjang daripada waktu paruh radionuklida anak, sehingga ketika terjadi kesetimbangan sekuler akan didapatkan konsentrasi aktivitas anak luruh sama dengan radionuklida induk. Hal inilah yang memberikan tantangan dalam merepresentasikan kondisi teori dan keadaan yang ingin diamati dalam uji lindi. Kondisi yang ingin diamati adalah proses pelindian mortar – terak timah 2 dalam air. Mortar direndam dalam air dalam kurun waktu tertentu atau sampai waktu proses pencacahan. Pencacahan pelindian dilakukan secara kontinu tanpa pengambilan cuplikan dalam kurun waktu tertentu. Hal ini untuk melihat akumulasi banyaknya radionuklida yang bakal terlarut dari matriks mortar – terak timah 2. Sehingga media air lindi ini terus digunakan sebagai media secara terus menerus dan kontinyu dalam perendaman mortar. Sedangkan kontrol dalam proses untuk mencapai kesetimbangan sekuler antara radionuklida induk dan anak adalah masa waktu tunggu minimal adalah empat pekan dan wadah benda uji dalam keadaan tertutup rapat. Wadah toples yang digunakan dalam simulasi pelindian juga dalam posisi tertutup rapat. Hanya saja, setiap kurun waktu air lindi akan dicacah dengan menggunakan spektrometer gamma, air lindi tersebut dipindahkan dalam wadah lain. Hal ini merupakan salah satu tantangan dari segi kontrol terhadap waktu dan operasional pelaksanaan pengujian.

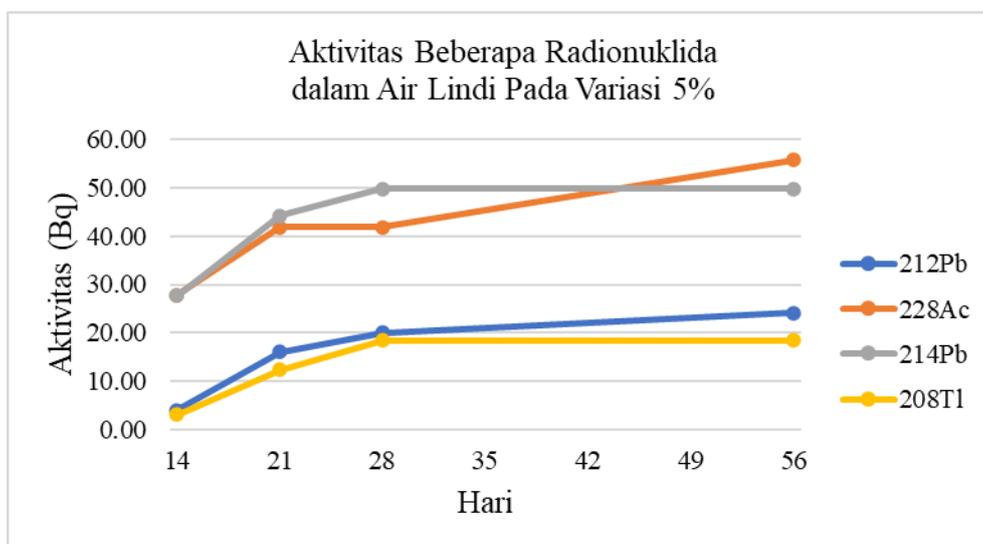
Dari hasil pengukuran dengan menggunakan spektrometer gamma, radionuklida ^{214}Bi tidak nampak dalam spektrum yang dihasilkan. Radionuklida ^{214}Bi berada pada energi 609,31 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 44,8%. Pada energi ini saling berdekatan dengan radionuklida lain yaitu ^{103}Ru yang berada pada energi 610,33 keV dengan kelimpahan/*yield* (%) sebesar 5,76%. Selama masa pengujian yaitu pada hari ke- 7, 14, 28, dan 56, radionuklida ^{214}Bi hanya terbaca 1 (satu) kali pada pengujian hari ke- 28 yang terbaca pada semua variasi penambahan terak timah 2 5%, 10%, 15%, dan 20%. Sedangkan radionuklida ^{103}Ru hampir disemua waktu pengujian.

Pada Tabel 5 berikut merupakan aktivitas dari beberapa radionuklida yang terbaca dalam air lindi mortar – terak timah 2. Sedangkan Gambar 5 merupakan salah satu contoh intepretasi dari Tabel 5 dalam grafik. Penulis melakukan simulasi pelindian untuk semua variasi penambahan terak timah 2 yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengukuran pelindian dilakukan pada hari ke- 14, 21, 28, dan 56.

Tabel 5. Aktivitas Air Lindi Mortar – Terak Timah 2

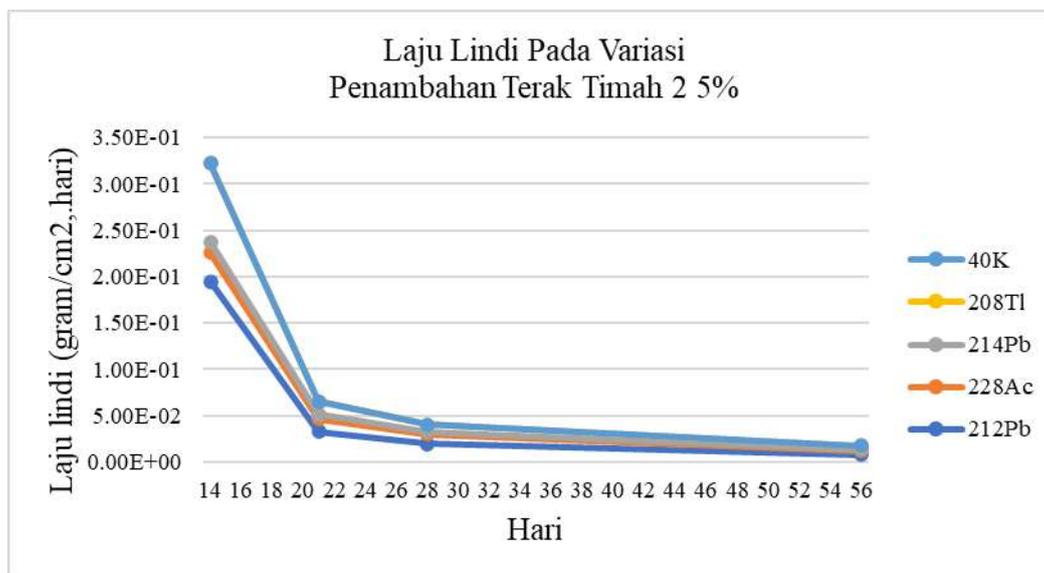
Variasi Penambahan Terak Timah 2	Radionuklida	Aktivitas (Bq) Pada Hari ke-			
		14	21	28	56
5%	^{212}Pb	4,01	16,05	20,07	24,06
	^{228}Ac	27,87	41,81	41,85	55,77
	^{214}Pb	27,65	44,24	49,80	49,75
	^{208}Tl	3,07	12,29	18,44	18,43
	^{40}K	887,85	1.183,96	1.184,16	1.182,93
10%	^{212}Pb	12,03	24,07	24,07	28,07
	^{228}Ac	27,89	41,82	69,74	83,73

Variasi Penambahan Terak Timah 2	Radionuklida	Aktivitas (Bq) Pada Hari ke-				
		14	21	28	56	
15%	^{214}Pb	38,70	49,76	55,32	77,45	
	^{208}Tl	9,22	15,37	18,44	18,44	
	^{40}K	1.014,50	1.098,98	1.226,39	1.226,39	
	^{212}Pb	20,06	28,07	32,08	36,12	
	^{228}Ac	69,71	55,74	69,62	83,71	
	^{214}Pb	44,23	49,76	66,31	66,40	
	^{208}Tl	15,37	15,37	18,42	24,62	
	^{40}K	1.183,52	1.098,99	1.184,21	1.267,20	
	20%	^{212}Pb	24,07	52,14	48,11	52,16
		^{228}Ac	83,63	83,64	97,45	111,60
^{214}Pb		49,76	66,35	77,38	94,07	
^{208}Tl		15,37	18,45	21,50	21,53	
^{40}K		1.225,52	1.098,92	1.268,70	1.309,46	



Gambar 5. Perendaman Mortar dalam Rangka Simulasi Pelindian

Dari Tabel 5 dan Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa tampak jelas dalam larutan air lindi perendaman mortar – terak timah 2 mengandung radionuklida anak luruh dari uranium dan thorium dan potasium. Dalam satu tren variasi komposisi penambahan terak timah 2, semakin lama waktu pelindian, maka semakin besar aktivitas terukur dalam larutan lindi berturut-turut dari terkecil ke terbesar adalah pengukuran hari ke 14, 21, 28, dan 56. Begitu halnya semakin banyak penambahan terak timah 2, semakin tinggi pula aktivitas yang terukur. Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa berturut-turut aktivitas terukur dalam larutan lindi mulai dari terkecil ke terbesar adalah variasi komposisi 5%, 10%, 15%, dan 20%.



Gambar 6. Laju Lindi Pada Variasi Penambahan Terak Timah 2 5%

Setelah kita mendapatkan nilai aktivitas terukur dari dari larutan lindi, kita dapat membuat grafik hubungan antara laju lindi dengan jangka waktu pengukuran. Pada Gambar 6 merupakan contoh laju lindi dari mortar – terak timah 2 variasi 5%. Dari Gambar 6 terlihat bahwa laju lindi ($\text{gram}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$) pada waktu awal pelindian lebih tinggi dan dengan bertambahnya waktu maka kecepatan pelindian akan semakin menurun. Kecenderungan ini juga berlaku pada sampel mortar dengan variasi penambahan terak timah 2 sebesar 10%,15%, dan 20%. Kemungkinan hal tersebut diakibatkan oleh konsentrasi terak timah 2 yang ada pada permukaan benda uji. Permukaan mortar merupakan lapisan awal yang berinteraksi ketika mortar bertemu dengan air sebagai media lindi. Terak timah 2 yang telah tercampur dalam matriks mortar dan berada pada permukaan/ tidak jauh dari permukaan mortar, ketika air lindi berinteraksi otomatis menyebabkan kontak secara langsung dengan air lindi atau interaksi melalui pori mortar yang terjangkau oleh air lindi. Pada variasi penambahan terak timah 2 sebesar 10%, 15%, dan 20% juga memiliki tren yang sama dengan variasi penambahan 5%.

Salah satu yang menjadi tantangan dalam penelitian ini adalah konsep kesetimbangan sekuler pada umumnya. Dalam mencapai kesetimbangan sekuler antara radionuklida induk dan anak, perlu kontrol terhadap waktu pemeraman dan upaya untuk meminimalisasi terjadinya lepasan radioaktif anak luruh dari uranium dan thorium seperti dengan cara menutup rapat botol benda uji yang digunakan. Dalam proses pelindian ini, praktis upaya untuk meminimalisasi tersebut tidak ada karena dalam kurun waktu 7 hari sampel mortar – terak timah 2 akan dikeluarkan dari tempat lindi untuk dilakukan pengukuran. Sehingga secara prinsipnya, hanya dapat mengetahui bahwa memang ada lepasan dari terak timah 2 yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan mortar. Hanya saja memang perlu perbaikan dan peningkatan metodologi misalnya dari aspek desain dari metode pengukuran air lindi pada penelitian yang akan datang.

Praktik pengelolaan MIR saat ini memang masih terbatas pada penyimpanan. Dari aspek material terak timah 2 dapat digunakan sebagai contoh dalam substitusi agregat halus pembuatan mortar atau beton. Hanya saja dengan simulasi ini menunjukkan bahwa terak timah 2 yang dalam kondisi terimobilisasi dan menjadi satu matriks dengan mortar tetap memiliki potensi terjadinya lepasan radionuklida ke lingkungan dalam hal ini melalui media air. Sehingga dengan kondisi MIR yang tersimpan pada tempat tertentu bahkan dengan kondisi tempat terbuka, pertimbangan terhadap pengendalian dan pemantauan lepasan ke lingkungan harus menjadi perhatian bersama.

Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian terhadap pelindian mortar dengan menggunakan terak timah 2 sebagai substitusi parsial terhadap agregat halus. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas dari terak timah 2 didapatkan beberapa radionuklida seperti ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{228}Th melebihi nilai 1 Bq/gram yaitu sebesar 5,724 Bq/gram, 16,590 Bq/gram, dan 14,29 Bq/gram. Hasil pengujian agregat halus dan terak timah 2 terhadap beberapa parameter menunjukkan kesesuaian dengan SNI dan ASTM yang berlaku

untuk setiap parameter. Hanya saja nilai modulus halus butir agregat halus dan terak timah 2 memiliki nilai di luar dari rentang kriteria untuk digunakan sebagai bahan penyusun sesuai dengan standar. Pembuatan mortar dengan substitusi terak timah 2 terhadap agregat halus divariasikan dari 0 – 20%. Sampel mortar – terak timah 2 kemudian dilakukan simulasi pelindian dilakukan pengukuran dengan menggunakan spektrometer gamma dilakukan untuk mendeteksi lepasan radionuklida dari matriks mortar – terak timah 2. Pengukuran dilakukan pada hari ke- 14, 21, 28, dan 56. Beberapa radionuklida yang diamati seperti ^{212}Pb , ^{228}Ac , ^{214}Pb , ^{208}Tl , dan ^{40}K . Hasil pelindian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelindian (dengan batasan waktu 14 – 56 hari), maka semakin besar aktivitas yang terukur. Berbanding dengan laju lindi, semakin lama waktu pelindian, maka laju lindi akan semakin kecil. Dengan demikian penggunaan terak timah 2 sebagai substitusi parsial agregat halus dalam pembuatan mortar dapat digunakan tetapi harus dipertimbangkan bahwa terjadi lepasan radionuklida dari matriks mortar-terak timah 2 dengan nilai tertentu. Sehingga dari aspek radiologi harus dipertimbangkan kembali proyeksi penggunaan terak timah 2 sebagai substitusi parsial ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Sariwiguna Bina Sentosa, beberapa rekan kerja di BAPETEN dan BRIN atas diskusi dan sarannya pada saat pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. J. Suprpto, "Tinjauan Tailing Sebagai Sumber Daya," Buletin Sumber Daya Geologi, vol. 2, no. 3, 2007.
- [2] Ronaldo Izron, Purnama Sendjaja, Kurnia. Imtihanah, dan Joko Subandrio, "Kandungan Rare Earth Elements dalam Tailing Tambang Timah di Pulau Singkep," Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, vol. 15, no. 3, pp. 143-151, Agustus 2014.
- [3] Fajar Indah Puspita Sari dan Delita Ega Andini, "Identifikasi Mineral pada Tailing Tambang Timah Lepas Pantai di Perairan Pulau Bangka," in Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat, Pangkal Pinang, 2019.
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Safety Report Series 49: Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials," Vienna, 2006.
- [5] M. Alfian, "Penggunaan Perangkat Lunak RESRAD-OFFSITE untuk Memperkirakan Resiko Radiologik Suatu Fasilitas Landfill Slag Timah," Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2011 (Semantik 2011), 2011.
- [6] Yayat Iman Supriyatna, Bening NH Kambuna, Kurnia Trinopiawan, dan Panggi Aditya Putra, "Ekstraksi Zirkonium dari Terak Peleburan Timah Menggunakan Tungku Busur Listrik," in Seminar Geologi Nuklir dan Sumber Daya Tambang Tahun 2019, Jakarta, 2019.
- [7] Kementerian ESDM, "Peraturan Menteri ESDM No. 5 Tahun 2017 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri," Jakarta, 2017.
- [8] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Management of NORM Residues (TecDoc 1712)," IAEA, Vienna, 2013.
- [9] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif," Kementerian Sekretariat Negara, Jakarta, 2007.
- [10] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3)," IAEA, Vienna, 2014.
- [11] International Atomic Energy Agency (IAEA), Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities (SSG-60), Vienna: IAEA, 2021.
- [12] Ariyo Suharyanto, Eko Sulistiyono, F. Firdiyono, "Pelarutan Terak Timah Bangka Menggunakan Larutan NaOH," Metalurgi, vol. 29, no. 3, Desember 2014.
- [13] Syarbaini, Dadong Iskandar, Kusdiana Kusdiana, "Perkiraan Dosis Radiasi yang Diterima Publik di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung," Jurnal Ekologi Kesehatan, vol. 14, no. 4, pp. 318-333, 2015.
- [14] Kementerian ESDM, "Potensi Investasi Timah di Indonesia," Kementerian ESDM, Jakarta, 2020.

- [15] M. Omar, M. S. Hamzah, and A. K. Wood, "Radioactive Disequilibrium and Total Activity Concentration of NORM Waste," *J NUCL. & Rel. TECH*, vol. 5, no. 2, pp. 47-56, December 2008.
- [16] Liya Astuti dan Nurhadiansyah, "Kajian Regulasi untuk Pedoman Keselamatan Radiasi TENORM pada Industri Pertambangan Timah di Indonesia," in *Seminar Keselamatan Nuklir 2018*, Malang, 2018.
- [17] O. Gunawan, E. Pudjadi, M. Musbach, and Wahyudi, "Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) Analysis of Bangka Tin Slag," *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-7, 2019.
- [18] Hermawan Puji Yuwana, Mochamad Adhiraga Pratama, Nuraziz Handika, and Sugeng Purnono, "Tin Slag 2 Waste Utilisation as Fine Aggregate Substituent on Mortar: Characteristics and Compressive Strength," in *The 7th International Engineering Students Conference (IESC)*, Depok, 2022.
- [19] Eko Sulistiyono, F. Firdiyono, dan Ariyo Suharyanto, "Proses Pelarutan Asam Sulfat dan Asam Klorida terhadap Hasil Reduksi Terak Timah," *Metalurgi*, vol. 29, no. 3, 2014.
- [20] J. W. Soedarsono, S. Permana, J. K. Hutauruk, R. Adhyputra, A. Rustandi, A. Maksum, K. S. Widana, K. Trinopiawan, and M. Anggraini, "Upgrading Tantalum and Niobium Oxides Content in Bangka Tin Slag With Double Leaching," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 316, pp. 1-9, 2018.
- [21] S. Permana, J. W. Soedarsono, A. Rustandi, and A. Maksum, "Other Oxides Pre-removed from Bangka Tin Slag to Produce a High Grade Tantalum and Niobium Oxides Concentrate," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 131, pp. 1-10, 2016.
- [22] S. Permana, J.W. Soedarsono, A. Rustandi, A. Maksum, K.S. Widana, K. Trinopiawan, and M. Anggraini, "The Enhancement of Uranium and Thorium in Bangka Tin Slag," *Atom Indonesia*, vol. 44, no. 1, pp. 37-42, 2018.
- [23] E. Prasetyo, Y. I. Supriyatna, F. Bahfie, K. Trinopiawan, "Extraction of Thorium From Tin Slag Using Acidic Roasting and Leaching Method," in *Proceedings of the 3rd International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM2019)*, 2020.
- [24] Andi Rustandi, Agung Cahyadi, Sonia Taruli Siallagan, Fuad Wafa' Nawawi, Yudha Pratesa, "Corrosion Behavior of Carbon Steel in Concrete Material Composed of Tin Slag Waste in Aqueous Chloride Solution," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 299, pp. 1-7, 2018.
- [25] Irma T. Aryani, Rini Riastuti, Muhammad Ibnu, Afif Shidqi, "The Study of the Effect of Final Tin Slag as Partial Substitution in Portland based Concrete towards Corrosion Resistance of Reinforcement Steel against Chloride Environment with Linear Polarization Method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 553, pp. 1-9, 2018.
- [26] R Riastuti, A Cahyadi, Y Pratesa, and S T Siallagan, "The study of corrosion resistance of reinforcement steel embedded in concrete composed of commercial Portland cement and final tin slag against chloride environment," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 431, pp. 1-7, 2018.
- [27] Melita dan Indra Gunawan, "Pengaruh Penggunaan Limbah Pengolahan Timah (Tin Slag) Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton," *Fropil*, vol. 3, pp. 41-51, 2015.
- [28] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Naturally Occurring Radioactive Material (Proceedings VI)," IAEA, Vienna, 2010.
- [29] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "SNI-03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)," Jakarta, 1996.
- [30] ASTM International, "ASTM C117 Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing," West Conshohocken.
- [31] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "SNI-2816-2014 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton," Jakarta, 2014.
- [32] ASTM International, "ASTM C40 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete," West Conshohocken.
- [33] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "SNI-1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus," Jakarta, 2008.
- [34] ASTM International, "ASTM C128 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate," West Conshohocken.

- [35] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal," Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta, 2000.
- [36] ASTM International, "ASTM C33 tentang Standard Specification for Concrete Aggregates," West Conshohocken.
- [37] Hermawan Candra, Gatot Wurdianto, dan Holnisar, "Pembuatan Sumber Standar Pemancar Gamma CAMPuran C137-Co60 untuk Kalibrasi Spektrometer Gamma," in Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 2018.
- [38] Miftahul Aziz, Eko Hidayanto, Diah Dwiana Lestari, "Penentuan Aktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs pada Sampel Unknown dengan Menggunakan Detektor HPGe," *Youngster Physics Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 189-196, April 2015.
- [39] Ratnawati & Iman, "Uji Akurasi Alat Pencacah Spektrometer Gamma dengan Menggunakan Sumber Standar," in Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir PRSG Tahun 2015, Jakarta, 2015.
- [40] Rasito, Zulfakhri, Rini H. Oetami, Cayadi, Zaenal Arifin, dan Soleh Sofyan, "Konsentrasi Uranium, Thorium, dan Kalium dalam Produk Pasir yang Dipasarkan di Bandung," in Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir III, Jakarta, 2008.
- [41] Wijono & Rosdiani, "Kalibrasi energi dan efisiensi Detektor HPGe Model GC1018 pada Rentang Energi 121 sampai 1408 keV dengan Sumber Standar Eu-152 LMRI," in Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Teknis Non Peneliti, 2006.
- [42] Wahyudi & Wiyono, "Penentuan Konsentrasi ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{40}K dalam Sampel NORM pada Industri Minyak dan Gas Alam di Indonesia," in Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Teknis Non Peneliti 19 Desember 2006, 2006.
- [43] S. Harb, A. H. El-Kamel, A. I. Abd El-Mageed, A. Abbady, and Wafaa Rashed, "Concentration of U-238, U-235, Ra-226, Th-232 and K-40 for Some Granite Samples in Eastern Desert of Egypt," in Proceedings of the 3rd Environmental Physics Conference, Aswan, Egypt, 2008.
- [44] Jozsef Zsigrai, Tam Cong Nguyen, Andrey Berlizov, "Gamma-spectrometric determination of ^{232}U in uranium-bearing materials," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol. 359, pp. 137-144, August 2015



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Karakteristik Garpu Batang Kendali Reaktor RSG-GAS Pasca Penggantian Pertama

Herdi Affrizal¹, Tantri Prasetyani¹

¹Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN, Serpong

Korespondensi penulis:

herd004@brin.go.id

tant005@brin.go.id

Abstrak

RSG-GAS telah melalui masa pengoperasian yang panjang dimulai dari kritis tahun 1987 hingga saat ini, bahkan izin pengoperasiannya kini telah diperpanjang sampai tahun 2030. Sistem kendali serta keselamatan berperan penting dalam berlangsungnya pengoperasian reaktor sesuai dengan jadwal operasi yang telah disusun. Salah satu bagian penting dari sistem kendali serta keselamatan dalam kegiatan *start-up*, menaikkan - menurunkan - mempertahankan daya reaktor pada pengoperasian reaktor, yaitu garpu penyerap. Saat ini total energi terbangkitkan hingga Teras 106 setelah penggantian pertama garpu penyerap pada Teras 61 telah mencapai 29.427,4420 MWD. Setelah digunakan bertahun-tahun, garpu penyerap tersebut perlu di evaluasi kinerjanya. Evaluasi dapat dilakukan melalui perhitungan waktu jatuh batang kendali serta reaktivitas teras kerja RSG-GAS. Berdasarkan perhitungan waktu jatuh batang kendali masih memenuhi persyaratan dibawah 470 ms. Sementara reaktivitas total teras kerja sejak pergantian garpu penyerap pertama mengalami penurunan 6,94% begitu juga dengan nilai reaktivitas lebih mengalami penurunan sebesar 12,94%. Namun secara keseluruhan hasil evaluasi kinerja garpu penyerap bahan bakar dalam kondisi baik dengan nilai *margin* reaktivitas padam stabil di atas persyaratan -0,5% dan dapat digunakan untuk mendukung operasi reaktor sampai dengan izin pengoperasian reaktor berakhir di tahun 2030.

Kata Kunci: waktu jatuh batang kendali, garpu penyerap, reaktivitas, RSG-GAS

Abstract

RSG-GAS has gone through a long period of operation starting from the critical period in 1987 until now, even its operating permit has now been extended until 2030. Control and safety systems play an important role in the ongoing operation of the reactor according to the operating schedule that has been prepared. One of the important parts of the control and safety system in *start-up* activities, increasing-lowering-maintaining reactor the reactor power during reactor operation is the absorber forks. Currently, the total energy generated up to cycle 106 after the first replacement of the absorber fork on cycle 61 has reached 29.427,4420 MWD. After years of use, those absorber forks need to be evaluated for performance. Evaluation can be done by calculating the rod drop time and the reactivity of the RSG-GAS working core. Based on the calculation of the control rod drop time, it still meets the requirements below 470 ms. While the total reactivity of the working core since the replacement of the first absorbent fork has decreased by 6.94% as well as the value of core excess reactivity which has decreased by 12.94%. However, overall the results of the evaluation of the performance of the absorbers fork are in good condition with the value of the shutdown margin reactivity being stable above the requirement of -0.5% and can be used to support reactor operation until the reactor operating permit expires in 2030.

Keywords: rod drop time, absorbers fork, reactivity, RSG-GAS

Pendahuluan

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) telah beroperasi selama 36 tahun mulai dari kritis tahun 1987. Keselamatan selama proses pengoperasian menjadi faktor penting keberlangsungan operasi pada reaktor RSG-GAS, bahkan saat ini izin pengopersiannya telah diperpanjang hingga tahun 2030. Dijelaskan bahwa reaktivitas serta perubahan reaktivitas memegang peranan penting dalam fisika reaktor, keselamatan dan daur bahan bakar, karena besaran ini mempengaruhi desain, kendali dan jadwal operasi [1]. Untuk menganalisis reaktivitas dilakukan dalam bentuk neraca/kesetimbangan yang berasal dari hasil pengukuran kalibrasi batang kendali yang bersifat statis. Bahan bakar kendali digunakan pada reaktor RSG-GAS didasarkan pada teknologi MTR yang terdiri dari dua pelat samping serta 21 pelat elemen bakar. Sementara pada bahan bakar kendali dirancang untuk dapat disisipi penyerap jenis-garpu. Perangkat penyerap terdiri atas dua bilah Ag-In-Cd yang diberi lapisan baja tahan karat [2]. Dalam menjaga keselamatan selama reaktor beroperasi terdapat sistem kendali yang berfungsi untuk mengendalikan fluks neutron di reaktor dengan gerakan perangkat penyerap pada arah vertikal ke dalam dan ke luar bahan bakar untuk mengatur reaktivitas teras reaktor.

Pada awal reaktor RSG-GAS beroperasi, digunakan delapan garpu penyerap. Saat ini kedelapan garpu tersebut sudah mengalami pergantian dimulai pada Teras ke 61 pada tahun 2007. Dijelaskan bahwa pada penggantian garpu penyerap tipe garpu akan diganti apabila penyerap garpu tersebut telah digunakan dengan total energi 46.000 MWD serta aspek lainnya seperti hasil uji kalibrasi batang kendali telah menunjukkan nilai *shutdown margin* pada kondisi *stuck rod* $\leq -0,5\%$, dan waktu jatuh maksimal suatu penyerap tidak boleh melebihi 0,47 detik (470 ms) serta sifat mekaniknya mengalami kerusakan [3].

Jumlah energi total yang dibangkitkan dari awal Teras ke-1 hingga Teras ke-106 Reaktor RSG-GAS telah mencapai 66.004,4748 MWD. Dalam menjaga keberlangsungan pengoperasian reaktor RSG-GAS sesuai dengan izin operasi yang telah diberikan maka perlu kembali dievaluasi kinerja garpu penyerap. Evaluasi terhadap garpu penyerap dapat dilakukan dengan mengamati nilai reaktivitas pada kegiatan kalibrasi batang kendali di awal teras serta nilai waktu jatuh batang kendali dengan harapan setelah kegiatan evaluasi ini dapat diperoleh masukan dan data dukung dalam rangka mengoptimalkan pemakaian garpu penyerap tanpa mengabaikan persyaratan keselamatan.

Metodologi

1. Waktu Jatuh Batang Kendali

Waktu jatuh batang kendali merupakan bagian dari sistem kendali dan sistem keselamatan reaktor yang harus diukur setelah pelaksanaan pemuatan ulang teras sebelum reaktor dioperasikan kembali. Pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan dengan tujuan untuk menjamin bahwa waktu jatuh batang kendali tidak melebihi batas yang dapat menyebabkan penyimpangan daya reaktor pada kasus kecelakaan insersi reaktivitas [4]. Contohnya pada kasus kecelakaan insersi reaktivitas pada transien reaktivitas daya rendah, kecelakaan tersebut memberikan reaktivitas positif, sebagai akibatnya maka daya akan naik secara cepat hingga reaktor dibuat *scram* maka apabila waktu jatuh batang kendali melebihi batas penyimpangan daya yang terjadi semakin jauh. Nilai waktu jatuh batang kendali akan menunjukkan angka yang lebih besar ($> 0,47$ detik) jika batang penyerap telah mengalami pembengkakan/penggembungan, selain itu bisa juga disebabkan saat fabrikasi pengelasan sambungan-sambungan kurang halus, dan atau saat penyambungan dengan kontrol elemen terpasang tidak presisi [5].

2. Reaktivitas Teras Reaktor Nuklir

Reaktivitas adalah besaran faktor multiplikasi menyimpang dari kondisi kritis pada suatu reaktor nuklir. Nilai reaktivitas menjadi suatu parameter yang menunjukkan keadaan kestabilan atau ketidakstabilan suatu reaktor. Faktor multiplikasi adalah suatu faktor yang merepresentasikan besarnya jumlah neutron saat ini dalam reaktor per jumlah neutron sebelumnya dalam reaktor [6]. Nilai reaktivitas total reaktor juga dipengaruhi oleh reaktivitas bahan bakar, reaktivitas produk fisi, serta reaktivitas karena pengaruh temperatur akibat efek Doppler. Pada setiap operasi awal teras baru reaktor RSG-GAS selalu dilakukan kalibrasi batang kendali untuk menghitung neraca reaktivitas.

Berdasarkan perhitungan neraca reaktivitas teras reaktor RSG-GAS tersebut dapat diperoleh reaktivitas total batang kendali, reaktivitas padam, reaktivitas lebih teras dan reaktivitas pada kondisi *stuck rod*.

3. Reaktivitas Lebih Teras

Reaktivitas lebih teras adalah reaktivitas teras yang ada pada saat elemen kendali diangkat semua ke atas (*fully up*). Reaktivitas lebih teras diperlukan seperti bahan bakar dalam pengoperasian untuk satu siklus operasi. Nilai reaktivitas lebih tergantung pada waktu (perubahan fraksi bakar) dan temperatur (umpan balik reaktivitas). Selama satu siklus operasi, teras harus dapat memberikan reaktivitas lebih yang berguna untuk beroperasinya reaktor dalam keadaan kritis. Nilai reaktivitas lebih yang semakin besar akan memberikan umur teras yang lebih lama, tetapi perlu dijaga agar tidak terlalu besar sehingga batang kendali mampu mengatur reaktivitas di dalam teras reaktor. Jika reaktivitas lebih teras terlalu besar maka hal ini akan berbahaya karena batang kendali tidak mampu digunakan untuk mengatur reaktivitas teras.

Pada Tabel 1. kriteria desain teras RSG-GAS, reaktivitas batang kendali total 14,58% dan reaktivitas lebih teras saat awal teras sebesar 7,7%. Jika terjadi *stuck rod*, yaitu satu batang kendali dengan reaktivitas terbesar macet atau tidak dapat difungsikan sebagai alat memadamkan reaktor, maka reaktor masih dapat selamat dengan menurunkan dengan cepat (*scram*) ketujuh batang kendali. Desain reaktivitas *shutdown margin for one stuck rod criteria* adalah sekitar -0,5%.

4. Reaktivitas Padam (*shutdown margin*)

Reaktivitas padam merupakan reaktivitas negatif saat seluruh batang kendali berada pada posisi terbawah. Reaktivitas padam merupakan fungsi waktu dan temperatur. Misalnya, reaktivitas padam pada keadaan teras dingin dan bersih dengan temperatur kamar dan bahan bakar yang baru, dimana belum terjadi pembangkitan produk fisi dan panas akan berbeda nilainya dengan teras yang telah dioperasikan pada suatu waktu tertentu. Reaktivitas padam mempunyai harga faktor multiplikasi di bawah kritis ($k_{eff} < 1$) meskipun satu batang kendali dengan reaktivitas terbesar gagal masuk.

5. Reaktivitas Total

Reaktivitas total merupakan penjumlahan nilai reaktivitas lebih dan reaktivitas padam. Selain itu reaktivitas total merupakan penjumlahan seluruh reaktivitas batang kendali pada saat posisi 600 mm (*fully up*).

6. Reaktivitas *Stuck Rod*

Reaktivitas *stuck rod* merupakan kondisi pada saat satu batang kendali dengan nilai reaktivitas terbesar macet atau tidak dapat diturunkan, namun reaktor masih dalam keadaan selamat dengan menurunkan 7 batang kendali dengan cepat (*scram*). Sedangkan untuk nilai reaktivitas *stuck rod* adalah nilai reaktivitas padam dikurangi dengan satu nilai reaktivitas terbesar batang kendali.

7. Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan evaluasi kinerja garpu penyerap dilakukan dengan mengkaji data reaktivitas yang diperoleh pada kegiatan kalibrasi batang kendali serta mengkaji data waktu jatuh batang kendali pada setiap awal pembentukan teras kerja baru [7]. Kinerja garpu penyerap yang dievaluasi dimulai dari pergantian garpu penyerap pertama pada pengoperasian reaktor RSG-GAS Teras 61 hingga pengoperasian reaktor RSG-GAS Teras 106. Berikut dipaparkan pada Tabel 1. parameter desain pada teras kerja reaktor RSG-GAS mengacu pada LAK.

Tabel 1. Data Desain Teras Kerja Reaktor RSG-GAS [2]

Parameter	Ukuran
Jumlah bahan bakar standar	40
Jumlah bahan bakar kendali	8
Jumlah penyerap	8

Panjang siklus pada daya penuh, (hari / MWD)	22,51 / 675,3
Reaktivitas lebih saat awal siklus, dingin dan tanpa Xenon (%)	7,77
Reaktivitas untuk eksperimen (%)	3,00
Nilai reaktivitas total 8 batang kendali (%)	-14,58
Marjin reaktivitas padam (%)	-2,87

1) Pengukuran Waktu Jatuh Batang Kendali

Pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan pada setiap akhir pembentukan/perubahan teras, dengan 12 bahan bakar masih terdapat di luar teras reaktor. Pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan dengan menggunakan *counter* elektronik yang dipasang pada terminal pengaturan posisi pada *switch* 80% dari ketinggian batang kendali. Setelah itu, batang kendali dinaikkan hingga posisi 600 mm, kemudian di pancung secara manual. Waktu yang diperoleh dari posisi ketinggian batang kendali hingga mencapai posisi *switch* 80% dari ketinggian adalah waktu jatuh batang kendali.

2) Pengukuran Reaktivitas Batang Kendali

Pengukuran reaktivitas batang kendali dilakukan dengan metode kompensasi berpasangan, yaitu satu batang kendali lawan (reaktivitas dinaikkan) satu kompensatornya (reaktivitas diturunkan). Sehingga sekali pengukuran 2 batang kendali dapat ditentukan nilai reaktivitasnya. Hasil dari pengukuran reaktivitas batang kendali dapat dibuat kurva reaktivitas sebagai fungsi posisi pemasukan atau penarikan batang kendali (Kurva S) yang kemudian dapat menentukan reaktivitas lebih teras, reaktivitas padam, reaktivitas total dan *stuck rod*.

Syarat yang diperlukan untuk pengukuran reaktivitas batang kendali ialah reaktor siap beroperasi pada daya rendah, dingin dan bersih, serta pada awal siklus setelah pemuatan teras yang dilakukan dengan menggunakan alat Reaktivitimeter Servorgor 320 (Gambar 1.) untuk pencatatan reaktivitas, Detektor FC *start up* (JKT01) dan Detektor daya CIC (JKT04) [5]. Selain itu, pengukuran dilakukan tanpa aliran *fluida* (pendingin) primer.



Gambar 1. Alat Reaktivitimeter Servorgor 320

Hasil dan Pembahasan

1. Pengukuran Waktu Jatuh Batang Kendali

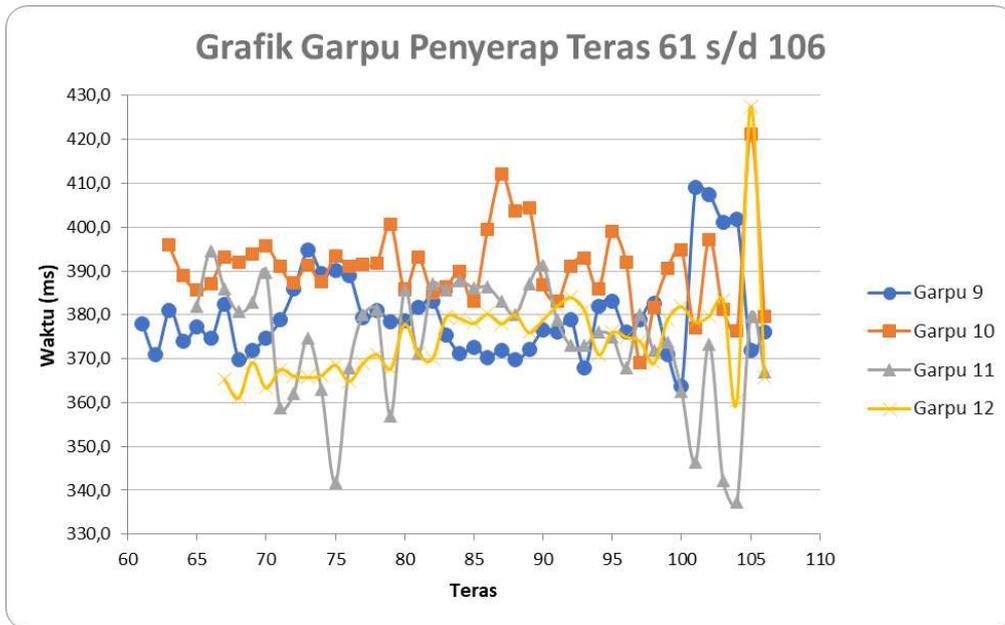
Hasil pengukuran waktu jatuh setiap batang kendali dari Teras 61 hingga Teras 106 dapat dilihat pada Tabel 2. Data tersebut merupakan hasil dari pengukuran waktu jatuh batang kendali dari 80% ketinggian aktif atau 80% dari ketinggian posisi batang kendali 600 mm. Pengukuran dilakukan pada setiap pembentukan teras kerja baru dengan 12 bahan bakar masih di luar teras untuk mencegah terjadinya kekritisian.

Dari Gambar 2 dan 3, dapat dilihat bahwa garpu penyerap nomor 9 sampai dengan 16 pada Teras 61 hingga Teras 106 memiliki kecenderungan waktu jatuh berkisar dari 350 - 400 milisekon. Hal tersebut memenuhi syarat yang telah disampaikan pada Batas Keselamatan Operasi (BKO) bahwa waktu jatuh maksimal tidak melebihi 470 ms. Namun perlu diperhatikan kembali apabila waktu jatuh batang kendali kurang dari 350 ms dikhawatirkan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada batang

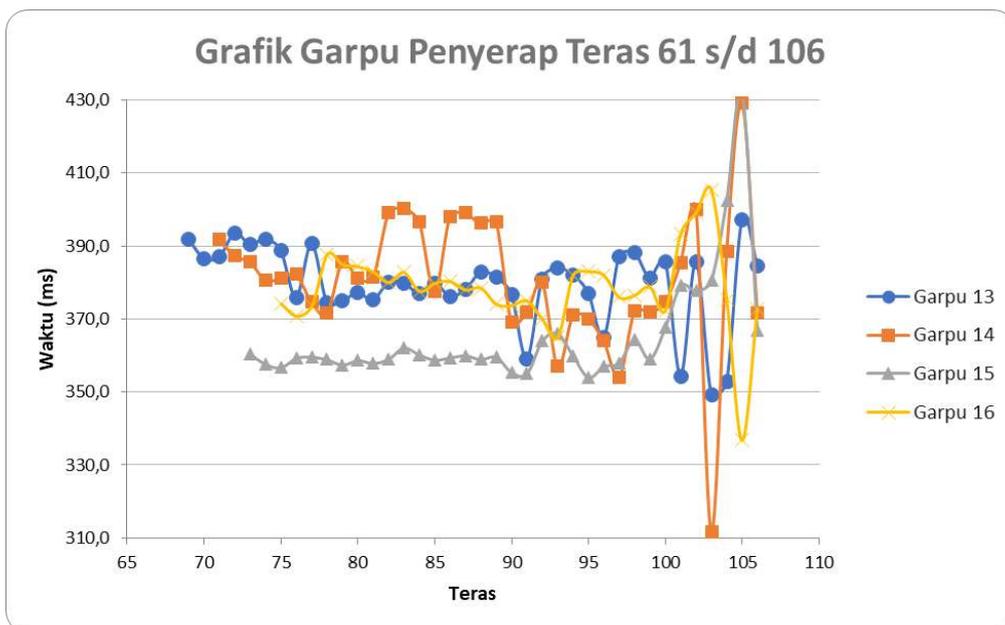
akibat kecepatan waktu jatuh yang melebihi kemampuan mekanisnya sehingga dapat menimbulkan panas berlebih pada garpu yang dapat menyebabkan kerusakan.

Tabel 2. Waktu Jatuh Batang Kendali [8]

TERAS	GARPU								Rata-rata
	9	10	11	12	13	14	15	16	
61	378,0								366,6
62	371,0								364,5
63	381,0	396,0							368,5
64	373,9	389,0							370,0
65	377,3	385,8	381,9						369,9
66	374,7	387,0	394,6						371,6
67	382,4	393,2	386,0	365,3					375,7
68	369,7	391,9	380,7	361,1					372,7
69	372,0	393,9	382,8	369,2	391,8				375,7
70	374,7	395,8	389,7	363,4	386,6				376,8
71	378,9	391,0	358,8	367,6	387,0	391,9			375,0
72	385,9	387,3	362,0	366,1	393,5	387,3			376,6
73	394,7	391,4	374,7	365,8	390,4	385,7	360,4		378,4
74	389,5	387,6	362,9	366,2	391,9	380,6	357,6		375,3
75	390,2	393,4	341,8	368,6	388,7	381,3	356,7	374,2	374,4
76	388,9	391,0	367,9	364,9	375,8	382,2	359,3	370,8	375,1
77	379,3	391,5	380,0	369,0	390,6	374,6	359,6	373,6	377,3
78	380,9	391,8	381,3	371,0	374,5	371,6	358,9	387,7	377,2
79	378,4	400,7	357,0	367,8	374,9	385,8	357,4	384,9	375,9
80	378,7	385,9	385,7	377,9	377,1	381,1	358,7	384,4	378,7
81	381,8	393,1	371,1	371,2	375,2	381,6	357,9	382,9	376,9
82	383,0	385,0	387,0	370,0	380,0	399,0	359,0	380,0	380,4
83	375,4	386,3	385,8	379,5	379,8	400,3	362,1	382,8	381,5
84	371,3	389,9	387,8	379,2	377,0	396,5	360,2	377,6	379,9
85	372,6	383,1	386,2	378,1	379,8	377,6	358,8	379,8	377,0
86	370,3	399,5	386,4	380,2	376,2	398,1	359,4	380,3	381,3
87	372,0	412,0	383,0	378,0	378,0	399,0	360,0	378,0	382,5
88	369,8	403,6	380,1	380,0	382,8	396,2	358,9	378,5	381,2
89	372,1	404,5	387,2	376,0	381,4	396,6	359,6	374,1	381,4
90	376,5	386,8	391,4	378,9	376,6	369,2	355,4	373,7	376,1
91	376,0	383,0	379,0	382,0	359,0	372,0	355,0	375,0	372,6
92	379,0	391,0	373,0	384,0	381,0	380,0	364,0	370,0	377,8
93	368,0	393,0	373,0	381,0	384,0	357,0	366,0	365,0	373,4
94	382,0	386,0	376,0	371,0	382,0	371,0	360,0	382,0	376,3
95	383,0	399,0	375,0	376,0	377,0	370,0	354,0	383,0	377,1
96	376,0	392,0	368,0	375,0	365,0	364,0	357,0	382,0	372,4
97	379,0	369,0	380,0	374,0	387,0	354,0	358,0	376,0	372,1
98	382,7	381,8	372,0	369,0	388,2	372,1	364,4	376,5	375,8
99	371,0	390,6	373,7	379,0	381,2	372,0	359,0	378,8	375,7
100	363,8	394,7	362,6	381,9	385,8	374,7	367,6	372,3	375,4
101	409,0	377,0	346,5	378,4	354,3	385,5	379,1	393,3	377,9
102	407,5	397,2	373,4	379,8	385,6	400,1	377,7	399,0	390,0
103	401,2	381,3	342,2	383,4	349,3	311,7	380,6	405,4	369,4
104	401,9	376,3	337,2	360,4	352,9	388,4	402,6	375,4	374,4
105	371,9	421,2	379,7	427,6	397,2	429,0	432,0	336,8	399,4
106	376,2	379,5	367,1	365,9	384,5	371,6	367,0	372,9	373,1

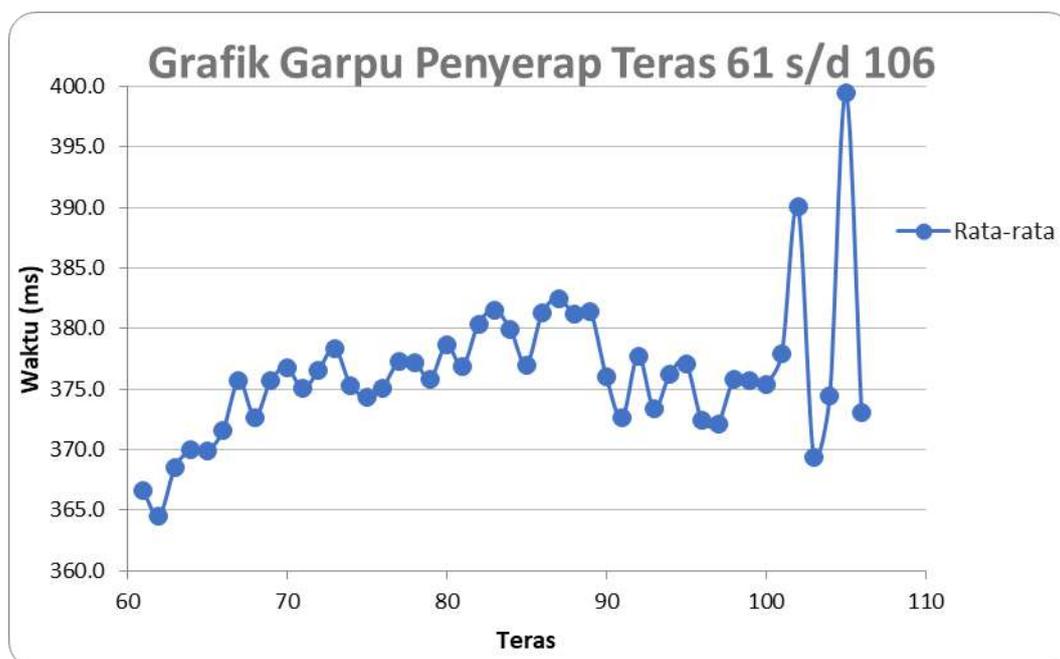


Gambar 2. Hasil Pengukuran Waktu Jatuh Batang Kendali Garpu 09, 10, 11, dan 12 pada Teras 61-106



Gambar 3. Hasil Pengukuran Waktu Jatuh Batang Kendali Garpu 13, 14, 15, dan 16 pada Teras 61-106

Pada Tabel 2 juga dapat diamati bahwa garpu nomor 11 pada Teras 101, 103, 104 dan garpu nomor 14 pada Teras 103 memiliki waktu jatuh < 350 ms. Tindakan lebih lanjut pada garpu tersebut dapat dilakukan ketika reaktor padam dengan melakukan pengecekan secara visual untuk memastikan kondisi garpu tersebut masih dalam keadaan baik atau tidak.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Rata-rata Waktu Jatuh Batang Kendali pada Teras 61-106

Dari Gambar 4, rata-rata waktu jatuh batang kendali memiliki *trend* semakin meningkat, namun nilai tersebut masih di bawah BKO, yaitu 400 ms. Sehingga untuk nilai rata-rata waktu jatuh batang kendali bisa dikategorikan aman. Namun, pada Teras 102 dan Teras 105 nilai rata-rata waktu jatuh mengalami kenaikan yang cukup signifikan, yaitu 390,0 ms dan 399,4 ms. Pengukuran waktu jatuh batang kendali pada Teras 102 dan Teras 105 menggunakan metode pengukuran pada *switch* 100% yang seharusnya menggunakan *switch* 80% sehingga hasil yang diperoleh dikalikan dengan 0,8. Pada metode pengukuran tersebut maka diperoleh nilai waktu jatuh yang lebih besar. Dengan hasil tersebut, pengukuran waktu jatuh disarankan dilakukan dengan kondisi semula menggunakan *switch* 80% agar mendapatkan hasil dan nilai yang akurat sesuai yang disyaratkan BKO.

2. Pengukuran Reaktivitas Batang Kendali

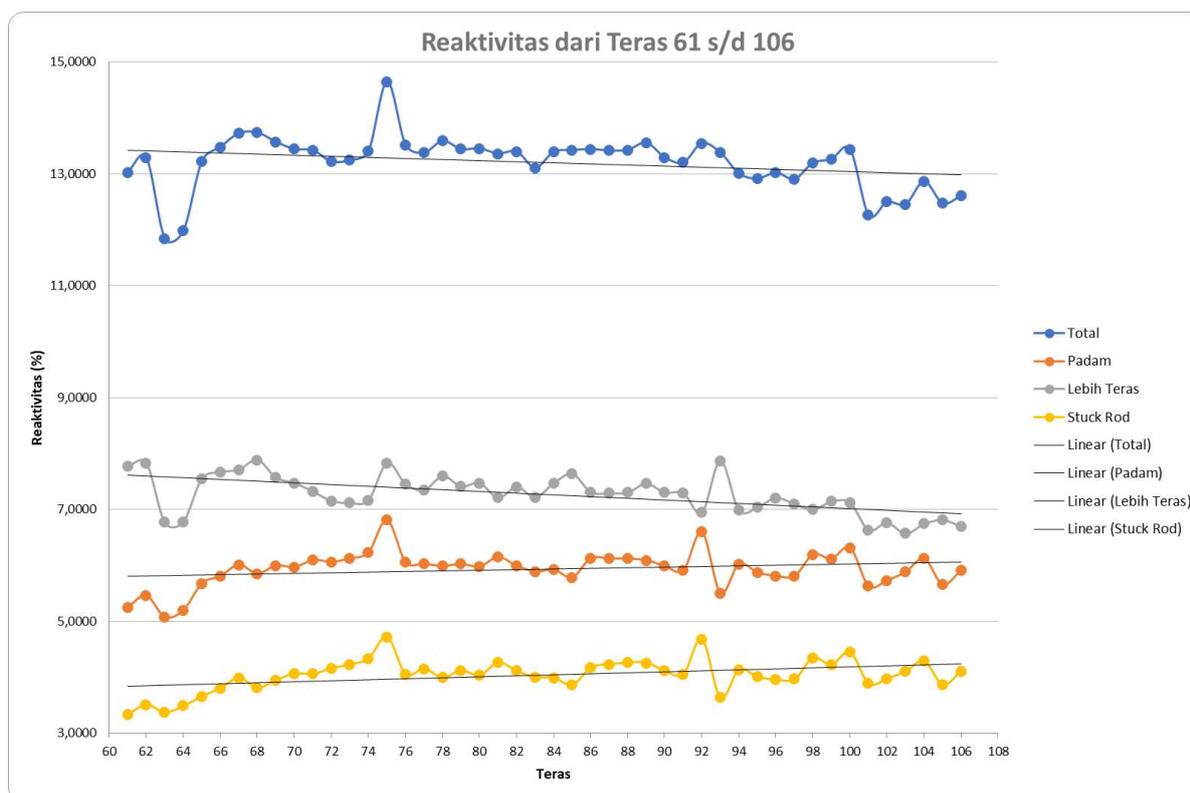
Nilai reaktivitas hasil pengukuran teras RSG-GAS dari Teras 61 sampai Teras 106 dapat dilihat pada Tabel 3. Pengukuran tersebut dilakukan pada awal siklus *Beginning Of Cycle* (BOC) dan pada saat teras dingin atau tanpa adanya pengaruh suhu dan tanpa racun Xenon. Tujuan pengukuran ini adalah untuk melihat unjuk kerja kemampuan batang kendali dalam penyerapan neutron pada teras kerja pada siklus teras 61 sampai 106. Batang kendali dikatakan baik apabila hasil kalibrasi yang diperoleh untuk reaktivitas lebih, reaktivitas padam, reaktivitas total dan reaktivitas *stuck rod* memiliki nilai yang di atas BKO.

Tabel 3. Reaktivitas Hasil Pengukuran [9]

Teras	ρ_{Total} (%)	ρ_{Padam} (%)	$\rho_{\text{Lebih Teras}}$ (%)	ρ_{Terbesar} (%)	$\rho_{\text{Stuck Rod}}$ (%)	MWD
61	13,0303	5,2517	7,7786	1,9125	3,3392	682,0021
62	13,2927	5,4583	7,8344	1,9431	3,5152	658,2212
63	11,8484	5,0758	6,7726	1,6983	3,3775	657,9217
64	11,9829	5,1982	6,7847	1,7060	3,4922	638,2451
65	13,2283	5,6763	7,5520	2,0142	3,6621	664,4554
66	13,4816	5,8102	7,6714	2,0043	3,8059	645,0602
67	13,7287	6,0129	7,7158	2,0196	3,9933	659,2780
68	13,7409	5,8523	7,8886	2,0387	3,8136	650,3417
69	13,5741	6,0014	7,5727	2,0525	3,9489	656,2153
70	13,4463	5,9708	7,4755	1,9033	4,0675	651,7626
71	13,4234	6,0971	7,3263	2,0349	4,0622	666,1892
72	13,2240	6,0665	7,1575	1,9049	4,1616	629,5256

73	13,2480	6,1277	7,1203	1,8972	4,2305	655,7917
74	13,4097	6,2386	7,1711	1,9010	4,3376	653,8312
75	14,6498	6,8162	7,8336	2,0961	4,7201	655,0013
76	13,5215	6,0626	7,4589	2,0028	4,0598	606,7999
77	13,3814	6,0320	7,3494	1,8804	4,1516	654,0094
78	13,5910	5,9900	7,6010	1,9928	3,9972	663,5833
79	13,4449	6,0282	7,4167	1,9049	4,1233	636,0388
80	13,4571	5,9823	7,4748	1,9454	4,0369	654,3511
81	13,3645	6,1506	7,2139	1,8857	4,2649	652,1414
82	13,3999	5,9938	7,4061	1,8781	4,1157	652,3474
83	13,1113	5,8905	7,2208	1,8857	4,0048	634,6859
84	13,3966	5,9249	7,4717	1,9316	3,9933	640,2843
85	13,4274	5,7872	7,6402	1,9202	3,8670	642,8328
86	13,4442	6,1277	7,3165	1,9508	4,1769	620,3896
87	13,4195	6,1238	7,2957	1,8941	4,2297	626,4998
88	13,4303	6,1238	7,3065	1,8590	4,2648	630,6494
89	13,5589	6,0932	7,4657	1,9202	4,2591	640,5971
90	13,2957	5,9900	7,3057	1,8727	4,1173	640,0609
91	13,2092	5,9135	7,2957	1,8551	4,0584	640,2191
92	13,5482	6,6020	6,9462	1,9182	4,6838	615,8268
93	13,3819	5,5080	7,8739	1,8685	3,6395	625,0527
94	13,0107	6,0244	6,9863	1,8857	4,1387	625,0019
95	12,9171	5,8752	7,0419	1,8647	4,0105	625,6424
96	13,0242	5,8140	7,2102	1,8532	3,9608	625,0054
97	12,9112	5,8102	7,1010	1,8417	3,9685	625,0066
98	13,1982	6,1965	7,0017	1,8513	4,3452	625,0049
99	13,2652	6,1200	7,1452	1,8915	4,2285	625,0765
100	13,4429	6,3174	7,1255	1,8666	4,4508	626,3740
101	12,2697	5,6334	6,6363	1,7418	3,8916	625,0096
102	12,5017	5,7340	6,7677	1,7580	3,9760	625,0385
103	12,4602	5,8850	6,5752	1,7777	4,1073	625,0157
104	12,8683	6,1224	6,7459	1,8352	4,2872	625,0207
105	12,4764	5,6585	6,8179	1,7849	3,8736	625,0302
106	12,6128	5,9138	6,6990	1,8065	4,1073	625,0036

Dari data Gambar 5, dapat diamati bahwa reaktivitas total dan reaktivitas lebih memiliki tren penurunan kemampuan batang kendali dalam menyerap neutron. Pada Teras ke 65 - 68 rata-rata reaktivitas total didapat 13,54% sedangkan pada teras 103 - 106 rata-rata reaktivitas total yang didapat sebesar 12,60%. Dari data Gambar 5, *trendline* pada kurva reaktivitas total, dapat diperkirakan penurunan kemampuan garpu penyerap untuk reaktivitas total sebesar 6,94%.



Gambar 5. Hasil Pengukuran Reaktivitas pada Teras 61-106

Untuk reaktivitas lebih juga mengalami penurunan trendline. Pada awal teras ke 65 - 68, rata-rata reaktivitas lebih yang diperoleh 7,71% sedangkan pada akhir teras 102 - 106 rata-rata reaktivitas lebih yang diperoleh 6,71%. Dari data Gambar 5, *trendline* pada kurva reaktivitas lebih, dapat diperkirakan penurunan untuk reaktivitas lebih sebesar 12,94% yang akan berpengaruh pada pengoperasian reaktor untuk mencapai target MWD dalam satu siklus.

Sedangkan untuk reaktivitas padam dan reaktivitas *stuck rod* dari data Gambar 5, menunjuk perubahan nilai namun tidak begitu signifikan. Sehingga trendline pada reaktivitas padam dan reaktivitas *stuck rod* cenderung stabil. Selain itu, nilainya juga masih di atas nilai yang dipersyaratkan untuk penggantian garpu penyerap sebesar $< -0,5\%$.

Berdasarkan data pada Tabel 3 energi total yang dibangkitkan pada Teras 61 dimana penggantian garpu pertama kali dilakukan (Garpu Nomor 09) hingga Teras 106 oleh reaktor RSG-GAS telah mencapai 29.427,4420 MWD. Maka berdasarkan dengan BKO untuk penggantian garpu penyerap yang dilakukan setelah mencapai 46.000 MWD, garpu nomor 9 hingga 16 masih dapat digunakan untuk pengoperasian reaktor RSG-GAS pada teras selanjutnya.

Dengan target 625 MWD energi total yang dibangkitkan oleh reaktor RSG-GAS pada setiap siklus operasi, maka garpu penyerap nomor 9-16 dapat digunakan hingga izin pengoperasian di tahun 2030 berakhir serta kemungkinan pergantian garpu kedua akan dimulai pada Teras ke 132.

Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengukuran yang telah dilakukan maka dapat disampaikan bahwa kinerja garpu penyerap setelah mengalami pergantian pertama memiliki kondisi yang baik dan belum memenuhi persyaratan untuk penggantian garpu penyerap selanjutnya. Dengan kondisi saat ini, garpu penyerap bahan bakar dapat digunakan dengan aman sesuai dengan izin pengoperasian reaktor RSG-GAS yang berakhir di tahun 2030. Namun perlu diperhatikan penurunan reaktivitas lebih sebesar 12,94% yang dapat mempengaruhi lamanya siklus operasi, begitu juga dengan nilai waktu jatuh batang kendali yang besarnya dibawah/melampaui 350 - 400 ms untuk dilakukan pengecekan visual kembali secara seksama.

Daftar Pustaka

- [1] Surbakti T, Purwadi (2017) Karakteristik Reaktivitas Teras Kerja RSG-GAS Selama 30 Tahun Beroperasi.
- [2] Anonim (2020) Laporan Analisis Keselamatan Revisi 11- Bab V Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Batan.
- [3] Anonim (2020) Laporan Analisis Keselamatan Revisi 11- Bab XVII Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Batan.
- [4] Anonim (2020) Laporan Analisis Keselamatan Revisi 11- Bab XVI Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Batan.
- [5] Wiranto S, Purwadi, Hidayat A dkk (2012) Evaluasi Kinerja Garpu Penyerap Baru Batang Kendali RSG-GAS. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir PRSG Tahun 2012*. ISBN 978-979-17109-7-8:253:261
- [6] Heriyanto M, Alfarizy G (2015) Reaktivitas Reaktor Nuklir Sebagai Fungsi Burnup dan Waktu Operasi Reaktor. DOI: 10.13140/RG.2.2.32.506.90560
- [7] Anonim (2007-2022) Laporan Kalibrasi Batang Kendali Teras 61 - 106 Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Batan.
- [8] Anonim (2007-2022) Laporan Perintah Pemindahan Elemen Teras 61 - 106 Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Batan.
- [9] Anonim (2007-2022) Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS Teras 61 - 106 Batan.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



Konsep Radio-Eco Wisata: Optimalisasi Manfaat dan Pengelolaan Risiko

Irwanuddin H. I. Kulla¹, Syamsul Ma'arif^{2*}

¹*Pusat Pengkajian Inovasi Nuklir dan Energi Baru Terbarukan (PUSPINEBT), Ikatan Cendekiawan Muslim se-Indonesia (ICMI), Jakarta*

²*Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa (UST), Yogyakarta*

Korespondensi penulis*:
syamsul.maarif@ustjogja.ac.id

Abstrak

Konsep Radio-Eco Wisata merupakan integrasi antara pariwisata nuklir dan prinsip keberlanjutan yang saat ini menarik perhatian dalam perkembangan industri pariwisata. Namun, penggunaan energi nuklir juga membawa risiko yang perlu dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis manfaat dan mengelola risiko dalam konsep radio-eco wisata melalui tinjauan literatur. Hasil temuan dari tinjauan literatur kemudian dilakukan uji validasi dan uji reabilitas. Selanjutnya hasil temuan dirangkum dan dikelompokkan menjadi beberapa tahapan dalam pengembangan konsep radio-eco wisata, yaitu analisis manfaat, mengelola risiko, aspek keberlanjutan, peran pemerintah dan *stakeholder*, dan rekomendasi konsep. Hasil temuan menunjukkan bahwa dalam konsep radio-eco wisata, optimalisasi manfaat dapat dilakukan melalui analisis potensi destinasi wisata nuklir, pendapatan ekonomi lokal, dan edukasi sains nuklir menjadi fokus utama. Namun, perlu diperhatikan pula pengelolaan risiko radiasi dengan strategi mitigasi, perlindungan pengunjung, serta penanganan limbah dan dampak lingkungan. Pendekatan berkelanjutan ditekankan melalui konservasi lingkungan, penggunaan energi terbarukan, dan pemberdayaan masyarakat lokal untuk memastikan ekosistem tetap terjaga. Peran pemerintah dalam pengawasan dan regulasi, serta kerjasama dengan *stakeholder*, terbukti menentukan keberhasilan konsep Radio-Eco Wisata. Direkomendasikan untuk menjalin kolaborasi lintas sektor, pelatihan pemandu wisata, dan edukasi publik yang intensif guna mewujudkan konsep pariwisata nuklir yang aman, bermanfaat, dan berkelanjutan. Rekomendasi konsep radio-eco wisata dapat berkembang secara berkelanjutan dengan menjaga keseimbangan antara optimalisasi manfaat dan pengelolaan risiko.

Kata Kunci: radio-eco wisata, pariwisata nuklir, optimalisasi manfaat, pengelolaan risiko, berkelanjutan

Abstract

The radio-eco tourism concept represents the integration of nuclear tourism and sustainability principles, which currently attract attention in the tourism industry's development. However, the utilization of nuclear energy also brings risks that need to be effectively managed. Therefore, this research aims to analyze the benefits and manage risks within the radio-eco tourism concept through a literature review. The findings from the literature review were subsequently subjected to validation and reliability tests. The resulting findings were summarized and categorized into several stages in the development of the radio-eco tourism concept, namely benefit analysis, risk management, sustainability aspects, government and stakeholder roles, and concept recommendations. The findings indicate that within the radio-eco tourism concept, optimizing benefits can be achieved through analyzing the potential of nuclear tourism destinations, local economic revenues, and prioritizing nuclear science education. However, it is also essential to address radiation risk management through mitigation strategies, visitor protection, waste handling, and environmental impact assessment. A sustainable approach is emphasized through environmental conservation, renewable energy utilization, and empowering local communities to ensure ecosystem preservation. The government's oversight and regulatory role, along with

stakeholder collaboration, are proven to determine the success of the radio-eco tourism concept. It is recommended to establish cross-sector collaborations, provide tourist guide training, and implement intensive public education to realize a safe, beneficial, and sustainable nuclear tourism concept. Recommendations for the radio-eco tourism concept can evolve sustainably by maintaining a balance between optimizing benefits and risk management.

Keywords: *radio-eco tourism, nuclear tourism, benefit optimization, risk management, sustainable*

Pendahuluan

Pariwisata nuklir telah menjadi tren yang berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Daerah-daerah yang terkait dengan kecelakaan nuklir, seperti Chernobyl, telah menarik perhatian wisatawan dari seluruh dunia yang ingin melihat secara langsung sisa-sisa sejarah nuklir dan mengalami pengalaman yang unik [1]. Namun, fenomena ini menimbulkan pertanyaan yang penting tentang bagaimana mengoptimalkan manfaat dari pariwisata nuklir sambil tetap memperhatikan dan mengelola risiko yang terkait dengan paparan radiasi dan dampak lingkungan.

Sejumlah pendekatan telah diusulkan untuk mengoptimalkan manfaat pariwisata nuklir. Pertama, aktivasi pariwisata nuklir dapat dilakukan melalui partisipasi masyarakat dan perusahaan [2]. Selanjutnya, contoh dari China menunjukkan pentingnya membandingkan risiko kesehatan dan manfaat tenaga nuklir dengan menggunakan kerangka metodologi penilaian dampak kesehatan [3]. Memahami dan menanggapi tantangan lanskap radioaktif juga merupakan langkah penting [4]. Selain itu, mempelajari perspektif masyarakat terkait risiko pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir dapat memberikan wawasan yang berharga [5]. Keterbukaan informasi dan pemantauan dampak lingkungan pada operasi fasilitas nuklir sipil juga harus diutamakan [6]. Terakhir, pendekatan partisipatif yang melibatkan *stakeholder* dalam pengembangan pariwisata juga termasuk faktor yang relevan [7].

Konsep Radio-Eco Wisata telah muncul sebagai pendekatan yang bertujuan untuk menggabungkan potensi pariwisata nuklir dengan keberlanjutan lingkungan dan perlindungan radiasi [2]. Konsep ini menekankan pentingnya menghormati lingkungan alam dan menjaga keberlanjutan sumber daya alam di sekitar lokasi nuklir, sambil mempromosikan edukasi dan pemahaman tentang sains nuklir serta risiko-risiko yang terkait dengannya [8]. Radio-Eco Wisata juga menekankan pentingnya mengembangkan infrastruktur yang aman dan memastikan keselamatan dan keamanan pengunjung, serta melibatkan masyarakat lokal dalam pengembangan dan manfaat ekonomi yang terkait dengan pariwisata nuklir [2].

Meskipun konsep Radio-Eco Wisata menjanjikan potensi yang besar dalam mengembangkan pariwisata nuklir yang berkelanjutan, masih ada beberapa permasalahan yang perlu diperhatikan dengan serius. Pertama, penting untuk memahami dan mempertimbangkan risiko radiasi yang mungkin dihadapi oleh wisatawan dan masyarakat lokal ketika mengunjungi lokasi-lokasi nuklir [4]. Risiko paparan radiasi harus diidentifikasi, dievaluasi, dan dikelola dengan hati-hati untuk memastikan keselamatan pengunjung dan masyarakat sekitar. Kedua, pengelolaan lingkungan harus menjadi fokus utama dalam pengembangan pariwisata nuklir [2][9]. Dampak terhadap ekosistem lokal, kualitas air dan udara, serta pengelolaan limbah harus dipertimbangkan secara serius untuk menjaga keberlanjutan lingkungan. Ketiga, perlu ada pendekatan yang bertanggung jawab dalam mempromosikan pariwisata nuklir agar manfaat ekonomi dan sosialnya dapat dirasakan oleh masyarakat setempat [2][7]. Partisipasi dan keterlibatan mereka dalam proses pengambilan keputusan dan manajemen destinasi pariwisata nuklir harus ditingkatkan untuk memastikan adanya keadilan dan kesetaraan dalam pembagian manfaat.

Oleh karena itu, tujuan dari kajian ini adalah untuk mengoptimalkan manfaat dan mengelola risiko dalam konsep Radio-Eco Wisata. Melalui analisis yang mendalam terhadap penelitian sebelumnya, artikel ini bertujuan untuk menyoroti pentingnya pendekatan yang seimbang dalam mengembangkan pariwisata nuklir. Selain itu, kajian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang perlu diperhatikan dalam mengoptimalkan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan dari pariwisata nuklir, sambil mengurangi risiko dan memastikan keselamatan bagi wisatawan dan masyarakat lokal.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur atau *literature review* pada bidang pengembangan wisata [10]. Pendekatan ini dipilih karena penelitian ini pertama-tama mengidentifikasi dan menganalisis berbagai sumber literatur yang relevan dengan konsep Radio-Eco Wisata. Setelah mengumpulkan temuan-temuan dari studi literatur sebelumnya, langkah berikutnya adalah mengintegrasikan hasil-hasil penelitian tersebut. Tujuan dari langkah ini adalah membentuk suatu argumen yang kokoh dan pandangan yang komprehensif mengenai hubungan antara optimalisasi manfaat dan pengelolaan risiko dalam konteks Radio-Eco Wisata.

Metode studi literatur dimulai dengan pencarian sumber data dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, prosiding konferensi, dan buku terkait pariwisata nuklir, Radio-Eco Wisata, manfaat pariwisata nuklir, dan pengelolaan risiko. Pencarian dilakukan melalui platform pencarian artikel ilmiah pada basis data akademik dengan menetapkan kriteria inklusi seperti relevansi artikel. Sumber data yang diperoleh, kemudian divalidasi dengan memastikan berasal dari sumber terpercaya yang telah melalui *peer review*. Dilanjutkan dengan uji reabilitas melalui pencarian artikel ilmiah dengan kata kunci yang relevan, seperti "*radio-eco tourism*". Literatur yang terkumpul, kemudian diringkas dalam tabel pada Ms. Excel dan dikelompokkan menjadi tahapan-tahapan dalam pengembangan konsep radio-eco wisata. Tahapan-tahapan dalam pengembangan konsep radio-eco wisata, meliputi analisis manfaat, pengelolaan risiko, keberlanjutan, peran pemerintah dan *stakeholder*, lalu diintegrasikan dalam konsep radio-eco wisata yang direkomendasikan. (Lihat Gambar 1). Langkah terakhir adalah melakukan integrasi dan sintesis hasil temuan untuk memperkuat konsep rekomendasi.



Gambar 1. Tahapan dalam pengembangan konsep radio-eco wisata

Berdasarkan Gambar 1, pengembangan konsep Radio-Eco Wisata melibatkan rangkaian tahapan terintegrasi yang bertujuan membentuk rekomendasi konsep yang komprehensif. Pertama, tahapan identifikasi dan analisis potensi manfaat dari Radio-Eco Wisata dilakukan untuk mengevaluasi dampak positif yang mungkin dihasilkan, seperti peningkatan ekonomi lokal dan pelestarian budaya. Tahapan kedua melibatkan identifikasi dan penilaian risiko terkait, yang mencakup pengenalan strategi pengelolaan risiko untuk mengatasi potensi dampak negatif. Pada tahap ketiga, aspek keberlanjutan menjadi fokus utama dengan perencanaan jangka panjang untuk memastikan operasional Radio-Eco Wisata sejalan dengan pelestarian lingkungan dan aspek sosial. Tahap keempat mendorong peran aktif pemerintah dan *stakeholder* dengan mengidentifikasi tanggung jawab pemerintah dalam regulasi serta melibatkan berbagai pihak dalam pengambilan keputusan. Setelah tahapan sebelumnya diselesaikan, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan hasil analisis ke dalam konsep Radio-Eco Wisata yang komprehensif, mempertimbangkan manfaat, pengelolaan risiko, keberlanjutan, serta peran pemerintah dan *stakeholder*. Akhirnya, tahapan terakhir melibatkan penyusunan rekomendasi konkret untuk implementasi konsep Radio-Eco Wisata, didasarkan pada analisis mendalam yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Dengan mengikuti serangkaian tahapan ini, pengembangan Radio-Eco Wisata dapat berjalan secara terstruktur dan berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Pembahasan dalam artikel ini, diuraikan aspek-aspek kunci yang terkait dengan optimalisasi manfaat dan pengelolaan risiko dalam konsep Radio-Eco Wisata. Pembahasan akan terbagi menjadi beberapa sub-pembahasan yang menjelaskan potensi manfaat ekonomi, pendapatan lokal, dan kesadaran publik sebagai bagian dari upaya pengoptimalan manfaat. Sub-pembahasan selanjutnya akan membahas risiko radiasi, strategi mitigasi, dan pengelolaan limbah sebagai langkah-langkah dalam pengelolaan risiko. Selain itu, juga akan dianalisis pendekatan berkelanjutan, peran pemerintah dan *stakeholder*, serta tantangan dan peluang yang terkait dengan konsep Radio-Eco Wisata. Terakhir, artikel ini akan memberikan rekomendasi untuk pengembangan konsep Radio-Eco Wisata.

1. Pengoptimalan Manfaat dalam Konsep Radio-Eco Wisata

1) Potensi manfaat ekonomi dari pariwisata nuklir

Pariwisata nuklir memiliki potensi untuk memberikan manfaat ekonomi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa destinasi pariwisata nuklir dapat menarik wisatawan dari berbagai negara yang berkontribusi pada pendapatan sektor pariwisata [11][12][13]. Contohnya, Zona Chernobyl telah menjadi tujuan populer bagi wisatawan, yang berdampak pada pertumbuhan sektor pariwisata di daerah tersebut [12]. Pendapatan yang diperoleh melalui pariwisata nuklir dapat digunakan untuk pengembangan infrastruktur, pengadaan layanan publik, dan mendukung pertumbuhan ekonomi lokal [2].

2) Peningkatan pendapatan dan pembangunan ekonomi lokal melalui pariwisata nuklir

Pariwisata nuklir dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan pendapatan dan pembangunan ekonomi lokal. Melalui peningkatan kunjungan wisatawan, pengeluaran yang dihasilkan dalam bentuk akomodasi, makanan, transportasi, dan pembelian barang dan jasa lokal dapat mendorong pertumbuhan sektor pariwisata dan ekonomi lokal [14] [15] [16] [17]. Berdasarkan studi sebelumnya telah mengungkapkan bahwa pariwisata nuklir dapat memberikan peluang pekerjaan baru dan memperkuat sektor usaha lokal, terutama dalam hal perhotelan, restoran, perjalanan, dan penjualan produk lokal [2]. Sehingga, pariwisata nuklir berpotensi meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat dan mengurangi tingkat pengangguran.

3) Peningkatan kesadaran dan pemahaman publik tentang sains nuklir

Pariwisata nuklir juga dapat memberikan kesempatan untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman publik tentang sains nuklir [2] [11] [18]. Dengan mengunjungi destinasi pariwisata nuklir, wisatawan memiliki kesempatan untuk belajar tentang aspek-aspek nuklir, seperti sejarah, teknologi, keamanan, dan manfaat penggunaan nuklir dalam berbagai bidang [19]. Melalui pengalaman langsung dan informasi yang disediakan oleh pemandu wisata atau pusat informasi nuklir, kesadaran publik tentang teknologi nuklir dapat ditingkatkan, menghilangkan miskonsepsi, dan mempromosikan pemahaman yang lebih baik tentang manfaat dan risiko yang terkait dengan nuklir [20]. Dengan demikian, pariwisata nuklir dapat berperan dalam membentuk pandangan masyarakat tentang sains nuklir secara positif.

Potensi manfaat ekonomi dari pariwisata nuklir, peningkatan pendapatan dan pembangunan ekonomi lokal melalui pariwisata nuklir, serta peningkatan kesadaran dan pemahaman publik tentang sains nuklir dianalisis berdasarkan sumber-sumber penelitian terdahulu. Hal ini memberikan pemahaman mengenai pengoptimalan manfaat dalam konsep Radio-Eco Wisata.

2. Pengelolaan Risiko dalam Konsep Radio-Eco Wisata

1) Identifikasi risiko radiasi yang terkait dengan pariwisata nuklir

Pariwisata nuklir membawa risiko terkait paparan radiasi kepada pengunjung. Penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi beberapa risiko yang perlu diperhatikan dalam radio-eco wisata. Risiko utama adalah paparan radiasi yang dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia jika melebihi batas yang ditetapkan [21] [22]. Risiko ini dapat terjadi baik melalui paparan langsung kepada bahan radioaktif yang ada di lokasi pariwisata nuklir, maupun melalui kontaminasi lingkungan yang mungkin terjadi sebagai akibat dari aktivitas nuklir [23] [24]. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi risiko radiasi yang spesifik terkait dengan setiap destinasi pariwisata nuklir dan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat paparan radiasi.

2) Strategi mitigasi risiko dan perlindungan pengunjung

Untuk mengelola risiko radiasi dalam konsep Radio-Eco Wisata, strategi mitigasi yang efektif harus diimplementasikan. Penelitian sebelumnya telah mengusulkan beberapa strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko dan melindungi pengunjung. Misalnya, penentuan zona aman dan penegakan batasan akses di area yang berisiko tinggi, penggunaan peralatan pelindung radiasi oleh pengunjung dan petugas, serta pengawasan yang ketat terhadap aktivitas nuklir di area pariwisata nuklir [25] [26]. Selain itu, edukasi dan kesadaran publik tentang risiko radiasi juga penting untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran pengunjung tentang langkah-langkah keselamatan yang harus diikuti [27] [28].

3) Pengelolaan limbah radioaktif dan dampak lingkungan

Pariwisata nuklir juga perlu memperhatikan pengelolaan limbah radioaktif dan dampak lingkungan yang mungkin timbul. Limbah radioaktif yang dihasilkan oleh aktivitas nuklir di lokasi pariwisata harus dikelola dengan baik untuk mencegah kontaminasi lingkungan [29]. Penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya kebijakan pengelolaan limbah yang ketat dan implementasi teknologi pengolahan limbah yang aman [30]. Dampak lingkungan juga harus dievaluasi secara menyeluruh, termasuk dampak jangka pendek dan jangka panjang dari aktivitas nuklir dalam pariwisata nuklir [2]. Ini melibatkan pemantauan lingkungan, penilaian risiko, dan tindakan yang diperlukan untuk menjaga kualitas lingkungan dan keberlanjutan ekosistem.

Identifikasi risiko radiasi terkait dengan pariwisata nuklir, strategi mitigasi risiko dan perlindungan pengunjung, serta pengelolaan limbah radioaktif dan dampak lingkungan dianalisis berdasarkan sumber-sumber penelitian terdahulu. Hal ini memberikan gambaran tentang pengelolaan risiko dalam konsep radio-eco wisata.

3. Pendekatan Berkelanjutan dalam Konsep Radio-Eco Wisata

1) Konservasi lingkungan dan pelestarian alam di sekitar lokasi nuklir

Pendekatan berkelanjutan dalam konsep Radio-Eco Wisata menekankan pentingnya konservasi lingkungan dan pelestarian alam di sekitar lokasi nuklir. Penelitian terdahulu telah mengidentifikasi strategi yang dapat diimplementasikan untuk melindungi dan mempertahankan keanekaragaman hayati serta ekosistem yang ada di daerah pariwisata nuklir. Ini meliputi pembatasan akses ke area sensitif, pemulihan ekosistem yang terdampak, pengawasan dan pemantauan lingkungan secara teratur, serta program pemulihan dan rehabilitasi habitat alami [31]. Dengan mengadopsi pendekatan ini, pariwisata nuklir dapat berkontribusi secara positif terhadap pelestarian lingkungan dan menjaga keberlanjutan alam di sekitarnya.

2) Penggunaan energi terbarukan dalam infrastruktur pariwisata nuklir

Pendekatan berkelanjutan dalam konsep Radio-Eco Wisata juga mempertimbangkan penggunaan energi terbarukan dalam infrastruktur pariwisata nuklir. Studi sebelumnya telah menyoroti pentingnya memanfaatkan sumber energi yang ramah lingkungan, seperti energi surya dan energi angin, untuk memenuhi kebutuhan energi dalam operasional pariwisata nuklir [32]. Implementasi energi terbarukan dapat mengurangi dampak lingkungan negatif dan jejak karbon dari aktivitas pariwisata nuklir, serta memberikan contoh positif dalam penggunaan sumber energi yang berkelanjutan [33].

3) Pemberdayaan masyarakat lokal dan partisipasi dalam pengembangan pariwisata nuklir

Pendekatan berkelanjutan dalam konsep Radio-Eco Wisata juga melibatkan pemberdayaan masyarakat lokal dan partisipasi mereka dalam pengembangan pariwisata nuklir. Penelitian terdahulu telah menekankan pentingnya melibatkan masyarakat lokal dalam pengambilan keputusan, pengelolaan sumber daya, dan pembagian manfaat ekonomi dari pariwisata nuklir [2] [34]. Hal ini dapat dicapai melalui keterlibatan aktif dalam proses perencanaan dan pengembangan pariwisata, pelatihan keterampilan untuk pekerjaan terkait pariwisata, serta partisipasi dalam pemeliharaan dan pemulihan lingkungan [35]. Dengan mendorong partisipasi masyarakat lokal, konsep Radio-Eco Wisata dapat memberikan manfaat sosial dan ekonomi yang berkelanjutan bagi komunitas setempat.

4. Peran Pemerintah dan Stakeholder dalam Konsep Radio-Eco Wisata

1) Peran pemerintah dalam mengatur dan mengawasi pariwisata nuklir

Konsep Radio-Eco Wisata, peran pemerintah sangat penting dalam mengatur dan mengawasi pariwisata nuklir. Melalui kebijakan dan regulasi yang tepat, pemerintah dapat memberikan kerangka kerja yang jelas untuk pengembangan dan operasional pariwisata nuklir. Penelitian terdahulu telah menyoroti pentingnya pengawasan yang ketat terhadap aspek keamanan dan radiasi, perizinan yang transparan, serta pengembangan standar keselamatan yang tinggi [36]. Peran pemerintah juga mencakup pemantauan dampak lingkungan dan sosial, perlindungan hak masyarakat, serta pengelolaan risiko yang terkait dengan pariwisata nuklir.

2) Kerjasama antara pemerintah, industri, dan masyarakat dalam pengembangan pariwisata nuklir

Pengembangan pariwisata nuklir memerlukan kerjasama yang erat antara pemerintah, industri, dan masyarakat. Studi sebelumnya menekankan pentingnya kolaborasi yang inklusif dan berkelanjutan dalam merencanakan dan melaksanakan proyek pariwisata nuklir [37]. Pemerintah perlu berperan sebagai fasilitator dalam membentuk kemitraan strategis antara pihak-pihak terkait. Industri pariwisata dan sektor swasta harus berkomitmen untuk beroperasi sesuai dengan prinsip keberlanjutan, termasuk perlindungan lingkungan dan pendayagunaan sumber daya secara bertanggung jawab. Sementara itu, keterlibatan aktif masyarakat dalam pengambilan keputusan dan dialog partisipatif harus diupayakan untuk memastikan aspirasi dan kepentingan mereka diwakili dalam pengembangan pariwisata nuklir [38].

5. Rekomendasi untuk Pengembangan Konsep Radio-Eco Wisata

1) Peningkatan kolaborasi antara pemerintah, industri, dan akademisi dalam riset dan pengembangan

Sumber-sumber penelitian terdahulu menunjukkan pentingnya meningkatkan kolaborasi antara pemerintah, industri pariwisata, dan akademisi dalam riset dan pengembangan terkait konsep Radio-Eco Wisata [37]. Kolaborasi yang erat antara ketiga pihak ini akan memfasilitasi pertukaran pengetahuan, pengalaman, dan sumber daya yang diperlukan untuk mengoptimalkan manfaat dan mengelola risiko pariwisata nuklir. Pemerintah dapat memainkan peran sentral dalam mengoordinasikan upaya kolaboratif ini dengan mengadakan forum diskusi, seminar, dan lokakarya yang melibatkan para pemangku kepentingan terkait. Dalam kolaborasi ini, akademisi dapat memberikan wawasan penelitian yang mendalam, industri pariwisata dapat memberikan perspektif praktis, dan pemerintah dapat memberikan kerangka regulasi dan pengawasan yang memadai.

2) Pengembangan program pelatihan dan sertifikasi untuk pemandu wisata nuklir

Untuk meningkatkan kualitas dan profesionalisme dalam penyelenggaraan pariwisata nuklir, rekomendasi yang dapat dilakukan adalah pengembangan program pelatihan dan sertifikasi khusus untuk pemandu wisata nuklir. Sumber-sumber penelitian menunjukkan bahwa pengetahuan yang mendalam tentang aspek nuklir, lingkungan, dan keamanan sangat penting bagi pemandu wisata nuklir untuk memberikan pengalaman yang informatif, aman, dan menyenangkan bagi pengunjung [39]. Program pelatihan yang komprehensif dan sertifikasi yang terstandarisasi dapat memastikan bahwa pemandu wisata memiliki kompetensi yang memadai dalam menjelaskan konsep nuklir, mengelola risiko, dan memberikan informasi yang akurat kepada pengunjung. Pemerintah dan industri pariwisata dapat bekerja sama dalam mengembangkan dan menyelenggarakan program pelatihan dan sertifikasi ini.

Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis konsep Radio-Eco Wisata mengindikasikan bahwa pengembangan pariwisata nuklir memiliki potensi untuk memberikan manfaat ekonomi dan edukatif yang signifikan. Upaya pengoptimalan manfaat, termasuk peningkatan kunjungan wisatawan, pengembangan ekonomi lokal, dan peningkatan pemahaman tentang sains nuklir, menjadi elemen utama dalam konsep ini. Namun, tantangan serius muncul dalam bentuk pengelolaan risiko radiasi. Pentingnya strategi mitigasi, perlindungan pengunjung, pengelolaan limbah, dan mitigasi dampak lingkungan tidak dapat diabaikan. Pendekatan berkelanjutan juga memainkan peran kunci dengan melibatkan konservasi lingkungan, penggunaan energi terbarukan, dan pemberdayaan masyarakat lokal. Peran aktif pemerintah dalam pengaturan dan pengawasan, serta kerjasama yang erat dengan *stakeholder*, terbukti krusial. Rekomendasi untuk pengembangan konsep Radio-Eco Wisata melibatkan peningkatan kolaborasi, pengembangan pelatihan pemandu wisata, dan intensifikasi edukasi publik. Semua langkah ini diharapkan dapat mendorong pengembangan pariwisata nuklir yang aman, bermanfaat, dan berkelanjutan bagi semua pihak terlibat.

Kajian ini menggarisbawahi pentingnya upaya dalam mengoptimalkan manfaat dan mengelola risiko dalam konsep Radio-Eco Wisata. Melalui analisis mendalam terhadap penelitian sebelumnya, ditemukan bahwa pendekatan yang seimbang menjadi kunci dalam pengembangan konsep ini.

Identifikasi faktor-faktor kunci juga terbukti memberikan kontribusi signifikan dalam pencapaian manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan yang optimal dari pariwisata nuklir. Tidak hanya itu, upaya menangani risiko dan aspek keselamatan wisatawan dan masyarakat lokal juga menjadi sorotan utama. Hasil kajian ini memberikan wawasan berharga bagi pengembangan pariwisata nuklir yang berkelanjutan, menjunjung tinggi keamanan, serta kesejahteraan semua pihak yang terlibat.

Daftar Pustaka

- [1] D. Bakota, R. Machowski, A. Płomiński, A. Ramanchuk, M. Rzętała and L. Zastavetska, "The disaster as a factor in the development of modern tourism. A study case based on the chernobyl nuclear power plant," *Journal of Environmental Management & Tourism*, vol. 11, no. 7, pp. 1729-1741, 2020.
- [2] O. Grishnova and K. Bereziuk, "Activation of Nuclear Tourism as a Factor of Enterprises Social Responsibility," Kyiv National University of Trade and Economics, 2020.
- [3] J. Dai, S. Li, J. Bi and Z. Ma, "The health risk-benefit feasibility of nuclear power development," *Journal of Cleaner Production*, vol. 224, pp. 198-206, 2019.
- [4] N. Rush-Cooper, "Nuclear landscape: tourism, embodiment and exposure in the Chernobyl Zone," *Cultural Geographies*, vol. 27, no. 2, pp. 217-235, 2020.
- [5] V. M. Cvetković, A. Öcal, Y. Lyamzina, E. K. Noji, N. Nikolić and G. Milošević, "Nuclear Power Risk Perception in Serbia: Fear of Exposure to Radiation vs. Social Benefits," *Energies*, vol. 14, no. 9, p. 2464, 2021.
- [6] J. Liu, L. Shen and K. Sultana, "Ensuring Information Disclosure and Environmental Impact on Nanoradioactive Operation of Civil Nuclear Facilities in China," *Journal of Nanomaterials*, p. 2022, 2022.
- [7] N. Mažeikienė and E. Gerulaitienė, "Negotiating post-nuclear identities through tourism development in the 'atomic town' Visaginas," *Journal of Baltic Studies*, vol. 53, no. 3, pp. 437-457, 2022.
- [8] M. K. Sneve, M. Kiselev and N. K. Shandala, "Radio-ecological characterization and radiological assessment in support of regulatory supervision of legacy sites in northwest Russia," *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 131, pp. 110-118, 2014.
- [9] S. Yekimov, V. Nianko, H. Apelt, M. Zhumbei and N. Oliinyk, "Environmental management in tourism," *E3S Web of Conferences*, vol. 296, p. 05003, 2021.
- [10] S. Ma'arif, R. E. Sari and N. M. Indraswari, "Peran Perilaku Berkelanjutan dalam Manajemen Lingkungan untuk Pengembangan Desa Wisata Berbasis Energi Terbarukan," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (SENAPAS)*, vol. 1, no. 1, pp. 202-207, 2023.
- [11] H. Gusterson, "Nuclear Tourism," *Journal for Cultural Research*, vol. 8, no. 1, pp. 23-31, 2004.
- [12] A. Romanova, "Features and trends of the Chernobyl tourism development," *Economic Annals-XXI*, vol. 183, no. 5-6, pp. 134-141, 2020.
- [13] B. Alexis-Martin and T. Davies, "Towards nuclear geography: Zones, bodies, and communities," *Geography Compass*, vol. 11, no. 9, p. e12325, 2017.
- [14] D. N. Aratuo and X. L. Etienne, "Industry level analysis of tourism-economic growth in the United States," *Tourism Management*, vol. 70, pp. 333-340, 2019.
- [15] N. A. M. Nor, N. H. M. Salleh and A. F. Falatehan, "The effect of tourism expenditure on the economy: A new evidence," *Jurnal Ekonomi Malaysia*, vol. 55, no. 3, pp. 23-34, 2021.
- [16] H. G. Scarlett, "Tourism recovery and the economic impact: A panel assessment," *Research in Globalization*, vol. 3, p. 100044, 2021.
- [17] V. S. Lin, Y. Yang and G. Li, "Where can tourism-led growth and economy-driven tourism growth occur?," *Journal of Travel Research*, vol. 58, no. 5, pp. 760-773, 2019.
- [18] N. Mazeikiene, Learning the nuclear: Educational tourism in (post) industrial sites, Peter Lang International Academic Publishers, 2021.
- [19] Y. Yanev, "Nuclear knowledge management," *International Journal of Nuclear Knowledge*

- Management*, vol. 3, no. 2, pp. 115-124, 2009.
- [20] H. R. Sahar, N. Masngut, M. H. Yusof, N. Ngadiron and H. Adnan, "Overview of nuclear education and outreach program among Malaysian school students," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1799, no. 1, p. 020008, 2017.
- [21] I. Okano, A. Rosenberg, M. Dworkin, V. Murthy, S. Jayaraman and K. Takabe, "Direct and indirect health effects of the nuclear power plant disasters: a review for health care professionals," *IJS Global Health*, vol. 5, no. 5, p. e71, 2022.
- [22] J. M. Cuttler and M. Pollycove, "Nuclear energy and health: and the benefits of low-dose radiation hormesis," *Dose-Response*, vol. 7, no. 1, 2009.
- [23] S. M. Kiselev, N. K. Shandala, T. N. Lashchenova, Y. N. Zozul, V. V. Shlygin, T. I. Gimadova and A. N. Malakhova, "Health risk analysis as per radiation and chemical factors in a zone influenced by a nuclear legacy object in the north-western part of Russia," *Health Risk Analysis*, vol. 2021, no. 1, pp. 38-47, 2021.
- [24] I. Tsilikis, I. Pantos, I. Zouliati, A. Koutras, G. Kalinterakis and A. Syllaios, "Radiological risks from potential exposure of the population to radiation from orphan radioactive sources," *Health Physics*, vol. 116, no. 5, pp. 715-719, 2019.
- [25] J. Lochar, "Protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident: the guidance of ICRP Publication 111," *Journal of Radiological Protection*, vol. 32, no. 1, p. N95, 2012.
- [26] P. Wikman-Svahn, "Radiation protection issues related to the use of nuclear power," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, vol. 1, no. 3, pp. 256-269, 2012.
- [27] W. Naito, M. Uesaka, Y. Kuroda, T. Kono, A. Sakoda and H. Yoshida, "Examples of practical activities related to public understanding of radiation risk following the Fukushima nuclear accident," *Radioprotection*, vol. 55, no. 4, pp. 297-307, 2020.
- [28] A. D. Ionita, A. Olteanu and R. Pietraru, "Knowledge-based Education and Awareness about the Radiological and Nuclear Hazards," *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, pp. 154-163, 2019.
- [29] J. A. Koohpayeh, "A Review on Waste Management of Radioactive Materials and its Economic Effects," *Medbiotech Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 1-7, 2020.
- [30] G. Tochaikul, A. Phattanasub, P. Khemkham, K. Saengthamthawee, N. Danthanavat and N. Moonkum, "Radioactive waste treatment technology: A review," *Kerntechnik*, vol. 87, no. 2, pp. 208-225, 2022.
- [31] R. Crofts, J. E. Gordon, J. Brilha, M. Gray, J. Gunn, J. Larwood, V. L. Santucci, D. Tormey and G. L. Worboys, *Guidelines for geoconservation in protected and conserved areas, Switzerland: IUCN*, 2020.
- [32] S. B. Cho and M. S. Yim, "Examining the feasibility of nuclear-renewable hybrid energy system in Korea: A case-based analysis of high penetrations of solar energy," *International Journal of Energy Research*, vol. 44, no. 10, pp. 8133-8143, 2020.
- [33] N. Ahmed, F. Mahboob, Z. Hamid, A. A. Sheikh, M. S. E. Ali, W. Glabiszewski, A. Wysokińska-Senkus, P. Senkus and S. Cyfert, "Nexus between Nuclear Energy Consumption and Carbon Footprint in Asia Pacific Region: Policy toward Environmental Sustainability," *Energies*, vol. 15, no. 19, p. 6956, 2022.
- [34] S. S. Ho, T. Oshita, J. Looi, A. D. Leong and A. S. Chuah, "Exploring public perceptions of benefits and risks, trust, and acceptance of nuclear energy in Thailand and Vietnam: A qualitative approach," *Energy Policy*, vol. 127, pp. 259-268, 2019.
- [35] N. A. Mansor, M. Ibrahim, S. A. Rusli, D. B. Simpong, N. F. A. Razak, H. Samengon and N. A. Othman, "Empowering indigenous communities through participation in tourism," *International Journal of Tourism Anthropology*, vol. 7, no. 3-4, pp. 309-329, 2019.
- [36] S. Dubchak, V. Goshovska, V. Goshovskyi, O. Svetlychny and O. Gulac, "Legal regulation of ensuring nuclear safety and security in Ukraine on the way to European integration," *European Journal of Sustainable Development*, vol. 9, no. 1, pp. 406-406, 2020.
- [37] J. Yang and L. Ren, "Government-industry-education-research collaboration in tourism: University's perspective," *Journal of Hospitality & Tourism Research*, vol. 45, no. 5, pp. 898-901, 2021.

- [38] N. Mažeikienė and E. Gerulaitienė, "Negotiating post-nuclear identities through tourism development in the 'atomic town' Visaginas," *Journal of Baltic Studies*, vol. 53, no. 3, pp. 437-457, 2022.
- [39] D. Gupta and E. Bajramovic, "Security culture for nuclear facilities.," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1799, no. 1, p. 050014, 2017.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Pengaruh Desain Multi Modul PLTN SMR terhadap Ketentuan Keselamatan Reaktor Daya di Indonesia

Muhammad Rifqi Harahap¹, Rahmat Edhi Harianto¹, Bintoro Aji¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN,
Jakarta*

Korespondensi penulis:
m.harahap@bapeten.go.id

Abstrak

Perkembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) kecil, menengah, dan modular (SMR) menunjukkan perkembangan desain yang signifikan. Dalam perkembangannya, beberapa desain PLTN SMR mengadopsi desain multi modul. Pada desain ini, unit reaktor untuk PLTN terdiri dari beberapa modul seragam yang berada pada satu lokasi yang berdekatan dengan penggunaan struktur, sistem, dan komponen (SSK) yang digunakan bersama untuk beberapa modul. Hal ini membuat adanya beberapa deviasi pada ketentuan-ketentuan keselamatan yang dimiliki oleh reaktor konvensional. Dengan demikian, perlu dilakukan identifikasi dan reviu dampak-dampak yang ditimbulkan dari desain multi modul PLTN SMR terhadap ketentuan keselamatan reaktor daya yang tersedia di Indonesia. Identifikasi dan reviu ini dilakukan dengan melakukan telaah dan reviu peraturan-peraturan terkait ketentuan keselamatan reaktor daya di Indonesia, standar-standar internasional yang berlaku, ketentuan keselamatan pada beberapa badan pengawas di negara lain, dan *best practices* yang telah diterapkan oleh desainer PLTN. Dari hasil telaah dan reviu tersebut kemudian dilakukan analisis dan evaluasi untuk menemukan kesenjangan serta untuk merumuskan rekomendasi pada ketentuan keselamatan reaktor daya di Indonesia. Rekomendasi ini kemudian diharapkan mampu mengantisipasi deviasi ketentuan keselamatan dari desain multi modul PLTN SMR. Dari hasil telaah diketahui bahwa desain multi modul dari PLTN SMR memiliki pengaruh pada ketentuan keselamatan dalam aspek pertahanan berlapis, bahaya eksternal, pemilihan kejadian awal, penggunaan SSK bersama, analisis dan tujuan keselamatan, faktor manusia serta kesiapsiagaan dan respon kedaruratan. Ketentuan keselamatan pada aspek-aspek ini sebaiknya dapat dituangkan dalam peraturan BAPETEN tentang Keselamatan Desain.

Kata Kunci: PLTN, SMR, Multi modul, Ketentuan Keselamatan

Abstract

The development of Small, Medium, and Modular Reactor (SMR) on Nuclear Power Plant (NPP) has shown significant development, especially in design development. In its development, some SMR NPP is adopting multi-modul design. In this design, reactor unit for NPP consists of a numbers of uniform reactor modul sitting on adjacent with each other on the same reactor building using a common structure, system, and component for some reactor modul. This design creates some deviation in the existing safety provision which intended for conventional reactor. Therefore, the impact from SMR NPP multi-modul design towards power reactor safety provision in Indonesia is reviewed and identified. The review and identification is carried out by reviewing and comparing regulations related to power reactor safety provision in Indonesia with applicable international standards. The review and comparisen then analyzed and evaluated to discover regulatory gaps and to formulate recommendation for multi-modul SMR NPP in Indonesia's power reactor safety provision. From the review, it is discovered that multi modul design of SMR NPP impacted safety provision in defense-in-depth aspect, external hazard aspect, postulated initiating event aspect, utilization of common SSC aspect, analysis

and safety goals aspect, human factor aspect, and emergency preparedness and response aspect. Safety provision from these aspect should be incorporated in BAPETEN Regulation for Safety Design.

Keywords: NPP, Small Modular Reactor (SMR), Multi-modul, Safety Provision

Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu pembangkit yang memiliki perkembangan teknologi yang cukup cepat. Hal ini dapat dilihat dengan bertambahnya desain-desain baru reaktor nuklir yang menjadi basis PLTN dengan berbagai tambahan fitur peningkatan keselamatan. Desain-desain ini juga mulai dikembangkan kematangan teknologinya oleh masing-masing pengembang sehingga diharapkan dapat dioperasikan dalam waktu dekat. Perkembangan desain-desain PLTN ini kemudian terangkum dalam dokumen ARIS IAEA [1].

Salah satu desain teknologi PLTN yang dipertimbangkan untuk dapat segera dioperasikan dalam waktu dekat adalah PLTN kecil, menengah, dan modular (SMR). Hal ini dikarenakan PLTN SMR memiliki kelebihan dengan biaya investasi awal yang rendah, skalabilitas yang baik, dan fleksibilitas lokasi tapak. Dengan kapasitas kecil sampai menengah dan biaya investasi awal yang rendah PLTN SMR juga menarik minat negara-negara berkembang untuk membangun dan mengoperasikan PLTN SMR [2].

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang yang juga anggota IAEA dalam hal ini memiliki ketertarikan untuk membangun serta mengembangkan PLTN SMR. Keputusan Menteri ESDM nomor 188.K/HK.02/MEM.L/2021 tanggal 28 September 2021 tentang Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Nasional (RUPTL) Tahun 2021 sampai dengan Tahun 2030 memasukkan PLTN SMR sebagai opsi sumber energi [3].

Sehubungan dengan rencana ini, pengembang PLTN SMR seperti PT. Thorcon Power Indonesia dan Copenhagen Atomics dengan reaktor *Molten Salt Reactor* (MSR) [4] [5], serta NuScale Power, LLC dengan reaktor *Integral Pressurized Water Reactor* (IPWR), memiliki niatan untuk melakukan investasi pembangunan PLTN SMR di lokasi tapak yang nantinya akan disetujui oleh Pemerintah Indonesia [6].

Desain PLTN SMR yang direncanakan akan dibangun dan dioperasikan di Indonesia memiliki desain multi modul. sehingga unit reaktor untuk PLTN SMR terdiri dari beberapa modul seragam yang berada pada satu lokasi yang berdekatan. Selain itu, reaktor ini memiliki konfigurasi yang kompak dengan struktur, sistem, dan komponen (SSK) yang digunakan bersama untuk beberapa modul [7]. Penggunaan desain multi modul pada PLTN SMR dalam hal ini akan berdampak terhadap regulasi ketentuan keselamatan PLTN khususnya pada reaktor daya yang berlaku di Indonesia.

Regulasi ketentuan keselamatan reaktor daya di Indonesia diatur pada Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan peraturan turunannya yakni pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya. Kedua peraturan ini berlaku khusus untuk reaktor berpendingin air dengan lokasi tapak di darat. Namun, pada peraturan ini, tidak dinyatakan secara spesifik ketentuan keselamatan terkait PLTN SMR dengan desain multi modul [8][9].

Dengan permasalahan tersebut, makalah ini bertujuan untuk melakukan analisis dan identifikasi dampak-dampak dari penerapan desain multi modul PLTN SMR terhadap regulasi ketentuan keselamatan desain PLTN yang berlaku di Indonesia. Hasil analisis dan identifikasi ini kemudian dapat menjadi dasar dalam merumuskan rekomendasi-rekomendasi untuk merevisi atau memperkaya ketentuan keselamatan PLTN SMR khususnya untuk desain multi modul.

Studi Pustaka

Dalam melakukan analisis dan identifikasi dampak-dampak dari penerapan desain multi modul PLTN SMR terhadap regulasi ketentuan keselamatan desain PLTN di Indonesia, digunakan metode kualitatif secara deskriptif dan komparatif. Penggunaan metode deskriptif dilakukan dengan mendeskripsikan temuan-temuan dampak penerapan desain multi modul PLTN SMR melalui dokumen referensi

terbitan International Atomic Energy Agency (IAEA) yakni *IAEA TECDOC 2003 Lesson Learned in Regulating Small Modular Reactors Challenges, Resolutions, and Insights* dan dokumen *Small Modular Reactor Regulator's Forum Design and Safety Analysis Working Group Report on Multi-unit/Multi-module aspects specific to SMRs* menjadi rujukan utama dalam identifikasi dampak penerapan desain multi modul PLTN SMR.

Temuan ini kemudian dikomparasikan dengan ketentuan keselamatan reaktor daya dalam Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir serta Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya. Melalui komparasi kemudian diidentifikasi hal-hal apa saja yang belum diatur serta memiliki urgensi untuk segera dimasukkan dalam ketentuan keselamatan reaktor daya. Hasil identifikasi ini kemudian dianalisis dan dievaluasi untuk merumuskan rekomendasi yang dapat memperkaya ketentuan keselamatan PLTN SMR khususnya untuk desain multi modul.

1. IAEA TECDOC 2003 Lesson Learned in Regulating Small Modular Reactors Challenges, Resolutions, and Insights

IAEA menerbitkan TECDOC 2003 *Lesson Learned in Regulating Small Modular Reactor* tentang tantangan-tantangan dalam meregulasi SMR yang dialami oleh negara-negara anggota IAEA. Untuk desain multi modul, salah satu pertimbangan yang menjadi topik diskusi yakni aspek terkait desain dan analisis keselamatan [10]. Aspek keselamatan yang menjadi tantangan dalam ketentuan desain dan analisis keselamatan antara lain:

- bahaya eksternal yang berdampak ke semua modul;
- pemilihan kejadian awal;
- SSK yang digunakan bersama;
- Tujuan keselamatan untuk desain PLTN SMR multi modul

Dalam hal penilaian keselamatan untuk desain multi modul, pertimbangan SSK yang terkait keselamatan menjadi salah satu isu keselamatan yang menjadi perhatian utama. SSK terkait keselamatan yang digunakan bersama lebih dari satu modul harus dapat didemonstrasikan keandalannya sehingga tidak mengurangi kinerja fungsi keselamatan dari modul yang menggunakan. Selain itu SSK yang digunakan bersama dapat menyebabkan kerentanan terhadap signifikansi risiko untuk modul sehingga SSK menjadi tidak independen.

2. Small Modular Reactor Regulator's Forum Design and Safety Analysis Working Group Report on Multi-unit/Multi-module aspects specific to SMRs

SMR Regulator's Forum menerbitkan *Design and Safety Analysis Working Group Report on Multi-unit/multi-module aspects specific to SMRs*. Dokumen ini membahas beberapa hal-hal harus dipertimbangkan badan pengawas dalam melakukan pengawasan terhadap PLTN SMR yang menerapkan desain multi modul. Salah satu poin penting yang menjadi perhatian dalam desain multi modul yakni aspek keselamatan spesifik yang harus diperhatikan dalam desain multi modul [7].

Aspek keselamatan spesifik PLTN SMR multi modul yang berdampak pada ketentuan keselamatan lalu diidentifikasi berdasarkan implikasi yang disebabkan oleh fitur desain SMR dan pertimbangan terhadap fitur desain tersebut. Aspek yang diidentifikasi yakni:

- pertahanan berlapis;
- bahaya eksternal dan internal;
- pemilihan kejadian awal;
- SSK yang digunakan bersama;
- penilaian risiko tapak untuk multi modul;
- faktor manusia;
- kesiapsiagaan dan respons kedaruratan.

3. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir

Pada PP Nomor 54 Tahun 2012 mengatur persyaratan teknis terkait keselamatan dan keamanan yang harus dipersiapkan oleh pemegang izin dalam membangun, mengoperasikan, dan mendekomisioning instalasi nuklir. Keselamatan dan keamanan instalasi nuklir mencakup teknis keselamatan instalasi

nuklir, teknis keamanan instalasi nuklir, manajemen keselamatan dan keamanan instalasi nuklir, serta kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir.

Pada peraturan ini persyaratan keselamatan nuklir yang harus diakomodir oleh pemegang izin membatasi pada tipe reaktor yang memiliki tapak di daratan. Sehingga prinsip-prinsip ini dapat diterapkan untuk desain reaktor baik tunggal maupun multi modul dengan lokasi tapak di daratan.

Pada peraturan pemerintah ini juga diatur secara umum ketentuan terkait sanksi administrasi apabila pemegang izin tidak memenuhi ketentuan-ketentuan teknis yang tercakup pada peraturan ini. Persyaratan keselamatan yang dinyatakan pada peraturan pemerintah ini umumnya berlaku untuk semua tipe reaktor.

Desain dan konstruksi juga menjadi salah satu poin yang diatur dalam PP 54 tahun 2012. Desain dalam hal ini harus memenuhi prinsip dasar keselamatan nuklir berupa: keselamatan inheren, penghalang ganda, margin keselamatan, redundansi, keragaman, kemandirian, gagal-selamat, dan kualifikasi peralatan.

Peraturan ini juga mengatur terkait persyaratan dasar dan persyaratan khusus yang harus dipenuhi oleh desain PLTN. Persyaratan umum desain dalam hal ini meliputi desain:

- Keandalan struktur, sistem, dan komponen (SSK),
- Kemudahan operasi, inspeksi, perawatan, dan pengujian,
- Kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir,
- Proteksi radiasi,
- Faktor manusia, dan
- Manajemen penuaan

Selain itu, terkait persyaratan khusus desain reaktor nuklir yang menjadi komponen utama dalam PLTN, meliputi:

- Teras reaktor,
- Sistem pemindah panas,
- Sistem *shutdown*,
- Sistem proteksi reaktor,
- Fitur keselamatan teknis,
- Sistem pengungkung,
- Sistem instrumentasi dan kendali,
- Sistem penanganan dan penyimpanan bahan nuklir,
- Sistem pengelolaan limbah radioaktif, dan
- Sistem bantu

Namun, dalam peraturan ini, tidak menyatakan secara langsung persyaratan tambahan untuk melindungi desain multi modul, terutama dalam sistem *shutdown*, sistem proteksi reaktor, fitur keselamatan teknis, sistem pengungkung, serta sistem instrumentasi kendali. Persyaratan tambahan ini ditujukan agar apabila terjadi suatu kejadian pada satu modul reaktor tidak serta merta merembet ke modul reaktor lainnya. Dalam hal persyaratan khusus reaktor, reaktor multi modul dalam hal ini harus mampu memenuhi persyaratan desain khusus untuk masing-masing modul reaktor [8].

4. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya

Persyaratan teknis keselamatan desain secara umum diatur dalam Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya [9]. Peraturan ini mengatur tentang detail persyaratan keselamatan yang sebelumnya diatur dalam PP Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir untuk reaktor daya. Peraturan ini berlaku untuk reaktor daya yang dibangun di daratan termasuk reaktor daya yang didesain untuk memanfaatkan produksi panas.

Untuk desain multi modul, desain harus mempertimbangkan potensi bahaya baik internal maupun eksternal yang dapat menimbulkan dampak pada beberapa atau semua unit secara bersamaan. Terkait bahaya eksternal, desain juga harus menyediakan fitur yang meminimalkan interaksi antara bangunan yang berisi SSK penting untuk keselamatan. Selain itu, ketentuan keandalan desain struktur, sistem,

dan komponen (SSK) dalam hal ini harus menerapkan redundansi, keragaman, kemandirian, dan desain gagal-selamat. Dalam penjelasannya, desain dan tata letak sistem menggunakan pemisahan fisik sedapat mungkin untuk meningkatkan keyakinan bahwa kemandirian akan tercapai.

Selain itu, pada pasal 47 yang berbunyi dalam hal struktur, sistem dan komponen yang penting untuk keselamatan digunakan pada lebih dari satu reaktor, desain harus menjamin struktur, sistem dan komponen tetap dapat melaksanakan fungsi keselamatan dalam kondisi instalasi [9].

Hasil dan Pembahasan/Pembahasan

Dari referensi literatur yang menjadi acuan, desain PLTN SMR multi modul akan memiliki dampak terhadap ketentuan keselamatan terutama pada aspek:

- pertahanan berlapis;
- bahaya eksternal yang berdampak ke semua modul;
- pemilihan kejadian awal;
- SSK yang digunakan bersama;
- analisis dan tujuan keselamatan untuk desain PLTN SMR multi modul;
- faktor manusia;
- kesiapsiagaan dan respons kedaruratan [7], [10].

1. Aspek Pertahanan Berlapis

Pertahanan berlapis merupakan salah satu prinsip fundamental dalam memastikan keselamatan desain, tidak terkecuali untuk desain multi modul PLTN SMR. Pertahanan berlapis harus dipenuhi oleh desain SMR sampai dengan 5 tingkatan. Untuk desain PLTN multi modul sendiri, harus didemonstrasikan bahwasanya koneksi, fitur yang digunakan bersama, dan dependensi antara modul tidak akan mengurangi fungsi pertahanan berlapis [7]. Isu keselamatan dan yang dimasukkan dalam demonstrasi keselamatan pada desain multi modul harus diinvestigasi dan dilengkapi sejauh ketersediaan informasi desain tersedia. Selain itu, dampak fitur umum dan dependensi antar modul terhadap tiap level pertahanan berlapis dan kemandirian fitur-fitur tersebut harus diinvestigasi [7].

Penerapan pertahanan berlapis, telah tercantum dalam Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 pada pasal 6 dan 7. Peraturan dalam hal ini sudah menjelaskan secara rinci terkait keharusan penerapan pertahanan berlapis dalam desain [9]. Sehingga, tidak diperlukan penambahan penjelasan yang lebih rinci terkait kebutuhan desain multi modul untuk mendemonstrasikan keandalan dan kemandirian dari desain multi modul. Terkait hal ini, dapat menjadi catatan bagi evaluator untuk menguji kecukupan penerapan pertahanan berlapis untuk desain multi modul.

2. Aspek Bahaya Eksternal yang Berpengaruh ke Semua Modul

Terkait bahaya eksternal, desain multi modul dalam hal ini harus mempertimbangkan potensi bahaya spesifik yang dapat berdampak terhadap beberapa atau seluruh modul dalam tapak [7]. Desain multi modul juga harus mempertimbangkan bahaya yang menyebabkan merembetnya kecelakaan dalam satu modul ke modul lainnya akibat dari potensi dampak penyebab umum terutama apabila terdapat SSK yang digunakan bersama [10].

Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 dalam hal ini mengatur terkait bahaya eksternal dan bahaya internal pada pasal 26. Pada pasal ini, bahaya internal dan eksternal yang mempengaruhi keselamatan reaktor daya harus dipertimbangkan dalam menyusun kejadian awal terpostulasi (PIE) [9]. Dalam hal ini, pengaturan terkait bahaya internal dan eksternal belum menyatakan urgensi dampak bahaya eksternal ke desain multi modul. Dalam rancangan peraturan BAPETEN tentang ketentuan desain reaktor daya yang akan merevisi Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 diharapkan dapat mempertimbangkan dampak bahaya eksternal yang berpengaruh ke modul reaktor lainnya.

3. Aspek Pemilihan Kejadian Awal

Pemilihan kejadian awal terpostulasi harus dilakukan dengan memilih setiap kegagalan awal maupun kegagalan sekuensial yang dapat mengganggu fungsi keselamatan dan mengancam integritas penghalang yang menyebabkan lepasan zat radioaktif. Pemilihan kejadian awal ini juga didasarkan

pada bahaya internal dan eksternal yang telah teridentifikasi pada desain [10]. Untuk tapak dengan desain multi-unit, kejadian awal harus mencakup kejadian yang dapat berdampak pada lebih dari satu unit serta kejadian yang terjadi pada satu unit yang berdampak ke unit lainnya. Selain kejadian awal yang berdampak ke modul lain, pemilihan kejadian awal juga harus mempertimbangkan kegagalan yang berasal dari SSK yang digunakan lebih dari satu modul reaktor seperti peralatan penanganan bahan bakar [7].

Pemilihan kejadian awal merupakan tahap awal dalam melakukan analisis keselamatan deterministik dan analisis probabilistik seperti yang tercantum pada pasal 21 dan pasal 22 Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011. Pada peraturan ini pemilihan kejadian awal ditentukan dengan kombinasi antara iterasi antara desain dan analisis, penilaian teknis, serta pengalaman dari desain dan operasi sebelumnya. Hal ini secara tidak langsung mencakup kejadian awal yang berdampak pada lebih dari satu modul, kejadian awal pada satu modul yang dapat merembet ke modul lainnya, serta kejadian awal akibat kegagalan SSK yang digunakan bersama untuk beberapa modul [9].

4. Aspek Penggunaan SSK Bersama

Penggunaan SSK bersama merupakan salah satu hal yang dibatasi dalam ketentuan keselamatan reaktor daya terutama untuk SSK penting untuk keselamatan. Penggunaan SSK bersama pada SSK penting untuk keselamatan dalam hal ini dapat dilakukan jika penggunaan bersama tersebut dapat didemonstrasikan secara meyakinkan bahwa penggunaan tersebut tidak mengurangi fungsi keselamatan [10]. Apabila SSK penting untuk keselamatan digunakan bersama antar modul reaktor, ketentuan keselamatan harus dapat dipenuhi oleh tiap-tiap modul yang menggunakan SSK tersebut pada setiap kondisi operasi. SSK yang digunakan bersama antar modul reaktor dalam hal ini harus dapat memastikan pemadaman pendinginan, dan pembuangan panas harus dapat dilakukan pada reaktor lainnya apabila salah satu reaktor terjadi kecelakaan [7].

Penggunaan SSK bersama dalam hal ini tidak dianjurkan dalam Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011. Pada Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 SSK dalam hal ini harus menerapkan prinsip kemandirian SSK. Kemandirian ini berlaku untuk setiap komponen sistem redundan SSK. Hal ini menutup kemungkinan dapat dilakukannya penggunaan SSK bersama untuk SSK dengan kelas keselamatan yang lebih rendah [9].

Penggunaan SSK bersama dalam beberapa regulasi di negara lain diperbolehkan untuk SSK dengan kelas keselamatan lebih rendah untuk membantu SSK penting untuk keselamatan dalam mengendalikan dan memitigasi kecelakaan [10]. Hal ini perlu menjadi pertimbangan pada Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 sehingga SSK dengan kelas keselamatan yang lebih rendah dapat meningkatkan kinerja keselamatan dari reaktor multi modul.

5. Aspek Analisis dan Tujuan Keselamatan untuk Desain PLTN SMR Multi Modul

Dalam melakukan analisis keselamatan, metode probabilistik merupakan metode yang terus menerus dikembangkan untuk menilai secara holistik kinerja keselamatan untuk reaktor multi modul. Metode probabilistik melakukan analisis berdasarkan peluang terjadinya kecelakaan dari setiap kejadian awal yang telah teridentifikasi. Metode ini mempertimbangkan seluruh progresi kecelakaan yang dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara tindakan operator dan interaksi antar SSK [7].

Metode probabilistik dalam hal ini digunakan dalam menyusun laporan keselamatan probabilistik. Dalam penggunaannya analisis keselamatan probabilistik hanya mencakup satu unit tunggal untuk memperoleh metrik risiko untuk unit tunggal reaktor dalam nilai frekuensi kerusakan teras per tahun dan frekuensi lepasan radioaktif per tahun. Penerapan metode probabilistik dalam hal ini cocok untuk diterapkan pada desain multi modul karena mempertimbangkan interaksi antar modul dan SSK. Analisis keselamatan probabilistik untuk multi modul dalam hal ini masih dalam tahap pengembangan, namun beberapa kriteria keberterimaan dari hasil analisis ini dapat menjadi pertimbangan dalam meregulasi reaktor daya dengan desain multi modul dalam bentuk batasan metrik risiko untuk multi modul. Metrik risiko multi modul kemudian acuan dalam menentukan tujuan keselamatan dan acuan target numerik, seperti nilai pembatas dosis, batasan lepasan, dan target frekuensi analisis keselamatan probabilistik [10].

Penggunaan metode probabilistik dalam hal ini menjadi syarat untuk mendapatkan izin konstruksi yang tercantum pada pasal 9 Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi

Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [11]. Ketentuan terkait analisis probabilistik juga tercantum pada pasal 22 Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 [9]. Namun, dalam hal ketentuan terkait analisis keselamatan probabilistik untuk multi modul dan kriteria keberterimaannya dalam hal ini belum diatur dalam kedua peraturan ini. Selain itu, tujuan keselamatan dan target numerik terkait batasan lepasan dan target frekuensi analisis keselamatan probabilistik juga belum diatur dalam kedua peraturan ini.

6. Aspek Faktor Manusia

Faktor manusia merupakan salah satu aspek desain yang memiliki pengaruh yang cukup signifikan dalam keselamatan reaktor nuklir. Dokumen IAEA SSG 76 *Conduct of Operation at Nuclear Power Plant* mencakup ekspektasi dalam menghadapi pembagian tanggung jawab antara supervisor shift dan supervisor unit. Dalam hal ini, supervisor shift dan supervisor unit harus diampu oleh orang yang berbeda. Supervisor unit kemudian bertanggung jawab atas keselamatan masing-masing unit yang diampu [12].

Desain multi modul pada PLTN SMR menawarkan fitur keselamatan dan kemudahan operasi yang lebih baik dibandingkan dengan PLTN konvensional. Desain ini memungkinkan satu operator untuk memegang kendali atas operasi dari lebih dari satu modul reaktor. Modul reaktor memiliki definisi berbeda dengan unit yang digunakan oleh IAEA SSG-76. Unit reaktor dalam hal ini merujuk pada unit reaktor daya nuklir bersama dengan perlengkapan terkait yang dibutuhkan untuk membangkitkan daya, termasuk di dalamnya SSK yang disyaratkan untuk menjamin operasi dari fasilitas. Sedangkan modul reaktor dalam hal ini diartikan sebagai desain reaktor yang memperbolehkan adanya lebih dari satu reaktor pada jarak yang berdekatan dalam satu infrastruktur. Dengan demikian dalam operasi multi modul, bisa saja terdapat ruang kendali, gedung reaktor, dan pembuangan panas akhir yang digunakan bersama untuk setiap modul reaktor.

Pada pengendalian reaktor multi modul memungkinkan satu operator untuk mengendalikan operasi lebih dari satu modul reaktor. Hal ini berlawanan dengan pedoman dalam dokumen IAEA SSG-76 yang menyatakan bahwa untuk tiap unit reaktor setidaknya memiliki satu penanggung jawab yang berbeda untuk masing-masing unit. Dengan demikian diperlukan analisis yang sistematis untuk dapat menentukan dasar kebutuhan staf operator reaktor. Sehingga hal ini dapat menjustifikasi jumlah minimal pekerja operator yang diperlukan agar modul reaktor dapat beroperasi dengan selamat pada seluruh mode operasi [7].

Penentuan jumlah operator reaktor daya dalam hal ini sudah tercantum ketentuannya dalam Perka BAPETEN No. 3 Tahun 2011 tentang ketentuan keselamatan desain reaktor daya dalam hal jumlah minimum operator yang diusulkan oleh pemohon izin [9]. Walaupun demikian, BAPETEN belum memiliki kriteria keberterimaan untuk dapat dijadikan acuan dalam melakukan reuvaluasi permohonan izin. Hal ini perlu dirumuskan sehingga BAPETEN dapat memastikan dengan wajar bahwa jumlah operator minimum yang diajukan tidak mengurangi keandalan dari keselamatan desain.

7. Aspek Kesiapsiagaan dan Respons Kedaruratan

Desain multi modul pada PLTN SMR mengklaim bahwa fitur desain dan keselamatan yang dimiliki dapat meningkatkan keselamatan serta menyederhanakan operasi dengan suku sumber yang lebih kecil. Hal ini kemudian menyebabkan zona perencanaan kedaruratan dari PLTN SMR dengan desain multi modul dapat menjadi lebih kecil daripada zona kedaruratan PLTN konvensional dengan daya yang sama [7].

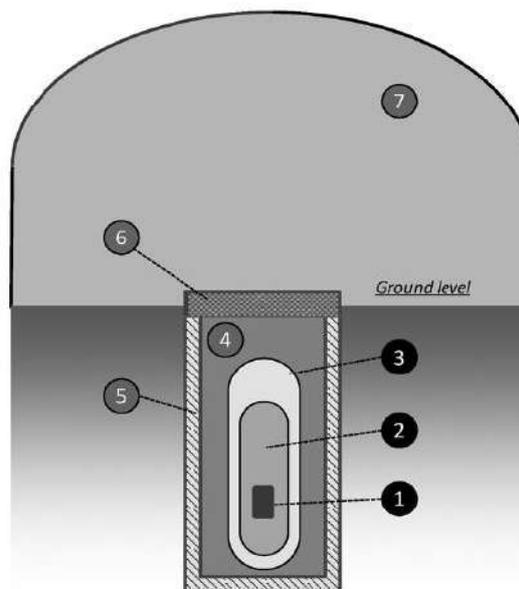
Selain suku sumber yang lebih kecil, hal ini juga didukung dengan penambahan penghalang berganda yang lebih banyak dan kompak dibandingkan dengan reaktor konvensional. Dalam PLTN SMR, penghalang berganda juga mencakup sistem pendingin akhir, struktur di sekitar reaktor, perisai biologis, serta bangunan gedung reaktor itu sendiri. Penambahan penghalang ini dapat dilihat pada ilustrasi berikut [13].

Conventional Designs

1. Fuel Pellet and Cladding
2. Reactor Vessel
3. Containment

NuScale's Additional Barriers

4. Water in Reactor Pool (4 million gallons)
5. Stainless Steel Lined Concrete Reactor Pool
6. Biological Shield Covers Each Reactor
7. Reactor Building



Gambar 7. Penambahan penghalang pada modul reaktor SMR [13]

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 Tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir telah menetapkan zona kedaruratan nuklir yang harus dipenuhi oleh pemohon izin. Penetapan zona kedaruratan nuklir ini didasarkan oleh daya reaktor dan prakiraan dampak terburuk dari kecelakaan terparah yang dialami oleh reaktor. Perka BAPETEN ini tidak mengakomodir permohonan pengurangan zona kedaruratan untuk PLTN SMR, walaupun PLTN SMR memiliki fitur-fitur yang dapat meningkatkan keselamatan dan menghindari terjadinya lepasan radioaktif dalam skala besar [14].

Hal ini disebabkan Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 menganut pendekatan deterministik dalam menentukan zona kedaruratan. Pada pendekatan ini, zona kedaruratan ditetapkan berdasarkan analisis kecelakaan terburuk dengan asumsi lepasan radioaktif sebanyak 10% (sepuluh persen) dari inventori produk fisi volatil pada teras dengan lama waktu lepasan selama 10 jam [15].

BAPETEN dalam hal ini perlu merumuskan ketentuan-ketentuan yang dapat dilakukan oleh pemohon izin untuk dapat melakukan pengurangan zona kedaruratan nuklir. Ketentuan-ketentuan ini perlu dirumuskan sebagai komitmen BAPETEN dalam mendorong pengembangan teknologi nuklir dan peningkatan keselamatan yang berkelanjutan.

8. Rekomendasi terhadap Ketentuan Keselamatan Reaktor Daya

Dari pembahasan sebelumnya, desain multi modul PLTN SMR memiliki pengaruh terhadap tujuh aspek ketentuan keselamatan. Dari analisis, dapat dirumuskan beberapa rekomendasi terkait tindak lanjut yang dapat dilakukan untuk memperbaiki atau memperkaya Peraturan BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya. Rekomendasi terhadap Ketentuan Keselamatan Desain dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Kesenjangan dan rekomendasi regulasi terhadap aspek ketentuan keselamatan desain multi modul

Aspek Ketentuan Keselamatan	Kesenjangan Regulasi	Rekomendasi
Aspek Pertahanan Berlapis	Telah tercantum dalam Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011 pada pasal 6 dan 7	Tidak ada rekomendasi
Aspek Bahaya Eksternal yang Berpengaruh ke Semua Modul	Bahaya internal dan eksternal yang mempengaruhi keselamatan reaktor daya yang dipertimbangkan untuk menjadi PIE belum mencakup bahaya eksternal yang memiliki dampak ke desain multi modul.	Dalam menentukan PIE terkait bahaya eksternal sebaiknya dapat dinyatakan dalam peraturan sehingga PIE yang nantinya dianalisis menjadi lebih komprehensif.
Aspek Pemilihan Kejadian Awal	Pemilihan kejadian awal telah diatur	Tidak ada rekomendasi

	pada pasal 21 dan pasal 22 Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011. Kejadian awal ditentukan dengan kombinasi antara iterasi antara desain dan analisis, penilaian teknis, serta pengalaman dari desain dan operasi sebelumnya. Hal ini secara tidak langsung mencakup kejadian awal yang berdampak pada lebih dari satu modul.	
Aspek Penggunaan SSK Bersama	Penggunaan SSK Bersama dapat dilakukan untuk desain multi modul apabila dapat didemonstrasikan secara meyakinkan bahwa penggunaan tersebut tidak mengurangi fungsi keselamatan	SSK penting untuk keselamatan yang digunakan bersama sebaiknya diatur pada peraturan dengan ketentuan bahwa dapat SSK tersebut secara meyakinkan penggunaannya tidak mengurangi fungsi keselamatan serta dapat menjamin modul reaktor lainnya dapat tetap melakukan pendinginan, dan pembuangan panas apabila salah satu modul reaktor terjadi kecelakaan.
Aspek Analisis dan Tujuan Keselamatan untuk Desain PLTN SMR Multi Modul	Belum ada peraturan penyusunan LAK Probabilistik	<ul style="list-style-type: none"> • Segera dilakukan penyusunan peraturan terkait LAK Probabilistik • Dilakukan penyusunan kriteria keberterimaan LAK Probabilistik dalam hal tujuan keselamatan dan target numerik terkait batasan lepasan dan target frekuensi analisis keselamatan probabilistik
Aspek Faktor Manusia	Jumlah operator minimum untuk mengoperasikan modul reaktor berkurang karena operator modul reaktor dapat mengoperasikan lebih dari satu modul reaktor	kriteria keberterimaan terkait jumlah minimum operator sebaiknya disusun untuk dapat dijadikan acuan dalam melakukan reviu evaluasi permohonan izin. Sehingga BAPETEN dapat memastikan dengan wajar bahwa jumlah operator minimum yang diajukan tidak mengurangi keandalan dari keselamatan desain.
Aspek Kesiapsiagaan dan Respons Kedaruratan	zona perencanaan kedaruratan dari PLTN SMR dengan desain multi modul dapat menjadi lebih kecil daripada zona kedaruratan PLTN konvensional dengan daya yang sama	Sebaiknya disusun ketentuan alternatif yang dapat dilakukan oleh pemohon izin untuk dapat melakukan pengurangan zona kedaruratan nuklir dengan wajar.

Kesimpulan

Analisis dan identifikasi pengaruh yang ditimbulkan dari penerapan desain multi modul PLTN SMR terhadap regulasi ketentuan keselamatan desain PLTN yang berlaku di Indonesia telah dilakukan. Dari analisis ini, penerapan desain multi modul PLTN SMR berdampak pada tujuh aspek ketentuan keselamatan yang telah diatur dalam regulasi di Indonesia. Ketujuh aspek ini adalah aspek pertahanan berlapis, aspek bahaya eksternal, aspek pemilihan kejadian awal, aspek penggunaan SSK bersama, aspek analisis dan tujuan keselamatan, aspek faktor manusia, serta aspek kesiapsiagaan dan respons kedaruratan.

Dari ketujuh aspek ini, aspek pertahanan berlapis dan aspek bahaya eksternal telah dinyatakan dalam Perka BAPETEN No 3 Tahun 2011. Tentang Keselamatan Desain Reaktor Daya. Lima aspek lainnya dalam hal ini perlu dituangkan aturannya dalam Rancangan Peraturan BAPETEN Tentang Ketentuan Keselamatan Desain.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya atas dukungan dan kontribusi yang disediakan oleh manajemen P2STPIBN, BAPETEN. Penulis juga memberikan apresiasi yang sebesar-besarnya terkait presentasi dan diskusi dalam pembahasan implikasi keselamatan desain PLTN SMR multi modul oleh Ir. D.T. Sony Tjahyani, M.Eng selaku peneliti PRTRN, ORTN – BRIN serta Dr. Ir. Haryono Budi Santosa, M.Sc. dan Dr-Ing. Sihana selaku dosen DTNTF Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- [1] IAEA ARIS, ADVANCES IN SMALL MODULAR REACTOR TECHNOLOGY DEVELOPMENTS 2020 Edition A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) <http://aris.iaea.org>, 2020. [Online]. Available: <http://aris.iaea.org>.
- [2] T. Murakami and V. Anbumozhi, “Small Modular Reactor (SMR) Deployment: Advantages and Opportunities for ASEAN,” no. 10, 2022, [Online]. Available: [https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/RPR-2022-10/Small-Modular-Reactors-\(SMR\)-Deployment-Advantages-and-Opportunities-for-ASEAN.pdf](https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/RPR-2022-10/Small-Modular-Reactors-(SMR)-Deployment-Advantages-and-Opportunities-for-ASEAN.pdf).
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 18.K/HK.02/MEM.L/2021 Tentang Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.,” *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030*, pp. 2019–2028, 2021.
- [4] H. Fajrian, “BRIN Gandeng ThorCon Kerja Sama Kembangkan Teknologi untuk PLTN.” <https://katadata.co.id/happyfajrian/ekonomi-hijau/6201f1ba19619/brin-gandeng-thorcon-kerja-sama-kembangkan-teknologi-untuk-pltn> (accessed Mar. 11, 2022).
- [5] BAPETEN, “Kunjungan Copenhagen Atomics ke BAPETEN dalam rangka Konsultasi Peraturan Perizinan Pembangunan PLTN Tipe Modular Molten Salt Reactor (MSR) di Bontang Kalimantan Timur,” 2023. <https://bapeten.go.id/berita/kunjungan-copenhagen-atomics-ke-bapeten-dalam-rangka-konsultasi-peraturan-perizinan-pembangunan-pltn-tipe-modular-molten-salt-reactor-msr-di-bontang-kalimantan-timur-113053> (accessed Apr. 28, 2023).
- [6] E. A. Kurniawa, “Amerika Serikat, Indonesia Umumkan Kemitraan Energi Bersih dengan Nuklir Reaktor Modular Kecil,” 2023. <https://id.usembassy.gov/id/amerika-serikat-indonesia-umumkan-kemitraan-energi-bersih-dengan-nuklir-reaktor-modular-kecil/> (accessed Apr. 28, 2023).
- [7] Small Modular Reactors Regulators’ Forum, “Small Modular Reactors Regulators’ Forum: Design and Safety Analysis Working Group Report on Multi-unit/Multi-module aspects specific to SMRs INTERIM REPORT,” no. December, 2019.
- [8] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia, 2012.
- [9] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2011.
- [10] IAEA, *IAEA TecDoc 2003 Lesson Learned in Regulating Small Modular Reactor*. Vienna: IAEA, 2022.
- [11] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*. Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 2014.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *IAEA Specific Safety Guide No. SSG-76 Conduct of Operations at Nuclear Power Plants*. Vienna: IAEA, 2022.
- [13] J. N. Reyes, “NuScale plant safety in response to extreme events,” *Nucl. Technol.*, vol. 178, no. 2, pp. 153–163, 2012, doi: 10.13182/NT12-A13556.
- [14] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2010.
- [15] International Atomic Energy Agency - IAEA, *Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor*, vol. 3. Viena: IAEA, 2013.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pentingnya Pelaksanaan Partisipasi Masyarakat dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan Bidang Ketenaganukliran di BAPETEN

Rr. Silvi Habsari¹, Duria Sumariyastuti¹

¹ *Biro Hukum, Kerjasama dan Komunikasi Publik, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

h.duria@bapeten.go.id

Abstrak

Beberapa waktu lalu Kementerian Hukum dan HAM mensosialisasikan penggunaan aplikasi baru berupa aplikasi partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan sebagai kelanjutan dari telah diundangkannya Peraturan Menteri Hukum dan HAM (Permenkumham) No.11 Tahun 2021. Sejalan dengan terus dikembangkannya cara-cara dalam mengakomodasi pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan, peraturan terbaru seperti UU No.13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas UU No. 12 Tahun 2011 juga memperbaharui pengaturan mengenai partisipasi masyarakat dalam pasalnya. Terus dikembangkannya pengaturan dan cara mengakomodasi pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan menjadi bukti pentingnya pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan, khususnya peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten. Tinjauan dilakukan melalui studi literatur dari peraturan, putusan MK, jurnal, dan bahan-bahan hukum lainnya. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa pelaksanaan partisipasi masyarakat berperan penting dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten. Tidak hanya sekedar untuk menggugurkan kewajiban telah melaksanakan amanat peraturan perundang-undangan yang memerintahkan pelaksanaan partisipasi masyarakat tersebut, namun juga diantaranya untuk menghindari peraturan tersebut dianggap cacad formil; untuk menghimpun pengetahuan, keahlian, atau pengalaman dari ahli, pihak terkait maupun masyarakat umum sehingga menghasilkan analisis lebih baik dan pertimbangan lebih luas dalam penyusunan peraturan; untuk meningkatnya kepercayaan dan keyakinan masyarakat, serta menumbuhkan rasa memiliki dan rasa bertanggung jawab masyarakat karena dilibatkan dalam proses penyusunan suatu peraturan; dan sebagai wadah mempertemukan dan menyatukan nilai dan kepentingan yang berbeda antara Bapeten sebagai policy maker dan pihak-pihak yang terkait maupun masyarakat umum. Diharapkan, dengan adanya pemahaman mengenai peran penting partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan tersebut, maka pelaksanaannya dapat dilaksanakan secara maksimal dan tepat sasaran sehingga terwujud peraturan ketenaganukliran yang efektif dan mampu terap.

Kata kunci: partisipasi masyarakat, konsultasi publik, peraturan, ketenaganukliran

Abstract

Some time ago the Ministry of Law and Human Rights socialized the use of a new application in the form of an application for community participation in the formation of laws and regulations as a continuation of the enactment of the Minister of Law and Human Rights Regulation (Permenkumham) No.11 of 2021. In line with the continuous development of ways to accommodate the implementation community participation in the formation of laws and regulations, the latest regulations such as Law No. 13 of 2022 concerning the Second Amendment to Law no. 12 of 2011 also renews arrangements regarding community participation in the article. The continued development of arrangements and ways to accommodate the implementation of community participation in the formation of laws and regulations is evidence of the importance of implementing community participation in the formation of laws and regulations. This paper aims to find out the important role of

implementing community participation in the formation of laws and regulations, especially laws and regulations in the nuclear sector in Bapeten. The review was carried out through a literature study of regulations, MK decisions, journals and other legal materials. The results of the review show that the implementation of public participation plays an important role in the formation of laws and regulations in the nuclear sector in Bapeten. Not only to waive the obligation to carry out the mandate of the laws and regulations that order the implementation of community participation, but also to prevent these regulations from being deemed formally flawed; to collect knowledge, expertise, or experience from experts, related parties and the general public so as to produce better analysis and broader considerations in drafting regulations; to increase public trust and confidence, as well as foster a sense of community ownership and responsibility for being involved in the process of drafting a regulation; and as a forum for bringing together and uniting different values and interests between Bapeten as a policy maker and related parties as well as the general public. It is hoped that with an understanding of the important role of public participation in the formation of these laws and regulations, their implementation can be carried out optimally and on target so as to create effective and enforceable nuclear regulations.

Keywords: *community participation, public consultation, regulation, nuclear*

Pendahuluan

Pengaturan dan cara mengakomodasi partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan nampaknya terus mengalami perkembangan, menyesuaikan dengan perkembangan hukum dan perkembangan teknologi. Perkembangan dari segi pengaturan, diantaranya dengan adanya pengaturan terbaru mengenai partisipasi masyarakat di dalam peraturan terbaru, yaitu UU No.13/2022 tentang Perubahan Kedua Atas UU No. 12/2011 [1], yaitu dalam pasal 96 ayat (1) sampai dengan ayat (9). Dalam pengaturan terbaru tersebut, antara lain dinyatakan bahwa masukan masyarakat dapat disampaikan dalam setiap tahapannya. Selain itu masukan masyarakat dapat disampaikan baik secara daring dan/atau luring.

Perkembangan dari segi cara, diantaranya dengan diluncurkannya aplikasi terbaru dari Kemenkumham yaitu e-partisipasi.peraturan.go.id. Aplikasi tersebut memberikan kemudahan bagi masyarakat dalam menyampaikan pendapatnya. Melalui aplikasi tersebut masyarakat dapat mengakses rancangan peraturan dari berbagai Kementerian dan Lembaga serta menyampaikan masukannya terhadap rancangan tersebut.

Terus berkembangnya pengaturan dan cara mengakomodasi partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan menjadi salah satu bukti pentingnya pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan.

Putusan MK Nomor 91/PUU-XVIII/2020 mengenai UU No.11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja juga menjadi salah satu bukti pentingnya pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan. Dalam putusan tersebut, UU No.11 Tahun 2020 dinyatakan bertentangan dengan UUD 1945 dan tidak mempunyai kekuatan hukum mengikat secara bersyarat sepanjang tidak dimaknai “tidak dilakukan perbaikan dalam waktu 2 (dua) tahun sejak putusan ini diucapkan.” Dalam salah satu pertimbangan hukum putusan tersebut disinggung mengenai partisipasi masyarakat, yaitu bahwa kesempatan bagi masyarakat untuk berpartisipasi dalam pembentukan undang-undang merupakan pemenuhan amanat konstitusi yang apabila tidak dilaksanakan melanggar prinsip kedaulatan rakyat (*people sovereignty*).[2]

Berdasarkan uraian diatas, pokok permasalahan yang ingin digali dalam tulisan ini adalah apa saja peran partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan, khususnya pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten (Badan Pengawas Tenaga Nuklir), yang menjadikannya penting untuk dilaksanakan?

Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan, khususnya pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten.

Pokok Bahasan

1. Partisipasi Masyarakat

Indonesia merupakan negara demokrasi yang berprinsip dasar bahwa kedaulatan berada di tangan rakyat dan dilaksanakan menurut Undang-Undang Dasar 1945 (UUD 1945). Salah satu bentuk implementasi prinsip tersebut yaitu dengan adanya partisipasi masyarakat dalam setiap penyelenggaraan pemerintahan. Menurut *United Nations Development Programme* (UNDP), partisipasi merupakan salah satu dari prinsip-prinsip good governance dimana setiap warga masyarakat harus memiliki hak suara yang sama dalam proses pengambilan keputusan, baik secara langsung maupun melalui lembaga perwakilan, sesuai dengan kepentingan dan aspirasinya masing-masing. [3]

Pemikiran mengenai perlunya partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan diantaranya didasarkan pada pendapat yang disampaikan Soerjono Soekanto. Menurutnya, untuk berlakunya suatu aturan hukum maka dikenal adanya keberlakuan hukum secara yuridis, sosiologis dan filosofis, yang jika berlaku secara yuridis saja akan menjadi kaidah mati, jika hanya berlaku secara sosiologis saja akan menjadi aturan memaksa saja, dan jika hanya berlaku secara filosofis saja akan menjadi hukum yang dicita-citakan saja dan tidak pernah terwujud dalam kenyataan hukum. Oleh karenanya, untuk terwujudnya aturan hukum yang memenuhi cita hukum, kriteria aturan hukum yang baik dan bisa berlaku efektif di dalam masyarakat, maka ketiga komponen tersebut harus diintegrasikan. Dalam hal ini, dari aspek sosiologis, maka faktor masyarakat sangat menentukan, terutama terkait dengan partisipasi publik dalam pembentukan peraturan perundang-undangan.[4]

Menurut KBBI Kemendikbud, partisipasi diartikan perihal turut berperan serta dalam suatu kegiatan; keikutsertaan; peran serta.[5] Ann Seidman memaknai partisipasi sebagai terbukanya kesempatan yang luas untuk menyampaikan saran, kritik serta dilibatkan dalam pembentukan kebijakan-kebijakan pemerintah bagi setiap kelompok masyarakat berdasarkan kebijakan yang ditetapkan dari pihak yang memiliki kepentingan (*stakeholders*). [6]

UNDP merumuskan pengertian partisipasi sebagai setiap warga negara mempunyai suara dalam pembuatan keputusan, baik secara langsung maupun melalui intermediasi institusi legitimasi yang mewakili kepentingannya. Partisipasi seperti ini dibangun atas dasar kebebasan berasosiasi dan berbicara serta berpartisipasi secara konstruktif.[4] Sedangkan Budiardjo dalam bukunya menguraikan partisipasi sebagai kegiatan seseorang atau kelompok orang untuk ikut serta secara aktif dalam kehidupan politik, melalui pemilihan pemimpin negara baik secara langsung maupun secara tidak langsung, yang memengaruhi kebijakan pemerintah (*public policy*). [7]

Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 91/PUU-XVIII/2020 menggunakan istilah partisipasi masyarakat yang lebih bermakna (*meaningful participation*) dalam putusannya. Menurut putusan tersebut partisipasi masyarakat yang lebih bermakna dapat diartikan sebagai partisipasi masyarakat yang memenuhi tiga prasyarat, yaitu: 1. hak untuk didengarkan pendapatnya (*right to be heard*); 2. hak untuk dipertimbangkan pendapatnya (*right to be considered*); dan 3. hak untuk mendapatkan penjelasan atau jawaban atas pendapat yang diberikan (*right to be explained*). Selain itu, partisipasi tersebut harus dilakukan, paling tidak, dalam tahapan (a) pengajuan RUU; (b) pembahasan bersama antara DPR dan presiden, serta pembahasan bersama antara DPR, Presiden, dan DPD sepanjang terkait dengan Pasal 22D ayat (1) dan ayat (2) UUD 1945; dan (c) persetujuan bersama antara DPR dan presiden. [2]

Dalam Pasal 1 butir 1 Peraturan Menteri Hukum dan HAM (Permenkumham) No.11/2023, istilah yang digunakan adalah konsultasi publik dan diartikan sebagai kegiatan yang dilakukan untuk menerima masukan, tanggapan, atau pandangan dari masyarakat dalam rangka menciptakan peraturan perundang-undangan yang berkualitas.[8]

2. Dasar Hukum Partisipasi Masyarakat

Pelaksanaan partisipasi masyarakat merupakan amanat dari konstitusi. Hal ini antara lain tertuang dalam UUD 1945, khususnya pasal 1 ayat 2 UUD 1945, Pasal 27 ayat 1, dan Pasal 28C ayat 2. Dalam

Pasal 1 ayat 2 UUD 1945 menyatakan bahwa kedaulatan berada di tangan rakyat dan dilaksanakan menurut UUD. Selanjutnya Pasal 27 ayat 1 menyatakan bahwa segala warga negara bersamaan kedudukannya di dalam hukum dan pemerintahan dan wajib menjunjung hukum dan pemerintahan itu dengan tidak ada kecualinya. Lebih lanjut, Pasal 28C ayat 2 menyatakan bahwa setiap orang berhak untuk memajukan dirinya dalam memperjuangkan haknya secara kolektif untuk membangun masyarakat, bangsa dan negaranya. [9]

Dasar hukum mengenai pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan diantaranya terdapat dalam pasal 96 ayat (1) UU No.13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas UU No. 12 Tahun 2011. Dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa masyarakat berhak memberikan masukan secara lisan dan/ atau tertulis dalam setiap tahapan Pembentukan Peraturan Perundang-undangan. Dalam pasal 96 ayat (3) dijelaskan bahwa yang dimaksud masyarakat disini adalah merupakan orang perseorangan atau kelompok orang yang terdampak langsung dan/atau mempunyai kepentingan atas materi muatan rancangan peraturan perundang-undangan. Terkait ketentuan lebih lanjut mengenai partisipasi masyarakat, maka UU tersebut mengamanatkan akan diatur dalam Peraturan DPR, Peraturan DPD, dan Peraturan Presiden. [1]

PP No. 87 Tahun 2014 merupakan aturan Pelaksanaan dari UU No. 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan yang mengatur tentang partisipasi masyarakat dalam suatu bab khusus, yaitu bab IX tentang Partisipasi Masyarakat. Dalam bab IX Pasal 188 peraturan tersebut dinyatakan bahwa masyarakat berhak memberikan masukan secara lisan dan/atau tertulis dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan yang dilaksanakan dalam rangka melaksanakan konsultasi publik. Peraturan tersebut juga mengamanatkan bahwa ketentuan mengenai tata cara pelaksanaan konsultasi publik diatur dengan Peraturan Menteri.[10]

Peraturan Menteri yang dibentuk sebagai pelaksanaan Pasal 188 PP No. 87 Tahun 2014 yaitu Permenkumham No.11/2023. Peraturan tersebut khusus mengatur mengenai tata cara pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peruu. Dalam pasal 2 ayat (1) peraturan tersebut dinyatakan bahwa Kementerian atau lembaga pemerintah nonkementerian melaksanakan Konsultasi Publik. Lebih lanjut, dalam pasal 2 ayat (2) dinyatakan bahwa dalam Konsultasi Publik tersebut, masyarakat berhak memberikan masukan secara lisan dan/atau tertulis terhadap rancangan Peraturan Perundang-undangan. [8]

Di Bapeten, pengaturan mengenai partisipasi masyarakat dalam pembentukan perundang-undangan diatur dalam bab tersendiri dalam Perba No.8 Tahun 2018, yaitu Bab V tentang Partipasi Masyarakat. Dalam Pasal 28 ayat (1) dan (2) di bab tersebut dinyatakan bahwa sebelum rancangan Peraturan Perundang-undangan ditetapkan, Badan dapat mengikutsertakan masyarakat untuk memberikan masukan dilakukan secara lisan dan/atau tertulis. [11]

Hasil dan Pembahasan

1. Peran penting Pelaksanaan Partisipasi Masyarakat Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan

Pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan perundang-undangan antara lain dijelaskan dalam pasal 96 ayat (2) sampai dengan pasal 96 ayat (9) UU No.13 Tahun 2022 yaitu dapat dilakukan secara daring dan/atau luring. Kemudian, untuk memudahkan memberikan masukan, setiap Naskah Akademik dan/atau Rancangan Peraturan puu dapat diakses dengan mudah oleh masyarakat serta diinformasikan kepada masyarakat.[1]

Lebih lanjut dijelaskan dalam pasal 96 tersebut bahwa kegiatan konsultasi publik yang dilakukan dapat melalui rapat dengar pendapat umum, kunjungan kerja, seminar, lokakarya, diskusi; dan/ atau kegiatan konsultasi publik lainnya. Selanjutnya, hasil kegiatan konsultasi publik tersebut akan menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan, penyusunan, dan pembahasan rancangan peraturan perundang-undangan. Pembentuk peraturan perundang-undangan dalam hal ini dapat menjelaskan kepada masyarakat mengenai hasil pembahasan masukan masyarakat tersebut. [1]

Permenkumham No.11/2023 mengatur khusus mengenai tata cara pelaksanaan konsultasi publik dalam pembentukan perundang-undangan. Dalam pasal 2 dan pasal 3 peraturan tersebut dinyatakan

bahwa masyarakat berhak memberikan masukan, baik secara lisan dan/atau tertulis, terhadap rancangan peraturan puu, mulai dari tahap perencanaan, penyusunan, sampai pembahasan rancangan, baik melalui media elektronik maupun media nonelektronik. Lebih lanjut, peraturan tersebut mengatur mengenai konsultasi publik dalam tahapan penyusunan RUU, RPP, Rperpres, dan peraturan perundang-undangan lainnya yang mencakup peraturan yang ditetapkan oleh menteri, badan, lembaga, atau komisi yang setingkat yang dibentuk dengan Undang-Undang atau Pemerintah atas perintah Undang-Undang. [8] Lebih lanjut, sebagai pelaksanaan dari Permenkumham No.11/2023, Kemenkumham juga telah meluncurkan aplikasi partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan yang dapat diakses melalui link <https://e-partisipasi.peraturan.go.id/>.

Bagaimana peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan?

Dalam Kegiatan Sosialisasi Urgensi Sistem Informasi Partisipasi Publik Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan yang Responsif dan Partisipatif tanggal 30 dan 31 Juni 2023 secara online via *zoom meeting*, Ahmad Ahsin Thohari, Dosen Hukum Tata Negara Fakultas Hukum UPN Veteran Jakarta dalam paparannya menyampaikan mengenai manfaat dan urgensi partisipasi masyarakat sistem digital yaitu: *accessibility, reach & inclusivity, convenience & flexibility, enhanced engagement, transparency & information sharing, data collection and analysis, cost-effectiveness, continuous engagement*.

Lebih jauh dijelaskan dalam paparannya bahwa bentuknya dapat berupa survei dan kuesioner daring, keterlibatan dan diskusi melalui media sosial, *crowdsourcing platform* untuk pembuatan ide, konsultasi publik daring dan sistem komentar. [12]

Dalam Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 91/PUU-XVIII/2020, dinyatakan bahwa secara doktriner, partisipasi masyarakat dalam suatu pembentukan undang-undang bertujuan, antara lain, untuk: [2]

- 1) menciptakan kecerdasan kolektif yang kuat (*strong collective intelligence*) yang dapat memberikan analisis lebih baik terhadap dampak potensial dan pertimbangan yang lebih luas dalam proses legislasi untuk kualitas hasil yang lebih tinggi secara keseluruhan,
- 2) membangun Lembaga legislatif yang lebih inklusif dan representatif (*inclusive and representative*) dalam
- 3) pengambilan keputusan; (iii) meningkatnya kepercayaan dan keyakinan (*trust and confidence*) warga negara terhadap lembaga legislatif;
- 4) memperkuat legitimasi dan tanggung jawab (*legitimacy and responsibility*) bersama untuk setiap keputusan dan tindakan;
- 5) meningkatkan pemahaman (*improved understanding*) tentang peran parlemen dan anggota parlemen oleh warga negara;
- 6) memberikan kesempatan bagi warga negara (*opportunities for citizens*) untuk mengomunikasikan kepentingan-kepentingan mereka; dan
- 7) menciptakan parlemen yang lebih akuntabel dan transparan (*accountable and transparent*).

MK (Mahkamah Konstitusi) dalam Putusan MK No. 91/PUU-XVIII/2020 juga berpendapat bahwa semua tahapan pembentukan peraturan puu (perencanaan, penyusunan, pembahasan, pengesahan atau penetapan, hingga pengundangan), termasuk juga partisipasi masyarakat digunakan sebagai bagian dari standar penilaian pengujian formil. Semua tahapan dan standar tersebut akan digunakan untuk menilai keabsahan formalitas pembentukan undang-undang yang dikaitkan dengan asas-asas pembentukan peraturan perundang-undangan. [2]

Penilaian terhadap tahapan dan standar dimaksud dilakukan secara akumulatif. Dalam hal ini, jikalau minimal satu tahapan atau satu standar saja tidak terpenuhi dari semua tahapan atau semua standar yang ada, maka sebuah undang-undang dapat dikatakan cacat formil dalam pembentukannya. Artinya, cacat formil undang-undang sudah cukup dibuktikan apabila terjadi kecacatan dari semua atau beberapa tahapan atau standar dari semua tahapan atau standar sepanjang kecacatan tersebut telah dapat dijelaskan dengan argumentasi dan bukti-bukti yang tidak diragukan untuk menilai dan menyatakan adanya cacat formil pembentukan undang-undang. [2]

Dalam hal ini Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 79/PUU-XVII/2019, menyatakan mengenai apa yang menjadi syarat penilaian pengujian formil yaitu: [13]

- 1) pengujian atas pelaksanaan tata cara atau prosedur pembentukan undang-undang, baik dalam pembahasan maupun dalam pengambilan keputusan atas rancangan suatu undang-undang menjadi undang-undang;
- 2) pengujian atas bentuk (format) atau sistematika undang-undang;
- 3) pengujian berkenaan dengan wewenang lembaga yang mengambil keputusan dalam proses pembentukan undang-undang; dan
- 4) pengujian atas hal-hal lain yang tidak termasuk pengujian materiil

Bila dilihat poin-poin di atas, tampaknya pelaksanaan partisipasi masyarakat masuk ke dalam poin pertama, yaitu terkait tata cara atau prosedur pembentukan undang-undang.

Menurut Alexander Abe sebagaimana dikutip Sirajuddin dkk dalam bukunya berjudul *Legislative Drafting* Pelembagaan Metode Partisipatif dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan, antara lain dinyatakan bahwa partisipasi rakyat secara langsung akan membawa tiga dampak penting, yakni: [14]

- 1) terhindar dari peluang terjadinya manipulasi keterlibatan rakyat dan memperjelas apa yang dikehendaki masyarakat;
- 2) memberi nilai tambah pada legitimasi rumusan perencanaan. Semakin banyak jumlah mereka yang terlibat semakin baik; dan
- 3) meningkatkan kesadaran dan ketrampilan politik masyarakat.

Sofwan, dalam tulisannya yang berjudul Urgensi Partisipasi Publik Dalam Pembentukan Peraturan Daerah menuliskan bahwa partisipasi publik dalam pembentukan peraturan daerah sangat penting karena; [4]

- 1) menghimpun pengetahuan, keahlian, atau pengalaman masyarakat sehingga perda yang dibuat benar-benar memenuhi syarat perda yang baik sesuai dengan kebutuhan masyarakat.
- 2) Menjamin peraturan daerah sesuai dengan kenyataan yang ada di dalam masyarakat, menumbuhkan rasa memiliki (*sense of belonging*), rasa bertanggung jawab (*sense of responsibility*), dan akuntabilitas (*sense of accountability*) perda tersebut.
- 3) Menumbuhkan adanya kepercayaan (*trust*), penghargaan (*respect*), dan pengakuan (*recognition*) masyarakat terhadap pemerintah daerah.
- 4) Sebagai wadah untuk mempertemukan dan menyatukan nilai-nilai dan kepentingan-kepentingan yang berbeda di antara para kalangan, khususnya antara pemerintah daerah sebagai *policy maker* dan masyarakat sebagai obyek sekaligus subyek yang diatur oleh peraturan daerah.

Dalam hal terdapat kepentingan-kepentingan yang berbeda di antara pemerintah dan masyarakat sebagaimana disebutkan dalam poin di atas, Dr. Wicipto Setiadi menyampaikan pendapatnya via *zoom meeting* dalam paparannya yang berjudul Partisipasi Masyarakat Dalam Pembentukan PUU dan disampaikan dalam Kegiatan Peningkatan Kompetensi Perancang PUU dalam Pembentukan PUU tanggal 4 Agustus 2022. Menurutnya meskipun politik hukum merupakan monopoli pembentuk PUU, agar ada kesederajatan antara pembentuk PUU dan masyarakat, sebaiknya masukan masyarakat dipertimbangkan secara masak-masak. Selain itu beliau berpendapat seharusnya ada cara untuk mengatasi perbedaan pandangan antara pembentuk PUU dan masyarakat tanpa harus menunggu proses *Judicial Review*. [15]

Lothar Gundling menjelaskan alasan mendasar tentang pentingnya partisipasi masyarakat dalam pembentukan sebuah kebijakan, diantaranya yaitu: memberikan informasi kepada pemerintah (*informing the administration*), meningkatkan kesediaan masyarakat untuk menerima keputusan (*increasing the readiness of the public to accept decisions*), membantu perlindungan hukum (*supplementing judicial protection*), mendemokraskan pengambilan keputusan (*democratizing decision-making*). [6]

Dari berbagai uraian di atas, dapat dipahami bahwa pelaksanaan partisipasi masyarakat memiliki banyak peran penting dalam pembentukan peraturan perundang-undangan.

2. Peran penting Pelaksanaan Partisipasi Masyarakat dalam Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan Bidang Ketenaganukliran di Bapeten

Pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten antara lain dijelaskan dalam Pasal 28 PerBapeten No.8/2018. Dalam pasal tersebut dijelaskan bahwa masukan secara lisan dan/atau tertulis dapat dilakukan melalui: a. rapat dengar pendapat umum; b.kunjungan kerja; c.sosialisasi; dan/atau d.seminar/lokakarya/diskusi. [11]

Selain cara-cara diatas, untuk memudahkan masyarakat dalam memberikan masukan, Bapeten juga mengunggah rancangan Peraturan Perundang-undangan dalam situs Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum (JDIH) Bapeten selama 2 (dua) bulan. [11] Di bulan Agustus tahun 2023 ini tercatat 6 (enam) Rancangan Perba Bapeten yang tayang di JDIH Bapeten sebagai bentuk pelaksanaan partisipasi publik. [16]

Bagaimana peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten?

Di Bapeten, dalam memahami peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran tentunya perlu memperhatikan tugas pokok dan fungsi Bapeten di dalam pemerintahan.

Sebagaimana dinyatakan dalam Pasal 4 UU No.10/1997, Bapeten merupakan Badan Pengawas yang dibentuk Pemerintah dan bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Pemanfaatan tenaga nuklir harus mendapat pengawasan yang cermat agar selalu mengikuti segala ketentuan di bidang keselamatan tenaga nuklir sehingga pemanfatan tenaga nuklir tersebut tidak menimbulkan bahaya radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. [17]

Untuk melaksanakan tugas pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir tersebut, sebagaimana tertuang dalam Pasal 4 Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997, BAPETEN menyelenggarakan peraturan, perizinan, dan inspeksi. Peraturan sebagai salah satu pilar pengawasan dalam hal ini turut berperan dalam mewujudkan pemanfaatan tenaga nuklir yang memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketetraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. [17]

Dalam pembentukan peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran tersebut, tentunya Bapeten harus memperhatikan pihak-pihak yang terkait untuk masing-masing rancangan peraturan perundang-undangan yang di buat. Pihak-pihak yang terkait tersebut dapat berasal dari bidang FRZR (Fasilitas Radiasi dan Radioaktif) baik bidang medis maupun bidang industri, dapat juga dari bidang IBN (Instalasi dan Bahan Nuklir), dan dapat juga dari masyarakat secara umum.

Dalam hal ini. dikarenakan bidang nuklir memerlukan ilmu khusus yang tidak semua orang memahaminya, oleh karenanya penting sekali melibatkan orang-orang yang memahami bidang tersebut, baik dari akademisi, pekerja yang mengoperasikan peralatan yang memanfaatkan tenaga nuklir, maupun masyarakat yang menjadi penggunaannya. Keterlibatan mereka merupakan bentuk pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran.

Dari uraian-uraian sebelumnya mengenai peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan diatas, dikaitkan dengan tugas pokok dan fungsi Bapeten, maka dapat ditarik beberapa peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten, diantaranya:

- 1) untuk melaksanakan amanat peraturan yang memerintahkan pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan;
- 2) untuk menghindari peraturan perundang-undangan tersebut dianggap cacad formil;
- 3) untuk menghimpun pengetahuan, keahlian, atau pengalaman dari pihak-pihak yang terkait maupun masyarakat secara umum sehingga menghasilkan analisis lebih baik dan pertimbangan yang lebih luas dalam penyusunan suatu peraturan;
- 4) untuk meningkatnya kepercayaan dan keyakinan masyarakat, menumbuhkan rasa memiliki dan rasa bertanggung jawab masyarakat karena dilibatkan dalam proses penyusunan suatu peraturan;

- 5) Sebagai wadah mempertemukan dan menyatukan nilai-nilai dan kepentingan-kepentingan yang berbeda antara Bapeten sebagai *policy maker* dan pihak-pihak yang terkait maupun masyarakat secara umum.

Dengan memahami peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten diharapkan pelaksanaan partisipasi masyarakat yang dilakukan tidak hanya sekedar untuk menggugurkan kewajiban melaksanakan amanat peraturan yang memerintahkan pelaksanaan partisipasi masyarakat, melainkan dapat dilaksanakan secara maksimal dan tepat sasaran sehingga terwujud peraturan ketenaganukliran yang efektif dan mampu terap.

Kesimpulan

1. Pelaksanaan partisipasi masyarakat memiliki peran penting dalam pembentukan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran di Bapeten.
2. Peran penting pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran di Bapeten diantaranya:
 - a. untuk melaksanakan amanat peraturan yang memerintahkan pelaksanaan partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan;
 - b. untuk menghindari peraturan perundang-undangan dianggap cacat formil;
 - c. untuk menghimpun pengetahuan, keahlian, atau pengalaman dari pihak-pihak yang terkait maupun masyarakat secara umum sehingga menghasilkan analisis lebih baik dan pertimbangan yang lebih luas dalam penyusunan suatu peraturan;
 - d. untuk meningkatnya kepercayaan dan keyakinan masyarakat, menumbuhkan rasa memiliki dan rasa bertanggung jawab masyarakat karena dilibatkan dalam proses penyusunan suatu peraturan;
 - e. sebagai wadah mempertemukan dan menyatukan nilai-nilai dan kepentingan-kepentingan yang berbeda antara Bapeten sebagai *policy maker* dan pihak-pihak yang terkait maupun masyarakat secara umum.
3. Pemahaman mengenai peran penting partisipasi masyarakat dalam pembentukan peraturan perundang-undangan diharapkan akan menjadikan terwujudnya peraturan ketenaganukliran yang efektif dan mampu terap.

Daftar Pustaka

- [1] Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan.
- [2] Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 91/PUU-XVIII/2020.
- [3] Andi Ni'mah Sulfiani, (2021) Penerapan Prinsip-Prinsip Good Governance dalam Pelayanan BPJS Kesehatan Di Kota Palopo, *Jurnal Administrasi Publik*, Volume XVII (1).
- [4] Sofwan, (2022) Urgensi Partisipasi Publik Dalam Pembentukan Peraturan Daerah, *Jatiswara*, Vol.37 No.1 Maret.
- [5] Kamus Besar Bahasa Indonesia Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, "Partisipasi," <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/partisipasi>, diakses 29 Juli 2023.
- [6] Helmi Chandra SY, Shelvin Putri Irawan, (2022) Perluasan Makna Partisipasi Masyarakat dalam Pembentukan Undang-Undang Pasca Putusan Mahkamah Konstitusi, *Jurnal Konstitusi*, Volume 19, No.4, Desember.
- [7] Joko Riskiyono, (2015) Partisipasi Masyarakat Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan Untuk Mewujudkan Kesejahteraan, *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, Vol 6, No.2.
- [8] Peraturan Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Nomor 11 Tahun 2023 tentang Tata Cara Pelaksanaan Konsultasi Publik Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan.
- [9] Undang Undang Dasar Tahun 1945.

- [10] Peraturan Pemerintah Nomor 87 Tahun 2014 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan.
- [11] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2018 tentang Tata Cara Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan.
- [12] Ahmad Ahsin Thohari, Urgensi Sistem Informasi Partisipasi Publik dalam Pembentukan PUU yang Responsif dan Partisipatif, disampaikan dalam kegiatan Sosialisasi Urgensi Sistem Informasi Partisipasi Publik Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan yang Responsif dan Partisipatif, 30-31 Juni 2023.
- [13] Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 79/PUU-XVII/2019
- [14] Salahudin Tunjung Seta, (2022) Hak Masyarakat Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan, *Jurnal Legislasi Indonesia* Vol 17 No.2.
- [15] Dr. Wicipto Setiadi, Partisipasi Masyarakat Dalam Pembentukan PUU, disampaikan dalam Kegiatan Peningkatan Kompetensi Perancang PUU dalam Pembentukan PUU, yang diselenggarakan oleh Ditjen PP Kementerian Hukum dan HAM, 4 Agustus 2022.
- [16] JDIIH BAPETEN,
<https://jdih.bapeten.go.id/id/cari?DokumenSearchPrimary%5Bjenis%5D=37&DokumenSearchPrimary%5Bnomor%5D=&DokumenSearchPrimary%5Btahun%5D=&DokumenSearchPrimary%5Bq%5D=&DokumenSearchPrimary%5Bsubjek%5D=&aksi=dokumen&aksi=dokumen>
- [17] Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Tinjauan Sistem Instrumentasi untuk Pengukuran Parameter Keselamatan pada *Small Modular Reactor*

Zulfiandri¹, Zakki Muhammad¹

¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Abstrak

Small Modular Reactor adalah reaktor daya yang dibatasi hingga 300 MWe. SMR diperuntukkan bagi negara dengan modal keuangan sedang dan wilayah dengan jaringan listrik yang lebih kecil. Untuk SMR berpendingin air, instrumentasi yang digunakan untuk pengukuran dan kendali masih mengadopsi sistem instrumentasi pada reaktor berdaya besar. Sedangkan SMR canggih yang menggunakan pendingin non-air, seperti reaktor berpendingin logam cair, dan juga reaktor berpendingin gas yang beroperasi pada suhu yang lebih tinggi, serta reaktor garam cair, instrumentasi pengukuran proses juga menggunakan pendekatan secara kimiawi yang kompatibel dengan pendingin dan memiliki toleransi terhadap suhu tinggi. Makalah ini memberikan gambaran tinjauan sistem instrumentasi dan kendali pada beberapa jenis SMR sehingga memberikan gambaran kepada pihak terkait termasuk badan pengawas dalam merumuskan peraturan terkait aspek keselamatan yang harus diperhatikan dalam desain sistem instrumentasi dan kendali pada SMR sesuai teknologinya.

Kata kunci: sistem instrumentasi dan kendali, SMR, aspek keselamatan

Abstract

The Small Modular Reactor is a power reactor limited to 300 MWe. SMRs are for countries with moderate financial capital and areas with smaller power grids. For water-cooled SMR, the instrumentation used for measurement and control still adopts the instrumentation system in a large power reactor. SMRs that use non-water cooled, such as liquid metal cooled reactor, higher temperatures gas cooled reactor, and molten salt reactor, the process measurement instrumentation also use a chemical approach that is compatible with coolant and high temperature tolerance. This paper provides an overview of the instrumentation and control systems on several types of SMRs so as to provide an overview to related parties including regulatory body in formulating regulations related to safety aspects that must be considered in the design of instrumentation and control systems on SMR according to their technology.

Keywords: instrumentation and control system, SMR, safety aspect

Pendahuluan

Pengukuran parameter keselamatan merupakan aspek penting dalam operasi pembangkit listrik tenaga nuklir. Peraturan Pemerintah nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir [1] mengamanahkan bahwa persyaratan khusus reaktor nuklir paling sedikit meliputi sistem instrumentasi dan kendali. Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 11 Tahun 2020 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya [2] dalam salah satu babnya mengamanahkan pelaku usaha/pemilik reaktor daya untuk menguraikan secara rinci terkait keselamatan pada aspek sistem instrumentasi dan kendali reaktor daya.

Aspek yang dijabarkan dalam dokumen Laporan Analisis Keselamatan selaras dengan ketentuan yang ada pada panduan SSG-3.9 *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*

[3] yakni ketentuan yang berkaitan dengan arsitektur sistem, sistem proteksi, kendali, sensor, *display*, *bypass* dan *inckterlock*, catu daya, dan pengembangan *software* serta sistem digital.

Sistem digital menjadi topik sistem instrumentasi dan kendali yang menarik karena menjadi hal yang baru berkembang di IAEA berkaitan dengan umur layan reaktor yang sudah panjang (sekitar 40 tahun) sehingga penggunaan instrumentasi berbasis analog sudah usang dan tidak ditemukan dipasaran untuk penggantian suku cadang. Pembahasan rinci terkait dengan sistem digital ini diberikan oleh IAEA pada panduannya *N.RG 5.1 Digital Instrumentation and Control Systems for New and Existing Research Reactor* [4].

Perkembangan yang cukup besar pada konsep desain *Small Modular Reactor* (SMR) umumnya difokuskan pada peningkatan manfaat dalam bidang keselamatan dan keamanan, non-proliferasi, pengelolaan limbah, dan pemanfaatan sumber daya dan ekonomi, seperti fleksibilitas dalam pilihan desain, penempatan reaktor, dan siklus bahan bakar. Teknologi SMR bertujuan untuk pengurangan biaya yang signifikan melalui modularisasi, yang selanjutnya mengurangi waktu konstruksi. Dengan biaya modal lebih rendah, SMR menawarkan keterjangkauan yang lebih baik untuk negara-negara berkembang.

Dalam penerapannya, konsep dan ukuran SMR lebih cocok untuk penggunaan khusus sebagian atau penuh dalam aplikasi non-listrik seperti desalinasi air laut, produksi hidrogen dan panas untuk proses industri, yang akan menghasilkan secara signifikan peningkatan efisiensi termal, hal ini artinya pengembalian investasi yang lebih baik.

Kebanyakan SMR saat ini memiliki listrik kapasitas kurang dari 300 MW(e). Rentang daya ini menawarkan fleksibilitas di lokasi pembangkitan dan berkontribusi pada stabilitas jaringan. Kegiatan IAEA pada SMR saat ini meliputi merumuskan peta jalan untuk pengembangan teknologi yang menggabungkan pelajaran keselamatan yang dipelajari dari kecelakaan reaktor di Fukushima, meninjau persyaratan teknis negara-negara pendatang baru, mengatasi masalah standarisasi, penggunaan yang sudah terbukti daya saing teknologi dan ekonomi, dan mengatasi masalah regulasi, perizinan, infrastruktur dan bisnis.

Salah satu bidang teknis penting terkait dengan kekhususan desain, dan operasional serta proses karakteristiknya adalah desain dan implementasi sistem instrumentasi dan kendali. Sistem instrumentasi dan kendali pembangkit listrik tenaga nuklir memberikan kemampuan untuk mengendalikan dan mengatur sistem pembangkit secara manual dan otomatis selama operasi normal, dan memberikan perlindungan terhadap operasi instalasi yang tidak selamat. Sistem juga menyediakan sinyal inisiasi untuk menjalankan fungsi keselamatan yang digunakan untuk mengurangi konsekuensi dari kondisi yang rusak dan memastikan keselamatan.

Dibandingkan dengan reaktor besar yang beroperasi saat ini, beberapa SMR didesain beroperasi secara berbeda dan banyak yang akan menggunakan tingkat otomatisasi yang lebih tinggi sehingga memerlukan pendekatan sistem instrumentasi baru. Sebagai contoh SMR berpendingin air bertekanan integral (*iPWRs*) dengan modularisasi, di mana komponen sistem pendingin utama ditempatkan di dalam bejana reaktor, di kompartemen yang sama dengan teras reaktor dan mekanisme penggerak batang kendali (*CRDM*). Konfigurasi sistem primer ini memerlukan persyaratan akses sensor yang berbeda dari reaktor air ringan tipe loop (*LWR*). Beberapa konsep *iPWR* mengadopsi sirkulasi alami, dan beberapa konsep mengadopsi konveksi paksa dengan menggunakan pompa pendingin yang dipasang secara horizontal atau vertikal ke dalam bejana reaktor. Penempatan lokasi pompa utama di dalam bejana reaktor membatasi aksesibilitas untuk pengukuran.

Adapun tujuan dari tinjauan sistem instrumentasi untuk pengukuran parameter keselamatan pada SMR adalah untuk memberikan panduan dan rekomendasi teknis dalam pembuatan peraturan badan pengawas mengenai pengaturan aspek sistem instrumentasi dan kendali pada SMR.

Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam menyusun tinjauan ini adalah dengan studi literatur, dan studi komparasi peraturan keselamatan instrumentasi reaktor daya besar dan SMR. Selain itu literatur yang

digunakan adalah Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [5], Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2014 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 11 Tahun 2020 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya [6] dan publikasi IAEA.

Pembahasan

1. Peraturan terkait instrumentasi

Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir menjadikan sistem instrumentasi dan kendali sebagai salah satu persyaratan khusus desain reaktor nuklir yang wajib dipenuhi oleh pemegang izin. Persyaratan khusus ini nantinya akan melekat pada desain reaktor daya termasuk reaktor dengan jenis SMR.

Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 Tahun 2020 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya menyebutkan bahwa pemegang izin harus menyusun laporan analisis keselamatan yang di dalamnya mencakup sistem instrumentasi dan kendali. Sistem instrumentasi dan kendali dalam peraturan ini diuraikan secara rinci yang berkaitan dengan aspek keselamatan, dimulai dari arsitektur sampai dengan sistem yang harus ada.

Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2014 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir menyebutkan bahwa laporan analisis keselamatan menjadi syarat teknis untuk memperoleh izin konstruksi. Sistem instrumentasi dan kendali menjadi salah satu bagian dari laporan analisis keselamatan yang dipersyaratkan.

Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya menyebutkan bahwa sistem instrumentasi dan kendali pada desainnya harus didesain andal, mampu diuji dan memenuhi kriteria kegagalan tunggal.

2. Tinjauan konsep SMR

Berbagai konsep desain SMR sedang dikembangkan, dan banyak jenis menggunakan konfigurasi reaktor dan bahan bakar yang beragam, hal ini menghasilkan karakteristik kontrol yang unik untuk setiap desain. Kekhususan ini memaksa pendekatan dalam pengukuran yang berbeda dikarenakan perbedaan pada kondisi operasi, elemen penggerak kendali, dan kondisi lingkungan dimana sensor dan aktuator harus tetap bekerja. Tabel 1 merupakan perwakilan beberapa daftar SMR di dunia.

Tabel 1. Konsep SMR dunia yang diperoleh dari <http://aris.iaea.org>.

Desain	Jenis	Pengembang teknologi	Modul tiap pembangkit	Total daya (MWe)
Berpendingin Air				
CAREM-25	iPWR	CNEA, Argentina	1	27
SMART	iPWR	KAERI, Korea	1	100
Mpower	iPWR	B&W Generation mPower, USA	2	360
NuScale	iPWR	Nuscale Power, USA	12	540
ACP100	iPWR	CNNC/NPIC, China	2	200
IRIS	iPWR	IRIS Consortium	1	325
VBER-300	iPWR	OKBM Afrikantov, Russia	1	300
Westinghouse SMR	iPWR	Westinghouse Electric, USA	1	225
SMR-160	iPWR	Holtec, USA	1	160
AHWR300-LEU	iPWR	BARC, India	1	300
Berbasis di laut				
KLT-40S	FPU, TNPP	OKBM Afrikantov, Russia	2	70
Flexblue	Seabed moored	DCNS, France	1	160
Berpendingin Gas				
HTR-PM	HTGR	INET, Tsinghua University, China	2	210
EM ²	HTGR	General Atomic, USA	1	240
PBMR	HTGR	Eskom PBMR, south Africa	1	165

Spektrum Cepat Berpendingin Logam Cair				
SVBR-100	LMFR	AKME-engineering, Russia	1	101
BREST-OD-300	LMFR	RDIPE, Russia	1	300
PRISM	LMFR	GE Nuclear Energy, USA	4	1244
4S	LMFR	Toshiba, Japan	1	10 – 30

Sistem instrumentasi dan kendali reaktor nuklir yang ada saat ini didasarkan pada teknologi penginderaan konvensional yang telah dipahami selama lebih dari satu abad. Teknologi penginderaan seperti sensor serat optik, pengukuran aliran dengan ultrasonik, dan sensor nirkabel telah dikembangkan sepenuhnya untuk aplikasi industri dan dapat diterapkan peran terbatas dalam reaktor nuklir.

Tantangan terbesar yang dihadapi oleh pengembang SMR adalah mengadaptasi proses pengukuran pada area lebih sempit atau ruang yang tidak dapat diakses, dengan akses yang lebih terbatas untuk perawatan. Instrumentasi harus cukup kuat pada kondisi suhu tinggi dan tekanan tinggi tetapi juga pertimbangan efek jangka panjang cairan pendingin pada antarmuka sensor. Cairan pendingin yang korosif dan bersuhu tinggi akan memengaruhi umur layan instrumentasi dan mempengaruhi ketidakpastian pengukuran. Tantangan ini akan mendorong pendesain untuk mencari sistem pengukuran yang lebih kuat, memilih metode untuk mendeteksi dan menyesuaikan degradasi pada periode operasi dan untuk reaktor yang diizinkan.

Beberapa pendekatan pengukuran yang menjadi tantangan pada sistem instrumentasi dan kendali pada SMR adalah sebagai berikut:

a) *Integrated pressurized water reactors (iPWR)*

iPWR menggunakan pembangkit uap kumparan heliks (*HCSG*) dalam berbagai desain SMR di mana pendingin reaktor berada di sisi cangkang pembangkit uap dan sistem air umpan/uap sekunder mengalir di dalam tabung pembuat uap. *HCSG* umumnya digunakan pada sistem pembangkit dengan fosil. *Upadhyaya dkk.* [7] melaporkan bahwa karena aliran air umpan/uap terjadi di dalam tabung, *inventory* cairan di setiap tabung lebih kecil daripada di sisi *shell*, yang membuat tingkat cairan dan lokasi perubahan fase air-uap sangat sulit untuk diukur. Tantangan yang dihadapi oleh pendesain adalah mengurangi secara signifikan ketidakpastian pengukuran aliran uap untuk mengimbangi berkurangnya kepastian data aliran air umpan.

Tantangan lainnya terletak pada pendeteksian kebocoran pendingin reaktor ke dalam sistem sekunder. Meskipun penggunaan *HCSG* dapat secara signifikan mengurangi kemungkinan pecahnya tabung pembangkit uap (yaitu tekanan yang lebih tinggi ada di bagian luar tabung), masalah seperti korosi dapat mengakibatkan pembentukan lubang kecil, yang memungkinkan pendingin primer untuk perlahan-lahan bocor ke sistem sekunder. Karena kebocoran ini cenderung kecil akan sulit dideteksi dan mungkin hanya dapat dideteksi dengan mekanisme analisis kimia.

Tantangan selanjutnya adalah karena presurizer pada *iPWR* yang pendek dan lebar dapat mengakibatkan respons umpan balik yang sulit dikendalikan. Presurizer juga harus lebih kokoh karena terletak dalam *containment* yang tidak mudah diakses sehingga instrument didalam presurizer tidak mudah di inspeksi dan dirawat.

b) *Reaktor berpendingin logam cair*

Logam cair umumnya menggunakan pendingin buram (tidak terlihat jernih) yang membuat perawatan dan pemeriksaan komponen di dalam loop pendingin menjadi sulit. Selain itu, titik leleh yang relatif tinggi untuk logam cair mengharuskan penggunaan pemanas setelah reaktor *dishutdown* untuk menghindari pembekuan cairan pendingin. Siklus termal, ekspansi dan kontraksi terkait penambahan tekanan berulang dalam periode operasi yang panjang pada proses instrumentasi dapat memengaruhi keandalan sensor.

Korosi struktur baja berhubungan langsung dengan kandungan oksigen dalam pendingin. Untuk melindungi bahan struktur dari timah cair korosif, lapisan oksida yang stabil harus dipertahankan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem yang dapat memantau dan mengendalikan kandungan oksigen dalam cairan pendingin dengan logam cair.

Metode untuk mengukur aliran fluida dalam reaktor berpendingin air menggunakan alat pengukur aliran mekanis, perbedaan tekanan, ultrasonik dan pengukuran optik tidak dapat digunakan pada lingkungan logam cair karena penyumbatan dan densitas serta kimia.

Aliran natrium pada *sodium cooled fast reactor* biasanya diukur di *outlet* pompa dan di *outlet* elemen bahan bakar untuk mendeteksi penyumbatan aliran. Pemantauan aliran natrium sangat penting untuk melindungi instalasi dari kejadian seperti serangan pompa, trip pompa, kegagalan daya di luar tapak, dan pecahnya pipa, yang mengakibatkan penurunan aliran secara tiba-tiba dan kenaikan suhu teras.

Contoh mekanisme yang dikembangkan untuk mendeteksi pembekuan pendingin pada reaktor berpendingin timbal cair adalah alat pengukur suhu dipasang di sekitar bagian luar teras reaktor guna mendeteksi perubahan konduktansi termal yang menunjukkan penebalan dinding akibat pembekuan pendingin timbal.

c) Reaktor berpendingin gas suhu tinggi

Reaktor berpendingin gas suhu tinggi (HTGR) menggunakan helium sebagai pendingin utama dan beroperasi pada suhu dalam kisaran 800–1000°C dan tekanan lebih besar dari 7 MPa. Reaktor canggih ini memanfaatkan partikel bahan bakar *tristructural isotropic* (TRISO), yang didesain khusus untuk tidak retak pada kondisi operasi.

HTGR diharapkan beroperasi dengan densitas daya yang rendah dibandingkan dengan reaktor logam cair atau PWR sehingga respon dinamis dari daya reaktor dan interaksi suhu diharapkan menjadi lambat sehingga baik untuk pengendalian dan keselamatan reaktor. Mengingat kerapatan daya yang rendah, konduksi panas yang rendah dari teras ke pendingin dan suhu operasi tinggi maka akan berakibat volume teras besar, perbedaan suhu yang besar di seluruh teras, dan kecepatan cairan pendingin tinggi.

Pada NP-T-3.19 *Instrumentation and Control Systems for Advanced Small Modular Reactors* [8], Tantangan untuk desain HTGR adalah mengukur suhu dan aliran yang akurat. Ketidakteraturan suhu pada HTGR dapat memengaruhi keakuratan kalibrasi instrumentasi nuklir, yang didasarkan pada perhitungan output daya termal reaktor. Ketidakteraturan ini juga dapat memengaruhi kendali reaktivitas, yang biasanya berdasarkan mempertahankan suhu outlet teras yang stabil dalam kondisi dengan beban. Kompleksitas tambahan timbul dengan pengukuran aliran karena variasi densitas dan tekanan cairan pendingin. Oleh karena itu, pengukuran suhu spasial dan gradien di lingkungan suhu tinggi perlu dievaluasi oleh pendesain sistem instrumentasi dan kendali HTGR.

Penggunaan moderator padat berpotensi membuat gesekan antara komponen moderator satu dengan lain atau dengan bahan bakar yang dapat mengakibatkan erosi. Hasil erosi tersebut berpotensi melepaskan sejumlah kecil partikel bahan bakar yang perlu dipantau dan ditampung di dalam bejana reaktor. Dengan pendingin reaktor yang beroperasi pada tekanan tinggi, hal ini menimbulkan sedikit peningkatan risiko pelepasan jika terjadi kegagalan *containment*. Instrumentasi perlu dikembangkan untuk pemantauan erosi moderator di dalam teras. Pemantauan suhu teras dengan bahan bakar jenis *pebble* membutuhkan desain khusus dikarenakan konfigurasi *pebble* yang dapat diisi ulang dan potensi pergerakan *pebble* selama reaktor beroperasi.

Tantangan berikutnya adalah gas sebagai media pendingin reaktor membutuhkan loop primer reaktor sangat kedap dengan pertimbangan kemungkinan pelepasan selama peristiwa kehilangan penahanan. Karena gas adalah fluida yang dapat dikompresi. Pendeteksian kebocoran memerlukan metode pendeteksian bahan kimia yang sangat tepat sebagai 'pelacak'. Pendesain ditantang untuk menentukan posisi terbaik dalam menempatkan instrumen dan threshold deteksi kebocoran yang akan digunakan. Akurasi pendeteksian kemungkinan harus lebih tinggi dibandingkan dengan detektor komersial yang tersedia.

Masuknya udara ke dalam sistem pendingin reaktor merupakan risiko yang signifikan dari timbulnya pembakaran bahan bakar dan kebakaran di bejana reaktor dan hanya dapat diukur secara tidak langsung sebagai akibat dari hilangnya penahanan bejana reaktor (*depressurization*). Respons terhadap kejadian masuknya udara adalah membuat reaktor *scram* dan menurunkan tekanan sistem

pendingin reaktor. Sebuah instrumentasi dibutuhkan untuk mendeteksi kejadian *depressurization* ini untuk membawa reaktor ke kondisi selamat.

Tantangan selanjutnya adalah instrumentasi untuk mengukur apakah *pebble* bahan bakar yang sudah direaksikan di reaktor harus dikeluarkan atau dimasukkan kembali ke teras karena *burn up* yang belum tinggi. Hal ini dikarenakan reaktor *pebble* memiliki mekanisme isi ulang bahan bakar.

d) Reaktor garam cair

Pengalaman tahun 1960 an di Oak Ridge Laboratorium Nasional, Amerika Serikat dimana pengukuran dilakukan untuk aliran dan suhu MSR. Instrumentasi harus dapat diandalkan untuk pengukuran yang akurat dari aliran pendingin dan suhu di dalam pipa dan tangki yang bisa mencapai 700°C. Tantangan lainnya adalah sifat garam cair yang korosif.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan identifikasi permasalahan yang ada pada beberapa contoh SMR dapat ditarik kesimpulan bahwa dalam merumuskan pengaturan terkait SMR:

Pertimbangan teknis untuk sistem instrumentasi dan kendali pada SMR masih sama dengan yang digunakan pada reaktor nuklir berdaya besar lainnya yakni ketentuan yang berkaitan dengan arsitektur sistem, sistem proteksi, kendali, sensor, *display*, *bypass* dan *interlock*, catu daya, dan pengembangan *software* serta sistem digital.

SMR memiliki karakteristik khusus dalam operasi daya sehingga diperlukan adaptasi instrumentasi terhadap kondisi lingkungan kerja berdasarkan karakteristik SMR. Desain SMR yang kompak mengharuskan pendesain sistem instrumentasi dan kendali mendesain ulang penempatan sistem instrumentasi pada teras (*in-core* instrumentation), bahkan dikondisi tertentu karena keterbatasan ruang hanya diperbolehkan 1 (satu) penetrasi kedalam teras reaktor untuk keperluan berbagai instrumentasi pengukuran tidak seperti pada reaktor besar yang memiliki kelonggaran pada area penempatan instrumentasi pengukuran.

Kebanyakan desain SMR bersifat modular, hal ini berarti bahwa sistem instrumentasi juga sudah terinstal sejak modul dikirimkan dari pabrikan sampai dengan tapak instalasi dan pemasangan komponen modular. Sehingga dibutuhkan program tambahan yang mengonfirmasi bahwa sistem instrumentasi yang telah terpasang di modular akan tetap mampu menjalankan fungsinya selama umur layan siklus operasi reaktor.

Siklus layan operasi SMR yang panjang jika dibandingkan dengan dengan reaktor besar juga menjadi tantangan bagi desainer. Sebagai contoh *life of cycle* MSR didesain beroperasi selama 4 tahun, *iPWR* selama 8 tahun. Jika kita bandingkan dengan reaktor besar yang sudah ada sekarang ini hanya beroperasi selama 20 sampai dengan 24 bulan sebelum pengisian ulang bahan bakar, sehingga dibutuhkan program kualifikasi sistem instrumentasi yang akan diinstal pada SMR dan disesuaikan dengan kondisi karakteristik tiap SMR.

Reaktor SMR berpotensi mengadopsi sistem instrumentasi dan kendali berbasis digital, sehingga pengacuan dokumen IAEA terkait instrumentasi dan kendali berbasis digital akan menjadi referensi utama berikut tantangan yang akan dihadapi dalam mendesain seperti kegagalan komponen akibat penyebab sama dan aspek *cyber attack*.

Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN, 2012, Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
- [2] BAPETEN, 2020, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 Tahun 2020 Tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya, Indonesia.
- [3] IAEA, 2016, SSG-3.9 *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power*

- Plants*, Vienna.
- [4] IAEA, 2021, NR-G-5.1 *Digital Instrumentation and Control Systems for New and Existing Research Reactor*, Vienna.
 - [5] BAPETEN, 2014, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.
 - [6] BAPETEN, 2011, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 Tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya, Indonesia.
 - [7] Upadhyaya, B.R., Zhao, k., Wood, R.T., Ingersoll, D.T., 2002, *Thermal-hydraulic analysis of a helical coil steam generator for level monitoring*, *Trans. Am. Nucl. Soc.* 88 (2002) 283–284.
 - [8] IAEA, 2017, NP-T-3.19 *Instrumentation and Control Systems for Advanced Small Modular Reactors*, Vienna.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Uji Kebocoran Tabung Pesawat Sinar-X Konvensional di Instalasi Radiologi RSD Mangusada

Yustina Carmelia¹, Gusti Ngurah Sutapa¹, I Nyoman Pranditayana¹, Ida Bagus Made Suryatika¹, I Made Sumadiyasa¹, Anak Agung Ngurah Gunawan¹

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran-Badung

²Instalasi Radiologi RSD Mangusada-Badung

Korespondensi penulis:

alyacarmelya543@gmail.com

sutapafis97@unud.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian uji kebocoran tabung pesawat sinar-X konvensional di Instalasi Radiologi RSD Mangusada. Uji kebocoran tabung pesawat sinar-X merupakan salah satu bagian dari uji kesesuaian, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kebocoran tabung sinar-X. Metode pengujian dilakukan dengan tahapan dimana kolimator yang menjadi tempat keluarnya sinar-X ditutup, kemudian dilakukan pengukuran kebocoran tabung dengan menggunakan surveymeter pada jarak 100 cm untuk setiap posisi pengukuran. Berdasarkan Perka BAPETEN No 2 tahun 2022, nilai lolos uji kebocoran wadah tabung adalah ≤ 1 mGy/jam. Nilai kebocoran tabung (*Leakage*) yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai lolos uji kebocoran tabung yang diatur dalam Perka BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan, nilai kebocoran tabung yang diperoleh pada penelitian ini masih dibawah 1 mGy/jam. Nilai kebocoran radiasi pada tabung pesawat sinar-X tersebut masih memenuhi batas toleransi yang ditetapkan pada Perka BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022 dan menandakan bahwa tabung sinar-X tersebut dalam keadaan aman dan layak digunakan.

Kata Kunci: Uji kebocoran tabung, sinar-X, *Leakage*, uji kesesuaian

Abstract

A conventional X-ray tube leak test practice was conducted at the Radiology Installation of Mangusada Regional Hospital. The X-ray tube leak test is one part of the suitability test, which aims to determine the leakage value of the X-ray tube. The test method is carried out with stages where the collimator where the X-rays come out is closed, then the tube leakage measurement is carried out using a surveymeter at a distance of 100 cm for each measurement position. Based on BAPETEN Regulation No. 2 of 2022, the acceptable value for leakage test of the container tube is ≤ 1 mGy/hour. The Leakage value obtained is then compared with the tube leakage test pass value regulated in BAPETEN Regulation No. 2 of 2022. Based on the measurement and calculation results, the tube leakage value obtained in this practice is still below 1 mGy/hour. The radiation leakage value of the X-ray tube still meets the tolerance limit set in BAPETEN Regulation Number 2 of 2022 and indicates that the X-ray tube is safe and suitable for use.

Keywords: Tube leakage test, X-ray, *Leakage*, suitability test

Pendahuluan

Radiologi merupakan cabang ilmu kedokteran yang berkaitan dengan penggunaan sinar-X dalam rangka memperoleh informasi visual [1]. Penggunaan radiasi pengion, khususnya sinar-X, pada pengambilan citra gambar (radiografi) sangat membantu dokter dalam menegakkan diagnosis penyakit pasien. Hasil dari radiografi dapat memberikan citra yang mampu menunjukkan keadaan tubuh bagian

dalam yang dapat menunjang perencanaan pengobatan bagi pasien dengan lebih akurat, tepat dan optimal [2].

Sebagai bagian dari pencitraan atau imaging kedokteran (*medical imaging*), setiap pesawat sinar-X harus sesuai dengan spesifikasi keselamatan alat, perlengkapan proteksi radiasi, keselamatan operasional proteksi pasien, dan uji kesesuaian [3]. Perka BAPETEN No 2 tahun 2018 menyatakan bahwa Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan yang selanjutnya disebut Uji Kesesuaian adalah serangkaian kegiatan pengujian untuk memastikan pesawat sinar-X dalam kondisi andal [4]. Hasil pengujian harus memenuhi suatu standar atau batas toleransi tertentu agar menjadi pedoman bagi pemilik fasilitas untuk mengambil tindakan yang terbaik seperti perbaikan peralatan atau mengganti dengan pesawat yang baru [5].

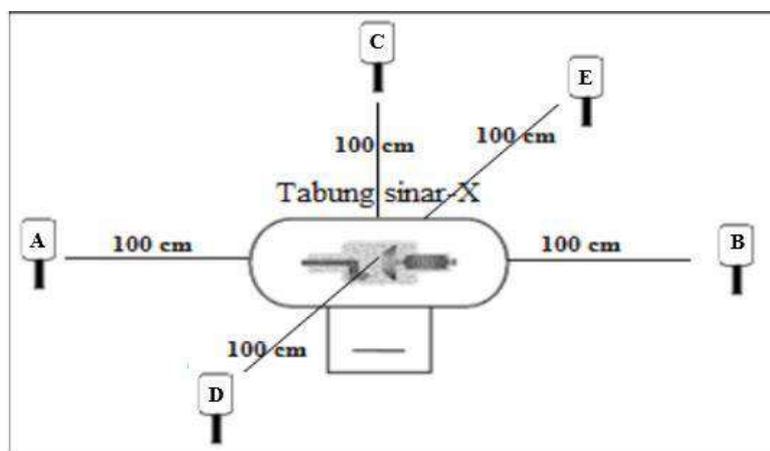
Uji kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intevensional meliputi Pesawat sinar-X Radiografi Umum, Pesawat sinar-X Fluoroskopi, Pesawat sinar-X Mamografi, Pesawat sinar-X CT-Scan, dan Pesawat sinar-X Gigi. RSD Mangusada memiliki Pesawat Sinar-X Konvensional merk Siemens yang merupakan Pesawat sinar-X Radiografi Umum. Berdasarkan Perka BAPETEN No 2 tahun 2022, salah satu parameter uji kesesuaian pada Pesawat sinar-X Radiografi Umum adalah kebocoran wadah tabung, yang memiliki nilai lolos uji ≤ 1 mGy/jam [6].

Uji kebocoran tabung sinar-X harus dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat radiasi yang bocor atau keluar dari tempat yang bukan seharusnya mejadi tempat keluarnya radiasi. Selain itu, uji kebocoran tabung dilakukan untuk memastikan apakah peralatan sudah memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan, dan juga dapat memberikan informasi adanya kerusakan pada peralatan atau komponen tertentu yang perlu diperbaiki atau diganti. Hal ini perlu dilakukan sebelum masalah menjadi lebih serius dan berdampak negatif pada kualitas citra sinar-X.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan Uji Kebocoran Tabung Pesawat Sinar-X Konvensional di Instalasi Radiologi RSD Mangusada. Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah pada pesawat sinar-X konvensional di Rumah Sakit tersebut terdapat kebocoran pada tabung sinar-X. Selain itu uji ini dilakukan untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan nilai lolos uji berdasarkan Perka BAPETEN No 2 Tahun 2022.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tabung pesawat sinar-X konvensional merk *siemens* yang terdapat di Instalasi Radiologi RSD Mangusada. Sebelum dilakukan pengukuran kebocoran radiasi, kolimator yang menjadi tempat keluarnya sinar-X ditutup menggunakan plat Pb. Pengukuran radiasi bocor menggunakan alat ukur *Surveymeter* yang ditempatkan pada setiap titik pengukuran dengan jarak 100 cm dari tabung seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik pengukuran kebocoran tabung sinar-X

Keterangan:

- Titik A: Posisi Kiri
- Titik B: Posisi Kanan
- Titik C: Posisi Atas

Titik D: Posisi Depan
Titik E: Posisi Belakang

Dilakukan eksposi dengan mengatur tegangan sebesar 100 kV, arus 20 mA dan waktu penyinaran selama 1 detik. Radiasi yang diukur dan terbaca pada *surveymeter* dengan lima kali pengulangan kemudian dirata-ratakan, dan dicari nilai radiasi yang sebenarnya menggunakan persamaan berikut:

$$X_s = (X_u - BG). FK \quad (1)$$

dimana X_s adalah besarnya laju dosis radiasi sebenarnya, X_u merupakan laju dosis yang terukur, BG sebagai laju dosis *background* dan FK adalah faktor kalibrasi. Nilai laju dosis radiasi sebenarnya yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menghitung nilai kebocoran tabung (*Leakage*) menggunakan persamaan berikut:

$$Leakage (L) = X \cdot \left(\frac{kV_{max}}{kV_{set}} \right)^2 \cdot \frac{mA_{count}}{mA_{set}} \cdot \frac{1}{1000} \left(\frac{mGy}{jam} \right) \quad (2)$$

Selanjutnya nilai kebocoran tabung dari hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai lolos uji kebocoran tabung (*Leakage*) yang telah ditetapkan pada Perka BAPETEN No.2 tahun 2022.

Hasil dan Pembahasan

Setelah penelitian dilakukan, data laju dosis radiasi yang terbaca pada masing-masing titik pengukuran dan laju dosis radiasi *background* dapat ditunjukkan pada Tabel 1. Kemudian, rata-rata hasil bacaan untuk lima kali pengulangan pengukuran pada setiap titik digunakan untuk menghitung nilai kebocoran tabung (*Leakage*). Nilai kebocoran tabung dan nilai lolos uji yang diatur dalam Perka BAPETEN No 2 tahun 2022 kemudian diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data faktor eksposi, hasil bacaan pada *surveymeter*, dan radiasi *background*

Faktor Eksposi				Posisi	Hasil Bacaan <i>Surveymeter</i> ($\mu\text{Sv/jam}$)					Rata-rata Bacaan ($\mu\text{Sv/jam}$)	Radiasi <i>Background</i> ($\mu\text{Sv/jam}$)
kV_{max}	kV_{set}	mA_{count}	mA_{set}		1	2	3	4	5		
150	100	5	20	Kiri	9,1	8,9	8,9	9,0	9,1	9,0	0,2
				Kanan	11,1	10,9	11,0	10,9	11,1	11,0	
				Atas	5,6	5,6	5,5	5,7	5,6	5,6	
				Depan	10,4	10,3	10,4	10,4	10,5	10,4	
				Belakang	6,6	6,8	6,6	6,7	6,8	6,7	

Tabel 2. Nilai radiasi sebenarnya, nilai kebocoran tabung dan nilai lolos uji

Posisi	Nilai Radiasi Sebenarnya ($\mu\text{Sv/jam}$)	Nilai Kebocoran Tabung (mGy/jam)	Nilai Lolos Uji (mGy/jam)
Kiri	9,50	0,0053	
Kanan	11,66	0,0066	
Atas	5,83	0,0033	≤ 1
Depan	11,02	0,0062	
Belakang	7,02	0,0039	

Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai kebocoran terbesar berasal dari sisi kanan tabung yaitu sebesar 0,0066 mGy/jam. Kondisi kebocoran terbesar berasal dari sisi kanan tabung disebabkan pada sisi tersebut terjadi proses pembentukan sinar-X, elektron yang berasal dari katoda yang berada pada sisi

kiri tabung akan menuju anoda yang berada pada sisi kanan tabung dan mengalami interaksi hingga menghasilkan sinar-X. Sinar-X dihasilkan di anoda, sehingga ini adalah alasan yang sangat memungkinkan mengapa kebocoran terbesar berasal dari sisi kanan tabung sinar-X.

Berdasarkan Perka BAPETEN No.2 Tahun 2022, nilai lolos uji untuk kebocoran tabung pesawat sinar-X konvensional adalah ≤ 1 mGy/jam. Sesuai dengan hasil yang diperoleh, nilai kebocoran tabung pesawat sinar-X konvensional di Instalasi Radiologi RSD Mangusada pada setiap posisi pengukuran menunjukkan hasil dibawah 1 mGy/jam. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kebocoran tabung yang diperoleh masih memenuhi peraturan yang berlaku dan menandakan bahwa tabung sinar-X tersebut dalam keadaan aman dan layak digunakan.

Berdasarkan penelitian Indah dewi dan Dinanda (2020), dampak yang terjadi apabila nilai kebocoran tabung melebihi batas yang ditentukan adalah paparan radiasi yang berlebihan, yang menyebabkan beberapa efek merugikan berupa kerontokan rambut dan kerusakan kulit [7]. Selain itu, tingginya dosis radiasi yang diterima akan menyebabkan berkurangnya jumlah limfosit secara drastis. Uji ini dilakukan terhadap pesawat sinar-X konvensional yang terpasang tetap atau tidak dapat berpindah. Jika Uji dilakukan terhadap pesawat sinar-X *mobile* yang dapat berpindah ke banyak ruangan, terlebih banyak digunakan di ruangan NICU (*Neonatal Intensive Care Unit*), maka sisi mana yang menghasilkan kebocoran terbesar harus di jauhkan atau diberikan penghalang dari individu yang ada didekatnya, khususnya bayi, dengan memperbesar jarak, atau menggunakan tabir radiasi.

Kesimpulan

Nilai kebocoran tabung (*Leakage*) pada pesawat sinar-X konvensional di RSD Mangusada adalah sebesar 0,0053 mGy/jam pada posisi kiri, 0,0066 mGy/jam pada posisi kanan, 0,0033 mGy/jam pada posisi atas, 0,0062 mGy/jam pada posisi depan, dan 0,0039 mGy/jam pada posisi belakang. Dari nilai kebocoran tabung (*Leakage*) yang diperoleh, dapat dinyatakan bahwa pesawat sinar-X Konvensional yang digunakan di Instalasi Radiologi RSD Mangusada masih memenuhi Perka BAPETEN No.2 Tahun 2022.

Daftar Pustaka

- [1] Hastuti, P., Syafitri, I., Susanto, W. (2012). Uji Kesesuaian Sebagai Aspek Penting Dalam Pengawasan Penggunaan Pesawat Sinar-X Di Fasilitas Radiologi Diagnostik. Jakarta: Digilib BATAN.
- [2] Tohiri, N. dan Muttaqin, A. (2022). Uji Kesesuaian Kinerja Generator dan Tabung Pesawat Sinar-X Merek Siemens di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*. Vol. 11 No. 1 hal.37-43.
- [3] Hidayah, Nur. (2021). Uji Kebocoran Tabung Pesawat Sinar-X Mobile Di Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta. Yogyakarta: Digilib UNISA Yogyakarta.
- [4] BAPETEN. (2018). Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [5] Susanti, R., Malvita D., Sandy, K. Y. P. (2017). Uji Kesesuaian Pesawat Fluoroskopi Intervensional merek Philips Allura FC menggunakan Detektor Unfors Raysafe X2 di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*. Vol 6 No.3 hal 232-239.
- [6] BAPETEN. (2022). Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan atas Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [7] Indahdewi, L., dan Dinanda, R. (2020). Efek Paparan Radiasi dari Mesin X-Ray dan Metal Detector terhadap Kesehatan Petugas Pengamanan Lembaga Pemasarakatan. *Jurnal Isu Pemasarakatan*. Vol 3 No.1 hal 16-26.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Pengembangan Rancangan *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk Basis Data Dekomisioning Berbasiskan *File Input Data CERREX-D2*

Arif Isnaeni¹, Neni Ratnawati², Anggoro Septilarso¹, Harry Susanto³

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

²*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN, Bandung*

³*Biro Perencanaan Informasi dan Keuangan, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

a.isnaeni@bapeten.go.id

Abstrak

Dekomisioning adalah kegiatan terencana pada akhir masa pakai fasilitas yang disertai izin untuk melakukan kegiatan nuklir atau terkait nuklir. Pada tahun 2007, IAEA membentuk *International Decommissioning Network* (IDN) untuk meningkatkan pengetahuan dan berbagi pengalaman di antara negara anggota dalam rangka meningkatkan kemampuan di bidang dekomisioning. Pada tahun 2012 IAEA membuat proyek *Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning* (DACCORD). Pada pelaksanaan DACCORD IAEA memfasilitasi peserta perangkat lunak berbasis Microsoft Excel yang disebut dengan CERREX (*Cost Estimation for Research Reactors in Excel*). Untuk mengembangkan penyiapan data dekomisioning yang sesuai dengan kondisi di Indonesia, serta agar data yang ada dapat dikelola dengan lebih baik, data yang telah disimpan di dalam file Microsoft Excel dapat dikelola menggunakan basis data. Pada penelitian ini akan dibuat rancangan *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk database dekomisioning. ERD yang disusun merupakan pengembangan dari tabel-tabel yang terdapat pada CERREX-D2, dengan menyesuaikan kondisi yang ada di Indonesia. ERD dirancang untuk penggunaan basis data MySQL Beberapa pengembangan dan perubahan dari kolom data *input* CERREX-D2 pada ERD yang dibuat adalah: penambahan tabel *facilities* dan *facility_types*, penentuan *primary key* dan *foreign key*, memecah tabel *equipments* pada file Microsoft Excel menjadi tabel *equipments* dan *equipment_cont* agar pengukuran dosis yang dilakukan lebih dari satu kali tetap dapat tercatat di dalam basis data, penambahan kolom *available* dan *information* pada tabel *equipments*, menambah *create_at* dan *update_at* pada setiap tabel. Tahapan selanjutnya yang perlu dilakukan adalah pembuatan basis data menggunakan perangkat lunak MySQL dan *interface* untuk tampilan basis data tersebut agar memudahkan proses CRUD (*Create, Read, Update, and Delete*).

Kata Kunci: Dekomisioning, CERREX-D2, ERD, basis data, MySQL.

Abstract

Decommission is a planned activity at the end of the life of a facility with a permit to carry out nuclear or nuclear-related activities. In 2007, the IAEA formed the International Decommissioning Network (IDN) to increase knowledge and share experiences among country members in order to improve capabilities in the field of decommissioning. In 2012 the IAEA created the Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning (DACCORD) project. During the DACCORD implementation, IAEA facilitated participants with a Microsoft Excel-based software called CERREX (Cost Estimation for Research Reactors in Excel). In order to develop the preparation of decommissioning data according to conditions in Indonesia, and the existing data can be better managed, the data that has been stored in Microsoft Excel file can be managed in a database. In this research, an Entity Relationship Diagram (ERD) will be designed for decommissioning database. The ERD compiled is a development of the tables contained in CERREX-D2, by adjusting the conditions in Indonesia. The ERD is designed for the use of the MySQL database Some of the developments and

changes of the CERREX-D2 input data column in the ERD that were made are: adding facilities tables and facility_types, adding primary and foreign key, breaking the equipment table in the Microsoft Excel file into equipments and equipment_cont tables so dose measurements that are carried out more than once can be recorded in the database, adding available and information columns to the equipments table, adding create_at and update_at to each table. The next step that needs to be done is to create a database using MySQL software and an interface for displaying the database in order to facilitate the CRUD (Create, Read, Update, and Delete) process.

Keywords: Decommissioning, CERREX-D2, ERD, database, MySQL.

Pendahuluan

Dekomisioning adalah kegiatan terencana pada akhir masa pakai fasilitas yang disertai izin untuk melakukan kegiatan nuklir atau terkait nuklir [1], kegiatan dekomisioning meliputi perencanaan, pembongkaran dan dekontaminasi. Pada tahun 2007, IAEA membentuk *International Decommissioning Network* (IDN) untuk meningkatkan pengetahuan dan berbagi pengalaman di antara negara anggota dalam rangka meningkatkan kemampuan di bidang dekomisioning [2], dengan harapan setiap negara anggota mampu untuk mempersiapkan dan memfasilitasi kegiatan dekomisioning dengan selamat dan aman. Dengan adanya bahaya radiasi pengion pelaksanaan dekomisioning memerlukan biaya yang relatif besar bila dibandingkan dengan pembongkaran bangunan lainnya (selain fasilitas nuklir). Estimasi biaya dekomisioning dibahas pada pertemuan tahunan IDN tahun 2011, salah satu catatan dalam pertemuan tersebut adalah kurangnya data publikasi yang terperinci tentang biaya dekomisioning reaktor riset dan fasilitas nuklir kecil, IAEA merencanakan pada tahun 2012 membuat proyek *Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning* (DACCORD), sebuah upaya kolaboratif yang berfokus pada pengumpulan dan analisis biaya dekomisioning untuk reaktor riset dan pengembangan informasi dan metode untuk membantu perhitungan perkiraan biaya.

Proyek DACCORD tahap I dimulai pada tahun 2012 [3]. Pada tahap ini IAEA memfasilitasi peserta dalam melakukan pengumpulan dan analisis data serta perhitungan perkiraan biaya dekomisioning dengan perangkat lunak berbasis Microsoft Excel yang disebut dengan CERREX (*Cost Estimation for Research Reactors in Excel*). CERREX diharapkan dapat digunakan oleh negara-negara anggota IAEA dengan keterbatasan pengalaman estimasi biaya dekomisioning sehingga diperoleh keseragaman dalam perhitungan dan memudahkan pelaksanaan kegiatan analisis data. Pada tahap ini digunakan CERREX versi D.

Dalam perkembangannya, pada proyek DACCORD tahap II yang dilaksanakan dari tahun 2016 – 2018 untuk meningkatkan kualitas perkiraan biaya dekomisioning, IAEA telah mengembangkan CERREX versi D menjadi CERREX versi D2 (CERREX-D2). Salah satu fitur baru pada CERREX-D2 adalah informasi data-data sistem, struktur dan komponen fasilitas yang menjadi data inputan untuk perhitungan memuat informasi yang sangat lengkap. Informasi yang disajikan tidak hanya secara fisik dan kimia, tetapi sudah mencakup informasi parameter radiologi.

Perkiraan biaya dekomisioning sangat penting untuk organisasi yang akan melakukan dekomisioning. Adanya perbedaan dalam desain dan riwayat operasional reaktor riset menyulitkan untuk menetapkan perkiraan umum untuk tipe atau ukuran reaktor tertentu, perkiraan biaya bisa sangat berbeda untuk masing-masing fasilitas dan spesifik sesuai dengan peraturan yang berlaku di suatu negara. IAEA mengembangkan metode untuk mengakomodasi jenis reaktor riset yang berbeda, keadaan akhir yang berbeda, riwayat operasi termasuk kejadian normal dan tidak normal, latar belakang dan pengalaman dekomisioning yang terbatas pada beberapa negara, dan opsi yang berbeda mengenai pengelolaan limbah dan bahan bakar bekas. Pada beberapa negara dekomisioning dilakukan setelah mengeluarkan bahan bakar dari tapak, tetapi pada beberapa negara lainnya, pemindahan dan penyimpanan bahan bakar bekas termasuk dalam proyek dekomisioning.

CERREX dibuat berdasarkan *International Structure for Decommissioning Costing* (ISDC). CERREX berbasiskan perangkat lunak Microsoft Excel. ISDC adalah sebuah platform yang menyertakan seluruh aktivitas spesifik dalam pelaksanaan dekomisioning [4]. Data ISDC dikembangkan oleh IAEA bekerjasama dengan OECD Nuclear Energy Agency dan Komisi Eropa [5].

Tingkatan ISDC dibagi menjadi 3 level [6]. ISDC level 1 merupakan pokok kegiatan, level 2 merupakan grup kegiatan, level 3 merupakan jenis kegiatan [7]. Untuk mengembangkan penyiapan data dekomisioning yang sesuai dengan kondisi di Indonesia, serta agar data yang ada dapat dikelola dengan lebih baik, data yang telah disimpan di dalam file Microsoft Excel dapat dikelola menggunakan basis data.

Beberapa kelebihan basis data adalah:

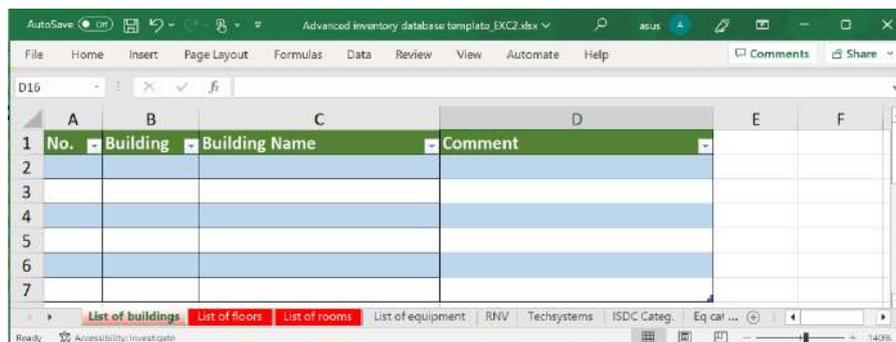
1. Basis data mengurangi pengulangan data, menghindari terjadinya data ganda dalam tempat penyimpanan data.
2. Integritas basis data sangat bagus, data akan lebih konsisten, akurat, serta mudah diakses oleh banyak orang dalam waktu yang sama.
3. Dalam basis data tidak semua orang bisa mengubah data. Otoritas akses data dapat dibatasi sesuai dengan peran pengguna, ada admin, data entry, serta pihak lain yang hanya bisa melihat data tetapi tidak bisa menambah atau mengubah data.
4. Data cukup disimpan di *server*, *server* biasanya merupakan perangkat yang memiliki keandalan tinggi, lebih menjamin tersimpannya data dalam waktu yang lama.
5. Data dapat diakses dari banyak perangkat atau gawai.

Pada penelitian ini akan dibuat rancangan *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk basis data dekomisioning. ERD yang disusun merupakan pengembangan dari tabel-tabel yang terdapat pada CERREX-D2, dengan menyesuaikan kondisi yang ada di Indonesia. ERD dirancang untuk penggunaan basis data MySQL.

Metode

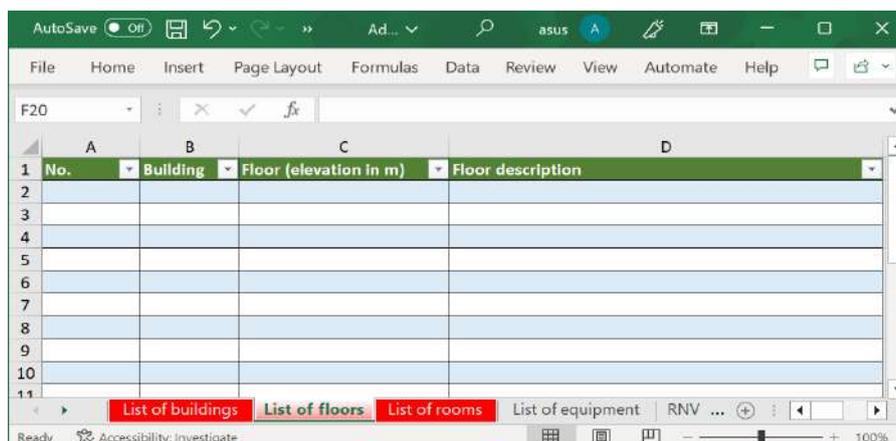
CERREX-D2 mempunyai fitur input inventori yang sangat lengkap sehingga untuk mempermudah dalam pengelolaan data maka dibuat file inventori secara terpisah dalam bentuk file Microsoft Excel yaitu file "Advanced inventory database template.xlsx"

File "Advanced inventory database template.xlsx" terdiri dari beberapa *sheet*, sebagai contoh *sheet List of buildings* dan *List of floors sheet* yang ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



No.	Building	Building Name	Comment
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Gambar 1. Gambar Microsoft Excel Sheet CERREX-D2: List of buildings.



No.	Building	Floor (elevation in m)	Floor description
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Gambar 2. Gambar Microsoft Excel Sheet CERREX-D2: List of floors.

Gambar 1 dan Gambar 2 memperlihatkan bahwa file "Advanced inventory database template.xlsx" terdiri dari beberapa *sheet*, Langkah yang harus dilakukan adalah memahami *header* setiap kolom pada tabel-tabel tersebut yang kemudian akan dibuat menjadi kolom di dalam basis data:

Tabel 1. CERREX-D2: List of buildings

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>No</i>	Nomor
<i>Building</i>	Kode gedung
<i>Building Name</i>	Nama gedung
<i>Comment</i>	komentar

Tabel 2. CERREX-D2: List of floors.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>No.</i>	Nomor
<i>Building_No</i>	Kode gedung
<i>Floor (elevation in m)</i>	Ketinggian lantai
<i>Floor description</i>	Deskripsi lantai
<i>comment</i>	komentar

Tabel 3. CERREX-D2: List of rooms.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>No.</i>	Nomor
<i>Building</i>	Kode gedung
<i>Floor</i>	Ketinggian lantai
<i>Room No.</i>	Nomor ruangan
<i>Room name</i>	Nama ruangan
<i>Controllled area</i>	Area kendali (ya / tidak)
<i>Width (m)</i>	Lebar (meter)
<i>Length (m)</i>	Panjang (meter)
<i>Height (m)</i>	Tinggi (meter)
<i>Room access</i>	Akses ruangan
<i>Average DR (uSv/h)</i>	Rata-rata dosis ($\mu\text{Sv/h}$)
<i>RNV DR</i>	Radio Nuclide Vector Dose Rate
<i>Refdate DR (DDMMYYYY)</i>	Tanggal pengambilan data dosis
<i>Average cont (Bq/cm²)</i>	Rata-rata kontaminasi (Bq/cm ²)
<i>RNV cont</i>	Kontaminasi Radio Nuclide Vector
<i>Refdate cont (DDMMYYYY)</i>	Tanggal pengambilan data kontaminasi
<i>Surface area (m²)</i>	Luas permukaan (m ²)
<i>Floor area (m²)</i>	Luas lantai (m ²)
<i>Final survey (m²)</i>	Luas survey akhir (m ²)

Tabel 4. CERREX-D2: List of equipment.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>No</i>	Nomor
<i>Building</i>	Kode gedung
<i>Floor</i>	Tinggi lantai
<i>Room No.</i>	Nomor ruangan
<i>Equipment ID</i>	ID peralatan
<i>Equipment Name</i>	Nama peralatan
<i>ISDC No.</i>	Nomor International Structure for Decommissioning Costing (ISDC)
<i>Tech System*</i>	Kode tech system
<i>Clearance</i>	Clearance (ya / tidak)
<i>Activated region inside bioshield</i>	Lokasi sistem atau komponen
<i>EqHeight position (m)</i>	Posisi tinggi peralatan
<i>Mass (t)</i>	Massa (ton)
<i>Volume (m³)</i>	Volume (m ³)
<i>Inner surface (m²)</i>	luas permukaan dalam (m ²)
<i>Outer surface (m²)</i>	Luas permukaan luar (m ²)
<i>Inner volume (m³)</i>	Volume dalam (m ³)
<i>ISDC dism. category</i>	ISDC kategori dismantling
<i>DDB * category</i>	Kategori DBB ?
<i>Material*</i>	Kode material
<i>HAZ mat (code)</i>	Kode material berbahaya
<i>HAZ waste (code)</i>	Kode limbah berbahaya
<i>Inner cont (Bq/m²)</i>	Kontaminasi di dalam (Bq/m ²)
<i>Inner cont RNV</i>	Kontaminasi di dalam RNV

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>Refdate inncont (DDMMYYYY)</i>	Tanggal pengambilan data kontaminasi di dalam
<i>Outer cont (Bq/m²)</i>	Kontaminasi di luar (Bq/m ²)
<i>Outer cont RNV</i>	Kontaminasi di luar RNV
<i>Refdate outcont (DDMMYYYY)</i>	Tanggal pengambilan data kontaminasi di luar
<i>SpecAct (Bq/kg)</i>	Aktivitas spesifik (Bq/kg)
<i>SpecAct RNV</i>	Aktivitas spesifik RNV
<i>Refdate SpecAct (DDMMYYYY)</i>	Tanggal pengambilan data Aktivitas spesifik
<i>EqDR (uSv/h)</i>	Dosis peralatan (uSv/h)
<i>RNV DR</i>	Dosis RNV
<i>Refdate DR (DDMMYYYY)</i>	Tanggal pengambilan data dosis
<i>Inner cont (Bq)</i>	Kontaminasi di dalam (Bq)
<i>Outer cont (Bq)</i>	Kontaminasi di luar (Bq)
<i>Total Cont (Bq)</i>	Total kontaminasi (Bq)
<i>Activation+volume activity (Bq)</i>	Aktivitas seluruhnya (Bq)
<i>Total activity in refdate(Bq)</i>	Tanggal pengambilan data aktivitas total
<i>Activity in calculation date (Bq)</i>	Aktivitas pada saat tanggal perhitungan (Bq)
Ag-108m	Aktivitas Ag-108m
Ag-110m	Aktivitas Ag-110m
Am-241	Aktivitas Am-241
Ar-39	Aktivitas Ar-39
Ba-133	Aktivitas Ba-133
Be-10	Aktivitas Be-10
C-14	Aktivitas C-14
Ca-41	Aktivitas Ca-41
Cd-113m	Aktivitas Cd-113m
Ce-144	Aktivitas Ce-144
Cl-36	Aktivitas Cl-36
Cm-244	Aktivitas Cm-244
Co-57	Aktivitas Co-57
Co-60	Aktivitas Co-60
Cs-134	Aktivitas Cs-134
Cs-135	Aktivitas Cs-135
Cs-137	Aktivitas Cs-137
Eu-152	Aktivitas Eu-152
Eu-154	Aktivitas Eu-154
Eu-155	Aktivitas Eu-155
Fe-55	Aktivitas Fe-55
H-3	Aktivitas H-3
Ho-166m	Aktivitas Ho-166m
I-129	Aktivitas I-129
K-40	Aktivitas K-40
Mn-54	Aktivitas Mn-54
Mo-93	Aktivitas Mo-93
Na-22	Aktivitas Na-22
Nb-93m	Aktivitas Nb-93m
Nb-94	Aktivitas Nb-94
Ni-59	Aktivitas Ni-59
Ni-63	Aktivitas Ni-63
Pd-107	Aktivitas Pd-107
Pu-238	Aktivitas Pu-238
Pu-239	Aktivitas Pu-239
Pu-241	Aktivitas Pu-241
Sb-125	Aktivitas Sb-125
Se-79	Aktivitas Se-79
Sm-151	Aktivitas Sm-151
Sn-126	Aktivitas Sn-126
Sr-90	Aktivitas Sr-90
Tc-99	Aktivitas Tc-99
Tl-204	Aktivitas Tl-204
U-232	Aktivitas U-232
U-233	Aktivitas U-233
U-234	Aktivitas U-234
U-235	Aktivitas U-235
U-236	Aktivitas U-236
U-238	Aktivitas U-238
Zn-65	Aktivitas Zn-65

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
Zr-93	Aktivitas Zr-93

Tabel 5. CERREX-D2: RNV.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>RNV ID</i>	Kode RNV
<i>RNV Description Ratio</i>	Rasio deskripsi RNV
<i>RNV column</i>	Kolom RNV
<i>Total</i>	Total
Ag-108m	Rasio nuklida Ag-108m yang terbentuk
Ag-110m	Rasio nuklida Ag-110m yang terbentuk
Am-241	Rasio nuklida Am-241 yang terbentuk
Ar-39	Rasio nuklida Ar-39 yang terbentuk
Ba-133	Rasio nuklida Ba-133 yang terbentuk
Be-10	Rasio nuklida Be-10 yang terbentuk
C-14	Rasio nuklida C-14 yang terbentuk
Ca-41	Rasio nuklida Ca-41 yang terbentuk
Cd-113m	Rasio nuklida Cd-113m yang terbentuk
Ce-144	Rasio nuklida Ce-144 yang terbentuk
Cl-36	Rasio nuklida Cl-36 yang terbentuk
Cm-244	Rasio nuklida Cm-244 yang terbentuk
Co-57	Rasio nuklida Co-57 yang terbentuk
Co-60	Rasio nuklida Co-60 yang terbentuk
Cs-134	Rasio nuklida Cs-134 yang terbentuk
Cs-135	Rasio nuklida Cs-135 yang terbentuk
Cs-137	Rasio nuklida Cs-137 yang terbentuk
Eu-152	Rasio nuklida Eu-152 yang terbentuk
Eu-154	Rasio nuklida Eu-154 yang terbentuk
Eu-155	Rasio nuklida Eu-155 yang terbentuk
Fe-55	Rasio nuklida Fe-55 yang terbentuk
H-3	Rasio nuklida H-3 yang terbentuk
Ho-166m	Rasio nuklida Ho-166m yang terbentuk
I-129	Rasio nuklida I-129 yang terbentuk
K-40	Rasio nuklida K-40 yang terbentuk
Mn-54	Rasio nuklida Mn-54 yang terbentuk
Mo-93	Rasio nuklida Mo-93 yang terbentuk
Na-22	Rasio nuklida Na-22 yang terbentuk
Nb-93m	Rasio nuklida Nb-93m yang terbentuk
Nb-94	Rasio nuklida Nb-94 yang terbentuk
Ni-59	Rasio nuklida Ni-59 yang terbentuk
Ni-63	Rasio nuklida Ni-63 yang terbentuk
Pd-107	Rasio nuklida Pd-107 yang terbentuk
Pu-238	Rasio nuklida Pu-238 yang terbentuk
Pu-239	Rasio nuklida Pu-239 yang terbentuk
Pu-241	Rasio nuklida Pu-241 yang terbentuk
Sb-125	Rasio nuklida Sb-125 yang terbentuk
Se-79	Rasio nuklida Se-79 yang terbentuk
Sm-151	Rasio nuklida Sm-151 yang terbentuk
Sn-126	Rasio nuklida Sn-126 yang terbentuk
Sr-90	Rasio nuklida Sr-90 yang terbentuk
Tc-99	Rasio nuklida Tc-99 yang terbentuk
Tl-204	Rasio nuklida Tl-204 yang terbentuk
U-232	Rasio nuklida U-232 yang terbentuk
U-233	Rasio nuklida U-233 yang terbentuk
U-234	Rasio nuklida U-234 yang terbentuk
U-235	Rasio nuklida U-235 yang terbentuk
U-236	Rasio nuklida U-236 yang terbentuk
U-238	Rasio nuklida U-238 yang terbentuk
Zn-65	Rasio nuklida Zn-65 yang terbentuk
Zr-93	Rasio nuklida Zr-93 yang terbentuk
Total	total

Tabel 6. CERREX-D2: Techsystems.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>TechSys ID</i>	Kode teknologi sistem
<i>TechSystem Name</i>	Nama teknologi sistem

Tabel 7. CERREX-D2: ISDC Categ.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>D&D and waste management categories of CERREX-D</i>	kategori dismantling dan dekontaminasi pengelolaan limbah dari CERREX-D
<i>Review of D&D inventory categories and waste management categories, see comments in D5</i>	Deskripsi dari: kategori dismantling dan dekontaminasi pengelolaan limbah dari CERREX-D
<i>No.</i>	Kode kategori ISDC
<i>Title of the category</i>	Judul kategori
<i>Unit</i>	Satuan
<i>U</i>	Singkatan dari judul kategori
<i>M</i>	Modifikasi, berupa kode Boolean (1) dilaksanakan (null/blank) tidak dilaksanakan
<i>Description of D&D inventory categories and waste management categories</i>	Deskripsi dari kategori manajemen limbah dan kategori inventori dismantling dan dekontaminasi

Tabel 8. CERREX-D2: Eq categories.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>Material ID</i>	Kode material
<i>Material name</i>	Jenis material
<i>Note</i>	Catatan

Tabel 9. CERREX-D2: HAZ mat, waste.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>IDHAZmaterial</i>	Kode material berbahaya
<i>HAZ Material name</i>	Jenis material berbahaya
<i>Notes</i>	catatan

Tabel 10. CERREX-D2: Summary.

Kolom pada CERREX-D2	Keterangan
<i>Row Labels</i>	Label Baris
BACN	Barite concrete
CAST	Cabon steel
COLM	Colour metals
GRAP	Graphite
LRAW	Liquid RAW - liquids, resins, sludge
MASO	Masonry
OBLM	Other building material
PLST	Plastic, rubber material
RECN	Reinforced concrete
STST	Stainless steel
CATF	Cartridge filter
<i>Grand Total</i>	Total seluruhnya

Metode yang dilakukan adalah dengan mengembangkan tabel-tabel Microsoft Excel yang terdapat pada penyediaan data CERREX yaitu file "*Advanced inventory database template.xlsx*" menjadi suatu tabel ERD dan menambah serta menyesuaikan kondisi lokal yang ada di Indonesia.

Hasil dan Pembahasan

Hal mendasar yang dilakukan apabila akan menggunakan nama kolom dari file Microsoft Excel "*Advanced inventory database template.xlsx*", nama kolom harus diubah menyesuaikan aturan yang digunakan di dalam perangkat lunak basis data MySQL, salah satu aturannya adalah tidak boleh ada spasi atau "*white space*". Hal lain yang perlu dilakukan adalah menentukan tipe data untuk masing masing kolom di dalam basis data, seperti terlihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Perubahan nama kolom pada *List of buildings*

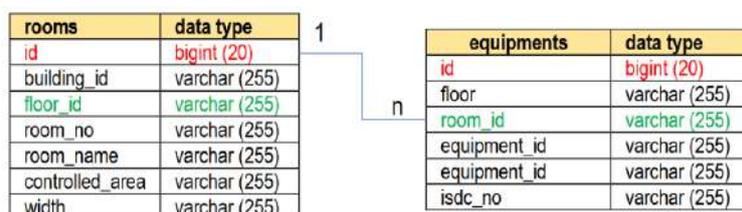
Kolom pada CERREX-D2	Kolom pada Basis Data MySQL	Tipe Data
<i>No</i>	<i>id</i>	bigint (20)
<i>Building</i>	<i>building</i>	varchar (255)
<i>Building Name</i>	<i>building_name</i>	varchar (255)
<i>Comment</i>	<i>comment</i>	varchar (255)

Tabel 12. Perubahan nama kolom pada *Floors*

Kolom pada CERREX-D2	Kolom pada Basis Data MySQL	Tipe Data
<i>No.</i>	<i>id</i>	bigint (20)
<i>Floor (elevation in m)</i>	<i>floor_elevation</i>	varchar (255)
<i>Floor description</i>	<i>floor_description</i>	varchar (255)
<i>comment</i>	<i>comment</i>	varchar (255)

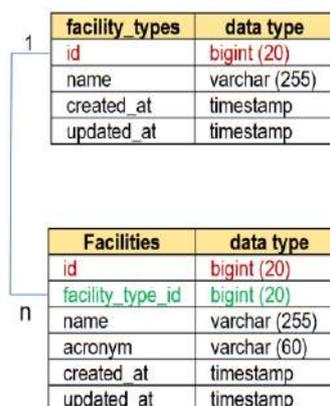
Pengubahan nama kolom dilakukan pada tabel-tabel lainnya, yaitu Tabel 3 s.d Tabel 10, untuk melihat penamaan yang baru bisa langsung dilihat di Lampiran 1: *Entity Relationship Diagram (ERD)* basis data *Decommissioning*.

Seluruh tabel dari Tabel 1 s.d Tabel 10 dari file *input CERREX-D2* digunakan dalam rancangan ERD *Decommissioning*, kecuali kolom *building* pada tabel *equipments*. Kolom *building* pada tabel *equipments* dihapus, karena tabel *equipments* cukup terkoneksi dengan tabel *room*, yaitu menggunakan *room_id* sebagai *foreign key* pada tabel *equipments*, *room_id* adalah id pada tabel *room*, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.

Gambar 3. ERD tabel *rooms* dan *equipments* beserta relasi tabelnya.

Beberapa pengembangan dan perubahan dari data *input CERREX-D2* pada ERD yang dibuat untuk menyesuaikan kondisi di Indonesia, serta untuk mengikuti aturan dalam basis data, yaitu:

1. Menambahkan tabel *facilities* dan *facility_types*, karena di Indonesia terdapat tiga reaktor riset, serta instalasi lainnya yang berkaitan dengan pengolahan dan penyimpanan limbah radioaktif, seperti terlihat pada Gambar 4.

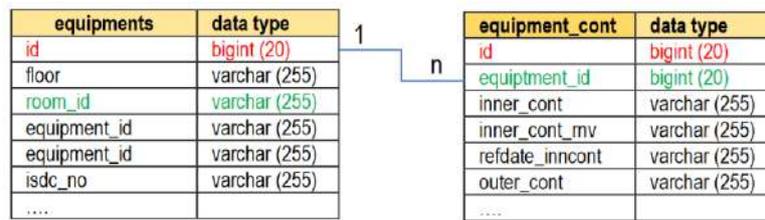
Gambar 4. ERD Tabel *facilities* dan *facility_types* beserta relasi tabelnya.

2. Mengidentifikasi data unik yang akan digunakan sebagai *primary key*, apabila tidak tersedia maka ditambahkan *id* dengan tipe data *bigint* yang akan dihasilkan secara otomatis. Pada tabel lain yang berkorelasi, *primary key* tersebut digunakan sebagai *foreign key*. *Primary key* ditulis menggunakan font warna merah sedangkan *foreign key* ditulis menggunakan font warna hijau, sebagaimana keterangan pada Gambar 5.

Primary Key
Foreign Key

Gambar 5. Perbedaan warna font untuk *Primary key* dan *foreign key*

- Memecah tabel *equipments* pada file Microsoft Excel menjadi tabel *equipments* dan *equipment_cont* agar pengukuran dosis yang dilakukan lebih dari satu kali dapat tercatat di dalam basis data, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. ERD Tabel *equipments* dan *equipment_cont* beserta relasi tabelnya.

- Menambah kolom *available* yang dengan tipe data boolean, jika bernilai “true” maka *equipment* tersebut masih tersedia, apabila bernilai “false” maka *equipment* tersebut sudah dipindahkan ke tempat lain (misalnya karena rusak diganti dengan *equipment* yang baru). *Information* berisi keterangan tambahan mengenai *equipment* tersebut, misalnya lokasi pemindahan *equipment* tersebut. Jadi walaupun *equipment* sudah dipindahkan ke tempat lain, data *equipment* tetap tercatat di dalam basis data, sebagaimana terlihat pada Gambar 7.

equipments	data type
id	bigint (20)
floor	varchar (255)
room_id	varchar (255)
....	
available	boolean
information	varchar (255)

Gambar 7. Penambahan kolom *available* dan *information* pada Tabel *equipments*

- Menambah kolom *create_at* dan *update_at* pada setiap tabel basis data, data ini akan terinput secara otomatis sebagai catatan waktu, pada saat data dimasukkan atau diubah di dalam basis data.

Rancangan ERD basis data dekomisioning secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1: *Entity Relationship Diagram (ERD)* basis data *Decommissioning*.

Kesimpulan

Telah dilakukan pengembangan data *input* CERREX-D2 yang menggunakan Microsoft Excel menjadi ERD untuk penyusunan basis data. ERD yang disusun merupakan pengembangan dari tabel-tabel yang terdapat pada CERREX-D2, dengan menyesuaikan kondisi yang ada di Indonesia. ERD dirancang untuk penggunaan basis data MySQL. Beberapa pengembangan dan perubahan dari kolom data input CERREX-D2 pada ERD yang dibuat adalah:

- Penambahan tabel *facilities* dan *facility_types*.
- Penentuan *primary key* dan *foreign key*.
- Memecah tabel *equipments* pada file Microsoft Excel menjadi tabel *equipments* dan *equipment_cont* agar pengukuran dosis yang dilakukan lebih dari satu kali tetap dapat tercatat di dalam basis data.
- Penambahan kolom *available* dan *information* pada tabel *equipments*.
- Menambah *create_at* dan *update_at* pada setiap tabel.

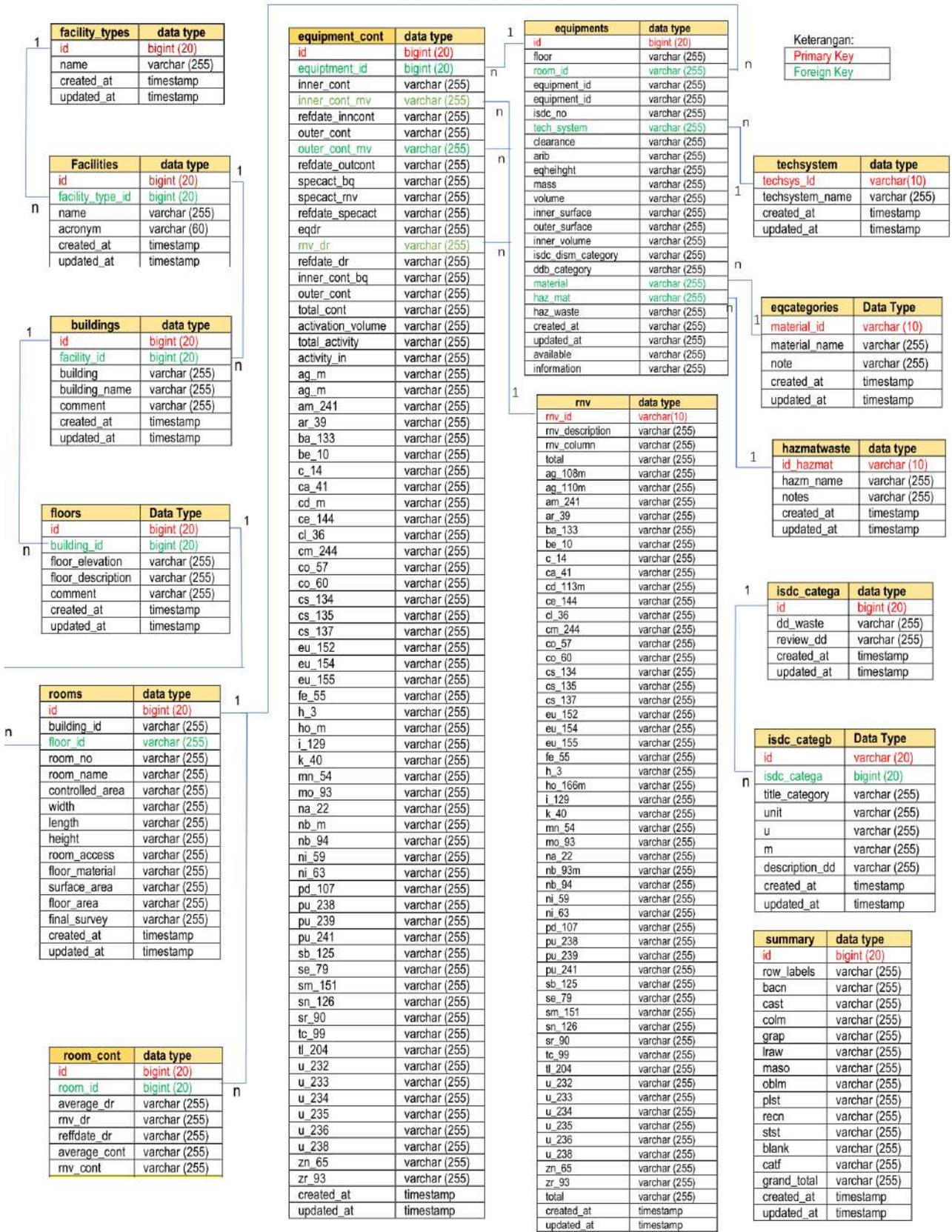
Tahapan selanjutnya yang perlu dilakukan adalah pembuatan basis data menggunakan perangkat lunak MySQL dan *interface* untuk tampilan basis data tersebut agar memudahkan proses CRUD (*Create, Read, Update, and Delete*).

Daftar Pustaka

- Chatzis, I (2016) IAEA Bulletin Decommissioning and environmental remediation: an overview, IAEA, Vienna.
- IAEA (2021) IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.12: Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning, Final Report of the DACCORD Collaborative Project, IAEA, Vienna.

- [3] IAEA (2016) IAEA-TECDOC-1832 Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning: Report of the DACCORD Collaborative Project, IAEA, Vienna.
- [4] IAEA (2013) IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.4: Technical Reports Cost Estimation for Research Reactor Decommissioning, IAEA, Vienna.
- [5] Grossi, P. A, Roberto O. S, Cledola C. C. T, et al (2013) Cost Estimation for Decommissioning of Research Reactors, International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2013, Associação Brasileira de Energia Nuclear – ABEN, Recife.
- [6] Daryoko, M (2014) Jurnal Teknologi Bahan Nuklir 10(2)(2014)74-84
- [7] Daryoko. M, Sutoto1, Dwi L. I. S (2015) Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2015 ISSN 0852-2979.

Lampiran 1: Entity Relationship Diagram (ERD)
Basis Data Decommissioning





PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Kajian Dosis Pekerja Reaktor TRIGA 2000 Bandung Tahun 2017-2021

Fibra Rhoma Firmanda¹, Anggoro Septilarso¹, Afida Ikawati²

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

²Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN, Bandung

Korespondensi penulis:

f.rhoma@bapeten.go.id
a.septilarso@bapeten.go.id
afid002@brin.go.id

Abstrak

Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir (IBN) sebagai orang yang bekerja di instalasi nuklir dan memiliki resiko menerima dosis tahunan yang melebihi dosis yang diterima masyarakat umum harus dipantau dosis yang diterima untuk melindungi pekerja tersebut. Untuk melindungi pekerja radiasi prinsip proteksi radiasi harus diterapkan yaitu justifikasi, optimisasi dan limitasi. Salah satu penerapan dari proteksi radiasi adalah penerapan pembatas dosis dan pemantauan dosis yang diterima pekerja. Selama ini nilai pembatas dosis yang digunakan adalah sebesar 15mSv pertahun. Pembatas dosis perlu dikaji ulang berdasarkan data historis yang sudah ada. Dalam makalah ini akan disampaikan telaah tren dosis pekerja di Reaktor TRIGA 2000 dan perhitungan pembatas dosis berdasarkan telaah tersebut. Berdasarkan data yang didapatkan dari tahun 2017 sampai tahun 2021 menunjukkan terjadi tren penurunan dosis kolektif secara signifikan pada tahun 2020 dan 2021. Dengan nilai dosis maksimal sebesar 3,28 mSv dan rata-rata dosis tertinggi berdasarkan jenis pekerja yaitu 0,97 mSv. Dapat disimpulkan penerapan proteksi dan keselamatan radiasi sudah dilakukan dengan baik. Namun perlu dipertimbangkan kembali nilai pembatas dosis saat ini yaitu 15 mSv menjadi 1,31 mSv agar sesuai dengan prinsip optimisasi pada proteksi dan keselamatan radiasi dengan mempertimbangkan paparan kerja dari situasi normal/terencana, potensial/darurat dan existing/paparan yang sudah ada sebelumnya.

Kata Kunci: Dosis Pekerja, Proteksi Radiasi, Petugas IBN.

Abstract

Nuclear Materials and Installation Officers (IBN) as people who work in nuclear installations and have the risk of receiving an annual dose that exceeds the dose received by the general public must monitor the dose received to protect these workers. To protect radiation workers, radiation principles must be applied, namely justification, optimization and limitation. One application of radiation protection is the application of dose constraint and dose monitoring received by workers. So far, the value of dose constraint used is 15mSv per year. Dosage limitation needs to be reviewed based on existing historical data. This paper will present an analysis of the trend of occupational doses at the TRIGA 2000 Reactor and calculations of dose constraint based on this study. Based on data obtained from 2017 to 2021, there is a trend of significantly decreasing collective doses in 2020 and 2021. With a maximum dose value of 3.28 mSv and the highest average dose by type of worker, namely 0.97 mSv. It can be concluded that the application of protection and safety has been carried out properly. However, it is necessary to pay attention again to the current dose constraint value, which is 15 mSv to 1.31 mSv so that it complies with the optimization principles of radiation protection and safety by considering work exposure from normal/planned, potential/emergency and existing/pre-existing exposures.

Keywords: Occupational Exposure, Radiation Dose, Nuclear Installation Workers

Pendahuluan

Berdasarkan prinsip keselamatan fundamental IAEA tujuan dasar dari keselamatan adalah untuk melindungi masyarakat, pekerja dan lingkungan dari bahaya radiasi pengion [1]. Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir (IBN) sebagai orang yang bekerja di instalasi nuklir dan memiliki resiko menerima dosis tahunan yang melebihi dosis yang diterima masyarakat umum harus dipantau dosis yang diterima untuk melindungi pekerja tersebut. Untuk melindungi pekerja radiasi prinsip proteksi radiasi harus diterapkan yaitu justifikasi, optimisasi dan limitasi [2].

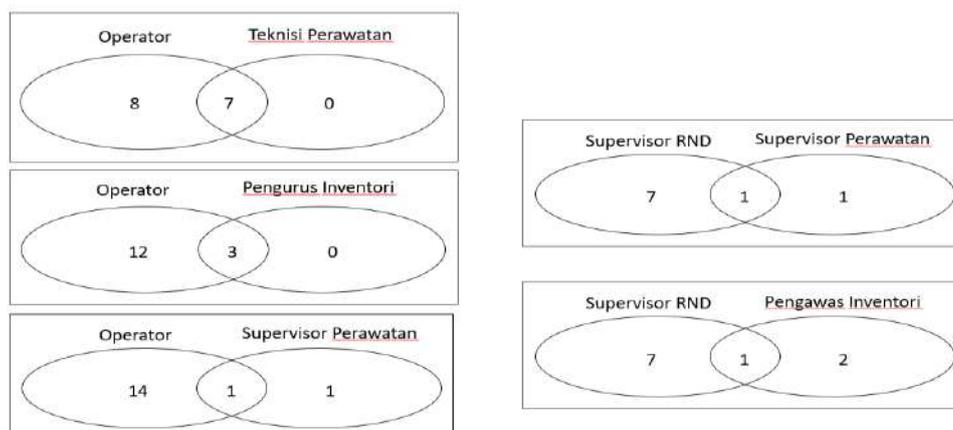
BAPETEN sebagai badan pengawas memiliki Peraturan Pemerintah nomor 33 tahun 2007 mensyaratkan pemegang izin wajib memenuhi persyaratan proteksi radiasi yaitu justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, limitasi dosis dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi [3]. Lebih lanjut lagi BAPETEN juga telah mengatur secara spesifik mengenai pembatas dosis pada Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 4 tahun 2013 agar setiap pemegang izin menentukan nilai pembatas dosis dan melakukan kaji ulang terhadap pembatas dosis [4]. Hal ini untuk meminimalkan dosis yang diterima pekerja menjadi serendah mungkin yang dapat dicapai.

Reaktor TRIGA 2000 Bandung diresmikan pada tahun 1965 dan sudah beroperasi selama lebih dari 50 tahun. Reaktor tersebut sekarang berada dibawah Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK). Reaktor TRIGA 2000 dimanfaatkan khususnya untuk pelatihan, penelitian dan produksi radioisotope. Reaktor TRIGA 2000 telah melakukan pemantauan dosis perorangan untuk setiap petugas IBN dan juga telah menetapkan nilai pembatas dosis sebesar 15 mSv pertahun. Namun untuk memantau kinerja keselamatan penerapan proteksi radiasi perlu dilakukan telaah terhadap tren dosis pekerja agar dapat menjadi acuan untuk melihat apabila terdapat anomali. Selain itu perlu juga dilakukan kaji ulang terhadap nilai pembatas dosis berdasarkan data dosis pekerja tersebut.

Dengan demikian dalam makalah ini akan dibahas mengenai data dosis pekerja 5 tahun terakhir dari tahun 2017-2021, kemudian melakukan analisis tren dari data tersebut dan menghitung nilai pembatas dosis yang dapat diterapkan.

Metode/Metodologi atau Landasan Teori/Pokok Bahasan

Makalah ini menggunakan dosis pekerja Reaktor TRIGA 2000 yang sudah memiliki SIB tahun 2017 sampai tahun 2021. Petugas IBN merupakan orang yang bekerja di Reaktor Non Daya (RND) yang terdiri dari Supervisor RND, Operator RND, Supervisor Perawatan, Teknisi Perawatan, Pengawas Inventori Bahan Nuklir, Pengurus Inventori Bahan Nuklir, dan Petugas Proteksi Radiasi [5]. Berdasarkan data dari 31 Petugas IBN terdapat 12 orang yang merangkap 2 jenis pekerja sekaligus ditunjukkan dengan diagram venn pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram venn petugas IBN yang merangkap pekerjaan

Berdasarkan Gambar 1 (a), (b) dan (c) semua teknisi perawatan, pengurus inventori dan satu orang supervisor perawatan merangkap sebagai operator. Lalu pada Gambar 1 (d) dan (e) satu orang

supervisor perawatan dan satu orang pengawas inventori merangkap sebagai supervisor RND. Sementara jumlah pekerja tiap tahunnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik jumlah pekerja tiap tahunnya

Data dosis diperoleh dari personal dosimeter masing-masing pekerja yang dilaporkan setiap triwulan kemudian dijumlah untuk mendapatkan dosis selama satu tahun. Berdasarkan Laporan Analisis Keselamatan dan Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi Reaktor TRIGA 2000, pembatas dosis saat ini adalah sebesar 15 mSv [6].

Penentuan pembatas dosis Reaktor TRIGA 2000 dapat menggunakan data penerimaan dosis pekerja 5 tahun terakhir. Pembatas dosis dapat ditentukan berbeda-beda berdasarkan jenis pekerjaan apabila terdapat perbedaan signifikan dosis yang diterima. Penetapan signifikan perbedaan dosis dihitung menggunakan selisih dosis rata-rata tertinggi dibanding dosis rata-rata terendah dari masing-masing jenis pekerjaan apabila kurang dari 1 mSv maka dapat dianggap tidak ada perbedaan yang signifikan dan nilai pembatas dosis sama untuk semua jenis pekerja seperti ditunjukkan pada diagram flowchart Gambar 3. Selanjutnya nilai pembatas dosis dihitung dengan menggunakan metode penentuan nilai kuartil 3 dari sebaran data dosis pekerja [7] [8]. Nilai kuartil adalah nilai yang membagi data menjadi 4 bagian sama besar sedangkan kuartil 3 merupakan nilai yang berada ditengah antara median dan nilai tertinggi suatu data. Untuk menghitung kuartil 3 perlu ditentukan dulu posisi kuartil 3 dari sebaran data dengan rumus:

$$n_{q3} = \frac{3(n+1)}{4}$$

Kemudian hitung nilai kuartil 3 nya dengan rumus:

$$X_{q3} = X_{a,3} + \frac{1}{4}(X_{b,3} - X_{a,3})$$

dimana:

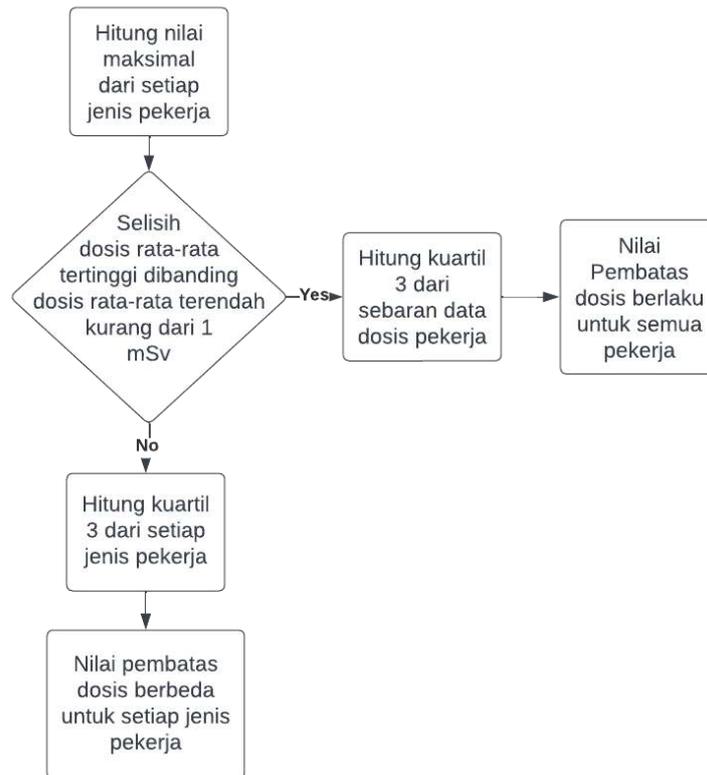
n_{q3} = posisi kuartil 3

n = banyaknya data

X_{q3} = nilai kuartil 3

$X_{a,3}$ = pengamatan sebelum posisi kuartil 3

$X_{b,3}$ = pengamatan setelah posisi kuartil 3

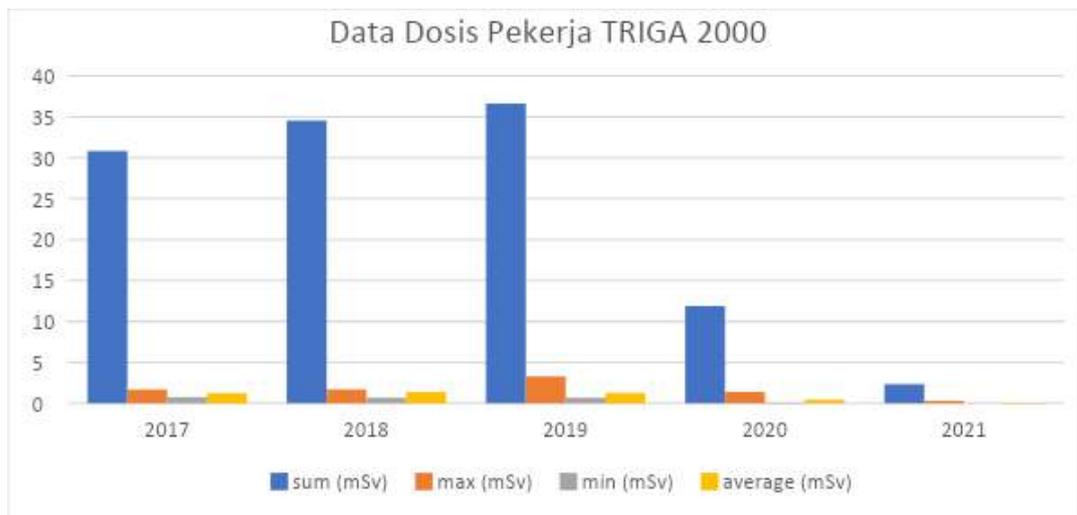


Gambar 3. Flowchart penentuan dosis pekerja

Hasil dan Pembahasan

1. Tren dosis pekerja Reaktor TRIGA 2000

Telah dilakukan pengkajian dosis eksterna pekerja IBN di reaktor TRIGA 2000 dari tahun 2017 – 2021 yang memiliki SIB. Data terdiri dari 31 Pekerja IBN yang dibagi menjadi 7 kelompok pekerja yaitu Pengawas Inventori Bahan Nuklir, Pengurus Inventori Bahan Nuklir, Supervisor Reaktor Non Daya, Operator Reaktor Non Daya, Supervisor Perawatan Reaktor Non Daya, Teknisi Perawatan Reaktor Non Daya, dan Petugas Proteksi Radiasi Instalasi Nuklir. Dari 31 orang pekerja IBN sebanyak 12 orang merangkap 2 jenis pekerja. Pada Gambar 4 dapat dilihat grafik dan tabel dosis kolektif, dosis maksimal, dosis minimal dan dosis rata-rata. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat terjadi penurunan signifikan dosis kolektif pada tahun 2020 yaitu 11,89 mSv dan tahun 2021 yaitu 2,34 mSv dibandingkan dengan dosis kolektif tahun 2017-2019 yaitu berturut-turut 30,82 mSv, 34,57 mSv dan 36,62 mSv. Penurunan signifikan terjadi kemungkinan karena adanya pembatasan aktivitas karena pandemi, kemudian juga karena penurunan jumlah jam operasi reaktor TRIGA 2000. Kedua hal tersebut menyebabkan waktu paparan radiasi berkurang dan menyebabkan jumlah dosis menurun.



Gambar 4. Data Dosis Pekerja TRIGA 2000

Pada Gambar 4 juga dapat terlihat nilai dosis pada kondisi normal / terencana maksimal adalah 3,28 mSv dengan rata-rata tertinggi 1,38 mSv. Hal ini menunjukkan prosedur proteksi radiasi dan regulasi mengenai keselamatan pekerja sudah diterapkan dengan efektif. Namun tetap perlu mempertimbangkan paparan kerja yang akan didapat untuk setiap situasi yaitu paparan normal/terencana, paparan potensial/darurat dan paparan existing/paparan yang sudah ada sebelumnya. Paparan normal merupakan paparan yang sudah direncanakan sebelumnya dan persediaan untuk proteksi dan keselamatan radiasi sudah disiapkan sebelumnya. Paparan potensial/darurat adalah paparan yang didapat karena adanya kejadian/insiden yang terjadi selama bekerja. Paparan existing/paparan yang sudah ada sebelumnya adalah paparan yang didapat dari sumber yang sudah ada sebelumnya dan kebutuhan untuk mengendalikan sumber tersebut perlu dilakukan seperti sisa material radioaktif yang berasal dari kegiatan-kegiatan di masa lalu atau dari insiden/kecelakaan yang pernah terjadi.

Tabel 1. Data rata-rata dan kuartil 3 dosis yang diterima berdasarkan jenis pekerja

Pekerja	Average (mSv)	Kuartil 3 (mSv)
Pengawas Inventori Bahan Nuklir	0,87	1,23
Pengurus Inventori Bahan Nuklir	0,8	1,205
Supervisor Reaktor Non Daya	0,81	1,27
Operator Reaktor Non Daya	0,8	1,27
Supervisor Perawatan Reaktor Non Daya	0,97	1,3625
Teknisi Perawatan Reaktor Non Daya	0,84	1,345
Petugas Proteksi Radiasi Instalasi Nuklir	0,96	1,38

Max Rerata 0,97

Min Rerata 0,8

Marjin 0,17

2. Penentuan Pembatas dosis pekerja Reaktor TRIGA 2000

Bedasarkan pada Tabel 1 dapat terlihat selisih nilai rata-rata tertinggi dibanding nilai rata-rata terendah untuk setiap jenis pekerja adalah sangat kecil yaitu 0,17 mSv sehingga dapat disimpulkan semua jenis pekerja mendapatkan dosis yang relatif sama. Hal ini juga diperkuat dari diagram venn Gambar 1 dimana banyak pekerja yang merangkap pekerjaan sehingga dosis menjadi lebih merata. Selanjutnya dari hasil perhitungan kuartil 3 untuk data seluruh pekerja didapat nilai sebesar 1,31 mSv yang dapat digunakan sebagai pembatas dosis dengan tetap mempertimbangkan resiko-resiko kegiatan yang akan direncanakan dimasa mendatang.

Kesimpulan

Dari kajian ini didapatkan terjadi penurunan signifikan dosis kolektif pada tahun 2020 dan 2021 yaitu masing-masing sebesar 11,89 mSv dan 2,34 mSv. Dan nilai dosis pada kondisi normal / terencana maksimal sebesar 3,28 mSv dan rata-rata dosis tertinggi berdasarkan jenis pekerja yaitu 0,97 mSv. Dapat disimpulkan penerapan proteksi dan keselamatan radiasi sudah dilakukan dengan baik. Kemudian diusulkan nilai pembatas dosis sebesar 1,31 mSv sesuai dengan prinsip optimisasi pada proteksi dan keselamatan radiasi dengan mempertimbangkan paparan kerja dari situasi normal/terencana, potensial/darurat dan existing/paparan yang sudah ada sebelumnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Tim Pengkaji Kelompok Fungsi Pengkajian Reaktor Non Daya yang telah berkontribusi dalam mengumpulkan data primer dan telah memberikan saran serta rekomendasinya. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Reaktor TRIGA 2000 Bandung sebagai responden sumber data dosis pekerja.

Daftar Pustaka

- [1] IAEA (2006), *Fundamental Safety Principal*, Vienna: IAEA.
- [2] IAEA (2018), *Occupational Radiation Protection*, Vienna: IAEA.
- [3] BAPETEN (2007), *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pngion Dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Jakarta: BAPETEN.
- [4] BAPETEN (2013), *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 tahun 2013 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*, Jakarta: BAPETEN.
- [5] BAPETEN (2019), *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir*, Jakarta: BAPETEN.
- [6] BATAN (2016), *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000 Bandung*, Bandung: BATAN.
- [7] E. Kunarsih and I. (2018) , “Skenario Penetapan dan Penerapan Pembatas Dosis di Fasilitas Kesehatan dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi Tahap Operasional,” in *Seminar Keselamatan Nuklir*, Jakarta.
- [8] M. Salam (2018), “Penentuan Pembatas Dosis (Dose Constraint) di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA),” in *Seminar Keselamatan Nuklir*, Jakarta.
- [9] ICRP (2007), *ICRP Publication 103: Recommendations of The ICRP*, Amsterdam: Elsevier.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Analisis Kerangka Hukum Kebijakan Pertahanan Indonesia dalam Rangka Persiapan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Donni Taufiq¹, Anri Amaldi Ridwan¹, Sandi Wahyudi²

¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

²Direktorat Pemasaran, Kementerian Kelautan dan Perikanan

Korespondensi penulis:

d.taufiq@bapeten.go.id

a.ridwan@bapeten.go.id

sandi.wahyudi.1605@gmail.com

Abstrak

Makalah ini membahas tentang analisis kerangka hukum kebijakan pertahanan Indonesia dalam rangka persiapan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama di negara ini. PLTN merupakan salah satu opsi energi bersih yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan sumber daya energi dan kebutuhan listrik nasional. Namun, pengembangan PLTN juga memerlukan kebijakan dan kerangka hukum yang jelas untuk memastikan keberhasilannya dalam menghadapi tantangan dan risiko yang terkait dengan keamanan nasional. Dalam makalah ini akan diuraikan kerangka hukum yang relevan dalam konteks kebijakan pertahanan Indonesia. Pertama, akan dibahas mengenai peraturan perundang-undangan yang mengatur kebijakan pertahanan nasional dan kebijakan strategis yang terkait. Selain itu, makalah ini juga akan membahas peran dan tanggung jawab institusi pemerintah terkait dalam implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN. Hal ini mencakup keterlibatan Kementerian Pertahanan, Tentara Nasional Indonesia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, dan instansi pemerintah lainnya termasuk pemerintah daerah. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan pemahaman yang komprehensif tentang kerangka hukum kebijakan pertahanan Indonesia dalam persiapan pembangunan PLTN pertama. Implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN membutuhkan kerangka hukum yang kuat, peran aktif dari instansi pemerintah terkait, serta penanganan serius terhadap tantangan yang dihadapi. Dengan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan, PLTN dapat menjadi jawaban untuk menjaga keberlanjutan energi dan memenuhi kebutuhan listrik nasional. Dengan demikian, diharapkan dapat memberikan wawasan yang berguna bagi para pembuat kebijakan, akademisi, dan masyarakat yang tertarik dalam bidang ini.

Kata Kunci: Pertahanan Nasional, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Kerangka Hukum

Abstract

This paper discusses the analysis of the legal framework of Indonesia's defense policy in the context of preparing for the construction of the country's first Nuclear Power Plant (NPP). NPPs are considered a clean energy option that can make a significant contribution to the sustainability of energy resources and national electricity needs. However, the development of NPPs also requires clear policies and legal frameworks to ensure their success in addressing challenges and risks related to national security. This paper will outline the relevant legal framework in the context of Indonesia's defense policy. Firstly, it will discuss the legislation governing national defense policy and related strategic policies. This paper will also discuss the roles and responsibilities of relevant government institutions in implementing defense policies related to NPPs. This includes the involvement of the Ministry of Defense, the Indonesian National Armed Forces, the Ministry of Energy and Mineral Resources, the Nuclear Energy Regulatory Agency, and other relevant government agencies, including local government. The aim of this paper is to provide a comprehensive understanding of the

legal framework of Indonesia's defense policy in preparing for the construction of the first NPP. The implementation of defense policies related to nuclear power plants requires a strong legal framework, the active role of relevant government agencies, and serious handling of the challenges faced. Therefore, it is expected to provide useful insights for policymakers, academics, and individuals interested in this field.

Keywords: *National Defense, Nuclear Power Plant (NPP), Legal Framework*

Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah diakui sebagai salah satu sumber energi bersih yang berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan sumber daya energi dan kebutuhan listrik nasional. Sebagai negara yang sedang mempersiapkan pembangunan PLTN pertama, Indonesia perlu memiliki kerangka hukum dan kebijakan pertahanan yang kuat untuk memastikan keberhasilan implementasi PLTN dan menjaga keamanan nasional.

Kebijakan pertahanan Indonesia harus mencakup aspek-aspek seperti perlindungan terhadap ancaman keamanan, peningkatan kapabilitas pertahanan, dan tanggung jawab pemerintah dalam mengawasi pengembangan dan pengoperasian PLTN. Selain itu, kebijakan ini juga harus memperhatikan perspektif internasional dan komitmen Indonesia terhadap perjanjian dan konvensi terkait energi nuklir dan keamanan nuklir.

Implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN dihadapkan pada berbagai tantangan dan risiko. Pertama, peningkatan kapabilitas pertahanan yang berkaitan dengan PLTN memerlukan investasi yang signifikan dalam hal sumber daya manusia, infrastruktur, dan teknologi. Dibutuhkan komitmen yang kuat dari pemerintah untuk memastikan tersedianya sumber daya yang memadai untuk pengembangan PLTN.

Kemudian, perlindungan terhadap ancaman keamanan menjadi faktor penting dalam kebijakan pertahanan PLTN. Infrastruktur nuklir rentan terhadap ancaman seperti terorisme, sabotase, atau serangan siber. Oleh karena itu, kebijakan pertahanan harus memperhatikan aspek keamanan dan menerapkan langkah-langkah yang efektif untuk mencegah dan mengatasi ancaman tersebut.

Keterkaitan kebijakan pertahanan dengan pembangunan PLTN sangatlah penting, karena PLTN merupakan infrastruktur strategis yang berhubungan erat dengan keamanan nasional. Keputusan untuk membangun PLTN harus didasarkan pada analisis kerangka hukum yang ketat untuk memastikan keselamatan, perlindungan lingkungan, dan pengelolaan limbah nuklir yang efisien. Analisis ini mencakup hukum nasional terkait nuklir, regulasi keamanan nuklir, serta mekanisme tanggapan terhadap kemungkinan ancaman dan risiko yang terkait dengan teknologi nuklir. Dengan demikian, melakukan analisis kerangka hukum adalah langkah penting dalam merencanakan dan mengimplementasikan proyek PLTN agar memastikan bahwa kebijakan pertahanan dan kepentingan nasional terlindungi secara efektif.

Metodologi

Dalam makalah ini, digunakan pendekatan penelitian hukum normatif sebagai metodologi utama. Pendekatan ini bertujuan untuk menganalisis kerangka hukum kebijakan pertahanan Indonesia dalam rangka persiapan PLTN pertama dengan merujuk pada peraturan perundang-undangan yang relevan dan landasan hukum yang berkaitan. Metodologi ini melibatkan proses pengumpulan data hukum melalui studi kepustakaan, yaitu dengan mengacu pada undang-undang, peraturan pemerintah, peraturan daerah, dan peraturan lainnya yang berkaitan dengan kebijakan pertahanan dan tenaga nuklir di Indonesia. Data hukum ini kemudian dianalisis secara sistematis untuk memahami kerangka hukum yang berlaku dan peran institusi terkait dalam implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN.

Setelah data hukum terkumpul, tahap berikutnya adalah analisis data secara sistematis. Pada tahap ini, penulis mengidentifikasi dan mengevaluasi berbagai aspek peraturan perundang-undangan yang terkait dengan kebijakan pertahanan dan PLTN di Indonesia. Hal ini meliputi pemahaman mengenai tujuan dan prinsip hukum yang diatur dalam undang-undang, peran dan kewenangan institusi terkait,

serta hubungan antara peraturan hukum yang berlaku dengan isu-isu kebijakan pertahanan yang relevan. Analisis ini bertujuan untuk memahami kerangka hukum yang berlaku dalam konteks kebijakan pertahanan dan peran PLTN sebagai bagian dari strategi nasional dalam menghadapi tantangan keamanan energi dan kemandirian energi.

Selain itu, dalam proses analisis, penulis mengakui adanya berbagai batasan dan limitasi dari pendekatan penelitian hukum normatif ini. Meskipun pendekatan ini memberikan pemahaman mendalam mengenai kerangka hukum yang berlaku, tetapi terkadang kurang mampu memberikan gambaran lengkap mengenai implementasi kebijakan dan aspek sosial, politik, atau ekonomi yang terkait dengan PLTN di Indonesia. Oleh karena itu, dalam menginterpretasi hasil analisis, penulis harus berhati-hati dan mempertimbangkan untuk mengintegrasikan temuan dari pendekatan penelitian lain, seperti penelitian empiris atau pendekatan multidisiplin, guna menyajikan pandangan yang lebih komprehensif dan mendalam terkait isu kebijakan pertahanan dan tenaga nuklir di Indonesia.

Pembahasan

1. Kerangka Hukum Peraturan Perundang-Undangan

Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 (UUD 1945) merupakan landasan konstitusional tertinggi bagi Indonesia. UUD 1945 memberikan dasar hukum untuk pembentukan dan pengaturan lembaga-lembaga pertahanan negara, seperti Tentara Nasional Indonesia (TNI). [1] UUD 1945 menegaskan prinsip kedaulatan dan keutuhan wilayah Indonesia. Ini mencakup perlindungan terhadap ancaman terhadap kedaulatan negara, baik dari luar maupun dari dalam negeri. Pertahanan negara bertujuan untuk memastikan bahwa wilayah Indonesia tidak terancam oleh pihak asing atau kelompok yang ingin mengganggu kedaulatan dan keutuhan negara. UUD 1945 juga mencakup prinsip-prinsip dan ketentuan hukum internasional yang berkaitan dengan pertahanan negara. Hal ini termasuk hak negara untuk mempertahankan diri, kerjasama pertahanan dengan negara-negara lain, termasuk juga pengaturan penggunaan kekuatan militer.

Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara (UU Pertahanan Negara) menjadi landasan hukum utama dalam merumuskan kebijakan pertahanan Indonesia. [2] UU ini mengamanatkan pengembangan kekuatan nasional yang terintegrasi untuk menjaga kedaulatan dan keutuhan wilayah Indonesia. Dalam konteks PLTN, kebijakan pertahanan harus memperhatikan perlindungan terhadap ancaman terhadap infrastruktur nuklir dan penanganan insiden atau kecelakaan nuklir yang dapat membahayakan keamanan nasional.

Kemudian juga terdapat Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia (UU TNI). [3] Undang-undang ini mengatur tentang organisasi, tugas, wewenang, dan kewenangan TNI dalam menjalankan fungsi pertahanan negara. Termasuk di dalamnya adalah ketentuan mengenai pembinaan dan penggunaan kekuatan militer, tugas TNI dalam menjaga keamanan nasional, dan peran TNI dalam kebencanaan.

Dalam hal pengelolaan sumber daya nasional terdapat Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2019 tentang Pengelolaan Sumber Daya Nasional untuk Pertahanan Negara (UU PSDN Pertahanan Negara). [4] UU PSDN Pertahanan Negara menetapkan prinsip-prinsip pengelolaan sumber daya nasional untuk pertahanan negara, termasuk prinsip keterpaduan, kemandirian, efisiensi, efektivitas, keadilan, dan keberlanjutan. UU ini mengatur tentang peran dan tanggung jawab lembaga-lembaga terkait dalam penyelenggaraan pengelolaan sumber daya nasional untuk pertahanan negara. Hal ini mencakup pemerintah pusat, pemerintah daerah, lembaga pendidikan, lembaga riset, industri pertahanan, dan masyarakat. Dalam UU ini mewajibkan koordinasi dan sinergi antara lembaga-lembaga terkait dalam pengelolaan sumber daya nasional untuk pertahanan negara. Hal ini bertujuan untuk mencapai keterpaduan, efektivitas, dan efisiensi dalam penggunaan sumber daya.

Terkait ketenaganukliran yang menjadi acuan hukum utama adalah Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran). [5] UU Ketenaganukliran mengatur pemanfaatan pengawasan, pengembangan, penggunaan tenaga nuklir di Indonesia. Dalam UU ini

diatur pengawasan dan perlindungan terhadap pemanfaatan ketenaganukliran, sumber daya nuklir, serta peraturan terkait perlindungan terhadap radiasi dan limbah radioaktif.

Jika melihat sifatnya sebagai fasilitas strategis, maka pembangunan PLTN perlu memperhatikan Keputusan Presiden Nomor 63 Tahun 2014 tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional. Dalam Keppres 63/2014 ini, ditetapkan bahwa Obyek Vital Nasional adalah kawasan/lokasi, bangunan/instalasi dan/atau usaha yang menyangkut hajat hidup orang banyak, kepentingan negara dan/atau sumber pendapatan negara yang bersifat strategis. Arti penting Keppres 63/2014 ini dalam konteks rencana pembangunan PLTN meliputi:

- a. Pengamanan Fasilitas: Keppres ini mengamanatkan perlunya pengamanan obyek vital nasional, termasuk PLTN, dari ancaman dan gangguan potensial, seperti terorisme, sabotase, dan tindakan merusak yang dapat membahayakan keselamatan fasilitas dan masyarakat sekitarnya.
- b. Keamanan Publik: Pembangunan dan pengoperasian PLTN memerlukan langkah-langkah keamanan yang ketat untuk melindungi masyarakat dan lingkungan sekitarnya dari risiko radiasi dan potensi bahaya nuklir lainnya. Keputusan ini memastikan bahwa pengamanan PLTN menjadi prioritas nasional.
- c. Integrasi Instansi Terkait: Rencana pembangunan PLTN melibatkan banyak instansi pemerintah dan lembaga terkait. Keputusan ini memastikan koordinasi dan integrasi yang baik antara instansi terkait dalam upaya pengamanan dan pengelolaan PLTN.
- d. Mitigasi Risiko: Dalam rencana pembangunan PLTN, risiko keamanan dan keselamatan harus dikelola dengan baik. Keputusan ini membantu pemerintah mengidentifikasi dan mengurangi potensi risiko yang mungkin terjadi selama tahap pembangunan, pengoperasian, dan penutupan PLTN.
- e. Kesiapan Darurat: Keputusan ini mendorong pembentukan rencana respons darurat yang efektif untuk menghadapi kemungkinan insiden atau kecelakaan di PLTN, sehingga dampaknya dapat diminimalkan dengan cepat dan efisien.
- f. Peran TNI dan Polri: Dalam konteks keamanan PLTN, Keppres 63/2014 ini juga mencakup peran TNI (Tentara Nasional Indonesia) dan Polri (Kepolisian Republik Indonesia) dalam melakukan pengamanan obyek vital nasional, termasuk PLTN.

Dalam rangka persiapan pembangunan PLTN, penting untuk menghormati dan mematuhi hukum dan regulasi yang berlaku. Kerangka hukum pertahanan yang baik akan memberikan fondasi yang kuat bagi persiapan dan pelaksanaan pembangunan PLTN di Indonesia. Kerangka hukum yang kuat dan jelas diperlukan untuk mengatur segala aspek terkait PLTN, termasuk persyaratan teknis, keselamatan, pengawasan, dan perlindungan lingkungan. Regulasi ini membantu memastikan bahwa pembangunan dan operasional PLTN dilakukan dengan standar tinggi dan sesuai dengan prinsip-prinsip keamanan nuklir.

Kerangka hukum pertahanan yang mencakup PLTN juga memungkinkan perencanaan jangka panjang yang lebih baik. Hal ini melibatkan pembuatan kebijakan dan strategi yang komprehensif untuk pengembangan infrastruktur nuklir, pelatihan sumber daya manusia yang memadai, penelitian dan pengembangan, dan kolaborasi internasional. Dengan adanya kerangka hukum yang jelas, Indonesia dapat memiliki pandangan jangka panjang yang kokoh untuk membangun dan mengoperasikan PLTN dengan efektif dan efisien.

2. Peran Instansi Pemerintah Terkait

Dalam implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN, berbagai instansi pemerintah memiliki peran penting yang harus diperjelas. Ini mencakup peran instansi pemerintah di tingkat pusat maupun pemerintah daerah dalam konteks pengembangan, pengawasan, dan pengoperasian PLTN.

Di tingkat pusat, Kementerian Pertahanan memainkan peran sentral dalam mengawasi dan mengkoordinasikan upaya pertahanan nasional terkait PLTN. Kementerian ini bertanggung jawab untuk merumuskan kebijakan dan strategi pertahanan nasional yang mencakup perlindungan terhadap infrastruktur nuklir, respons terhadap ancaman keamanan, dan penanganan insiden nuklir. Kementerian Pertahanan juga berperan dalam memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan standar internasional terkait keamanan nuklir.

TNI sebagai lembaga pertahanan negara yang bertanggung jawab langsung dalam menjaga kedaulatan dan keutuhan wilayah Indonesia, juga memiliki peran penting dalam konteks kebijakan pertahanan terkait PLTN di Indonesia berdasarkan UU TNI dan peraturan pelaksanaannya. Peran TNI dalam kebijakan pertahanan terkait PLTN berfokus pada aspek keamanan, pengawasan, dan kolaborasi dengan instansi pemerintah terkait. Dengan peran ini, TNI berperan dalam memastikan keberhasilan dan keamanan dalam pengembangan dan pengoperasian PLTN di Indonesia.

Terkait keamanan dan perlindungan, TNI bertanggung jawab untuk menjaga keamanan dan perlindungan terhadap infrastruktur nuklir, termasuk PLTN. TNI memiliki peran dalam memastikan pengamanan fisik dan keamanan dari ancaman-ancaman potensial yang dapat membahayakan keberlanjutan dan keberlangsungan operasional PLTN. TNI juga dapat terlibat dalam pengawasan dan pengendalian terhadap aspek pertahanan terkait PLTN. TNI bekerja sama dengan instansi pemerintah terkait untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan standar keamanan nuklir serta mengawasi kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan PLTN.

Dalam hal kapabilitas, TNI berperan dalam meningkatkan kapabilitas personelnnya dalam menghadapi ancaman yang terkait dengan PLTN, termasuk penanganan insiden nuklir. TNI dapat melaksanakan pelatihan khusus dan simulasi guna meningkatkan kesiapan dan respons terhadap situasi darurat yang melibatkan PLTN. TNI juga dapat terlibat dalam pembangunan infrastruktur pertahanan yang terkait dengan PLTN, seperti pos pengawasan, sistem komunikasi, dan perlindungan terhadap ancaman yang mungkin timbul.

Di luar Kementerian Pertahanan dan TNI, kemudian juga terdapat Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, yang memiliki peran penting dalam pengembangan PLTN. Kementerian ini bertanggung jawab untuk merumuskan kebijakan energi nasional yang mencakup kebijakan terkait energi nuklir. Dalam konteks PLTN, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral berperan dalam memfasilitasi proses perizinan, pengawasan, dan pengembangan infrastruktur yang dibutuhkan untuk PLTN. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral juga bertanggung jawab dalam memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan standar keselamatan nuklir yang berlaku yang ditetapkan oleh regulator ketenaganukliran, yaitu Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

BAPETEN merupakan instansi pemerintah yang memiliki peran khusus dalam pengawasan dan perlindungan terhadap keselamatan dan keamanan nuklir di Indonesia. BAPETEN bertugas dalam mengawasi dan mengatur aspek keselamatan, keamanan, dan perlindungan radiasi dalam pengembangan dan pengoperasian PLTN. BAPETEN bertanggung jawab dalam memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan standar keselamatan nuklir internasional serta mengawasi semua kegiatan terkait nuklir di Indonesia.

Selain itu, di tingkat pusat juga terdapat beberapa instansi pemerintah lain yang berperan dalam pertahanan di Indonesia, yaitu Badan Keamanan Laut (Bakamla), Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), dan Badan Nasional Pengelola Perbatasan (BNPP).

Bakamla bertanggung jawab untuk menjaga keamanan, keselamatan, dan keberlanjutan aktivitas di perairan negara tersebut. Bakamla dapat memiliki peran dalam melindungi wilayah perairan negara dari ancaman seperti penyelundupan, terorisme maritim, perompakan, atau kegiatan ilegal lainnya. Bakamla juga dapat berpartisipasi dalam penegakan hukum maritim, melakukan patroli, dan memberikan respons terhadap insiden atau bencana laut.

BNPB bertanggung jawab dalam mengkoordinasikan upaya mitigasi, tanggap darurat, dan pemulihan bencana yang mungkin terjadi terkait PLTN. Dalam konteks PLTN, BNPB terlibat dalam proses perencanaan dan penilaian risiko bencana. Mereka bekerja sama dengan lembaga terkait untuk melakukan evaluasi dampak potensial dari PLTN terhadap keamanan dan lingkungan. BNPB juga berperan dalam memastikan adanya rencana evakuasi, penanggulangan kecelakaan nuklir, serta perlindungan masyarakat dan lingkungan dari risiko nuklir. Selain itu, BNPB memiliki tugas untuk memastikan bahwa pihak terkait, termasuk otoritas pemerintah, operator PLTN, dan masyarakat, terlibat dalam proses pengambilan keputusan dan penanganan bencana terkait PLTN. Mereka juga berperan dalam memberikan informasi yang akurat dan transparan kepada masyarakat tentang risiko, tindakan pencegahan, dan langkah-langkah keamanan terkait PLTN.

BNPP bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan pengelolaan perbatasan negara, termasuk dalam hal rencana pembangunan PLTN di daerah perbatasan. [6] BNPP bekerja sama dengan berbagai pihak terkait, termasuk pemerintah daerah, instansi terkait, dan lembaga terkait lainnya, untuk memastikan adanya koordinasi yang efektif dalam pengelolaan perbatasan terkait PLTN. BNPP dapat melakukan penilaian dampak terhadap rencana pembangunan PLTN terhadap wilayah perbatasan negara. Hal ini mencakup evaluasi potensi dampak lingkungan, keamanan, dan sosial-ekonomi yang mungkin timbul akibat pembangunan PLTN di dekat perbatasan. Penilaian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rencana pembangunan PLTN memperhatikan kepentingan dan keberlanjutan wilayah perbatasan.

Pemerintah daerah juga memiliki peran penting dalam implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN. Pemerintah daerah berperan dalam menyediakan dukungan dan fasilitas yang diperlukan dalam pengembangan PLTN di wilayah mereka. Mereka dapat berperan dalam perizinan, pengaturan tata ruang, pengembangan infrastruktur pendukung, serta penanganan dampak lingkungan dan sosial yang terkait dengan PLTN.

Secara keseluruhan, peran instansi pemerintah, baik di tingkat pusat maupun pemerintah daerah, sangat penting dalam implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN. Kolaborasi antara Kementerian Pertahanan, TNI, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, BAPETEN, dan pemerintah daerah merupakan kunci keberhasilan dalam memastikan keselamatan, keamanan, dan keberlanjutan PLTN di Indonesia.

3. Tantangan

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki tantangan yang unik dalam implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN. Berikut adalah beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, dengan mempertimbangkan posisi Indonesia sebagai negara kepulauan:

a. Aksesibilitas dan Logistik

Tantangan utama adalah aksesibilitas dan logistik dalam membangun dan mengoperasikan PLTN di berbagai wilayah kepulauan Indonesia. Keterbatasan infrastruktur transportasi, terutama di daerah terpencil, dapat mempengaruhi proses pengiriman peralatan, bahan bakar nuklir, dan tenaga ahli yang diperlukan untuk pembangunan dan pengoperasian PLTN. Dalam hal ini, perlu adanya perencanaan dan koordinasi yang baik antara instansi pemerintah untuk memastikan pasokan logistik yang tepat waktu dan efisien.

b. Keselamatan dan Keamanan Maritim

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki tantangan dalam menjaga keselamatan dan keamanan maritim terkait PLTN. Pengakuan dalam *United Nations Convention on the Law of the Sea* (UNCLOS) terhadap konsep negara kepulauan maupun munculnya kesepakatan tentang apa yang disebut dengan laut territorial, landas kontinen, garis pangkal, dan zona ekonomi eksklusif sesungguhnya telah memperluas secara substansial wilayah geografis Indonesia, sekaligus memberikan ancaman dan tantangan. [7] Potensi ancaman seperti penyelundupan material nuklir, terorisme maritim, atau sabotase menjadi isu penting yang harus diatasi. TNI dan Bakamla berperan penting dalam menjaga keamanan perairan, melakukan patroli, dan berkoordinasi dengan lembaga keamanan lainnya untuk mengidentifikasi dan merespons ancaman yang mungkin muncul.

c. Kerentanan Terhadap Bencana Alam

Indonesia juga memiliki kerentanan terhadap bencana alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, dan tsunami. Tantangan ini harus diperhatikan dalam merancang dan membangun PLTN dengan standar keamanan yang tinggi untuk menghadapi potensi bencana alam tersebut. BAPETEN, TNI, dan BNPB dapat berperan dalam perencanaan mitigasi bencana dan tanggap darurat untuk memastikan perlindungan dan keamanan PLTN saat terjadi bencana alam. [8]

d. Konservasi Lingkungan dan Keanekaragaman Hayati

Sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, tantangan lainnya adalah menjaga konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati dalam konteks pengembangan PLTN. Instansi pemerintah baik pusat maupun daerah harus dapat memastikan perlindungan terhadap lingkungan alam dan mengawasi kegiatan PLTN agar sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku. Konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati juga berhubungan dengan keberlanjutan lingkungan secara keseluruhan. Melalui kebijakan pertahanan terkait PLTN yang memperhatikan konservasi lingkungan, kita dapat memastikan bahwa pengembangan energi

nuklir dilakukan secara bertanggung jawab dan berkelanjutan. Ini berarti mempertimbangkan penggunaan lahan yang tepat, mengurangi dampak terhadap ekosistem, serta melindungi spesies dan habitat yang unik dan penting bagi kehidupan. Indonesia sebagai negara yang memiliki kekayaan alam dan keanekaragaman hayati yang tinggi juga memiliki tanggung jawab global untuk menjaga dan melindungi lingkungan. Dalam konteks PLTN, menjaga konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati adalah langkah penting dalam mendukung komitmen global terhadap keberlanjutan dan perlindungan lingkungan.[9]

Dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut, kerjasama antara berbagai instansi pemerintah menjadi sangat krusial. Instansi pemerintah dalam hal ini harus dapat berperan dalam memastikan keamanan, keselamatan, dan perlindungan PLTN di berbagai wilayah kepulauan Indonesia. Dengan adanya kerjasama yang baik dan pendekatan yang terintegrasi, tantangan yang terkait dengan posisi Indonesia sebagai negara kepulauan dapat diatasi dengan efektif dalam konteks kebijakan pertahanan terkait PLTN.

Terdapat suatu pemahaman secara konseptual bahwa konsep pertahanan, termasuk juga dalam hal ini adalah keamanan nasional, merupakan konsep yang masih diperdebatkan (*contested concept*). Hal ini disebabkan pemberian makna terhadapnya yang masih berbeda-beda, tergantung dari aktor yang memaknainya. Ini dikarenakan di dalam melihat pertahanan nasional Indonesia perlu dipertimbangkan sejumlah elemen seperti elemen politik, ekonomi, dan militer. Dari segi politik, pertahanan nasional ditujukan agar negara Indonesia aman dari konstelasi politik yang ada. Kemudian dari segi ekonomi, bagaimana sumber daya yang dimiliki Indonesia harus dapat sedemikian rupa diproteksi. Elemen militer menekankan pada bagaimana peran TNI dan Polri sebagai instrumen pertahanan dan keamanan nasional untuk melindungi dan mempertahankan kedaulatan Republik Indonesia dari berbagai ancaman yang muncul.[10]

4. Kebijakan Pembangunan Pertahanan Negara

Menjamin pertahanan dan keamanan negara yang kuat memerlukan perencanaan pertahanan yang komprehensif dan matang yang mencakup kebijakan pertahanan, pengembangan postur pertahanan, doktrin, dan rencana militer serta non-militer. Penting untuk memiliki dukungan sistem yang kuat untuk menjalankan strategi nasional yang melindungi negara, wilayah, dan warga dari segala ancaman. Dibutuhkan sistem pertahanan yang dapat diandalkan dan menyeluruh, yang mencakup seluruh warga negara, wilayah, dan sumber daya nasional.[11]

Pembangunan pertahanan negara diperlukan untuk membangun kekuatan pertahanan tangguh yang memiliki kemampuan penangkalan sebagai negara kepulauan sekaligus negara maritim, sehingga Indonesia memiliki posisi tawar dalam menjaga kedaulatan dan keutuhan wilayah serta keselamatan segenap bangsa Indonesia. Pembangunan pertahanan negara diselenggarakan secara terpadu dengan mengacu pada sistem pertahanan negara yang bersifat semesta (konsep pertahanan yang melibatkan seluruh warga negara, wilayah, dan sumber daya nasional lainnya, serta dipersiapkan secara dini oleh pemerintah dan diselenggarakan secara total, terpadu, terarah, dan berlanjut untuk menegakkan kedaulatan negara, keutuhan wilayah, dan keselamatan segenap bangsa dari segala ancaman, yang diarahkan pada pembangunan postur pertahanan negara, pembangunan sistem pertahanan negara, pembangunan kelembagaan pertahanan militer dan pertahanan nirmiliter, pembangunan wilayah pertahanan, pembangunan wilayah perbatasan dan pulau-pulau kecil terluar/terdepan, pembangunan teknologi serta sistem informasi dan komunikasi bidang pertahanan, pembangunan bidang kerja sama internasional, pembangunan industri pertahanan, serta pembangunan karakter bangsa. [12]

Dengan mempertimbangkan perubahan dinamika di lingkungan strategis global, regional, dan nasional, muncul berbagai bentuk ancaman yang dapat berdampak pada pertahanan negara, baik dalam bentuk fisik maupun nonfisik. Jenis-jenis ancaman ini mencakup ancaman militer, nonmiliter, dan hibrida, yang pada umumnya memiliki sifat nyata atau potensial. Untuk menghadapi ancaman-ancaman ini, diperlukan kebijakan pertahanan negara yang fleksibel dan adaptif, yang tetap berpegang pada visi dan misi pemerintah dalam proses penyusunannya.[13]

Dalam konteks pembangunan PLTN di Indonesia, kebijakan pembangunan pertahanan menjadi penting untuk memastikan keamanan, keselamatan, perlindungan lingkungan, dan kolaborasi yang tepat. Kebijakan ini memberikan kerangka kerja yang diperlukan untuk persiapan dan pelaksanaan

pembangunan PLTN secara efektif dan bertanggung jawab. Kebijakan pertahanan melibatkan aspek keselamatan dan keamanan dalam pengoperasian PLTN. Ini mencakup pengembangan standar keselamatan nuklir yang ketat, prosedur operasional yang aman, dan pengawasan yang efektif. Kebijakan yang kuat dalam hal ini membantu meminimalkan risiko kecelakaan nuklir atau insiden yang dapat berdampak negatif terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup.

Bagi masyarakat luas, pentingnya kebijakan pembangunan pertahanan dalam konteks pembangunan PLTN di Indonesia dapat dijelaskan sebagai berikut: [14]

- a. **Energi yang Berkelanjutan dan Stabilitas Pasokan Listrik**
PLTN dapat menjadi sumber energi yang berkelanjutan dan memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Kebijakan pembangunan pertahanan yang mendukung PLTN dapat membantu memastikan stabilitas pasokan listrik dalam jangka panjang, sehingga masyarakat dapat menikmati akses terhadap energi yang andal dan berkelanjutan.
- b. **Pemenuhan Kebutuhan Energi**
Dengan pertumbuhan populasi dan ekonomi yang pesat, Indonesia perlu memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. PLTN dapat menjadi bagian dari portofolio energi nasional yang beragam, membantu mengatasi kebutuhan energi yang semakin meningkat dan mengurangi tekanan pada sumber daya energi konvensional.
- c. **Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca**
PLTN merupakan sumber energi yang berpotensi memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Dengan mengadopsi PLTN, Indonesia dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Hal ini penting untuk menjaga lingkungan dan mengurangi dampak negatif yang diakibatkan oleh perubahan iklim.
- d. **Pembangunan Infrastruktur dan Peningkatan Teknologi**
Pembangunan PLTN membutuhkan investasi dalam infrastruktur dan teknologi. Hal ini dapat mendorong pertumbuhan ekonomi, menciptakan lapangan kerja, dan mendorong perkembangan industri terkait energi nuklir. Kebijakan pembangunan pertahanan yang mendukung PLTN dapat memberikan stimulus bagi pembangunan infrastruktur dan peningkatan teknologi dalam sektor energi, memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat.
- e. **Keberlanjutan dan Keandalan Energi**
PLTN dapat menjadi sumber energi yang berkelanjutan dan andal dalam jangka panjang. Dalam situasi ketidakpastian dan fluktuasi harga bahan bakar fosil, kehadiran PLTN dapat memberikan keberlanjutan energi dan keandalan pasokan listrik. Hal ini memberikan kepastian bagi masyarakat dalam hal penyediaan energi yang stabil.

Kesimpulan

Sebagai kesimpulan, implementasi kebijakan pertahanan terkait PLTN membutuhkan kerangka hukum yang kuat, peran aktif dari instansi pemerintah terkait, serta penanganan serius terhadap tantangan yang dihadapi. Dengan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan, PLTN dapat menjadi jawaban untuk menjaga keberlanjutan energi dan memenuhi kebutuhan listrik nasional. Dalam konteks Indonesia sebagai negara kepulauan, tantangan seperti aksesibilitas dan logistik, keselamatan dan keamanan maritim, kerentanan terhadap bencana alam, dan konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati harus diperhatikan secara khusus. Kolaborasi yang kuat, mitigasi risiko yang efektif, dan kesiapan tanggap darurat akan menjadi faktor kunci dalam menghadapi tantangan tersebut. Dengan mempertimbangkan kerangka hukum secara seksama, diharapkan kebijakan pertahanan terkait PLTN dapat diimplementasikan dengan lancar dan sesuai harapan bersama. Dalam hal ini, penting untuk mengintegrasikan aspek hukum dalam seluruh tahapan pengembangan dan pengoperasian PLTN, guna memastikan keberlanjutan, keamanan, dan kepatuhan terhadap aturan yang berlaku.

Kerangka hukum penting dalam rangka kesiapan pemerintah menghadapi kemungkinan ancaman atau insiden keamanan yang terkait dengan PLTN. Keselarasan antara kebijakan pertahanan dan kerangka hukum nuklir akan memastikan bahwa pembangunan PLTN dilakukan secara cermat dan profesional,

sesuai dengan kepentingan strategis negara dan dengan memperhatikan potensi dampaknya terhadap keamanan dan ketahanan nasional.

Penulis menyarankan adanya penelitian lebih lanjut yang komprehensif terkait kebijakan pertahanan dalam rangka pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia, yang sebaiknya dilakukan secara bersama-sama oleh BAPETEN, Kementerian Pertahanan, dan Kementerian ESDM.

Daftar Pustaka

- [1] Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945
- [2] Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara, Lembaran Negara Tahun 2002 Nomor 3, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4169
- [3] Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia, Lembaran Negara Tahun 2004 Nomor 127, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4439
- [4] Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2019 tentang Pengelolaan Sumber Daya Nasional Untuk Pertahanan Negara, Lembaran Negara Tahun 2019 Nomor 211, Tambahan Lembaran Negara Nomor 6413
- [5] Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Lembaran Negara Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3676
- [6] Dewa Gede Sudika Mangku, Peran Badan Nasional Pengelola Perbatasan (BNPP) Dalam Menjaga Kedaulatan Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, *Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial*, Vol. 4 No. 2 (2018)
- [7] Makmur Keliat, Keamanan Laut dan Implikasi Kebijakannya Bagi Indonesia, *Jurnal Ilmu Sosial dan Ilmu Politik*, Vol. 13 No. 1 (2009)
- [8] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, *Buku Risiko Bencana Indonesia*, (2016)
- [9] Agus Setiawan, Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya, *Indonesian Journal of Conservation*, Vol. 11 No. 1 (2022)
- [10] Pandu Utama Manggala, Strategi Pertahanan dan Keamanan Nasional Indonesia, *Jurnal Kajian Lemhanas*, Vol.26 (2016)
- [11] Dodi Alfanzi, Pengaruh Pembangunan Industri Pertahanan terhadap Pertahanan Negara, *Jurnal Kewarganegaraan*, Vol. 6 No. 3 (2022)
- [12] Kementerian Pertahanan, *Buku Putih Pertahanan Indonesia*, (2015)
- [13] Opstar Imam Saputra, Wawan Budi Darmawan, dan Windy Dermawan, Kebijakan Kementerian Pertahanan Republik Indonesia dalam Memperkuat Alat Utama Sistem Pertahanan Udara, *Jurnal Aliansi Politik, Keamanan, dan Hubungan Internasional*, Vol. 1 No. 1 (2022)
- [14] Adrianus Ardhi Yudianto, Perencanaan Kebijakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Dalam Menunjang Ketahanan Energi di Provinsi Kalimantan Timur, *Jurnal Ketahanan Energi*, Vol. 3 No. 2 (2017)



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Kajian terhadap Penerapan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 Tahun 2016 tentang Standar Kompetensi dan Pedoman Pendidikan dan Pelatihan Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi

Ratna Sari Sudayat¹, Dwi Lailatul Fitri¹, Adinda Ayu Mahardhika¹, Rizky Dimas Satria Mutter¹

¹*Biro Organisasi dan Umum, BAPETEN, Jakarta*

Korespondensi penulis:

r.ratnasari@bapeten.go.id
d.lailatulfitri@bapeten.go.id
a.dinda@bapeten.go.id
r.satriamutter@bapeten.go.id

Abstrak

Setiap pegawai yang bekerja di bidang pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki kompetensi yang memadai. Kompetensi yang memadai ini berguna bagi pegawai tersebut dalam melaksanakan tugas secara independen, andal, efektif dan efisien. Kompetensi yang diharapkan ada disetiap pegawai dapat dilihat pada standar kompetensi jabatan. Standar kompetensi jabatan setiap instansi pemerintah perlu merujuk pada Peraturan Menteri PANRB Nomor 38 tahun 2017. Saat ini, standar kompetensi yang dimiliki oleh BAPETEN belum mengacu pada peraturan tersebut dikarenakan standar kompetensi BAPETEN telah terbit dan disahkan sebelum peraturan standar kompetensi ASN terbit. Menilik pentingnya standar kompetensi perlu segera disusun revisi peraturan BAPETEN terkait standar kompetensi yang didalamnya memuat lima level kompetensi berdasarkan keahlian dan indikator perilaku yang spesifik untuk membedakan setiap jenjang jabatan. Dengan pembaharuan level kompetensi akan memudahkan bagi tim penilai ketika melaksanakan penilaian kompetensi serta dapat memberikan informasi mengenai kompetensi yang diwajibkan untuk menduduki setiap jenjang jabatan. Standar kompetensi jabatan diawali dengan penyusunan kamus kompetensi jabatan yang akan digunakan dalam memetakan kompetensi yang dimiliki oleh pegawai. Identifikasi awal menunjukkan ketidaksesuaian kompetensi dari setiap jenjang jabatan yang mengakibatkan tumpang tindih jabatan. Oleh karena itu pentingnya penyusunan standar kompetensi teknis sebagai dasar dan acuan dalam penyiapan dan pengembangan sumber daya manusia berbasis kompetensi pada sektor ketenaganukliran dalam melakukan pengawasan.

Kata Kunci: Standar kompetensi, indikator perilaku, level kompetensi

Abstract

Every employee who works in the field of utilization of nuclear power must have adequate competence. Adequate competence is useful for the employee in carrying out tasks independently, reliably and efficiently. The competencies expected of each employee can be seen in the job competency standards. Competency standards for the position of each government agency need to refer to the PANRB Regulation 38 of 2017. Currently, the competency standards owned by BAPETEN do not refer to these regulations because BAPETEN competency standards have been issued and ratified before the ASN competency standard regulations were published. Considering the importance of competency standards, it is necessary to immediately revise BAPETEN regulations regarding competency standards, which contain five levels of competency based on skills and specific behavioral indicators to differentiate each position level. Updating the competency level will make it easier for the assessment team when carrying out competency assessments and can provide information about the competencies required to occupy each position level. Job competency standards begin with compiling a job

competency dictionary that will be used in mapping the competencies possessed by employees. Initial identification shows a mismatch of competencies from each position level which results in overlapping positions. Therefore it is important to prepare technical competency standards as a basis and reference in the preparation and development of competency-based human resources in the nuclear sector in carrying out supervision.

Keywords: *Competency standards, behavioral indicators, competency levels*

Pendahuluan

Badan Pengawas Tenaga Nuklir mempunyai tugas pengawasan dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Sebagai satu – satunya Badan Pengawas pemanfaatan ketenaganukliran di Indonesia, BAPETEN memiliki kewajiban untuk menyusun organisasinya, mengelola sumber daya yang ada, berkoordinasi dengan berbagai pihak yang terkait ketenaganukliran serta mengatur sistem manajemen kepegawaiannya. Hal ini dimaksudkan agar BAPETEN dapat melakukan tugasnya secara independen dan efektif sesuai amanah Standar IAEA GSR part 1 *Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* [1]. Dalam rangka mewujudkan hal tersebut Badan Pengawas perlu melakukan kewajibannya dengan mengatur sistem manajemen kepegawaiannya. Sistem manajemen kepegawaian ini mencakup adanya pegawai profesional, mempunyai etika profesi, dan berkualitas yang dapat dilihat dari kompetensi pegawai yang dimilikinya untuk mencapai independensi dan bebas dari intervensi dalam pengambilan keputusan oleh Badan Pengawas.

Jabatan fungsional pengawas radiasi adalah PNS yang mempunyai ruang lingkup, tugas, wewenang, dan hak secara penuh untuk melakukan kegiatan teknis pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran. Oleh karena itu dibutuhkan kemampuan kerja yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan dan/atau keahlian serta sikap kerja dalam menyelesaikan tugas sesuai dengan persyaratan jejang jabatannya yang tertuang dalam standar kompetensi jabatan. Standar Kompetensi adalah rumusan kemampuan kerja yang harus dimiliki seseorang untuk melakukan suatu tugas atau pekerjaan yang mencakup atas pengetahuan, keterampilan, dan atau keahlian hingga sikap kerja. Sebagai Badan pengawas harus mempekerjakan pegawai yang kompeten dan memenuhi syarat jabatan atau sesuai dengan analisis jabatan yang dipersyaratkan. Kompetensi sendiri berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 tahun 2016 Tentang Standar Kompetensi dan Pedoman Pendidikan dan Pelatihan Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi pasal 1 angka 8 merupakan kemampuan dan karakteristik yang dimiliki oleh pegawai berupa gabungan antara pengetahuan, keterampilan, dan perilaku yang diperlukan dalam pelaksanaan tugas jabatannya [2]. Kompetensi tersebut diukur menggunakan kamus kompetensi. Kamus kompetensi adalah kumpulan kompetensi yang meliputi nama kompetensi, definisi kompetensi, deskripsi dan level kompetensi serta indikator perilaku dengan tujuan untuk membentuk karakter bagi para ASN. Kompetensi tersebut perlu dimiliki oleh seluruh pegawai, baik pegawai yang berhubungan erat dengan pemanfaatan tenaga nuklir (organisasi teknis) maupun pegawai di organisasi pendukung lainnya yang berada dalam Badan Pengawas. Hal ini dikarenakan Badan Pengawas merupakan kesatuan yang tidak terpisahkan antara organisasi pendukung maupun organisasi teknis.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh K.D. Krisnawati dan I.W. Bagia di PT. Sapta Prima Cargo pada tahun 2021 menyatakan bahwa kompetensi kerja pegawai memiliki pengaruh yang positif dan signifikan terhadap kinerja [3]. Berdasarkan Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Republik Indonesia Nomor 38 tahun 2017 Tentang Standar Kompetensi Jabatan Aparatur Sipil Negara (ASN) [4] kompetensi kerja pegawai ini terdiri atas kompetensi manajerial, kompetensi teknis dan kompetensi sosial kultural. Kompetensi kerja yang telah teridentifikasi akan menunjukkan tingkatan level penguasaan kompetensi yang dikelompokkan dalam 5 (lima) tingkatan dari level 1 sampai dengan level 5 namun pada standar kompetensi yang dimiliki oleh BAPETEN masih belum menggunakan tingkatan level penguasaan kompetensi sehingga tidak ada indikator yang menunjukkan tingkat penguasaan kompetensi pegawai. Oleh karena itu BAPETEN perlu meninjau kembali penerapan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 Tahun 2016 [2] untuk menjadikan pengawas radiasi yang profesional dalam melaksanakan tugas dan tanggungjawab sesuai dengan penguasaan kompetensi yang dimiliki serta digunakan dalam menyelenggarakan Sistem Merit dalam manajemen Aparatur Sipil Negara.

Pokok Bahasan

Standar Kompetensi adalah deskripsi pengetahuan, keterampilan dan perilaku kerja yang harus dimiliki pegawai dalam melaksanakan tugas jabatan. Standar kompetensi meliputi identitas jabatan, persyaratan jabatan, dan kompetensi jabatan. Identitas jabatan sendiri perlu mencakup nama jabatan, uraian jabatan dan kode jabatan sedangkan persyaratan jabatan minimal terdiri dari pangkat, kualifikasi pendidikan, jenis pelatihan, ukuran kinerja jabatan dan pengalaman kerja. Pada Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 Tahun 2016 standar kompetensi jabatan fungsional pengawas radiasi adalah standar kompetensi minimal dalam melaksanakan tugas jabatan dan digunakan sebagai dasar pengangkatan dalam jabatan fungsional. Kompetensi pejabat fungsional pengawas radiasi diharuskan mempunyai 4 kuadran kompetensi yang berkaitan dengan aspek regulasi dan organisasi, ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, pengetahuan praktis pengawasan, dan kepribadian serta hubungan personal. Untuk menyusun standar kompetensi jabatan pengawas radiasi tim penyusun melakukan analisa data terhadap hasil kerja dari setiap jabatan yang relevan dengan pencapaian visi misi organisasi dan rencana strategik.

Kompetensi jabatan terdiri dari kompetensi teknis, kompetensi manajerial, dan kompetensi sosial kultural. Untuk kompetensi manajerial dan sosial kultural telah diatur secara nasional sehingga BAPETEN diperlukan menyusun kompetensi teknisnya. BAPETEN selaku Badan Pengawas sekaligus instansi pembina jabatan fungsional pengawas radiasi wajib menyusun standar kompetensi teknis. Hal ini sejalan dengan Peraturan Menteri PANRB Nomor 13 tahun 2019 Tentang Pengusulan, Penetapan, dan Pembinaan Jabatan Fungsional Pegawai Negeri Sipil (PNS) [5]. Standar kompetensi yang dimiliki BAPETEN saat ini diperuntukkan bagi jabatan fungsional pengawas radiasi, sedangkan untuk jabatan fungsional lain mengikuti standar kompetensi teknis pada instansi pembina masing-masing.

Standar kompetensi pengawas radiasi diambil dari analisa rincian tugas pengawas radiasi dan kegiatan/unsur yang dinilai dalam Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Nomor 46 tahun 2012 tentang Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi dan Angka Kreditnya [6]. Semakin tinggi jenjang jabatan fungsional pengawas radiasi, maka kompetensi yang dimiliki semakin lengkap. Standar kompetensi teknis jabatan fungsional pengawas radiasi yang saat ini dimiliki oleh BAPETEN adalah:

- 1) Kompetensi regulasi dan organisasi
- 2) Kompetensi ketenaganukliran
- 3) Kompetensi praktis pengawasan (disesuaikan dengan bidang tugas)
- 4) Kompetensi pribadian dan hubungan personal

Proses penyusunan standar kompetensi jabatan fungsional pengawas radiasi menurut Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 Tahun 2016 mempunyai 6 tahapan yaitu pengumpulan data, identifikasi kompetensi jabatan, penyusunan daftar sementara kompetensi jabatan, validasi kompetensi jabatan, penentuan kompetensi jabatan, dan penjabaran kompetensi jabatan [2]. Hal ini belum sesuai dengan Peraturan Menteri PANRB No. 38 Tahun 2017 yang menyatakan bahwa sebelum melakukan penyusunan standar kompetensi jabatan diperlukan untuk menyusun kamus kompetensi.

Sebelum menyusun standar kompetensi teknis terlebih dahulu diperlukan menyusun kamus kompetensi teknis yang sesuai dengan karakteristik tugas jabatan meliputi nama, definisi, deskripsi, level kompetensi dan indikator perilaku. Daftar jenis kompetensi merupakan kompetensi apa saja yang akan digunakan sebagai alat ukur. Definisi kompetensi merupakan penjabaran secara terperinci dari setiap daftar jenis kompetensi yang akan digunakan. Deskripsi kompetensi menjelaskan kompetensi yang diharapkan pada setiap level kompetensi. Level kompetensi menunjukkan tingkat penugasan kompetensi yang dirumuskan berupa indikator perilaku pemangku jabatan. Semakin tinggi level kompetensi menggambarkan semakin ahli jabatan tersebut dan indikator perilaku meliputi sikap yang diharapkan muncul untuk menggambarkan kompetensi yang dimiliki. Kamus kompetensi ini dimulai dari penyusunan tim yang paling sedikit terdiri dari 7 (tujuh) anggota dan berjumlah ganjil. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan kamus kompetensi yang dihasilkan bersifat objektif dan netral. BAPETEN sebagai Badan Pengawas sekaligus sebagai instansi pembina jabatan fungsional pengawas radiasi perlu menyusun standar kompetensi teknis yang lebih spesifik terhadap level

penguasaan kompetensi dengan harapan pegawai dapat melaksanakan tugas dan tanggungjawab pekerjaannya sesuai dengan level kompetensi yang dimiliki.

Penyusunan kamus kompetensi teknis diawali dengan menyusun proposal yang berisi urgensi penyusunan kamus kompetensi, etimologi dasar urusan pemerintahan ketenaganukliran dan aspek – aspeknya serta manfaat adanya kamus kompetensi. Mengidentifikasi beberapa peraturan yang digunakan dalam pelaksanaan tugas pengawasan radiasi dengan menginventarisasikannya kedalam unsur dan sub unsur. Selanjutnya mendata tugas dan fungsi satuan organisasi dari struktur organisasi dimulai unit tertinggi hingga terendah baik di instansi pembina ataupun pengguna. Setelah itu, mengklasifikasi uraian tugas dan hasil kerja dari setiap jabatan dengan melakukan wawancara kepada setiap pemangku jabatan. Tahapan berikutnya mengidentifikasi kompetensi teknis yang diperlukan oleh para pemangku jabatan agar menghasilkan kinerja yang terbaik. Hal ini dapat dilakukan dengan menganalisis jenis pengetahuan, keterampilan dan perilaku yang diperlukan untuk dapat menyelesaikan tugas dengan kualitas yang unggul. Setiap unsur dan kompetensi yang selesai dirumuskan dapat dituangkan dalam format tabel berikut.

Tabel 1. Format unsur dan rincian kompetensi

No	Urusan / Sub Urusan	Kompetensi
1	1. 2.
2	3. 4.
3	5. 6.

Tabel 2. Format kamus kompetensi teknis

Nama Kompetensi	:	
Kode Kompetensi	:	
Definisi	:	
Level	Diskripsi	Indikator Perilaku
1		1.1 1.2 1.3
	2	2.1 2.2 2.3
		3

Tahapan selanjutnya adalah merumuskan definisi kompetensi berdasarkan beberapa literatur yang merepresentatifkan kegiatan pengawasan ketenaganukliran. Mengelompokkan kompetensi kedalam 2 (dua) kategori, yaitu kategori umum dan khusus. Kompetensi yang bersifat umum yaitu kompetensi teknis yang harus dimiliki oleh seluruh jabatan sedangkan kompetensi yang bersifat khusus yaitu kompetensi yang hanya dimiliki oleh jabatan-jabatan tertentu yang menyelenggarakan suatu urusan sesuai tugas jabatan. Selanjutnya menyusun kode kompetensi agar memudahkan tim penilai ketika melakukan uji kompetensi. Langkah terakhir adalah merumuskan indikator perilaku. Setelah semua tahapan dilakukan perlu diselenggarakan workshop atau lokakarya dengan mengundang instansi terkait, para ahli terkait urusan pemerintahan, asosiasi profesi, lembaga swadaya masyarakat terkait untuk memperoleh masukan yang komprehensif seluruh aspek kompetensi yang diperlukan. Setelah itu rumusan kamus kompetensi teknis dapat disempurnakan secara komprehensif berdasarkan masukan hasil workshop sebelum ditetapkan oleh Pejabat Pembina Kepegawaian.

Setelah kamus kompetensi ditetapkan tahapan selanjutnya sebagai upaya memaksimalkan kompetensi pegawai adalah dilakukan penyusunan standar kompetensi jabatan. Proses penyusunan standar kompetensi jabatan meliputi tahap-tahap sebagai berikut [4]:

1. Pengumpulan dan Analisa data. Digunakan untuk memastikan jabatan yang ada dalam organisasi sudah sesuai dengan mandat dan tugas fungsi organisasi. yang diperoleh dari:
 - a) Struktur organisasi dan tata kerja yang memuat nama jabatan, tugas pokok, dan fungsi yang diperlukan untuk merumuskan standar kompetensi jabatan;

- b) Ikhtisar Jabatan dan uraian tugas diperlukan sebagai informasi yang lebih spesifik untuk menentukan jenis dan level kompetensi dari setiap jabatan dalam unit organisasi;
- c) Visi dan misi organisasi diperlukan sebagai dasar untuk mengkonfirmasi jenis kompetensi yang diperlukan;
- d) Dokumen perencanaan nasional dan BAPETEN baik rencana pembangunan jangka panjang maupun menengah sebagai pertimbangan dalam mengidentifikasi jenis kompetensi yang diperlukan; dan
- e) Dokumen peraturan perundang-undangan yang relevan.

Dalam tahapan pengumpulan data didapatkan informasi pokok tentang hasil kerja dari setiap jabatan yang ada dan relevansi hasil kerja dengan pencapaian tujuan organisasi yang memiliki kontribusi terhadap pencapaian visi misi organisasi dan rencana stratejik.

2. Identifikasi kompetensi. Dilakukan untuk menentukan kompetensi dan level-nya berdasarkan nama jabatan, ikhtisar jabatan dan analisa uraian tugas yang memerlukan kompetensi teknis. Setelah dilakukan identifikasi kompetensi, selanjutnya menganalisa jenis kompetensi teknis yang diperlukan untuk masing - masing jabatan yang mengacu pada kamus kompetensi teknis yang sudah disusun dengan mencocokkan hasil kerja yang seharusnya dihasilkan oleh jabatan tersebut berdasarkan indikator perilaku yang diharapkan muncul untuk menetapkan level kompetensi teknis yang diperlukan.
3. Menyusun persyaratan jabatan. Persyaratan jabatan yang dicantumkan dalam standar kompetensi jabatan, minimal berupa:
 - a) Pangkat, kedudukan yang menunjukkan tingkatan jabatan berdasarkan tingkat kesulitan, tanggungjawab, dampak, dan persyaratan kualifikasi pekerjaan;
 - b) Kualifikasi Pendidikan, dirumuskan dalam jenjang pendidikan terendah yang layak untuk menduduki jabatan dengan menganalisis keterkaitan langsung antara tingkat dan jenis pendidikan dengan kemampuan melaksanakan tugas jabatan;
 - c) Jenis pelatihan, dapat berupa pelatihan manajerial, pelatihan teknis dan pelatihan fungsional. Jenis dan bentuk pelatihan yang dirumuskan hanya pelatihan yang memiliki relevansi dengan tugas jabatan.;
 - d) Ukuran kinerja jabatan, dirumuskan dalam bentuk kuantitas, kualitas, waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil kerja. Jenis ukuran kinerja disesuaikan dengan tingkat pentingnya ukuran tersebut terhadap tugas jabatan tersebut dalam organisasi; dan
 - e) Pengalaman kerja, merupakan pengalaman menduduki jabatan di bidang tugas yang memiliki relevansi langsung dan berkaitan erat dengan jabatan tersebut.
4. Mengelompokkan persyaratan kompetensi kedalam 3 (tiga) kategori menurut tingkat pentingnya persyaratan terhadap jabatan sebagai berikut:
 - a) Mutlak artinya persyaratan jabatan ini mutlak harus dimiliki oleh pemangku jabatan dan apabila tidak dimiliki maka yang bersangkutan tidak akan mampu melaksanakan tugas jabatan secara optimal.
 - b) Penting artinya persyaratan jabatan ini memiliki peran dan kontribusi yang sangat penting untuk mendukung optimalisasi kinerja suatu jabatan untuk mencapai kinerja yang unggul.
 - c) Perlu artinya kompetensi ini berperan dan berkontribusi sebagai penunjang untuk mencapai kinerja suatu jabatan yang lebih optimal.
5. Validasi standar kompetensi dan persyaratan jabatan
Untuk menetapkan keabsahan standar kompetensi diperlukan konfirmasi kepada pihak yang bertanggung jawab di bidang standarisasi jabatan setingkat pimpinan tinggi madya atau pimpinan tinggi pratama dan/atau pegawai yang dianggap mampu memberikan masukan yang diperlukan. Konfirmasi bertujuan untuk memastikan bahwa kompetensi yang telah dirumuskan dalam standar kompetensi telah sesuai dengan uraian jabatan dari jabatan yang akan ditetapkan kompetensinya. Berdasarkan hasil konfirmasi tersebut dilakukan validasi terhadap konsep standar kompetensi dan dilakukan penyempurnaan sebelum pada tahapan penetapan oleh Menteri.

Hasil dan Pembahasan

Penyusunan standar kompetensi jabatan fungsional pengawas radiasi menurut Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 Tahun 2016 belum sesuai penerapannya dikarenakan kamus kompetensi yang belum tersusun. Dalam standar kompetensi BAPETEN juga masih terdiri dari 4 (empat) level. Untuk menyusun level ini dapat dilakukan dengan merinci lebih lanjut kompetensi yang sudah diidentifikasi dengan membuat pengertian kompetensi dan diurai lebih lanjut dalam perilaku yang mengindikasikan tingkat penguasaan kompetensi dari yang terendah, sampai yang tertinggi. Tingkat penguasaan kecakapan kompetensi ditunjukkan dengan indikator perilaku dari level 1 (satu) sampai dengan level 5 (lima) dengan kriteria sebagai berikut :

1. Level 1 (satu) menjelaskan bahwa level tersebut paham atau dalam pengembangan dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. Mengindikasikan kemampuan melaksanakan tugas sederhana dengan proses dan aturan yang jelas, memerlukan pengawasan langsung atau bantuan dari orang lain;
 - b. Mengindikasikan penguasaan pengetahuan dan keterampilan yang tidak memerlukan pelatihan khusus;
 - c. Mengindikasikan memiliki pemahaman dasar tentang prinsip-prinsip teori dan praktek, namun masih memerlukan pengawasan langsung dan/atau bantuan pihak lain; dan
 - d. Mengindikasikan kemampuan bertanggungjawab atas pekerjaan sendiri.
2. Level 2 (dua) merupakan level dasar dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. Mengindikasikan kemampuan melakukan kegiatan dengan alat, prosedur dan metode kerja yang sudah baku;
 - b. Mengindikasikan pemahaman tentang prinsip-prinsip teori dan praktek, dalam pelaksanaan tugas tanpa bantuan dan/atau pengawasan langsung;
 - c. Mengindikasikan penguasaan pengetahuan dan keterampilan yang memerlukan pelatihan tingkat dasar; dan
 - d. Mengindikasikan kemampuan untuk bertanggungjawab atas pekerjaan sendiri dan dapat diberi tanggungjawab membantu pekerjaan orang lain untuk tugas teknis yang sederhana.
3. Level 3 (tiga) merupakan level menengah dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. Mengindikasikan kemampuan melakukan tugas teknis yang lebih spesifik dengan menganalisis informasi secara terbatas dan pilihan metode untuk menyelesaikan permasalahan yang timbul dalam tugasnya;
 - b. Mengindikasikan pemahaman tentang prinsip-prinsip teori dan praktek tanpa bantuan dan/atau pengawasan langsung, dengan kecepatan yang tepat penyelesaian pekerjaan yang lebih cepat;
 - c. Mengindikasikan kepercayaan diri dan kemampuan dan menunjukkan kelancaran dan ketangkasan dalam praktek pelaksanaan pekerjaan teknis;
 - d. Mengindikasikan penguasaan pengetahuan dan keterampilan yang memerlukan pelatihan tingkat menengah; dan
 - e. Mengindikasikan kemampuan bertanggungjawab atas pekerjaan sendiri dan dapat diberi tanggungjawab atas pekerjaan kelompok/tim.
4. Level 4 (empat) merupakan level mumpuni dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. Mengindikasikan kemampuan mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi serta peracek, konsep atau teori dan mampu mendapat pengakuan ditingkat instansi;
 - b. Mengindikasikan kemampuan menghasilkan perbaikan dan pembaharuan teknis, metode kerja;
 - c. Mengindikasikan kemampuan beradaptasi dengan berbagai situasi, peningkatan kompleksitas dan resiko serta kemampuan memecahkan permasalahan teknis yang timbul dalam pekerjaan;
 - d. Mengindikasikan kemampuan mengembangkan dan menerapkan pendekatan satu bidang keilmuan dan kemampuan melakukan uji kompetensi serta memiliki kemampuan pengajaran serta menjadi rujukan atau mentor tingkat instansi; dan
 - e. Mengindikasikan penguasaan pengetahuan dan keterampilan yang memerlukan pelatihan lanjutan.

5. Level 5 (lima) merupakan level ahli dengan kriteria sebagai berikut:
- Mengindikasikan kemampuan mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi, konsep atau teori serta mampu mendapat pengakuan nasional atau internasional;
 - Mengindikasikan kemampuan menghasilkan karya kreatif, original dan teruji;
 - Menunjukkan inisiatif dan kemampuan beradaptasi dengan situasi masalah khusus, dan dapat memimpin orang lain dalam melakukan kegiatan teknis;
 - Mengindikasikan kemampuan mampu mengkoordinasikan, memimpin dan menilai orang lain, kemampuan melakukan uji kompetensi, dan kemampuan menjadi pembimbing atau mentor;
 - Mengindikasikan kemampuan mengembangkan dan menerapkan pendekatan inter dam multi disipliner; dan
 - Mengindikasikan penguasaan pengetahuan dan keterampilan yang menjadi rujukan atau mentor tingkat nasional atau internasional.

Pada lampiran I Peraturan BAPETEN Nomor 10 Tahun 2016 dijelaskan bahwa standar kompetensi jabatan fungsional pengawas radiasi sebagai berikut :

Tabel 3. Kompetensi regulasi dan organisasi

Jenjang Pertama	Jenjang Muda	Jenjang Madya	Jenjang Utama
Q1: Kompetensi regulasi dan organisasi			
1. Menyebutkan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang berlaku; 2. Menyebutkan tugas pokok dan fungsi struktur organisasi BAPETEN; 3. Menguraikan tugas pokok dan fungsi unit kerja; 4. Menguraikan tugas dan rincian kegiatan Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi jenjang pertama.	1. Menguraikan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang berlaku; 2. Menguraikan tugas pokok dan fungsi struktur organisasi Bapeten; 3. Menjelaskan tugas pokok dan fungsi unit kerja; 4. Menguraikan tugas dan rincian kegiatan jabatan fungsional Pengawas Radiasi jenjang muda.	1. Menjelaskan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang berlaku; 2. Menjelaskan tugas pokok dan fungsi struktur organisasi BAPETEN; 3. Menjelaskan rencana strategis unit kerja; 4. Menjelaskan tugas dan rincian kegiatan Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi jenjang madya.	1. Menjelaskan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang berlaku; 2. Mengevaluasi peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang diperlukan; 3. Menjelaskan tugas pokok dan fungsi struktur organisasi BAPETEN; 4. Menjelaskan rencana strategis BAPETEN dan unit kerja;

Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa pada kompetensi regulasi dan organisasi untuk jenjang madya dan utama menunjukkan kompetensi yang sama pada poin 1 dan 2. Terdapat sinonim yang sama pada kata menguraikan dan menjelaskan terhadap peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang berlaku serta tugas pokok dan fungsi struktur organisasi BAPETEN pada jenjang muda dan madya. Pada jenjang pertama dan muda memiliki indikator yang ambigu dikarenakan isi dari struktur organisasi BAPETEN adalah unit kerja, sehingga terkesan sama saja.

Tabel 4. Kompetensi ketenaganukliran

Q2: Kompetensi Ketenaganukliran			
1. Menyebutkan prinsip dasar proteksi radiasi; 2. Menyebutkan ilmu dasar Fasilitas Radiasi dan Zat Radiasi (FRZR) atau Instalasi Bahan Nuklir (IBN) yang mendukung bidang kerja; 3. Menyebutkan teknologi FRZR atau IBN yang mendukung bidang kerja.	1. Menguraikan prinsip dasar dan langkah proteksi radiasi; 2. Menjelaskan ilmu dasar FRZR atau IBN yang mendukung bidang kerja; 3. Menguraikan teknologi FRZR atau IBN yang mendukung bidang kerja.	1. Menjelaskan prinsip dan langkah proteksi radiasi; 2. Menguraikan ilmu ketenaganukliran yang mendasari pemanfaatan di FRZR atau IBN; 3. Menjelaskan teknologi pemanfaatan FRZR atau IBN.	1. Menjelaskan prinsip keselamatan, keamanan, dan safeguard; 2. Menjelaskan ilmu ketenaganukliran yang mendasari pemanfaatan di FRZR atau IBN; 3. Menjelaskan secara rinci teknologi pemanfaatan FRZR atau IBN.

Pada kompetensi ketenaganukliran di poin 1 dan 3 untuk jenjang muda dan madya memiliki kesamaan arti antara menguraikan dan menjelaskan terhadap prinsip dan langkah proteksi radiasi serta teknologi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR) atau Instalasi Bahan Nuklir (IBN) yang

mendukung bidang kerja. Sedangkan pada poin 2 pada jenjang madya dan utama juga terdapat sinonim antara menguraikan dengan menjelaskan terhadap ilmu ketenaganukliran yang mendasari pemanfaatan di FRZR atau IBN.

Tabel 5. Kompetensi praktis pengawasan

Jenjang Pertama	Jenjang Muda	Jenjang Madya	Jenjang Utama
Q3: Kompetensi praktis pengawasan (disesuaikan dengan bidang tugas)			
1. Menyebutkan prosedur evaluasi dokumen perizinan; 2. Menyebutkan prosedur inspeksi; 3. Menyebutkan mekanisme atau langkah penyusunan peraturan; 4. Menyebutkan metodologi reviu dan pengkajian; 5. Menyebutkan peralatan nuklir yang digunakan dalam kegiatan pengawasan; 6. Menyusun bahan pembuatan laporan evaluasi perizinan; 7. Menyusun bahan pembuatan Laporan Hasil Inspeksi (LHI); Menyusun bahan pembuatan naskah usulan Standar pengawasan ketenaganukliran, perjanjian, atau pengesahan perjanjian internasional; 8. Menyusun bahan pembuatan Laporan Hasil Kajian (LHK).	1. Menguraikan prosedur evaluasi dokumen perizinan; 2. Menguraikan prosedur inspeksi; 3. Menguraikan mekanisme atau langkah penyusunan peraturan; 4. Menguraikan metodologi reviu dan pengkajian; 5. Menguraikan peralatan nuklir yang digunakan dalam kegiatan pengawasan; 6. Menyusun konsep LHI; 7. Menyusun konsep Laporan Ringkasan Eksekutif (LARE); 8. Menyusun konsep izin/revisi izin/persetujuan/pembekuan, pencabutan, dan pengaktifan kembali izin instalasi; 9. Menyusun konsep laporan evaluasi perizinan; 10. Menyusun konsep naskah Standar pengawasan ketenaganukliran/ perjanjian atau pengesahan perjanjian internasional; 11. Menyusun konsep rancangan perjanjian atau persetujuan internasional; 12. Menyusun konsep Laporan Hasil Kajian.	1. Menjelaskan prosedur evaluasi dokumen perizinan; 2. Menjelaskan prosedur inspeksi; 3. Menjelaskan mekanisme atau langkah penyusunan peraturan; 4. Menjelaskan metodologi reviu dan pengkajian; 5. Melakukan analisis terhadap kesalahan pembacaan alat penunjang kerja; 6. Menyusun rencana inspeksi; 7. Menyusun LHI; 8. Menyusun LARE; 9. Menyusun izin/revisi izin/persetujuan/ pembekuan, pencabutan, dan pengaktifan kembali izin instalasi; 10. Menyusun laporan evaluasi perizinan; 11. Menyusun hasil telaah/analisis dalam penyempurnaan naskah Standar pengawasan ketenaganukliran/ perjanjian atau pengesahan perjanjian internasional; 12. Menyusun rancangan Standar pengawasan ketenaganukliran; 13. Menyusun rancangan perjanjian atau persetujuan internasional; 14. Menyusun LHK.	1. Mengevaluasi prosedur evaluasi dokumen perizinan; 2. Mengevaluasi prosedur inspeksi; 3. Mengevaluasi mekanisme atau langkah penyusunan peraturan; 4. Mengevaluasi metodologi reviu dan pengkajian; 5. Melakukan kajian terhadap kesalahan pembacaan alat penunjang kerja; 6. Mengevaluasi rencana inspeksi; 7. Mengevaluasi LHI; 8. Mengevaluasi LARE; 9. Mengevaluasi izin/revisi izin/persetujuan/ pembekuan, pencabutan, dan pengaktifan kembali izin instalasi; 10. Mengevaluasi laporan evaluasi perizinan; 11. Mengevaluasi hasil telaah/analisis dalam penyempurnaan naskah Standar pengawasan ketenaganukliran/ perjanjian atau pengesahan perjanjian internasional; 12. Mengevaluasi rancangan Standar pengawasan ketenaganukliran; 13. Mengevaluasi rancangan perjanjian atau persetujuan internasional; 14. Mengevaluasi LHK.

Dalam kompetensi praktis pengawasan pada poin 1 sampai dengan 4 untuk jenjang muda dan madya terdapat sinonim yaitu kata menguraikan dan menjelaskan terhadap prosedur evaluasi dokumen perizinan, prosedur inspeksi, mekanisme atau langkah penyusunan peraturan, dan metodologi reviu dan pengkajian. Pada poin 6 untuk jenjang pertama membahas terkait evaluasi perizinan namun pada jenjang di atasnya membahas tentang inspeksi, sehingga urutannya terkesan tidak rapi dan membingungkan ketika dibaca. Dalam poin 6 sampai poin 12 jenjang muda memiliki indikator yang ambigu dengan poin 7 sampai poin 14 sampai di jenjang madya yaitu menyusun konsep dan menyusun objeknya.

Tabel 6. Kompetensi pribadi dan hubungan personal

Jenjang Pertama	Jenjang Muda	Jenjang Madya	Jenjang Utama
Q4: Kompetensi pribadi dan hubungan personal			
1. Disiplin; 2. Jujur; 3. Bekerja sama dalam kelompok kerja.	1. Disiplin; 2. Jujur; 3. Obyektif; 4. Cermat/Teliti; 5. Bekerja sama dalam kelompok kerja.	1. Disiplin; 2. Jujur; 3. Obyektif; 4. Cermat/Teliti; 5. Bertanggung jawab; 6. Membangun kerja sama kelompok kerja.	1. Disiplin; 2. Jujur; 3. Obyektif dan independen; 4. Cermat/Teliti; 5. Bertanggung jawab; 6. Memimpin dan mengkoordinasikan kelompok kerja; 7. Membina rekan kerja sesama fungsional.

Untuk kompetensi kepribadian dan hubungan personal sudah termuat di dalam kompetensi manajerial sehingga tidak perlu dicantumkan kembali. Pada poin pertama dan kedua sudah termasuk di dalam kompetensi integritas. Dalam poin yang terkait dengan kelompok kerja terdapat dalam kompetensi kerjasama. Untuk poin obyektif, cermat atau teliti dan bertanggung jawab sudah tercakup di dalam kompetensi pelayanan publik, orientasi pada hasil, dan pengambilan keputusan.

Dari seluruh kompetensi jabatan fungsional pengawas radiasi berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2016 belum terlihat secara spesifik perbedaan nilai kompetensi yang diharapkan muncul untuk setiap jenjang sehingga perlu disesuaikan dan diuraikan kembali standar

kompetensi tiap jabatan agar lebih mudah digunakan bagi tim penilai maupun digunakan oleh pegawai untuk mengetahui kompetensi yang dibutuhkan.

Kesimpulan

Standar kompetensi BAPETEN yang telah ditetapkan belum mengacu pada Peraturan Menteri PANRB 38 tahun 2017 yang mewajibkan instansi menyesuaikan peraturan tersebut paling lama 2 (dua tahun) sejak peraturan tersebut ditetapkan. Hingga saat ini BAPETEN belum menyesuaikannya dikarenakan keterbatasan anggaran dan penyelesaian pekerjaan prioritas lainnya. Hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa terdapat kompetensi yang tidak perlu lagi dicantumkan di dalam standar kompetensi teknis berikutnya yaitu pada kompetensi kepribadian dan hubungan personal. Penyusunan standar kompetensi teknis pengawasan ketenaganukliran ini penting untuk dilakukan sebagai salah satu perwujudan pengawasan yang professional dalam melaksanakan tugas dan tanggungjawab sesuai dengan level kompetensi.

Mengingat pentingnya standar kompetensi, maka perlu segera disusun revisi peraturan terkait standar kompetensi sebagai dasar acuan dalam penyiapan dan pengembangan sumber daya manusia berbasis kompetensi pada sektor ketenaganukliran. Agar dapat segera terealisasi perlu diberikan anggaran yang memadai dalam pelaksanaannya dan disusun jadwal yang komprehensif untuk berkoordinasi antar tim. Dukungan pemikiran unit kerja teknis dan komitmen pimpinan sangat dibutuhkan. Dalam penyusunan standar kompetensi teknis mendatang diharapkan terdapat persyaratan kompetensi bagi tim penilai kompetensi teknis juga. Harapannya standar kompetensi teknis ini dibuat independen agar lebih terfokus pada objek peraturan dan terpisah dari pedoman pendidikan dan pelatihan serta pelaksanaan uji kompetensi. Standar kompetensi yang akan disusun diharapkan memudahkan bagi tim penilai dalam pelaksanaan penilaian kompetensi dengan tujuan uji kompetensi maupun pemetaan sehingga para tim penilai memiliki kesamaan persepsi di dalam melakukan penilaian. Adanya pembaharuan standar kompetensi nantinya dapat memberikan informasi mengenai kompetensi yang diwajibkan untuk dimiliki pegawai dalam setiap jenjang jabatan sehingga secara tidak langsung dapat mendorong kinerja pegawai BAPETEN dalam melakukan pengawasan dengan lebih efektif dan efisien.

Daftar Pustaka

- [1] IAEA. (2010). *GSR part 1 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety*. Vienna.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2016). Peraturan Kepala Nomor 10 tahun 2016 tentang Standar Kompetensi dan Pedoman Pendidikan dan Pelatihan Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi.
- [3] Krisnawati1, K.D. dan Bagia, I.W. 2021. *Pengaruh Kompetensi Kerja Terhadap Kinerja Karyawan*. Jurnal Manajemen, Vol. 7 No. 1, Bulan April. Bisma.
- [4] Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi. (2017). Peraturan Menteri Nomor 38 tahun 2017 tentang Standar Kompetensi Jabatan Aparatur Sipil Negara.
- [5] Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi. (2019). Peraturan Menteri Nomor 13 tahun 2019 tentang Pengusulan, Penetapan, dan Pembinaan Jabatan Fungsional Pegawai Negeri Sipil.
- [6] Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi. (2012). Peraturan Menteri Nomor Nomor 46 tahun 2012 tentang Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi dan Angka Kreditnya.
- [7] Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI). Diakses pada 1 juli 2023 dari <https://kbbi.web.id/urai>.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Uji Kesesuaian Kolimasi Pesawat Fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung

Nathaniel Marcellino¹, I Nengah Sandi¹, I Nyoman Pranditayana², Ni Kadek Nova Anggarani¹, IKetut Sukarasa¹, Putu Suardana¹

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran-Badung

²Instalasi Radiologi RSD Mangusada-Badung

Korespondensi penulis:

marcellinonathaniel09@gmail.com

nengahsandi@yahoo.com

dani.nyoman75@alumni.ui.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan Penelitian untuk mengetahui hasil uji kesesuaian kolimasi pesawat fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung. Uji kolimasi terdiri dari 3 uji yaitu iluminasi, kesesuaian selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan ketegaklurusan berkas sinar-X. Tujuan dari uji kesesuaian ini adalah untuk memastikan bahwa sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X memiliki berkas sinar-X yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pada penentuan nilai iluminasi, digunakan alat luxmeter untuk mengukur intensitas cahaya pada setiap region cahaya kolimasi, kemudian hasil yang terbaca pada luxmeter dikurangi dengan cahaya background lalu dikalikan dengan faktor kalibrasi. Hasil nilai iluminasi pada region 1 sebesar 259,2 lux, pada region 2 sebesar 248,2 lux, pada region 3 sebesar 237,6 lux, dan pada region 4 sebesar 270,0 lux. Selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dan ketegaklurusan berkas sinar-X dilakukan dengan penyinaran pada collimator test tool dan alignment test tool. Hasil selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yang didapatkan yakni $|\Delta X|$ sebesar 0,0995 cm dan $|\Delta Y|$ sebesar 0,1001 cm, dan hasil ketegaklurusan berkas sinar-X yaitu terdapat penyimpangan $1,5^\circ$. Hasil tersebut menunjukkan bahawa uji kesesuaian kolimasi pesawat fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada sudah memenuhi Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 2 Tahun 2022.

Kata Kunci: uji kolimasi, iluminasi, selisih lapangan kolimasi, ketegaklurusan

Abstract

Research has been conducted to determine the results of the collimation test for fluoroscopy machine at the Radiology Installation of RSD Mangusada Badung. The collimation test consists of 3 tests: illumination, alignment field collimation difference with the X-ray beam, and alignment of the X-ray beam. The purpose of this suitability test is to ensure that the X-rays produced by the X-ray machine have an X-ray beam that complies with the established standards. In determining the illumination value, a luxmeter is used to measure the light intensity in each collimation light region. The reading on the luxmeter is then subtracted by the background light and multiplied by the calibration factor. The illumination values obtained are 259,2 lux for region 1, 248,2 lux for region 2, 237,6 lux for region 3, and 270,0 lux for region 4. The collimation field difference with the X-ray beam and the alignment of the X-ray beam are performed by irradiating the collimator test tool and the alignment test tool. The collimation field difference results obtained are $|\Delta X|$ of 0,0995 cm and $|\Delta Y|$ of 0,1001 cm. The alignment of the X-ray beam shows a deviation of 1.5° . These results indicate that the collimation suitability test for the fluoroscopy machine at the Radiology Installation of RSD Mangusada meets the regulations set by the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) Number 2 of the Year 2022.

Keywords: collimation test, illumination, collimation field difference, alignment

Pendahuluan

Radiografi menggunakan pesawat sinar-X adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang medis. Pesawat ini menggunakan radiasi sinar-X untuk menghasilkan citra internal suatu objek, yang memungkinkan deteksi cacat atau penyimpangan yang tidak terlihat secara visual. Untuk menjaga kualitas citra yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai lembaga pengawas nuklir di Indonesia telah menerbitkan Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik dan Intervensional. Peraturan ini mengatur berbagai aspek penggunaan sinar-X di bidang kesehatan, seperti persyaratan *quality control* (QC) yang harus dilakukan [1]. Salah satu aspek dalam *quality control* adalah uji kolimasi pesawat fluoroskopi. Kolimasi adalah proses mengatur dan memfokuskan lapangan penyinaran sinar-X menjadi suatu garis yang tajam dan terarah. Uji kolimasi bertujuan untuk memastikan bahwa sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X memiliki berkas sinar-X yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Makalah laporan berjudul “Uji Kesesuaian Kolimasi Pesawat Fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung” ini akan membahas secara mendalam mengenai uji kolimasi pesawat sinar-X dalam konteks *quality control* menurut Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022. Uji kolimasi pada pesawat fluoroskopi terdiri dari 3 parameter uji yaitu uji iluminasi, selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan ketegaklurusan sinar-X. Dengan pemahaman yang baik tentang uji kolimasi pesawat sinar-X dan persyaratan yang ditetapkan oleh Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022, diharapkan pengguna pesawat sinar-X di bidang kesehatan dapat meningkatkan kualitas layanan radiografi, menjaga keselamatan pasien, serta memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh otoritas pengawas nuklir. Uji kolimasi harus dilakukan secara berkala sesuai dengan jadwal yang ditentukan untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X tetap dalam kondisi yang memenuhi standar keselamatan dan kualitas citra yang diinginkan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada pesawat sinar-X yaitu pesawat fluoroskopi merk *Siemens* yang terdapat di instalasi Radiologi RSD Mangusada. Uji kolimasi dibagi menjadi dua tahap, yang pertama adalah uji iluminasi, kemudian yang kedua adalah uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dan uji ketegaklurusan sinar-X. Diawali dengan mengatur *source to image distance* (SID) dengan jarak 100 cm, kemudian ukur intensitas cahaya *background* ruangan. Lalu ukur setiap region cahaya kolimator dengan lima kali pengulangan kemudian dirata-ratakan, dan dicara nilai iluminasi yang sebenarnya menggunakan persamaan berikut:

$$E_s = (E_u - BG).FK \quad (1)$$

dimana E_s adalah besarnya iluminasi sebenarnya, E_u merupakan iluminasi yang terukur, BG sebagai intensitas cahaya *background* dan FK adalah faktor kalibrasi.

Setelah dilakukan uji iluminasi, kemudian dilakukan uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dan uji ketegaklurusan berkas sinar-X yang menggunakan *collimator test tool* dan *alignment test tool*. Pada uji ini dilakukan penyinaran pada *collimator test tool* dan *alignment test tool*, dengan cahaya kolimator diatur sedemikian rupa dengan luas lapangan *collimator test tool* agar mendapatkan citra yang baik. Hasil dari penyinaran tersebut berupa citra yang diolah pada komputer konsol.

Adapun nilai batas untuk uji kolimasi sudah diatur pada Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Nilai batas untuk uji iluminasi adalah $\geq 100 \text{ lux}$. Nilai batas uji untuk selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yaitu $|\Delta X| \leq 2\% \text{ SID}$ dan $|\Delta Y| \leq 2\% \text{ SID}$. Dan batas untuk uji ketegaklurusan berkas sinar-X yaitu kemiringan pusat berkas $\leq 3^\circ$.

Hasil dan Pembahasan

Setelah penelitian dilakukan, data iluminasi yang terukur ditunjukkan pada Tabel 1. Kemudian hasil tersebut dimasukkan kedalam persamaan (1). Kemudian hasil yang didapat dibandingkan dengan Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2022 yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data hasil ukur pada luxmeter

Region	Iluminasi ukur (E_u) (lux)					Rata-rata (\bar{E}_u) (lux)	Intensitas Cahaya Background (lux)	Faktor Kalibrasi
	1	2	3	4	5			
1	320	321	320	321	319	320	80	1,08
2	310	309	310	311	310	310		
3	299	300	300	300	301	300		
4	331	330	330	328	331	330		

Tabel 2. Data hasil perhitungan nilai iluminasi dan batas nilai minimum iluminasi

Region	Iluminasi (lux)	Batas nilai iluminasi (lux)
1	259,2	$\geq 100 \text{ lux}$
2	248,4	
3	237,6	
4	270,0	

Hasil uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yang diolah pada komputer mendapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X

Indikator	Titik Pengukuran (cm)			Rata-Rata Selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X (cm)
	1	2	3	
Δx_1	0,0470	0,0479	0,0479	0,0476
Δx_2	0,0519	0,0519	0,0519	0,0519
Δy_1	0,0481	0,0481	0,0481	0,0481
Δy_2	0,0540	0,0500	0,0519	0,0520

Setelah diketahui hasil nilai rata-rata selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, maka dapat ditentukan ΔX dan ΔY . Perhitungan nilai tersebut sebagai berikut:

$$|\Delta X| = \overline{\Delta x_1} + \overline{\Delta x_2} = 0,0476 \text{ cm} + 0,0519 \text{ cm} = 0,0995 \text{ cm.}$$

$$|\Delta Y| = \overline{\Delta y_1} + \overline{\Delta y_2} = 0,0481 \text{ cm} + 0,0520 \text{ cm} = 0,1001 \text{ cm}$$

Batas nilai minimum selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022 diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil perhitungan dan batas nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X.

Indikator	Nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X (cm)	Batas nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X(cm)
$ \Delta X $	0,0995	$\leq 2\% \text{ SID}$
$ \Delta Y $	0,1001	

Hasil ketegaklurusan berkas sinar-X yang didapat pada penelitian ini yaitu terjadi penyimpangan $1,5^\circ$. Pada hasil pengukuran iluminasi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1, dilakukan penyinaran sebanyak 5 kali pada setiap regionnya. Maka didapatkan iluminasi pada region satu sebesar 259,2 lux, pada region dua sebesar 248,4 lux, pada region tiga sebesar 237,6 lux, dan pada region empat sebesar 270,0 lux. Batas nilai iluminasi yang didapat sesuai dengan Peraturan BAPETEN No.2 Tahun 2022 yaitu ≥ 100 lux. Nilai iluminasi yang tidak memenuhi pada kolimator pesawat fluoroskopi dapat memiliki beberapa efek samping. Seperti ada bagian yang tidak terbaca oleh detektor, sehingga ada bagian citra atau radiograf yang terpotong. Hal ini menyebabkan informasi klinis tidak dapat dievaluasi (ditolak) oleh dokter. Setelah ditolak, maka perlu mengulang penyinaran yang menyebabkan dosis berlebihan pada pasien.

Pada pengukuran selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3, diambil 3 titik pengukuran pada setiap sisinya yang kemudian dirata-ratakan sehingga diperoleh selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada setiap sisi *collimator test tool*. Didapatkan nilai $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ masing masing adalah 0,1001cm dan 0,0995cm, dimana batas nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X yang diatur pada Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2022 adalah $\leq 2\% \text{ SID}$. Ketika nilai selisih lapangan kolimasi tidak memenuhi standar pada pesawat fluoroskopi, efek samping yang mungkin timbul antara lain paparan radiasi berlebihan. Jika berkas sinar-X yang dikeluarkan dari kolimator tidak terfokus dengan baik, area radiasi yang diterima oleh staf medis dapat menjadi lebih luas dari yang diinginkan. Hal ini dapat menyebabkan paparan radiasi berlebihan pada bagian tubuh yang seharusnya tidak terkena paparan, meningkatkan risiko kerusakan sel dan jaringan dan meningkatkan risiko efek radiasi pada kesehatan.

Pada pengukuran ketegaklurusan berkas sinar-X terjadi penyimpangan di lingkaran pertama dengan nilai penyimpangan sebesar $1,5^\circ$, dimana batas nilai ketegaklurusan berkas sinar-X yang diatur pada Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2022 adalah $\leq 3^\circ$. Adapun dampak yang dihasilkan apabila hasil *quality control* tidak sesuai dengan peraturan yang berlaku adalah dosis radiasi yang berlebih, pengurangan kualitas citra, pengulangan prosedur. Dari hasil perbandingan nilai uji iluminasi, nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan nilai ketegaklurusan berkas sinar-X pesawat fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung sudah memenuhi Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2022.

Kesimpulan

Uji iluminasi yang dilakukan mendapatkan hasil pada region 1 sebesar 259,2 lux, pada region 2 sebesar 248,4 lux, pada region 3 sebesar 237,6 lux, dan pada region 4 sebesar 270,0 lux. Hasil pengukuran selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X didapatkan nilai $|\Delta X|$ adalah 0,1001 cm dan nilai $|\Delta Y|$

adalah 0,0995 cm dengan nilai 2% SID yaitu 2cm. Hasil ketegaklurusan berkas sinar-X didapatkan hasil penyimpangan sebesar 1,5°. Dari nilai uji iluminasi, selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan ketegaklurusan berkas sinar-X yang diperoleh, dapat dinyatakan bahwa pesawat fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung dapat dinyatakan lolos uji kolimasi berdasarkan Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2022.

Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN. 2022. Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [2] Hastuti, P., Syafitri, I., Susanto, W. 2012. Uji Kesesuaian Sebagai Aspek Penting Dalam Pengawasan Penggunaan Pesawat Sinar-X Di Fasilitas Radiologi Diagnostik. Jakarta: Digilib BATAN.
- [3] Susanti, R., Malvita D., Sandy, K. Y. P. 2017. Uji Kesesuaian Pesawat Fluoroskopi Intervensional merek Philips Allura FC menggunakan Detektor Unfors Raysafe X2 di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*. Vol 6 No.3 hal 232-239.
- [4] Manik, J.W., Haryanto, B., Abdullah, E.. 2021. Analisis Kesesuaian Lapangan Kolimasi Pada Alat Digital Radiografi. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*. Vol. 1 No. 6 hal 669-674.
- [5] Fitriani, F., Abdullah, B., Tahir, D., 2019. Studi Uji Kesesuaian Selisih Lapangan Kolimasi Pada Pesawat Mammografi Analog dan Digital. *Jurnal Fisika Flux*. Vol 16 No. 2.
- [6] Jhon Wesley Manik. 2022. Evaluasi Kesesuaian Lapangan Kolimasi pada Alat Mobile X-Ray. *Journal of Peat Science and Innovation*, Vol 1 No. 1, hal 26-31.
- [7] Bachtiar, S. 2011. Analisis Pembentukan Gambar Dan Batas Toleransi Uji Kesesuaian Pada Pesawat Sinar-X Diagnostik. Pusat Teknologi Keselamatan Dan Metrologi Radiasi -BATAN, 157–163



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2023



Kendali Mutu (*Quality Control*) Generator Pesawat Sinar-X Simulator Varian Rad-14 Dengan Metode *Half Value Layer* (HVL) Aluminium Di SubInstalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah

I Made Adi Pradnya Diputra¹, Ni Nyoman Ratini¹, I Wayan Balik Sudarsana², Rozi Irhas²

¹*Fisika Medis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana*

²*Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah*

Korespondensi penulis:

adipradnya306@gmail.com

nymratini@unud.ac.id

wbalik365@gmail.com

roziirhas7@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan kendali mutu (*Quality Control*) generator pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 dengan metode *Half Value Layer* (HVL) aluminium di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah. Kendali mutu ini bertujuan untuk menilai atau sebagai indikator kualitas berkas radiasi sinar-X. Pada penentuan nilai HVL dilakukan melalui dua tahap pengukuran, yakni pengukuran tanpa menggunakan filter dan menggunakan filter aluminium ketebalan 0,500 mmAl dan 1,000 mmAl, variasi tegangan tabung 70, 80, dan 90 kV, serta arus waktu tabung sebesar 20 mAs. Nilai HVL yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL yang diatur pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia yakni 2,1 mmAl pada 70 kV, 2,3 mmAl pada 80 kV, dan 2,5 mmAl pada 90 kV. Diperoleh nilai HVL pada tegangan tabung 70 kV untuk pasangan filter aluminium t_a setebal 2,000 mmAl dan t_b setebal 3,500 mmAl sebesar 3,008 mmAl serta pasangan filter aluminium t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl sebesar 3,017 mmAl. Pada tegangan tabung 80 kV untuk pasangan filter aluminium t_a setebal 2,000 mmAl dan t_b setebal 3,500 mmAl sebesar 3,477 mmAl serta pasangan filter aluminium t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl sebesar 3,512 mmAl. Pada tegangan tabung 90 kV untuk pasangan filter aluminium t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl nilai HVL sebesar 3,982 mmAl. Hasil tersebut menunjukkan hasil kendali mutu (*Quality Control*) generator pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 dengan metode HVL aluminium di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah sudah memenuhi Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik.

Kata Kunci: simulator, aluminium, HVL, tegangan, arus

Abstract

Quality control has been carried out for the Varian Rad-14 X-ray simulator generator using the aluminum Half Value Layer (HVL) method in the Radiotherapy Sub-Installation of RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah. This quality control aims to assess or as an indicator of the quality of the X-ray radiation beam. The determination of the HVL value is carried out through two stages of measurement, namely measurement without using a filter and using an aluminum filter with a thickness of 0.500 mmAl and 1.000 mmAl, variations in tube voltage of 70, 80 and 90 kV, and tube current of 20 mAs. The HVL values obtained were then compared with the minimum HVL value limit regulated in the Decree of the Minister of Health of the Republic of Indonesia, namely 2.1 mmAl at 70 kV, 2.3 mmAl at 80 kV, and 2.5 mmAl at 90 kV. HVL values were obtained at a tube voltage of 70 kV for aluminum filter pairs t_a thickness of 2.000 mmAl and t_b thickness of 3.500 mmAl of 3.008 mmAl and aluminum filter pairs of aluminum t_a thickness of 2.500 mmAl and t_b thickness of 4.000 mmAl of 3.017 mmAl. At a tube voltage of 80 kV

for a pair of aluminum filters t_a 2.000 mmAl thick and t_b 3.500 mmAl thick of 3.477 mmAl and aluminum filter pairs of t_a 2.500 mmAl thick and t_b 4.000 mmAl thick of 3.512 mmAl. At a tube voltage of 90 kV for a pair of aluminum filters t_a 2.500 mmAl thick and t_b 4.000 mmAl thick the HVL value is 3.982 mmAl. These results show the results of quality control Varian Rad-14 X-ray simulator generator with the aluminum HVL method in the Radiotherapy Sub-Installation of RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah has complied with the Decree of the Minister of Health of the Republic of Indonesia Number 1250/MENKES/SK/XII/2009 concerning Guidelines for Quality Control of Radiodiagnostic Equipment.

Keywords: simulator, aluminium, HVL, voltage, current.

Pendahuluan

Pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 merupakan salah satu pesawat yang memanfaatkan sinar-X yang digunakan di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah, yaitu alat untuk membuat simulasi penyinaran eksternal. Fungsi alat tersebut sama pentingnya dengan pesawat diagnostik karena berfungsi untuk mereproduksi kondisi geometris pasien pada peralatan terapi radiasi. Dalam menjamin dan meningkatkan mutu pelayanan kesehatan khususnya pada pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14, maka harus dilakukan kendali mutu atau *Quality Control* secara berkala.

Kendali mutu (*Quality Control*) merupakan salah satu dari penjaminan mutu secara keseluruhan untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan dapat digunakan secara akurat. Kendali mutu bertujuan untuk menjamin bahwa setiap parameter penyinaran teruji akurasi kinerjanya dan jika terjadi penyimpangan harus berada dalam batas toleransi. Di Indonesia, kendali mutu ini telah diatur pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik. Pada pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14, salah satu bentuk kendali mutu adalah pengujian terhadap generator pesawat sinar-X yakni uji *Half Value Layer* (HVL).

HVL merupakan filter dengan ketebalan tertentu untuk mengurangi intensitas sinar-X menjadi setengah dari intensitas awal [1,2]. Uji HVL bertujuan untuk menilai atau sebagai indikator kualitas berkas radiasi sinar-X. Nilai HVL tidak boleh lebih rendah dari nilai yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009. Nilai HVL yang terlalu rendah menyebabkan sinar-X tidak menembus tubuh sehingga tidak berkontribusi pada citra, tetapi memberikan dosis yang besar pada tubuh. Oleh karena itu, sangat penting untuk memonitor parameter HVL guna meningkatkan kualitas citra radiografi dalam memberikan informasi tentang objek atau organ yang diperiksa sehingga uji HVL merupakan salah satu bentuk kendali mutu yang wajib dilakukan.

Metode Penelitian

Pesawat sinar-X simulator

Pesawat sinar-X simulator merupakan salah satu pesawat yang memanfaatkan sinar-X yaitu alat untuk membuat simulasi penyinaran eksternal yang bertujuan untuk menentukan proyeksi penyinaran, luas lapangan penyinaran, separasi, sudut gantry, sudut kolimator, serta jarak penyinaran [3]. Pada proses simulasi penyinaran dengan menggunakan pesawat simulator menghasilkan citra radiografi, dimana citra yang dihasilkan berfungsi untuk menampilkan target atau tumor yang akan disinari dan organ-organ sehat yang harus dilindungi ketika dilakukan terapi radiasi.

Half Value Layer (HVL)

Half Value Layer (HVL) merupakan filter dengan ketebalan tertentu untuk mengurangi intensitas radiasi sinar-X menjadi setengah dari intensitas awal [1,2]. Semakin besar nilai HVL maka semakin besar daya tembus sinar-X, begitu pula sebaliknya [4,5]. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik, aluminium dengan tipe 1100 merupakan filter yang

direkomendasikan dalam uji HVL [6]. Aluminium digunakan sebagai filter karena mempunyai tingkat penyerapan yang sesuai untuk sinar-X [1].

Pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik, nilai HVL dapat dihitung melalui pendekatan rumus [6]:

$$HVL = \frac{t_b \ln(2D_a/D_0) + t_a \ln(2D_b/D_0)}{\ln(D_a/D_b)} \quad (1)$$

Keterangan:

HVL = Ketebalan suatu filter yang mampu menghasilkan $D_0/2$ (mAl)

D_0 = Nilai dosis serap mula-mula (mGy)

$D_0/2$ = Nilai setengah dosis serap mula-mula (mGy)

D_a = Nilai dosis serap di atas $D_0/2$ (mGy)

D_b = Nilai dosis serap di bawah $D_0/2$ (mGy)

t_a = Tebal filter yang menghasilkan nilai D_a (mmAl)

t_b = Tebal filter yang menghasilkan nilai D_b (mmAl)

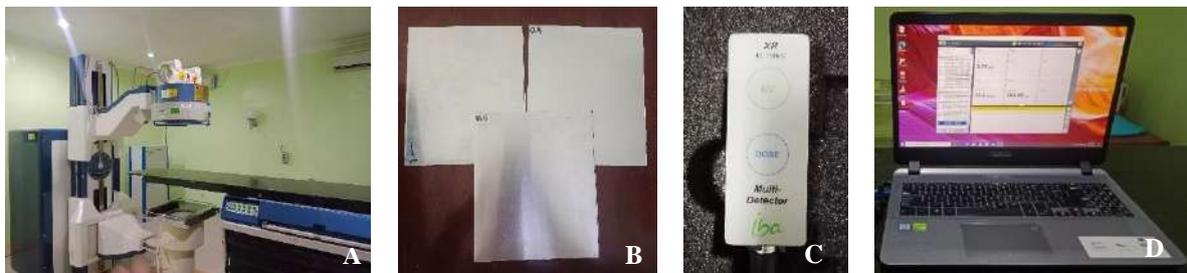
Batas nilai HVL diatur pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik. Batas nilai minimum HVL diperlihatkan pada Tabel 1 [6].

Tabel 1. Batas nilai minimum HVL

Tegangan Tabung (kV)	70	80	90	100	110	120	130	140	150
HVL (mmAl)	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1

Metodologi

Penelitian dilakukan pada pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 yang terdapat di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah dari tanggal 24 Januari-24 Februari 2023. Alat-alat yang digunakan yaitu pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14, filter aluminium dengan ketebalan 0,500 mm sebanyak empat buah dan 1,000 mm sebanyak dua buah, multimeter merk Iba dan *multidetector* XR, laptop yang ter-*install software MagicMax*, dan lakban kertas kuning. Alat-alat tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 (A), Filter aluminium (B), *Multidetector* XR (C), dan Laptop yang ter-*install software MagicMax* (D)

Dilakukan persiapan alat kemudian pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 dinyalakan dan dilakukan prosedur *warming up* dengan posisi *gantry* dan kolimator diatur pada sudut 0°. Jarak penyinaran atau *source skin distance* (SSD) diatur pada jarak 80 cm. Luas lapangan penyinaran sebesar 10 cm×10 cm.

Multidetector XR diletakkan di atas meja pemeriksaan tepat di tengah lapangan penyinaran tegak lurus terhadap kolimator dan dihubungkan ke laptop yang ter-*install software MagicMax*. Dilakukan pengaturan tegangan tabung sebesar 70, 80, dan 90 kV dengan arus waktu tabung sebesar 20 mAs. Variasi tegangan tabung tersebut berdasarkan tegangan tabung yang sering digunakan di dalam penyinaran. Selanjutnya dilakukan dua tahap pengukuran yakni pengukuran tanpa menggunakan filter aluminium dan pengukuran menggunakan filter aluminium.

Pada tahap pengukuran tanpa menggunakan filter aluminium dilakukan ekspose/penyinaran dan dosis serap yang terukur oleh *multidetector* XR dicatat. Pada tahap pengukuran menggunakan filter aluminium, filter aluminium dengan ketebalan 1,500 mm dilekatkan di bawah kolimator dengan lakban kertas kuning dan dilakukan penyinaran. Dosis serap yang terukur oleh *multidetector* XR dicatat. Pengukuran tersebut dilakukan kembali dengan variasi ketebalan filter yang bertambah 0,500 mm hingga 4,000 mm. Kedua tahap pengukuran tersebut dilakukan kembali pada tegangan tabung 80 kV dan 90 kV dan pada setiap tegangan tabung dilakukan pengulangan sebanyak lima kali.

Pada analisis data, hasil pengukuran tanpa menggunakan filter aluminium berupa nilai dosis serap mula-mula (D_0) dirata-ratakan kemudian dihitung untuk memperoleh nilai setengah dosis serap mula-mula ($D_0/2$). Nilai $D_0/2$ digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai dosis serap di atas $D_0/2$ (D_a) dan nilai dosis serap di bawah $D_0/2$ (D_b). Dosis serap hasil pengukuran menggunakan filter aluminium dirata-ratakan kemudian dilakukan perhitungan nilai HVL berdasarkan (1) untuk pasangan filter aluminium t_a dan t_b yang memiliki selisih ketebalan 1,500 mmAl pada setiap variasi tegangan tabung. Nilai HVL yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL pada setiap variasi tegangan tabung untuk mengetahui apakah nilai tersebut sudah memenuhi batas nilai HVL yang telah diatur pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik.

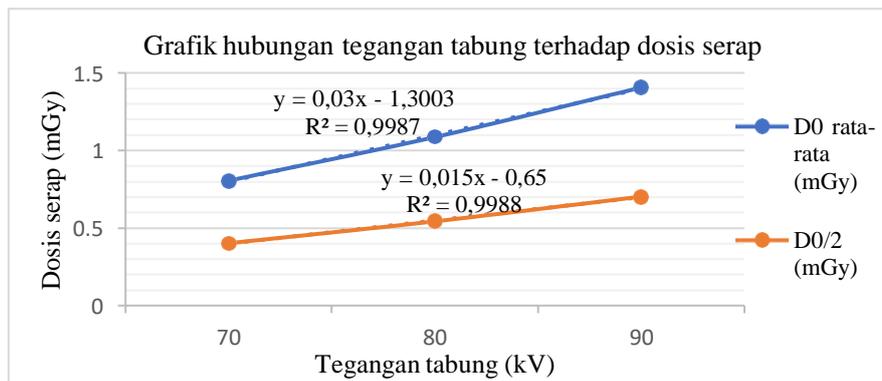
Hasil dan Pembahasan

Dari pengukuran tanpa menggunakan filter aluminium diperoleh nilai dosis serap mula-mula (D_0) dan nilai setengah dosis serap mula-mula ($D_0/2$) yang diperlihatkan pada Tabel 2. Nilai $D_0/2$ merupakan acuan jika nilai HVL suatu filter mampu mengurangi intensitas radiasi sinar-X menjadi setengahnya, di mana nilai ini setara dengan nilai $D_0/2$ [2].

Tabel 2. Data nilai dosis serap mula-mula (D_0) dan nilai setengah dosis serap mula-mula ($D_0/2$)

Tegangan (kV)	Arus Waktu (mAs)	D_0 (mGy)					D_0 rata-rata (mGy)	$D_0/2$ (mGy)
		1	2	3	4	5		
70	20	0,807	0,805	0,806	0,807	0,807	0,806	0,403
80		1,088	1,087	1,089	1,086	1,086	1,087	0,544
90		1,405	1,404	1,405	1,409	1,407	1,406	0,703

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 didapatkan grafik hubungan tegangan tabung terhadap D_0 dan $D_0/2$ yang diperlihatkan pada Gambar 2, di mana terlihat bahwa nilai D_0 dan $D_0/2$ meningkat seiring peningkatan tegangan tabung. Semakin tinggi tegangan tabung, maka semakin besar energi sinar-X yang dihasilkan sehingga meningkatkan kemampuan daya tembus bahan atau jaringan yang pada akhirnya meningkatkan dosis serap pada jaringan yang lebih dalam.



Gambar 2. Grafik hubungan tegangan tabung terhadap D₀ dan D₀/2

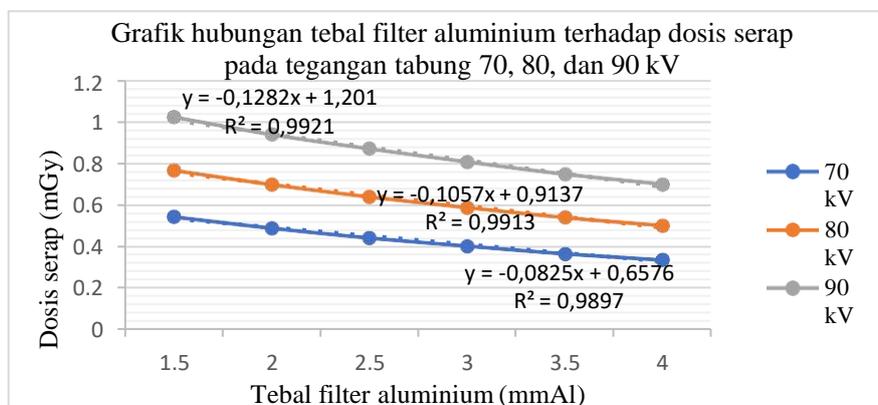
Dari pengukuran menggunakan filter aluminium diperoleh nilai dosis serap (D) untuk tegangan tabung 70, 80, dan 90 kV diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data tebal filter aluminium dan nilai dosis serap (D) pada tegangan tabung 70, 80, dan 90 kV

Tegangan (kV)	Arus Waktu (mAs)	Dosis rata-rata pada tebal filter aluminium (mGy)					
		1,500 mmAl	2,000 mmAl	2,500 mmAl	3,000 mmAl	3,500 mmAl	4,000 mmAl
70	20	0,544	0,490	0,443	0,404	0,367	0,337
80		0,767	0,699	0,640	0,589	0,541	0,502
90		1,023	0,939	0,871	0,808	0,749	0,701

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3 didapatkan grafik hubungan tebal filter aluminium terhadap dosis serap pada tegangan tabung 70, 80, dan 90 kV yang terlihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa dosis serap menurun seiring peningkatan tebal filter aluminium. Hal ini disebabkan karena sinar-X teratenuasi oleh filter aluminium.

Apabila sinar-X berinteraksi dengan filter, maka radiasi tersebut tidak diserap seluruhnya oleh filter, tetapi mengalami atenuasi atau pengurangan intensitas. Atenuasi sinar-X dipengaruhi oleh jenis filter dan ketebalan filter. Setiap jenis filter memiliki kerapatan yang berbeda-beda sehingga akan berpengaruh terhadap tingkat penyerapan berkas radiasi. Semakin tinggi kerapatan, maka semakin tinggi tingkat penyerapan radiasi. Semakin tebal filter, maka semakin besar penyerapannya. Hal tersebut karena setiap lapisan materi akan berinteraksi dengan radiasi dan secara kumulatif mengurangi intensitasnya.



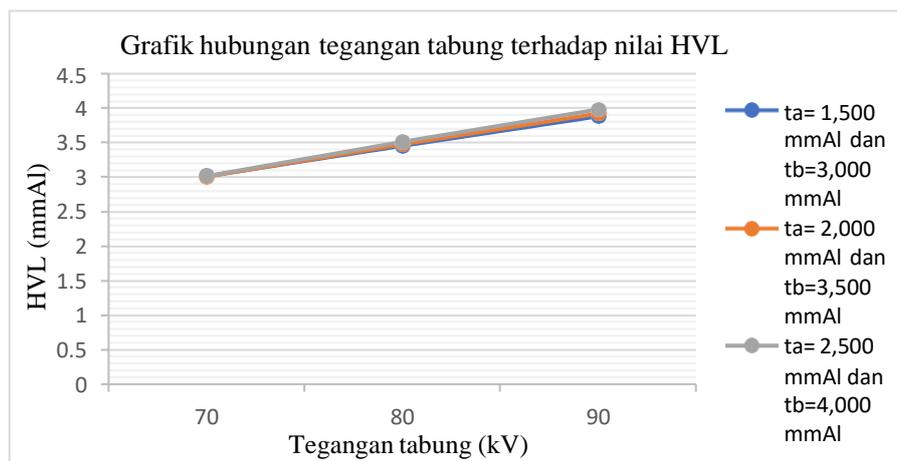
Gambar 3. Grafik hubungan tebal filter aluminium terhadap dosis serap pada tegangan tabung 70, 80, dan 90 kV

Dari hasil pengukuran tanpa menggunakan filter aluminium dan pengukuran menggunakan filter aluminium, diperoleh hasil perhitungan nilai *Half Value Layer* (HVL) untuk pasangan filter aluminium t_a dan t_b yang memiliki selisih ketebalan 1,500 mmAl dan batas nilai minimum HVL yang diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil perhitungan nilai HVL dan batas nilai minimum HVL

Tegangan (kV)	D_0 rata-rata (mGy)	$D_0/2$ (mGy)	t_a (mmAl)	D_a (mGy)	t_b (mmAl)	D_b (mGy)	HVL (mmAl)	Batas nilai minimum HVL (mmAl)
70	0,806	0,403	1,500	0,544	3,000	0,404	3,015	2,1
			2,000	0,490	3,500	0,367	3,008	
			2,500	0,443	4,000	0,337	3,017	
80	1,087	0,544	1,500	0,767	3,000	0,589	3,455	2,3
			2,000	0,699	3,500	0,541	3,477	
			2,500	0,640	4,000	0,502	3,512	
90	1,406	0,703	1,500	1,023	3,000	0,808	3,882	2,5
			2,000	0,939	3,500	0,749	3,922	
			2,500	0,871	4,000	0,701	3,982	

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4, didapatkan grafik hubungan tegangan tabung terhadap nilai HVL berdasarkan pasangan filter aluminium t_a dan t_b yang memiliki selisih ketebalan 1,500 mmAl pada setiap tegangan tabung yang terlihat pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan nilai HVL meningkat seiring peningkatan tegangan tabung.



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan tabung terhadap nilai HVL berdasarkan pasangan filter aluminium t_a dan t_b dengan selisih ketebalan 1,500 mmAl

Dari Tabel 4, dalam menghitung nilai HVL harus terpenuhi jika nilai D_a yang diperoleh di atas $D_0/2$ dan nilai D_b yang diperoleh di bawah $D_0/2$. Pada tegangan tabung 70 kV, nilai HVL untuk pasangan filter t_a setebal 1,500 mmAl dan t_b setebal 3,000 mmAl sebesar 3,015 mmAl. Namun, karena nilai D_b yang diperoleh di atas nilai $D_0/2$ maka nilai HVL tersebut tidak dapat dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL. Pada pasangan filter t_a setebal 2,000 mmAl dan t_b setebal 3,500 mmAl nilai HVL sebesar 3,008 mmAl serta pada pasangan filter t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl nilai HVL sebesar 3,017 mmAl. Kedua nilai HVL lebih besar jika dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL yaitu 2,1 mmAl.

Pada tegangan tabung 80 kV, nilai HVL untuk pasangan filter t_a setebal 1,500 mmAl dan t_b setebal 3,000 mmAl sebesar 3,455 mmAl. Namun, karena nilai D_b yang diperoleh di atas nilai $D_0/2$ maka nilai HVL tersebut tidak dapat dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL. Pada pasangan filter t_a setebal 2,000 mmAl dan t_b setebal 3,500 mmAl nilai HVL sebesar 3,477 mmAl serta pada pasangan filter t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl nilai HVL sebesar 3,512 mmAl. Kedua nilai HVL lebih besar jika dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL yaitu 2,3 mmAl.

Pada tegangan tabung 90 kV, nilai HVL untuk pasangan filter ta setebal 1,500 mmAl dan tb setebal 3,000 mmAl sebesar 3,882 mmAl serta pasangan filter aluminium ta setebal 2,000 mmAl dan tb setebal 3,500 mmAl sebesar 3,922 mmAl. Kedua nilai HVL tersebut tidak dapat dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL karena nilai Db yang diperoleh di atas D0/2. Untuk pasangan filter aluminium ta setebal 2,500 mmAl dan tb setebal 4,000 mmAl nilai HVL sebesar 3,982 mmAl, dimana nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan batas nilai minimum HVL yaitu 2,5 mmAl.

Dari Gambar 4 nilai HVL yang diperoleh meningkat seiring peningkatan tegangan tabung. Hal tersebut disebabkan karena peningkatan tegangan tabung menentukan beda potensial antara katoda dan anoda yang menyebabkan loncatan elektron dan mempercepat pergerakan elektron dari katoda menumbuk anoda. Semakin cepat pergerakan elektron dari katoda menumbuk anoda, maka semakin besar energi sinar-X yang dihasilkan sehingga daya tembus sinar-X meningkat. Peningkatan daya tembus sinar-X menyebabkan nilai HVL semakin meningkat [1].

Nilai HVL yang diperoleh lebih besar dari batas nilai minimum HVL, yang berarti daya tembus atau kemampuan penetrasi sinar-X pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 sangat besar. Hal ini dibuktikan dari tebal filter yang dibutuhkan untuk memperoleh setengah dari intensitas awal lebih tebal dibandingkan tebal filter minimum yang ditetapkan. Dari hasil perbandingan nilai HVL dapat dinyatakan kendali mutu (*Quality Control*) generator pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 dengan metode HVL aluminium yang digunakan di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah sudah memenuhi Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik.

Kesimpulan

Diperoleh nilai HVL pada tegangan tabung 70 kV untuk pasangan filter aluminium t_a setebal 2,000 mmAl dan t_b setebal 3,500 mmAl sebesar 3,008 mmAl serta pasangan filter aluminium t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl sebesar 3,017 mmAl. Pada tegangan tabung 80 kV nilai HVL untuk pasangan filter aluminium t_a setebal 2,000 mmAl dan t_b setebal 3,500 mmAl sebesar 3,477 mmAl serta pasangan filter aluminium t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl sebesar 3,512 mmAl. Pada tegangan tabung 90 kV untuk pasangan filter aluminium t_a setebal 2,500 mmAl dan t_b setebal 4,000 mmAl nilai HVL yang diperoleh sebesar 3,982 mmAl. Dari nilai HVL tersebut dapat dinyatakan hasil kendali mutu (*Quality Control*) generator pesawat sinar-X simulator Varian Rad-14 dengan metode HVL aluminium yang digunakan di Sub Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah sudah memenuhi Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik.

Daftar Pustaka

- [1] Yulianti N. P. P., Sutapa G. N., Astina K. Y. (2023). Uji Kesesuaian Kualitas Berkas Sinar-X Menggunakan Half Value Layer (HVL) Filter Aluminium Pada Pesawat Sinar-X Stationary Di Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali. *Buletin Fisika*. 24(1):27-31.
- [2] Mutmainna A., Astuty S. D., Dewang S., Mulyadin. (2020). Uji Kesesuaian Standar Nilai HVL Filter Aluminium Pada Pesawat Sinar-X Mammografi: Studi Di Ruang Instalasi Radiologi RS. Siloam Makassar. *Berkala Fisika*. 23:17-25.
- [3] Fitriyani F., Suharyana, Muhtarom, Riyatun. (2017). Pengaruh Focus Film Distance Terhadap Kesesuaian Berkas Radiasi Pada Pesawat X-Ray Simulator Di Instalasi Radioterapi RSUD Dr. Moewardi Surakarta. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*. 151-154.
- [4] Litasova S., Hidayanto E., Azam M. (2018). Pengaruh Ketebalan dan Kombinasi Jenis Filter Terhadap Nilai *Entrance Skin Exposure* (ESE) Menggunakan *Factor* Eksposi Pemeriksaan Kepala. *Youngster Physics Journal*. 07(2):67-75.
- [5] Pamungkas O. D. dkk. (2020). Optimalisasi Penggunaan Variasi Filter Pada Pesawat Sinar-X

- Mobile Guna Mencapai *Entrance Skin Exposure* (ESE) Sesuai Organ Pemeriksaan. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*. 177-182.
- [6] Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2019). Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiagnostik. *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009*. 19-21.



Alamat Redaksi

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIB)
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
Gedung B Lantai V
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120