

ISSN: 1412-3258



# PROSIDING

## SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024

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

**20 AGUSTUS 2024**

**KAMPUS INSTITUT TEKNOLOGI PLN**

**JAKARTA**







# SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024

**“Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Teknologi Nuklir untuk Mendukung Energi Rendah Karbon serta Memajukan Kesehatan dan Kesejahteraan Masyarakat”**

Jakarta, 20 Agustus 2024

*Diselenggarakan oleh*

**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat 10120

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

[www.bapeten.go.id](http://www.bapeten.go.id)

*Berkolaborasi dengan*

**Institut Teknologi PLN**

Jl. Lingkar Luar Barat Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat 11750

Telp. (021) 5440342, 5440344, Fax. (021) 5440343

[www.itpln.ac.id](http://www.itpln.ac.id)





# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## 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 2024 dapat diselenggarakan. SKN 2024 diselenggarakan oleh BAPETEN bekerja sama dengan Institut Teknologi PLN. SKN merupakan kegiatan tahunan BAPETEN dan telah berlangsung pada tanggal 20 Agustus 2024 secara luring di Kampus Institut Teknologi PLN, Jakarta, serta secara daring melalui ruang virtual Zoom dan Youtube. BAPETEN mengangkat tema SKN 2024: **“Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Sumber Radiasi Pengion 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 2024. 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 2024 sehingga tahun ini banyak sekali makalah yang masuk yakni terdaftar 58 makalah. Selanjutnya berdasarkan hasil revidi oleh tim perevidi yang berasal dari BAPETEN, BRIN, UGM, dan IT PLN, terpilih 50 makalah, dengan 32 makalah disajikan dalam presentasi oral dan 18 makalah disajikan dalam bentuk poster. Dari 50 makalah yang lolos, terpilih pula 9 makalah yang didaftarkan ke Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir (JUPETEN), 4 makalah didaftarkan ke Jurnal ITPLN, 7 makalah akan didaftarkan ke *AIP Conference Proceedings* dan 7 makalah tidak dipublikasikan atas permintaan penulis sehingga jumlah makalah yang diterbitkan adalah 43 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 2024 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 Kampus Institut Teknologi PLN atas kerja sama yang baik dan upaya yang maksimal untuk menyukseskan acara SKN 2024.

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 2024



## REKOMENDASI TEKNIS SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024

**TEMA: PENINGKATAN KESELAMATAN DAN KEAMANAN TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK Mendukung Energi Rendah Karbon Serta Memajukan Kesehatan dan Kesejahteraan Masyarakat**

Seminar Keselamatan Nuklir 2024 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. Transisi Energi Terbarukan:**

Pengembangan teknologi energi terbarukan, seperti surya, mikrohidro, angin, dan nuklir, perlu ditingkatkan guna mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan memenuhi target ketahanan energi nasional. Pemanfaatan sumber energi terbarukan juga harus difasilitasi melalui kebijakan yang mendorong inovasi dan investasi di sektor ini.

**2. Penguatan Kompetensi SDM di Bidang 3S (Keselamatan, Keamanan, dan Garda Aman):**

Pengembangan kompetensi sumber daya manusia di bidang keselamatan, keamanan, dan garda aman (3S) harus dilakukan secara berkelanjutan di berbagai kementerian dan lembaga terkait untuk memastikan penerapan standar yang komprehensif dan konsisten.

**3. Pembentukan NEPIO (*Nuclear Energy Programme Implementing Organization/ NEPIO*):**

Implementing Organization/NEPIO) perlu segera dibentuk untuk memfasilitasi koordinasi antar-lembaga, serta menyusun dan mengimplementasikan roadmap pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia.

**4. Koordinasi Pengawasan Radiofarmaka:**

Koordinasi lintas institusi, khususnya antara BAPETEN dan BPOM, sangat penting dalam pengawasan produksi radiofarmaka, dengan fokus pada pemenuhan aspek keamanan, kualitas, dan regulasi Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB).

**5. Pengembangan Regulasi Keamanan Siber di Instalasi Nuklir:**

Regulasi keamanan siber yang berbasis risiko dan kinerja perlu diterapkan di seluruh instalasi nuklir, dengan pedoman umum yang mengakomodasi berbagai teknologi dan program, serta kebijakan organisasi yang memastikan kepatuhan terhadap regulasi keamanan nuklir.

**6. Implementasi *Cyber-Informed Engineering (CIE)*:**

Prinsip keteknikan berbasis keamanan siber (CIE) harus diadopsi dalam desain dan operasi fasilitas nuklir untuk memitigasi risiko serangan siber secara efektif sejak tahap perencanaan.

**7. Panduan dan Pelatihan Keamanan Siber:**

Badan pengawas perlu mengembangkan panduan teknis yang komprehensif dan menyelenggarakan program pelatihan berkelanjutan untuk meningkatkan kesadaran keamanan siber di kalangan insinyur dan teknisi nuklir.

**8. Pemetaan Sosial untuk Percepatan PLTN:**

Pemetaan sosial yang mendalam perlu dilakukan untuk memahami dan mengelola persepsi masyarakat terkait pembangunan PLTN. Pemetaan ini akan membantu dalam merancang strategi komunikasi yang efektif dan meningkatkan penerimaan publik.

**9. Peningkatan Regulasi dan Prosedur Inspeksi Vendor**

Regulasi inspeksi vendor harus disusun secara mendetail untuk memastikan bahwa seluruh vendor yang menyediakan produk dan layanan untuk instalasi nuklir mematuhi standar keselamatan dan kualitas yang ditetapkan.

**10. Optimalisasi Dosis Radiasi Medik:**

Program pengawasan berbasis kinerja dan penilaian budaya keselamatan perlu diterapkan untuk mengoptimalkan dosis paparan radiasi medik di radiologi diagnostik, termasuk pengembangan panduan Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) yang disesuaikan dengan kondisi lokal.

**11. Kajian dan Regulasi Penggunaan Radiasi Pengan Portabel:**

Penggunaan perangkat radiasi pengan portabel, seperti perangkat X-Ray gigi, harus dikaji secara mendalam untuk menetapkan regulasi yang menjamin keamanan penggunaan, sekaligus memanfaatkan kepraktisan teknologi ini dalam layanan kesehatan.

**12. Pengembangan Threat Assessment dan Design Basis Threat:**

Perlu dilakukan pengembangan threat assessment dan Design Basis Threat (DBT) yang lebih spesifik untuk instalasi nuklir, dengan melibatkan koordinasi lintas instansi guna memperoleh data ancaman yang lebih valid dan dapat diandalkan.

**13. Pemantauan Kontaminasi Produk Pangan Pascakejadian Fukushima:**

Program pemantauan dan kajian kontaminasi produk pangan yang berasal dari Jepang perlu terus dilaksanakan untuk memastikan bahwa produk tersebut aman untuk dikonsumsi pasca-kejadian Fukushima.

**14. Pengembangan Basis Data Dekomisioning:**

Basis data dekomisioning berbasis web yang mampu menyesuaikan dengan kondisi khusus di Indonesia perlu dikembangkan, sehingga data dekomisioning dapat diakses secara real-time oleh berbagai pihak yang berkepentingan.

**15. Peningkatan Budaya Keselamatan Nuklir melalui Budaya Lokal:**

Konsep ketidaksadaran kolektif (*collective unconsciousness*) harus diintegrasikan dalam pengembangan atribut budaya keselamatan nuklir, dengan memanfaatkan elemen budaya lokal yang relevan untuk memperkuat implementasi keselamatan di instalasi nuklir.

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.

Jakarta, 20 Agustus 2024

**Haendra Subekti, S.T.,M.T.**

Deputi Bidang Pengkajian Keselamatan Nuklir



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## DEWAN REDAKSI

- Pengarah** : Ir. Sugeng Sumbarjo, M.Eng  
Haendra Subekti, S.T., M.T.  
Ir. Zainal Arifin, M.T  
Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M K, MT, IPU, ASEAN.Eng  
Dr. Ir. M. Ahsin Sidqi, M.M., IPU., ASEAN.Eng., QRGF
- Penanggung Jawab** : Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng
- Ketua** : Petit Wiringgalih, B.Sc., M.Sc., Ph.D.
- Sekretariat** : Andi Makkulau, M.I.Kom. M.T.  
Decky Dendy Dharmaperwira, S.Mat.  
Riki Ruli A. Siregar, S.Kom., M.Kom., MT  
Rahma Farah Ningrum, S. Kom., M.Kom.  
Rr. Mekar Kinasti, ST., M.T.  
Nurul Hidayah, S.IPust.  
Angga Saputra, S.T.  
Farhan Ali Hidayah, S.T  
Dewi Novitasari, S.ST.  
Imron, S.T., M.T.
- Pereviu** : Ir. Sugeng Sumbarjo, M.Eng. (BAPETEN)  
Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng. (BAPETEN)  
Dr. Ir. Khoirul Huda, M. Eng. (BAPETEN)  
Dr. Diah Hidayanti Soekarno, S.T., M.T (BAPETEN)  
Dr. Lilis Susanti Setianingsih, M.S (BAPETEN)  
Dra. Dahlia Cakrawati Sinaga, M.T. (BAPETEN)  
Dra. Leily Savitri (BAPETEN)  
Petit Wiringgalih, B.Sc., M.Sc., Ph.D. (BAPETEN)  
Drs. Reno Alamsyah, M.S. (BAPETEN)  
Prof. Ir. Syamsir Abduh, MM, Ph.D., IPU, ASEAN Eng. (IT PLN)  
Dr. Puji Catur Siswipraptini, S.Kom., M.Kom (IT PLN)  
Rosida Nur Aziza, ST., M.EngStud (IT PLN)  
Dr. Ing. Sihana (UGM)  
Ir. D.T. Sony Tjahyani, M.T. (BRIN)
- Alamat Redaksi** : Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN)  
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)  
Gedung B Lantai 5, Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat 10120  
E-mail : seminar@bapeten.go.id



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
REKOMENDASI TEKNIS .....	iii
DEWAN REDAKSI .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
IDENTIFIKASI RUANG LINGKUP DAN STUDI KOMPARASI PRAKTIK PENYUSUNAN KEBIJAKAN CALON TAPAK OLEH BADAN PENGAWAS <i>Muhammad Rifqi Harahap dkk.</i> .....	1
ANALISIS DOSIS RADIASI PADA PEMERIKSAAN THORAX PEDIATRIK MENGUNAKAN DIGITAL RADIOGRAPHY DI RUMAH SAKIT UMUM DAERAH KOJA <i>Alifia Rafika Putri dan Oktarina Damayanti</i> .....	9
TINJAUAN AWAL KESELAMATAN RADIASI PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X GIGI GENGAM <i>Titik Kartika dkk.</i> .....	16
TINJAUAN PENGAWASAN PANGAN TERKONTAMINASI ZAT RADIOAKTIF DI INDONESIA PASCA KECELAKAAN FUKUSHIMA <i>Ratri Nuraini dkk.</i> .....	26
ESTIMASI PAPARAN RADIASI NEUTRON SELAMA KALIBRASI <i>SURVEYMETER</i> <i>NEUTRON</i> DALAM BUNKER SINETJA MENGGUNAKAN SIMULASI PHITS VERSI 3.17 <i>Krisna Dwi Cahyanto dkk.</i> .....	34
PERANCANGAN <i>USER INTERFACE</i> APLIKASI <i>SMARTPHONE</i> SISTEM PEMANTAUAN ENERGI NUKLIR PEMERINTAH MENGGUNAKAN <i>USER</i> <i>CENTERED DESIGN</i> , STUDI KASUS: BAPETEN B@LIS – SMILE <i>Adrian Navis Sulizsetyo</i> .....	41
TAHAP PROSES PENGEMBANGAN INDIKATOR KINERJA KESELAMATAN <i>Liliana Yetta Pandi dkk.</i> .....	51
PENGUATAN BUDAYA KESELAMATAN NUKLIR MELALUI BUDAYA LOKAL JAWA DENGAN PENDEKATAN KETIDAKSADARAN KOLEKTIF JUNG <i>Djoko Hari Nugroho dkk.</i> .....	59
REMOTELY OPERATED VEHICLE (ROV) VIDEORAY PRO-4 OPERATION TEST IN THE RSG-GAS REACTOR POOL FOR VISUAL INSPECTION ACTIVITIES IN THE APPLICATION OF AGING MANAGEMENT <i>Abdul Aziz dkk.</i> .....	69
PENGEMBANGAN FORMAT DAN ISI DOKUMEN PROGRAM KEAMANAN ZAT RADIOAKTIF <i>Nanang Triagung Edi Hermawan</i> .....	78

PRAPENGOLAHAN LIMBAH ZAT RADIOAKTIF PADA KAMPUS POLITEKNIK TEKNOLOGI NUKLIR INDONESIA <i>Diajeng Susanti Putry dan Giyatmi</i> .....	88
TINJAUAN ZAT RADIOAKTIF YANG SERING DIGUNAKAN UNTUK RADIO SINOVETOMI MENGGUNAKAN NANOMATERIAL SILIKA DAN ASPEK KESELAMATANNYA <i>Dewi Novitasari dkk.</i> .....	94
STUDI LAPORAN ANALISIS KESELAMATAN REAKTOR DAYA TERAPUNG <i>Liliana Yetta Pandi dkk.</i> .....	103
KINETIKA ADSORPSI URANIUM SULFAT MENGGUNAKAN RESIN ANION <i>Dwi Luhur Ibnu Saputra dkk.</i> .....	115
SIMULASI EFISIENSI KALIBRASI <i>STACK MONITOR</i> <sup>18</sup> F DENGAN PHITS <i>Rasito Tursinah dkk.</i> .....	123
SIMULASI EFISIENSI SPEKTROMETER GAMMA PORTABEL UNTUK PENGUKURAN LEPASAN GAS <sup>131</sup> I <i>Rasito Tursinah dkk.</i> .....	128
TINJAUAN PENGARUH <i>SAFETY INDUCTION</i> DAN <i>TOOL BOX MEETING</i> TERHADAP <i>SAFETY AWARENESS</i> DAN BUDAYA KESELAMATAN <i>Adam Wibuana Ananggadiva</i> .....	133
FACTORS THAT CAUSED ARTIFACTS ON SOFT COPIES RADIOGRAPH RESULT OF COMPUTED RADIOGRAPHY AT RSA UGM YOGYAKARTA <i>Penina et al.</i> .....	142
PENGARUH VARIASI TEGANGAN TABUNG PADA PESAWAT SINAR-X DI RS ISLAM YOGYAKARTA PDHI TERHADAP KUALITAS RADIOGRAF <i>Ardian Eka Nugraha dkk.</i> .....	148
DEVELOPMENT OF NUCLEAR SECURITY DETECTION ARCHITECTURE PROGRAM IMPLEMENTATION IN INDONESIA <i>EH. Riyadi et al.</i> .....	155
OPTIMISME POTENSI PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR DALAM Mendukung TARGET NOL EMISI KARBON ( <i>NET ZERO EMISSION/NZE</i> ) <i>Hermawan Puji Yuwana</i> .....	164
TINJAUAN TERHADAP PROSES PENYEMPURNAAN KLASIFIKASI BAKU LAPANGAN USAHA INDONESIA 2020 DALAM Mendukung PENGAWASAN SEKTOR KETENAGANUKLIRAN <i>Hermawan Puji Yuwana</i> .....	173
PENGEMBANGAN SISTEM PEMBACAAN DAN PEREKAMAN DATA RADIASI BERBASIS <i>INTERNET OF THINGS</i> (IOT) DAN TEKNOLOGI OCR PADA IT-09 DATA PANEL <i>Simon Prananta Barus dkk.</i> .....	183



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Identifikasi Ruang Lingkup dan Studi Komparasi Praktik Penyusunan Kebijakan Calon Tapak oleh Badan Pengawas

Muhammad Rifqi Harahap, Imron, Bintoro Aji

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

Korespondensi penulis:  
m.harahap@bapeten.go.id

### Abstrak

Pengkajian Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR) pada proses perizinan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) berbasis *Online Single Submission* (OSS) berdasarkan UU No 6 Tahun 2023 dan PP No 5 Tahun 2021 membutuhkan tercantumnya pola ruang pemanfaatan PLTN ke dalam Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) di tingkat Nasional. BAPETEN selaku badan pengawas dalam hal ini tidak memiliki tugas terkait penyusunan RTRW PLTN dan KSN PTN. Pada penerapannya, belum ada Lembaga yang bertugas dalam menyusun kedua dokumen tersebut, Praktik saat ini untuk pembentukan Proyek Strategis Nasional (PSN) Pembangunan pembangkit konvensional masih diusulkan kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.. Karena itu, BAPETEN berinisiatif untuk dapat mengkoordinasikan penyusunan kedua dokumen kebijakan tersebut. Oleh sebab itui, untuk melakukan peran ini perlu dilakukan studi komparasi terkait kelaziman bagi Badan Pengawas untuk menyusun kebijakan terkait calon tapak PLTN serta identifikasi lingkup rekomendasi kebijakan. Studi ini dilakukan dengan melakukan analisis dan komparasi praktik lazim terkait penentuan calon tapak sesuai dengan standar IAEA serta praktik lazim yang dilakukan oleh badan pengawas di negara lain. Melalui komparasi yang dilakukan, penyusunan kebijakan calon tapak tidak lazim dilakukan oleh badan pengawas, melainkan oleh pemerintah atau otoritas yang bertanggung jawab terkait program tersebut. BAPETEN di sisi lain dapat menyusun rekomendasi kebijakan calon tapak PLTN yang melakukan evaluasi dan analisis calon tapak potensial PLTN dengan melakukan evaluasi regional terhadap aspek biogeofisika, aspek sosioekonomi dan politik, serta aspek kebencanaan dan kejadian ekstrim.

**Kata Kunci:** PLTN, calon tapak PLTN, rekomendasi kebijakan, peran badan pengawas

### Abstract

*The submission of activity conformity of spatial usage in the Nuclear Power Plant (NPP) licensing process with the Online Single Submission (OSS) system, based on Indonesia Law No. 6 of 2023 and Government Regulation No. 5 of 2021, requires the NPP to be stated in the National Spatial Plan. BAPETEN, as the regulatory body, does not have the authority to formulate the NPP in the National Spatial Plan and as a National Strategic Area. In reality, there is no other government body given the authority to formulate these policies. The current practice for establishing a National Strategic Project (PSN) for the construction of conventional power plants is still being proposed by the Ministry of Energy and Mineral Resources. Therefore, BAPETEN initiates to coordinate the formulation of these policies. Therefore, to carry out this role, a comparative study needs to be performed regarding how common the regulatory body role is in formulating the policy of potential site candidates for NPP, along with identifying the scope of the policy recommendation. This study is performed by comparing and analyzing common practices according to IAEA standards and other countries' regulatory bodies. From this comparison, it is evident that it is not common practice for a regulatory body to formulate policy regarding NPP site candidates. Rather, it is the government and its authorities that are responsible for overseeing the nuclear power program. BAPETEN can still be involved in the process by formulating a policy recommendation for NPP potential sites. This policy recommendation is formulated by analyzing and evaluating potential NPP sites with*

*regional evaluation against bio-geophysical aspects, socio-economic and political aspects, and disaster and extreme events aspects.*

**Keywords:** *NPP, NPP site candidates, Policy Recommendation, Regulatory Body Role.*

## Pendahuluan

Permasalahan penerapan alur perizinan pembangunan PLTN berbasis *Online Single Submission* (OSS) berdasarkan UU No 6 Tahun 2023 dan PP No 5 Tahun 2021 terdapat pada tahap awal pengajuan KKPR pada persyaratan dasar perizinan berusaha berbasis risiko. Pengajuan KKPR membutuhkan tercantumnya pola ruang pemanfaatan PLTN ke dalam Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) di tingkat Nasional, Provinsi, serta Kabupaten/Kota. PLTN sendiri termasuk dalam nomenklatur Kawasan Strategis Nasional (KSN) untuk kawasan strategis pendayagunaan sumber daya alam dan/atau teknologi tinggi sesuai dengan Undang Undang Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang [1–3].

IAEA melalui Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Follow-Up Mission to Indonesia pada tahun 2019 memberikan rekomendasi terkait dengan survei tapak dan pemilihan calon tapak. Pemerintah Indonesia dalam hal ini sebaiknya mempertimbangkan identifikasi tapak potensial dan melakukan pemilihan calon tapak untuk proyek PLTN di masa depan berdasarkan perangkat kriteria dan reviu yang diterbitkan oleh badan pengawas. Sehingga nantinya calon tapak ini dapat masuk ke dalam RTRW Nasional sebagai KSN PLTN [4].

Wewenang penyusunan KSN PLTN dalam hal ini dilimpahkan pada kementerian atau lembaga pemerintah yang mengampu Kebijakan, Rencana, dan Program (KRP) PLTN. Lembaga Pemerintah yang idealnya mengampu KRP PLTN dalam hal ini adalah Pemerintah Daerah, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, PT PLN (Persero), serta Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). BAPETEN selaku badan pengawas dalam hal ini tidak memiliki KRP terkait dengan pembangunan PLTN [5].

Namun, dalam perkembangannya belum ada K/L yang mengampu KRP tersebut. Selain itu Kementerian ESDM dan PT PLN belum memiliki sumber daya dan kompetensi yang dibutuhkan dalam menyusun KSN PLTN atau memasukan calon tapak PLTN dalam RUPTL. Dengan keterbatasan ini, BAPETEN perlu memberikan rekomendasi kebijakan dalam hal penentuan calon tapak PLTN. Hal ini dikarenakan BAPETEN menjadi satu-satunya lembaga pemerintah yang memiliki kompetensi dan fungsi untuk memberikan rekomendasi calon tapak untuk mendukung penyusunan KSN PLTN.

Namun untuk melakukan peran ini perlu dilakukan komparasi apakah cukup lazim bagi Badan Pengawas suatu negara untuk memberikan rekomendasi calon tapak. Oleh karena itu, dilakukan studi komparasi dengan ketentuan IAEA dan praktik-praktik di badan pengawas negara lain terkait peran badan pengawas dalam penyusunan kebijakan calon tapak PLTN.

Penyusunan rekomendasi penentuan calon tapak potensial PLTN melingkupi kegiatan survei tapak dan pemilihan tapak. Ulasan dilakukan melalui studi literatur dan telaah referensi terkait urgensi dan lingkup rekomendasi survei tapak dan seleksi tapak pada dokumen standar IAEA dan praktik badan pengawas internasional. Selain mengulas terkait praktik penyusunan rekomendasi kebijakan calon tapak potensial PLTN yang dilakukan badan pengawas, dilakukan juga identifikasi aspek-aspek apa saja yang perlu ditinjau dalam menyusun rekomendasi kebijakan tersebut. Makalah diharapkan dapat menjadi acuan ilmiah untuk BAPETEN dalam menyusun rekomendasi penentuan calon tapak potensial PLTN yang dapat menjadi acuan teknis penyusunan KSN PLTN di masa depan.

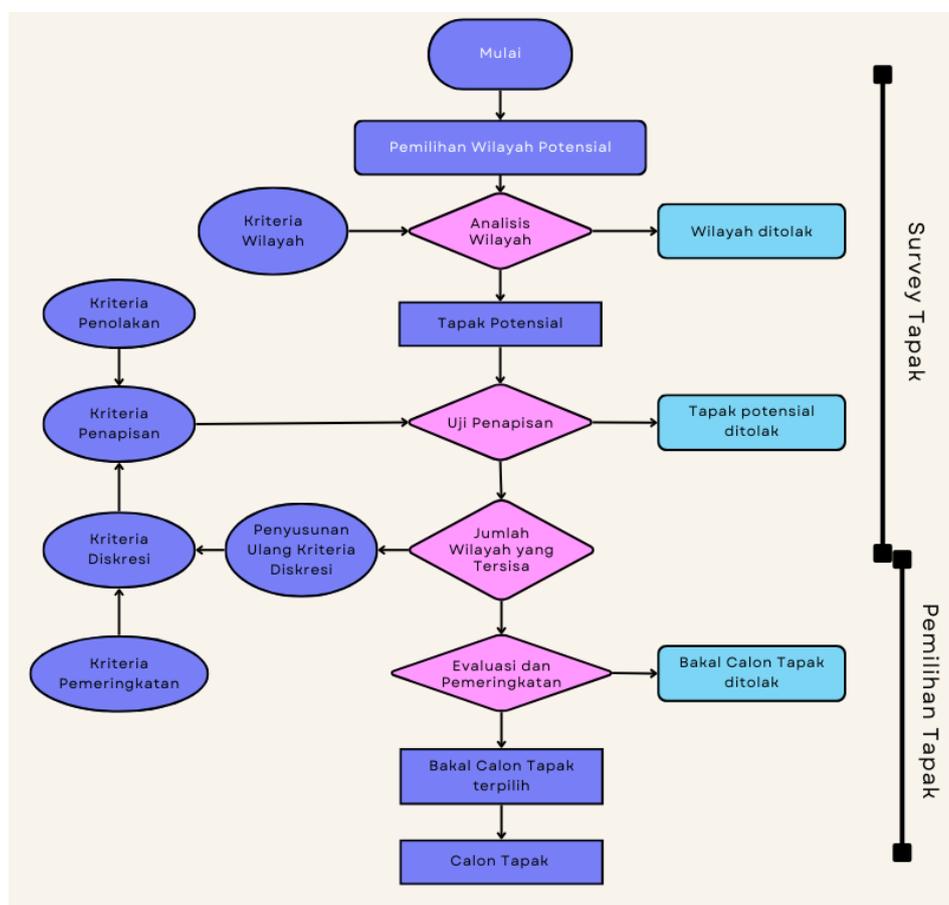
## Landasan Teori dan Pokok Bahasan

### 1. Survei Tapak dan Pemilihan Calon Tapak

Dalam menyusun rekomendasi kebijakan penentuan calon tapak potensial PLTN, dilakukan survei tapak, dan seleksi calon tapak potensial. Survei tapak dilakukan dengan melakukan investigasi yang

melingkupi suatu Wilayah Potensial atau *Region of Interest* (ROI) dengan cakupan yang luas untuk menemukan tapak potensial PLTN mengacu pada data sekunder yang tersedia. Masyarakat umum dapat dilibatkan dalam survei tapak. Dalam melaksanakan survei tapak juga, kriteria keberterimaan tapak dan perbandingan tapak sebaiknya diidentifikasi untuk aspek terkait keselamatan dan aspek yang tidak terkait keselamatan [6].

Dalam melakukan survei tapak, pertama-tama dilakukan identifikasi dan analisis semua wilayah yang diasumsikan cocok untuk menjadi tapak PLTN. Wilayah-wilayah potensial ini kemudian ditapis sehingga tersisa wilayah-wilayah calon tapak potensial. Penapisan wilayah potensial ini dilakukan berdasarkan aspek keselamatan dan aspek lainnya pada wilayah tersebut. Selanjutnya dilakukan pemeringkatan dan evaluasi wilayah-wilayah tapak yang telah ditapis. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada aspek yang mengganggu atau terdegradasi akibat kegiatan konstruksi dan operasi PLTN. Hasil evaluasi kemudian disusun dalam peringkat untuk memilih dan memutuskan wilayah tapak yang menjadi pilihan. Evaluasi dan pemeringkatan dalam hal ini termasuk dalam proses pemilihan calon tapak. Pelaksanaan survei tapak dan pemilihan tapak secara detail dapat dilihat pada diagram 1 [7].



Gambar 1 Alur proses kerja survei tapak dan pemilihan tapak [7]

## 2. Pokok Bahasan

Praktik proses penentuan calon tapak di negara-negara di dunia tidak seragam antara satu sama lain. Perbedaan praktik ini terjadi karena setiap negara memiliki kerangka peraturan dan regulasi yang berbeda antara satu dengan lainnya. Proses penentuan calon tapak umumnya bukan merupakan kegiatan yang termasuk dalam rezim pengawasan badan pengawas. Dalam hal ini, proses penentuan tapak dapat dilakukan oleh pemerintah atau pemohon izin yang ingin membangun PLTN.

Komparasi terkait kebutuhan penyusunan rekomendasi penentuan calon tapak potensial PLTN oleh badan pengawas dilakukan dengan mengulas praktik-praktik di negara lain yang memiliki kerangka peraturan regulasi penentuan tapak yang terpusat pada pemerintah. Sehingga ulasan akan mengacu pada

regulasi dan kebijakan dari negara dengan kebijakan serupa, yakni Britania Raya, Slovenia, dan Afrika Selatan. Selain itu ulasan juga dilakukan terhadap kebijakan dari negara-negara yang sedang merintis program PLTN pertama seperti Turki, dan Bangladesh.

## Pembahasan

### 1. Kebijakan Penentuan Tapak Pemerintah Britania Raya

Pemerintah Britania Raya mengatur kebijakan terkait penentuan tapak PLTN dalam United Kingdom's Fourth National Report on compliance with Article 17: Siting of the Convention on Nuclear Safety obligations. Dokumen ini menyatakan bahwa dalam menentukan tapak PLTN sebisa mungkin sedikit populasi yang boleh jadi akan menerima risiko kecelakaan parah. Lokasi tapak diutamakan memiliki karakteristik berupa kemudahan proses evakuasi untuk populasi yang berada di dekat instalasi. Evakuasi dan restriksi akibat kecelakaan parah dalam hal ini tidak boleh melebihi 10.000 jiwa, dengan catatan pada kondisi cuaca ekstrim tidak lebih dari 100.000 jiwa [8].

Kebijakan di Britania Raya terkait penentuan tapak secara langsung mengindikasikan bahwa calon tapak PLTN hanya diperbolehkan berada pada daerah terpencil dengan populasi yang rendah. Namun sesuai perkembangan teknologi, pemerintah Britania Raya sedang menyusun kebijakan yang baru terkait penentuan tapak. Pada kebijakan yang baru ini diharapkan tapak PLTN dapat memiliki justifikasi yang memadai untuk ditempatkan di dekat pusat populasi [9].

Dari beragam faktor penentuan tapak dalam aspek keselamatan, keamanan, kebencanaan, ekonomi, akses, dan infrastruktur, usulan serta rumusan kebijakan penentuan tapak di Britania Raya memilih aspek demografi sebagai fokus utama. Walaupun dalam praktiknya, kontribusi utama keselamatan publik dalam pembangunan dan operasional PLTN terdapat pada pencapaian standar pada tahap desain, konstruksi, dan operasi, pengurangan risiko sosial melalui kendali populasi di dekat instalasi memiliki lebih banyak manfaat. Kendali demografi dalam hal ini dianggap sebagai satu-satunya cara non-teknis yang efektif dalam menanggulangi dan mengendalikan paparan radiasi terhadap populasi pada kondisi kecelakaan parah.

Penerapan kebijakan penentuan tapak PLTN kemudian dilakukan dengan menggunakan pembobotan kumulatif pada demografi wilayah yang ada di Britania Raya. Bobot populasi dinilai dari setiap sektor dalam radius 0-2 km dan 0-30 km memiliki populasi kurang dari 5000 jiwa per km<sup>2</sup>. Batasan tapak setara dengan kepadatan populasi seragam tapak seluruhnya sebesar 1.250 orang per kilometer persegi untuk  $\frac{2}{3} \leq r \leq 20$  mil. Batasan semi-urban awalnya diturunkan berdasarkan bahwa tapak AGR Heysham dan Hartlepool mewakili tolok ukur untuk batas atas yang dapat diterima untuk kepadatan populasi dengan alokasi untuk pengembangan di masa depan untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan alami (kelahiran yang melebihi kematian) [10].

### 2. Kebijakan Penentuan Tapak Pemerintah Slovenia

Proses penentuan tapak di Slovenia diatur dalam peraturan terkait rencana tata ruang. Peraturan ini mencakup persyaratan umum dasar dalam menyusun perencanaan wilayah untuk PLTN. Penentuan tapak PLTN ini tercantum pada dokumen yang berjudul Resolution on the Slovenian long term climate strategy 2050 dan Integrated National Energy and Climate Plan yang diterbitkan oleh Kementerian Infrastruktur dan Kementerian Lingkungan dan Tata Ruang. Dalam dokumen ini, kedua kementerian tersebut mencantumkan lokasi rencana tapak yang telah ditentukan oleh Pemerintah Slovenia.

Dokumen perencanaan ini, belum memberikan persyaratan yang memadai dalam mengklasifikasikan lokasi calon tapak yang ditentukan. Otoritas Keselamatan Nuklir Slovenia (SNSA) dalam hal ini kemudian mencoba untuk menyusun pedoman persiapan rencana tata ruang untuk PLTN mengacu pada standar IAEA dan US NRC.

Dalam menyusun pedoman tata ruang ini, SNSA menuntun seluruh aspek keselamatan dan keamanan nuklir, aspek teknologi dan keteknikan, aspek biaya dan keekonomian, perencanaan dan persiapan tata guna lahan, ketersediaan sumber air, dampak lingkungan non-radiologis, program kedaruratan nuklir,

dampak sosioekonomi, serta keterlibatan pemangku kepentingan terkait. Melalui pertimbangan aspek-aspek tersebut kemudian penilaian dan pembobotan lokasi-lokasi tapak potensial dengan menggunakan data-data sekunder teranyar, seperti data karakteristik tapak, kepadatan penduduk, bahaya eksternal, serta data meteorologi dan hidrologi [11].

### **3. Kebijakan Penentuan Tapak Pemerintah Afrika Selatan**

Kebijakan PLTN di Afrika Selatan tertuang dalam dokumen Nuclear Energy Policy for the Republic of South Africa. Dokumen ini disusun oleh Departemen Mineral dan Energi Afrika Selatan untuk memberikan kerangka kerja kebijakan pemanfaatan ketenaganukliran di bidang energi. Dalam hal penentuan tapak, dokumen ini memberikan mekanisme dalam hal memastikan ketersediaan tata ruang dan lahan yang diperlukan sebagai lokasi tapak PLTN.

Dalam menyusun keputusan terkait penentuan tapak, kabinet Afrika Selatan juga membentuk Komite Koordinasi Eksekutif Energi Nuklir Nasional (NNEECC) sebagai wadah koordinasi regulator di Afrika Selatan. Calon-calon tapak yang telah dituangkan dalam kebijakan berdasarkan keputusan dari NNEECC, kemudian dilakukan identifikasi, akuisisi, dan perizinan tapak oleh Pemerintah melalui Eskom selaku badan usaha di bidang ketenaganukliran. Izin tapak dan calon-calon tapak ini kemudian dievaluasi dan diterbitkan izin oleh Regulator Nuklir Nasional Afrika Selatan (NNR) [12].

NNR selaku badan pengawas di Afrika Selatan memiliki peran dalam menyusun kriteria-kriteria keberterimaan tapak dan calon tapak PLTN. Dalam proses penentuan tapak, NNR termasuk dalam anggota NNEECC memberikan masukan dan rekomendasi terkait lokasi-lokasi sesuai dengan kriteria-kriteria keberterimaan tapak yang telah disusun [13].

### **4. Kebijakan Penentuan Tapak Pemerintah Turki**

Turki menginisiasi penyusunan program PLTN melalui lembaga Otoritas Tenaga Nuklir Turki (TAEK). TAEK merupakan lembaga yang bertugas sebagai badan pelaksana, riset, promotor, dan kendali pengawasan ketenaganukliran. TAEK dalam hal ini merupakan lembaga yang merancang program PLTN di Turki sekaligus melakukan penentuan calon tapak di Akkuyu dan Sinop.

Pada tahun 2010, Pemerintah Turki menyepakati kerja sama pembangunan dan pengoperasian PLTN pada lokasi tapak di Akkuyu dengan Pemerintah Rusia. Pada 2 Juli 2018, melalui Decree Law No. 702, tentang Organisasi dan Tugas Otoritas Pengawasan Tenaga Nuklir, fungsi kendali pengawasan yang sebelumnya diampu oleh TAEK ditugaskan kepada Otoritas Pengawas Tenaga Nuklir (NDK). NDK dalam hal ini awalnya merupakan salah satu bagian dari struktur TAEK. NDK dalam hal ini tidak berperan dalam menentukan calon tapak PLTN [14].

### **5. Kebijakan Penentuan Tapak Pemerintah Bangladesh**

Dalam mengembangkan program tenaga nuklir, pemerintah Bangladesh menerapkan program tenaga nuklir di tahun 2009 dengan menyusun peta jalan detail implementasi program PLTN lengkap dengan seluruh persyaratan infrastruktur yang dibutuhkan. Pemerintah Bangladesh kemudian membentuk Organisasi Implementasi Program Tenaga Nuklir (NEPIO) untuk memonitor capaian program nuklir yang telah disusun.

Pemilihan calon tapak PLTN di Bangladesh dilakukan oleh Komisi Energi Atom Bangladesh (BAEC) selaku badan promotor dan pelaksana ketenaganukliran. BAEC dalam hal ini melakukan studi dan investigasi pada dua puluh calon tapak potensial. Dari dua puluh calon tapak ini, kemudian Rooppur dipilih sebagai lokasi calon tapak untuk program PLTN Bangladesh. Pada proses investigasi dan pemilihan calon tapak, BAEC bekerja sama dengan BUET, University of Dhaka, Bangladesh Water Development Board, Bangladesh Meteorological Department, Survei of Bangladesh, Geological Survei of Bangladesh, Institute of Water Modelling, dan lembaga teknis lainnya. BAERA selaku Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Bangladesh dalam hal ini tidak terlibat dalam penentuan calon tapak PLTN. Terkait tapak, BAERA dalam hal ini bertugas dalam menerbitkan izin tapak untuk tapak PLTN di Rooppur [15].

## 6. Urgensi BAPETEN dalam Menyusun Rekomendasi KSN PLTN

SNSA di Slovenia mengambil peran yang cukup banyak dalam menyusun kebijakan penentuan calon tapak PLTN agar dapat tercantum dalam dokumen tata ruang di Slovenia. Pedoman yang diterbitkan juga cukup komprehensif karena memberikan bobot penilaian kriteria calon tapak PLTN dengan mempertimbangkan berbagai aspek. Berbeda halnya dengan ONR di Britania Raya yang memberikan pedoman cukup pada aspek demografis dari calon tapak PLTN. NNR di Afrika Selatan dalam hal ini tergabung dalam NNEECC memberikan pedoman dan kriteria keberterimaan tapak yang diperlukan oleh calon tapak yang akan ditentukan.

Dari ketiga negara tersebut, kebijakan penentuan calon tapak di Slovenia dapat diadopsi praktiknya oleh BAPETEN. Slovenia dalam hal ini mempertimbangkan berbagai aspek terkait calon tapak yang akan ditentukan. Penerapan aspek-aspek ini untuk menilai bobot calon tapak PLTN penting untuk diadopsi oleh BAPETEN karena Indonesia memiliki banyak daerah rawan bencana yang dapat mengakibatkan terjadinya bahaya eksternal pada tapak seperti banjir, gempa bumi, letusan gunung api, dan lain sebagainya.

Dari negara-negara yang sedang menginisiasi program PLTN pertama, kebijakan terkait penentuan tapak dalam hal ini dilakukan oleh Badan Pelaksana Tenaga Nuklir yang terdapat di negara tersebut, seperti Bangladesh dan Turki yang sedang membangun PLTN pertama. Badan Pengawas di kedua negara tersebut justru dibentuk ketika calon tapak PLTN sudah ditentukan oleh pemerintah serta capaian program ketenaganukliran sudah mencapai tahap bidding. Badan pengawas dalam hal ini cukup bertugas dalam melakukan fungsi pengawasannya.

Posisi BAPETEN sebagai badan pengawas tenaga nuklir di Indonesia dalam hal ini menjadi anomali apabila dibandingkan dengan negara-negara yang sedang atau akan menginisiasi program PLTN. Hal ini dikarenakan Badan Pengawas biasanya dibentuk apabila pemerintah sudah memiliki posisi yang jelas terkait program PLTN [6]. Badan pelaksana atau badan promotor tenaga nuklir, biasanya melakukan investigasi dan penentuan calon tapak.

Dibentuknya BRIN melalui Perpres Nomor 78 Tahun 2021 Tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. BRIN meleburkan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) bersama seluruh lembaga riset lainnya ke dalam satu wadah. Dengan demikian, tugas dan fungsi penyelenggaraan ketenaganukliran diampu oleh BRIN, termasuk dalam hal investigasi dan penentuan calon tapak. Namun dalam pelaksanaan perumusan kebijakan atau program nuklir nasional menjadi tidak optimal karena kebijakan yang dihasilkan oleh BRIN lebih berfokus pada kebijakan riset.

BAPETEN dalam hal ini praktis menjadi satu-satunya lembaga di Indonesia yang memiliki tugas, fungsi, wewenang, dan kompetensi dalam bidang ketenaganukliran. Selain menjalankan fungsi pengawasan, BAPETEN sendiri memiliki unit dukungan teknis yang bertugas sebagai think-tank dalam merumuskan regulasi di bidang ketenaganukliran. Fungsi ini dapat menjadi justifikasi BAPETEN dalam melaksanakan perumusan rekomendasi kebijakan pengawasan terkait calon-calon tapak potensial melalui mekanisme survei tapak dan seleksi tapak. Rekomendasi kebijakan pengawasan terkait penentuan calon-calon tapak potensial PLTN dapat dituangkan lebih jauh dalam sebuah rekomendasi peta persebaran calon tapak PLTN. Rekomendasi ini nantinya diharapkan menjadi dasar untuk digunakan dalam penyusunan KSN PLTN dan Program PLTN Nasional.

## 7. Ruang Lingkup Rekomendasi Kebijakan Calon Tapak PLTN

Dalam menyusun Rekomendasi pengawasan terkait penentuan calon tapak potensial PLTN, BAPETEN dalam hal ini harus memberikan batasan dan ruang lingkup yang jelas agar rekomendasi kebijakan nantinya tidak tumpang tindih dengan rancangan KSN PLTN, Program PLTN, RUPTL, serta evaluasi tapak PLTN. Batasan dan ruang lingkup kebijakan calon tapak potensial PLTN dalam hal ini dapat dibatasi dengan resolusi, kualitas, dan jenis data yang menjadi acuan penyusunan kebijakan.

IAEA memberikan rekomendasi terkait survei tapak dan penentuan calon tapak PLTN pada IAEA SSG 16 dan IAEA SSG 35. Dua dokumen ini dapat menjadi rujukan utama dalam menyusun rekomendasi

kebijakan calon tapak potensial PLTN. survei tapak dan penentuan calon tapak pada tahap awal pemilihan tapak PLTN dalam hal ini direkomendasikan menggunakan data sekunder yang tersedia.

Pemilihan wilayah potensial tapak atau Region of Interest (ROI) dilakukan dengan memilih wilayah baseline yang memiliki indikasi keselamatan dan keekonomian awal secara regional. ROI yang dipilih dapat dilakukan dengan melakukan penapisan awal menggunakan peta nasional geologi, kebencanaan, ketenagalistrikan, dan proyek strategis nasional. Dari penapisan awal ini kemudian diperoleh wilayah-wilayah ROI untuk calon tapak PLTN [7, 16].

Wilayah ROI kemudian diseleksi secara regional. Seleksi dilakukan dengan evaluasi dan analisis geospasial menggunakan himpunan data yang memiliki skala peta regional yang memadai untuk menyusun master plan dengan skala 1:25000. Evaluasi dan analisis geospasial dilakukan dengan mengevaluasi menggunakan himpunan data pada peta-peta tematik terkait aspek calon tapak potensial yang telah ditentukan [17].

Dalam beberapa studi dan kajian terkait penentuan calon tapak PLTN, terdapat tiga parameter utama yang digunakan dalam menyeleksi ROI, yakni parameter bio-geofisika, parameter sosioekonomi dan politik, serta parameter kebencanaan dan kejadian ekstrim. ketiga parameter ini kemudian terdiri dari berbagai parameter [18]. Parameter ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Aspek-aspek yang penting dipertimbangkan dalam menyusun rekomendasi kebijakan calon tapak potensial PLTN [18]

Aspek Biogeofisika	Aspek Sosio-ekonomi politik	Aspek Kebencanaan dan Kejadian Ekstrim
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur rata-rata harian</li> <li>• Keanekaragaman hayati</li> <li>• Kecepatan dan arah angin rata-rata harian</li> <li>• Kondisi topografi</li> <li>• Vegetasi</li> <li>• Hidrologi dan ketersediaan air tanah</li> <li>• Patahan</li> <li>• Kestabilan lereng</li> <li>• Geologi dan litologi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jaringan listrik</li> <li>• Jaringan jalan</li> <li>• Tata guna lahan</li> <li>• Jalur Pelayaran</li> <li>• Kondisi sosial terkait situs arkeologi, destinasi wisata, dan distribusi populasi</li> <li>• Kawasan industri lain</li> <li>• Infrastruktur logistik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahaya banjir eksternal</li> <li>• Bahaya gerakan tanah dan gempa bumi</li> <li>• Likuifaksi</li> <li>• Laju penurunan permukaan tanah</li> <li>• Bahaya vulkanologi</li> <li>• Bendungan</li> <li>• Risiko Tsunami</li> <li>• Siklon dan badai tropis</li> </ul>

Evaluasi dan analisis geospasial dalam menyeleksi ROI ini diharapkan menghasilkan kandidat wilayah atau region yang memiliki potensi sebagai calon tapak PLTN. Hasil dari evaluasi dan analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan calon tapak PLTN yang berisi lima belas sampai dua puluh calon tapak potensial PLTN. Rekomendasi calon tapak ini kemudian dapat menjadi dasar penyusunan KSN PLTN, Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) dan Program Nuklir Nasional.

### Kesimpulan dan Rekomendasi

Dari tinjauan dan ulasan yang dilakukan, praktik penyusunan rekomendasi kebijakan calon tapak potensial PLTN memang tidak lazim dilakukan, terutama untuk negara yang masih akan merintis PLTN. Namun praktik ini dapat dilakukan oleh badan pengawas seperti yang dilakukan oleh SNSA sejauh bersifat rekomendasi dan pedoman. BAPETEN dalam hal ini memiliki justifikasi yang memadai dalam menyusun rekomendasi calon tapak potensial PLTN. Rekomendasi ini disusun dengan melakukan evaluasi calon tapak potensial menggunakan peta skala nasional dan regional, serta melakukan *overlay* peta-peta regional calon tapak potensial yang dipilih dengan melakukan penapisan berdasarkan aspek biogeofisika, aspek sosioekonomi dan politik, serta aspek kebencanaan dan kejadian ekstrim

### Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Republik Indonesia (2023) *Undang-Undang (UU) Nomor 6 Tahun 2023 Tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang*. Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta
- [2] Pemerintah Republik Indonesia (2021) *Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 5 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*. Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta
- [3] Pemerintah Republik Indonesia (2007) *Undang Undang (UU) Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang*. Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta
- [4] IAEA (2019) *Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Follow-Up Mission to Indonesia*. IAEA, Jakarta
- [5] Pangaribuan BS (2023) *Kajian Tata Ruang untuk Instalasi Nuklir*. Disampaikan pada Rapat Koordinasi BAPETEN 8 Desember 2023, Jakarta
- [6] IAEA (2020) *IAEA Specific Safety Guide (SSG) No. 16 (Rev. 1) Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme*. IAEA, Vienna
- [7] IAEA (2015) *IAEA Specific Safety Guide (SSG) No. 35 Site Survei and Site Selection for Nuclear Installations*. IAEA, Vienna
- [8] Department for Business Enterprise & Regulatory Reform (2007) *The United Kingdom National Report on Compliance with The Convention on Nuclear Safety Obligations*. Department for Business Enterprise & Regulatory Reform, London
- [9] ONR (2021) *Land Use Planning and The Siting of Nuclear Installations*. ONR, Bootle
- [10] Highton J, Senior D (2008) *The Siting of Nuclear Installations in the United Kingdom*. NuSAC Paper
- [11] Nemeč BV, Gumpot BR, Živko T, Nemeč T (2022) *Regulatory Requirements for Siting of the New Slovenian NPP*. In: 31st International Conference Nuclear Energy for New Europe. Nuclear Society of Slovenia, Portoroz, pp 1–6
- [12] Khattak MA, Umairah A, Rosli MAM, et al (2017) *Siting Consideration for Nuclear Power Plant: A Review*. Open Sci J 2:1–21. <https://doi.org/10.23954/osj.v2i3.1078>
- [13] Department of Energy (1999) *National Nuclear Regulator Act, 1999 The Regulations on Licensing of Sites for New Nuclear Power Plant*. Department of Energy, South Africa, Pretoria
- [14] Artantas OC (2024) *Türkiye's nuclear energy aspirations: policy challenges and legal trajectory*. J World Energy Law Bus 201–214. <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwae005>
- [15] Rooppur NPP Bhaban (2018) *A snapshot on Rooppur Nuclear Power Plant Project*. [https://rooppurnpp.gov.bd/sites/default/files/files/rooppurnpp.portal.gov.bd/notices/7e349f02\\_e\\_c26\\_4a27\\_be29\\_66ef81041cb8/A snapshot on Rooppur Nuclear Power Plant Project.pdf](https://rooppurnpp.gov.bd/sites/default/files/files/rooppurnpp.portal.gov.bd/notices/7e349f02_e_c26_4a27_be29_66ef81041cb8/A_snapshot_on_Rooppur_Nuclear_Power_Plant_Project.pdf). Accessed 10 Jun 2024
- [16] Electric Power Research Institute (2022) *Advanced Nuclear Technology: Site Selection and Evaluation Criteria for New Nuclear Power Generation Facilities (Siting Guide)*. Palo Alto, California
- [17] Memed MW, Tim Geologi Lingkungan (2024) *Peran Geologi Tata Lingkungan untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)*. Disampaikan pada Rapat Koordinasi BAPETEN 15 Maret 2024, Jakarta
- [18] Susiati H, Widiawaty MA, Dede M, et al (2024) *Criteria and methods in nuclear power plants siting: a systematic literature review*. Cogent Soc Sci 10:.. <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2354976>



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Analisis Dosis Radiasi pada Pemeriksaan *Thorax* Pediatrik Menggunakan *Digital Radiography* di Rumah Sakit Umum Daerah Koja

Alifia Rafika Putri, Oktarina Damayanti

*Politeknik Al Islam Bandung, PAIB Bandung*

Korespondensi penulis:  
Alifiarputri137@gmail.com  
Oktarina.st@gmail.com

### Abstrak

Pemeriksaan radiologi harus mempertahankan prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) yaitu dosis radiasi minimal dengan kualitas dan akurasi gambar yang dapat diterima. Mengoptimalkan proteksi radiasi pasien mengacu pada tingkat panduan diagnostik Indonesia (TPDI). Mengidentifikasi dosis radiasi yang tinggi pada pasien sehingga harus selalu dievaluasi secara berkala dengan tetap mempertahankan kualitas gambar yang optimal. Tujuan penelitian ini adalah menilai dosis radiasi yang diterima pasien saat pemeriksaan *thorax pediatrik* menggunakan *Digital Radiography* di Rumah Sakit Umum Daerah Koja pada Februari 2024. Selain itu, bertujuan untuk menentukan nilai TPD lokal fasilitas dan membandingkan nilai dosis yang diperoleh dengan standar TPDI. Penelitian ini menggunakan metodologi deskriptif kuantitatif, data dikumpulkan dengan cara observasi dan tabel analisis dosis yang dihitung menggunakan *Microsoft Excel*. Data yang didapatkan kemudian dianalisis untuk mendapat kesimpulan. Temuan penelitian menunjukkan variasi dosis radiasi yang diterima pasien dalam rentang 0.01 hingga 0.10 mGy per pemeriksaan. Dengan menggunakan kuartil 2 untuk menetapkan nilai TPD lokal fasilitas, diperoleh nilai dosis radiasi keseluruhan sebesar 0.04 mGy. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa dosis radiasi yang diterima pada pemeriksaan *Thorax* Pediatrik menggunakan *Digital Radiography* di Rumah Sakit Umum Daerah Koja berada di bawah angka 0.4 mGy sesuai standar TPDI

**Kata Kunci:** Digital Radiografi, tingkat panduan nasional Indonesia (TPDI), Dosis Radiasi, Thorax Pediatrik.

### Abstract

*Radiological examinations must maintain the principle of As Low As Reasonably Achievable (ALARA) i.e. minimal radiation dose with acceptable image quality and accuracy. Radiation protection optimization for patients refers to the Indonesian diagnostic guide level (TPDI) which identifies high radiation doses in patients so that they must always be evaluated periodically while maintaining optimal image quality. The purpose of this study is to assess the radiation dose received by patients during pediatric thoracic examinations using Digital Radiography at the Koja Regional General Hospital in February 2024. In addition, it aims to determine the local TPD value of the facility and compare the dose value obtained with the TPDI standard. This study uses a quantitative descriptive methodology, data is collected by observation and dose analysis tables calculated using Microsoft Excel. The data obtained is then analyzed to reach conclusions. The findings of the study showed variations in the radiation dose received by patients in the range of 0.01 to 0.10 mGy per examination. By using quartile 2 to determine the local TPD value of the facility, the overall radiation dose value of 0.04 mGy was obtained. The conclusion of this study shows that the radiation dose received at the Pediatric Thorax examination using Digital Radiography at the Koja Regional General Hospital is below 0.4 mGy according to the TPDI standard.*

**Keywords:** Digital Radiography, Indonesian Dose Reference Level (IDRL), Radiation Dose, Pediatric, Thorax Examinations.

## Pendahuluan

### 1. Latar Belakang

Penggunaan sinar-X untuk radiologi intervensi dan diagnostik masih berkembang di Indonesia. Meskipun demikian, penting untuk mempertimbangkan dampak radiasi pada keselamatan di tempat kerja ketika bekerja di radiologi. Ini karena sinar-X adalah jenis radiasi pengion yang memiliki efek stokastik dan deterministik [1].

Pedoman keselamatan radiasi ditetapkan oleh Peraturan Bapeten No. 4 Tahun 2020 tentang penggunaan pesawat sinar-X. Peraturan ini memberikan pedoman dan praktik untuk menjamin penggunaan sinar-X yang aman dalam radiologi diagnostik dan intervensional, dengan tujuan mengurangi risiko paparan radiasi bagi tenaga kerja dan pasien, ini mencakup tindakan limitasi berdasarkan nilai batas dosis. Sementara itu, untuk pasien, prinsipnya meliputi tindakan justifikasi (manfaat lebih besar daripada risiko) dan optimasi (dosis terbaik dengan risiko minimal). Maka dari itu, optimalisasi proteksi radiasi terhadap pasien harus merujuk pada panduan dosis nasional, yaitu TPDI Penetapan TPDI dapat digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi situasi di mana dosis radiasi pasien tinggi. Selanjutnya, data mengenai dosis radiasi pasien disimpan dalam database Sistem Informasi Data Dosis Pasien (SI-INTAN).

Tingginya frekuensi kegiatan radiodiagnostik di RSUD Koja, dengan data harian mencapai hingga 100 pasien untuk pemeriksaan thorax, oleh karena itu, perlu pengawasan lebih dekat dari mereka pihak terkait. Karena sinar-X adalah bentuk radiasi pengion yang dapat membahayakan orang baik secara langsung maupun tidak langsung, ini sangat penting dalam hal perlindungan radiasi (dosis penyerapan) untuk pasien yang menjadi target iradiasi langsung.

Studi sebelumnya tentang analisis dosis serap radiasi sinar-X pada pesawat digital radiography di RSUD Koja belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, nilai dosis serap radiasi sinar-X yang diterima oleh pasien terutama pasien pediatrik yang menjalani radiodiagnostik foto thorax di rumah sakit tersebut belum diketahui secara pasti. Untuk itu, penelitian terkait mengenai dosis serap radiasi sinar-X foto thorax yang diterima pasien, khususnya pasien pediatrik, di Instalasi Radiologi RSUD Koja perlu dilakukan untuk mengetahui nilai dosis yang diterima dan dijadikan review atau acuan. Peneliti akan mengambil sampel pasien pemeriksaan Thorax pediatrik dengan variasi jenis kelamin perempuan dan laki-laki selama 3 bulan periode dengan rentan umur 5-7 tahun.

Penentuan dosis serap, atau *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK), adalah dasar dosimetri pasien dalam diagnostik sinar-X. Dosimeter yang diterapkan pada kulit pasien dapat digunakan untuk menilai dosis penyerapan permukaan secara langsung dan perhitungan menggunakan output radiasi dari pesawat sinar-X dapat digunakan untuk mengukur dosis secara tidak langsung [2].

Indikator dosis radiasi yang diterima oleh pasien dapat terlihat secara langsung pada alat digital radiography setelah dilakukan eksposi pada monitor layar alat yang biasa disebut dengan nilai *Dose Area Product* (DAP). Namun, nilai DAP tersebut tidak dipengaruhi oleh jarak dan ketebalan objek. Nilai DAP belum bisa mempresentasikan nilai dosis radiasi yang diterima oleh pasien. Tetapi dosis radiasi yang diterima pasien dapat ditentukan dengan menggunakan nilai *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK). Nilai ESAK bergantung pada faktor eksposi dan jarak antara sumber radiasi ke pasien. Oleh karena itu, nilai ESAK dapat merepresentasikan nilai dosis yang diterima pasien.

### 2. Rumusan Masalah

Bagaimana hubungan keterkaitan antara *safety induction*, *toolbox meeting*, *safety awareness* dan budaya keselamatan?

### 3. Tujuan

Tinjauan ini bertujuan untuk mengetahui hubungan keterkaitan antara *safety induction*, *toolbox meeting*, *safety awareness* dan budaya keselamatan

#### 4. Manfaat

Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a) Bagi perusahaan, memberikan informasi bagaimana membentuk *safety awareness* dan budaya keselamatan dalam lingkungan perusahaan.
- b) Bagi pekerja, meningkatkan kesadaran akan pentingnya keselamatan dan membentuk budaya kerja yang lebih aman.
- c) Bagi industri, menyumbangkan pengetahuan ilmiah tentang efektivitas berbagai pendekatan pelatihan keselamatan dalam meningkatkan keselamatan kerja.

Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh *safety induction* dan *toolbox meeting*, diharapkan implementasi sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja lebih efektif dan meningkatnya *safety Awareness* dan budaya keselamatan secara *bottom-up* (dari komponen pekerja hingga manajemen) dan *top-bottom* (Manajemen ke Pekerja).

### Landasan Teori

#### 1. Sinar X

Menurut [3] menjelaskan bahwa Sinar-X seperti gelombang radio, panas, cahaya, dan sinar ultraviolet yang memiliki panjang gelombang yang bervariasi. Sinar-X tidak terlihat dan heterogen dengan panjang gelombang yang bervariasi dan tidak terlihat. Perbedaannya dengan radiasi elektromagnetik lainnya terletak pada panjang gelombangnya yang sangat pendek, sekitar 1/10.000 dari panjang gelombang cahaya. Karena panjang gelombangnya yang pendek, sinar-X dapat melewati objek dan menembusnya.

#### 2. Radiasi

Menurut [4] mengungkapkan radiasi adalah energi yang dipancarkan materi (atom) sebagai gelombang atau partikel dikenal sebagai radiasi. Radiasi dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan kapasitasnya untuk menciptakan ionisasi: radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Ketika radiasi bertabrakan dengan suatu benda, ia dapat menghasilkan partikel bermuatan listrik yang dikenal sebagai ion. Bentuk radiasi ini dikenal sebagai radiasi pengion. Sebaliknya, radiasi yang tidak menghasilkan ionisasi dikenal sebagai radiasi non-pengion.

#### 3. Dose Area Product (DAP)

DAP *Dose Area Product* merupakan dosis yang diterima pasien sesuai luas area yang terkena radiasi. DAP adalah sebuah ukuran yang digunakan dalam dosimetri pasien dalam radiologi untuk mengevaluasi jumlah total energi radiasi yang diterima oleh pasien selama suatu pemeriksaan. Pengukuran DAP penting dalam memastikan bahwa paparan radiasi pasien dijaga seefisien mungkin sambil memastikan kualitas gambar yang memadai. Dengan mengetahui nilai DAP, praktisi radiologi dapat memastikan bahwa dosis radiasi yang diterima oleh pasien tetap dalam rentan yang aman sambil mencapai hasil diagnostik yang optimal [5].

#### 4. Tingkat Panduan Dosis (TPD) / *Dosis Reference Level (DRL)*

Dosis radiasi yang diterima pasien selama pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensi diukur dengan Tingkat Panduan Diagnostik (TPD). TPD digunakan sebagai alat ukur untuk menilai seberapa baik pasien dilindungi dari radiasi dan mengoptimalkan keselamatan mereka. TPD juga bertindak sebagai indikator investigasi untuk memaksimalkan perisai pasien dari paparan radiasi medis [6].

#### 5. Entrance Surface Air Kerma (ESAK)

*Entrance Surface Air Kerma*, yang disingkat ESAK, adalah kerma udara yang diukur atau dihitung dengan memasukkan faktor hamburan balik (*backscatter factor*). Terminologi ESAK juga identik dengan ESD (*Entrance Skin Dose*) [7].

## 6. Incidence Air Kerma (INAK)

*Incidence Air Kerma* (INAK) adalah kerma udara yang diukur atau dihitung tanpa mempertimbangkan kontribusi faktor hamburan balik (*backscatter factor*) [8].

## 7. Pemeriksaan Thorax

Pemeriksaan radiografi *thorax* adalah prosedur radiografi yang paling umum dilakukan. Berbagai gangguan yang berkaitan dengan dinding, tulang, dan struktur rongga toraks, seperti jantung, paru-paru, dan saluran utama di dalamnya, dapat dideteksi dengan pencitraan pemeriksaan thorax. Selain itu, pemeriksaan foto toraks adalah bagian rutin dari pemeriksaan umum tubuh untuk pemantauan keadaan kesehatan secara umum.

### Metode

Artikel ilmiah ini menerapkan pendekatan kuantitatif deskriptif dalam penelitiannya, melalui pengambilan data nilai DAP (*dose area product*) pada alat *Digital Radiography*. Penelitian ini dimulai Pada bulan februari hingga bulan maret 2024 sehingga peneliti menganalisis hasil nilai DRL. Kemudian, Grafik, tabel, dan gambar yang sesuai untuk jenis data yang diperiksa akan digunakan untuk menampilkan pengukuran kuantitatif nilai DRL yang dilakukan dengan menggunakan parameter ESAK dan INAK. Seratus pasien, berusia antara lima sampai tujuh tahun, yang menjalani pemeriksaan toraks proyeksi Anterio Posterior (AP) digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini. Metode ini bertujuan untuk menghitung dosis radiasi pasien selama pemeriksaan toraks pediatrik menggunakan nilai INAK dan ESAK serta mengetahui dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan thorax pediatrik pada rentan umur 5-7 tahun menggunakan digital radiography. Data yang diambil berupa data primer yang diambil langsung di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Koja. Nama pasien, parameter paparan seperti tegangan tabung (kV) dan arus tabung waktu (mAs), dan data keluaran radiasi dari pesawat sinar-X adalah beberapa informasi yang dikumpulkan. Data yang dikumpulkan kemudian akan diinput ke dalam Microsoft Excel menggunakan persamaan untuk menghitung nilai INAK [9].

$$INAK (\mu Gy) = A \times kV^b \times mAs \times \left[ \frac{100}{FFD} \right]^2 \times \frac{1}{1000} \quad (1)$$

Setelah melakukan perhitungan nilai INAK kemudian dilakukan perhitungan nilai ESAK dengan persamaan menurut [10] sebagai berikut:

$$ESAK = INAK \times BSF \quad (2)$$

Nilai BSF (*back stactor factor*) merupakan ketentuan nilai tetap yang ditetapkan oleh IAEA yaitu 1,35.

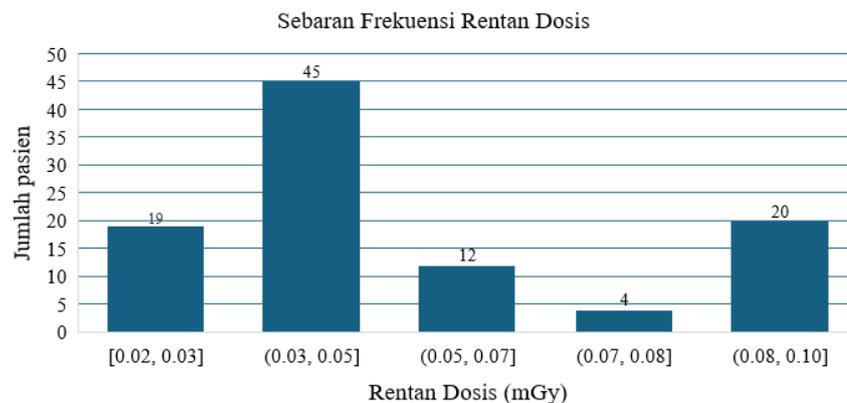
Dari kedua parameter INAK dan ESAK, diperoleh nilai dosis radiasi per pasien. Untuk menentukan nilai Dose Reference Level (DRL), kita mencari nilai kuartil 2 (median) dari data yang telah dikumpulkan.

### Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengukuran dosis radiasi yang diterima oleh pasien pada pemeriksaan foto thorax pediatrik pada rentan usia 5-7 tahun menggunakan digital radiography didapatkan nilai dosis yang beragam dari yang terkecil hingga terbesar. Pengukuran dilakukan pada seratus orang pasien thorax pediatrik pada rentang umur 5-7 tahun perempuan dan laki-laki dengan proyeksi *Anterio posterior* (AP) menghasilkan dosis yang beragam.

Dari grafik yang didapatkan berdasarkan jumlah data 100 pasien didapatkan nilai dosis yang diterima memiliki rentang nilai terkecil ke terbesar yaitu 0.02 - 0.10 mGy. Dimana terdapat 19 orang yang menerima dosis 0.02-0.03 mGy, 45 orang yang menerima dosis dalam rentan 0.03-0.05, 12 orang yang menerima dosis dalam rentan 0.05-0.07 mGy dan nilai dosis yang tertinggi dalam rentan 0.08-0.10 diterima oleh 20 pasien. Pasien yang menerima dosis terendah dari jumlah data dikarenakan pemilihan

faktor eksposi yang tepat sesuai dengan kondisi pasien, tetapi untuk pasien yang mendapatkan dosis radiasi tinggi memiliki banyak faktor karena human error kesalahan memilih parameter berakibat kurang tepatnya penggunaan faktor eksposi yang terjadi di rumah sakit tersebut.



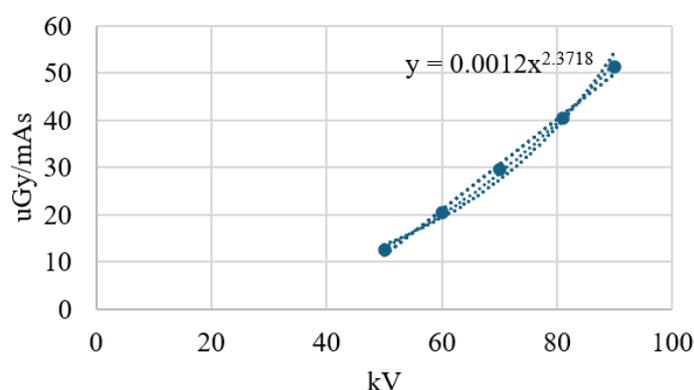
Gambar 1. Diagram sebaran frekuensi dosis (Sumber : Data penelitian 2024)

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 didapatkan sebaran nilai dosis sebagai berikut:

Tabel 1. Sebaran rentang dosis radiasi

Rentang dosis (mGy)	Jumlah sampel
0.02-0.03	19 pasien
0.03-0.05	45 pasien
0.05-0.07	12 pasien
0.08-0.10	20 pasien

Dosis radiasi tergantung pada kV, mAs, ketebalan objek, jarak, dan area iradiasi, di antara faktor-faktor lainnya. Sebelum menghitung paparan pasien, peneliti menggunakan detektor ruang ion yang ditetapkan pada interval 10 kV untuk memverifikasi output radiasi dari pesawat sinar-X. Grafik berikut menampilkan temuan validasi.



Gambar 2. Grafik regresi linier keluaran radiasi pada alat

Menurut persamaan garis, gambar 2 menggambarkan bagaimana nilai INAK / ESAK secara khusus naik ketika nilai tegangan tabung yang digunakan tumbuh.  $y$  sama dengan  $0.0012x^{2.3718}$ . Grafik menunjukkan bahwa ketika tegangan (kVp) naik, akan ada peningkatan nyata dalam output radiasi

(mGy / mAs). Plot grafik menunjukkan bahwa rumus keluaran radiasi berikut dapat digunakan untuk menentukan nilai INAK dan ESAK sebagai berikut:

$$INAK (\mu\text{Gy}) = 0.0012x kV^{2.3718}x mAs x \left[ \frac{100}{FFD} \right]^2 x \frac{1}{1000} \quad (3)$$

$$ESAK = INAK X BSF \quad (4)$$

Dari perhitungan diatas jika sudah didapatkan nilai INAK dan ESAK kemudian baru bisa dilakukan perhitungan DRL (*Dose Reference Level*) dengan cara mencari nilai kuartil 2 (Q2) dari jumlah data. Untuk mempermudah perhitungan peneliti menggunakan *microsoft excel* dan diperoleh nilai 0.04 mGy untuk DRL di Rumah Sakit Umum Daerah Koja. Hasil yang didapatkan setelah dianalisis masih dibawah batas TPDI yaitu sebesar 0.4 mGy. Peneliti juga membandingkan nilai DRL yang didapatkan dengan DRL yang dikeluarkan oleh UNSCEAR karena DRL yang ditetapkan lebih spesifik untuk pediatrik berdasarkan golongan umur yaitu untuk rentan umur 5-9 tahun adalah 0.04 dimana nilai yang didapatkan masih dalam batas aman karena nilai yang didapatkan setara tetapi perlu adanya pengawasan lebih lanjut. Untuk meminimalkan dosis radiasi yang diterima pasien agar tidak berlebihan, penting untuk memilih faktor eksposi yang tepat. Berikut adalah Tabel 2 yang membandingkan nilai DRL lokal dan nilai TPDI:

Tabel 2. Perbandingan Rentang Dosis Serapan

TPD Lokal fasilitas (Q2) RSUD KOJA	TPDI (Q3)	Internasional UNSCEAR
0.04 mGy	0.4 mGy	0.04 mGy

RSUP Paru Dr. Ario Wirawan Salatiga melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui dosis serapan yang diterima pasien anak. Nilai dosis serapan yang diterima pasien ditentukan berdasarkan rentang usia rentan 1 hingga 15 tahun. Kelompok umur: 0,043 mGy-0,130 mGy untuk anak usia 1-3 tahun, kelompok usia 5-9 tahun rata-rata dosis serap yang diterima sebesar 0,092 mGy sedangkan untuk kelompok usia 10-15 tahun didapatkan nilai dosis serap 0,043 mGy. Penelitian sebelumnya melihat pengaruh jenis kelamin, usia, dan berat badan menggunakan ANOVA *one way*. Hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan di Rumah Sakit Umum Daerah Koja dengan penelitian sebelumnya yaitu menggunakan metode perhitungan yang berbeda dalam parameter INAK dan ESAK dalam menentukan DRL (tingkat referensi dosis) untuk menentukan tepat atau tidaknya alat optimasi dalam memberikan proteksi radiasi kepada pasien dan mencegah radiasi berlebihan kepada pasien. Sedangkan, penelitian yang dilakukan di Rumah Sakit Umum Daerah Koja untuk mencari nilai dengan menggunakan 100 sampel dalam rentan umur 5-7 tahun menggunakan perhitungan *microsoft excel*. DRL yang didapatkan memiliki rentan tertinggi 0.10 dan nilai terendah adalah 0.01 mGy.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai dosis serap yang diterima oleh pasien pediatrik pada pemeriksaan Thorax di instalasi radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Koja secara umum jika dirata-ratakan nilai keseluruhan yang diterima yaitu 0.04 mGy dengan rentang nilai 0.01 mGy – 0.10 mGy dimana masih dalam batas aman yang diijinkan oleh UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee On Effects Of Anatomic Radiation*) dan nilai dosis serap yang diterima pasien Thorax pediatrik di Rumah sakit umum koja juga masih dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh BAPETEN TPDI yaitu bernilai 0.4 mGy.

## Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai dosis serap yang diterima oleh pasien pediatrik pada pemeriksaan Thorax di instalasi radiologi Rumah Sakit Umum

Daerah Koja secara umum jika dirata-ratakan nilai keseluruhan yang diterima yaitu 0.04 mGy dengan rentang nilai 0.01 mGy – 0.10 mGy dimana masih dalam batas aman yang diijinkan oleh UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee On Effects Of Anatomic Radiation*) dan nilai dosis serap yang diterima pasien Thorax pediatrik di Rumah sakit umum koja juga masih dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh BAPETEN TPDI yaitu bernilai 0.4 mGy.

### Ucapan Terima Kasih

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai dosis serap yang diterima oleh pasien pediatrik pada pemeriksaan Thorax di instalasi radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Koja secara umum jika dirata-ratakan nilai keseluruhan yang diterima yaitu 0.04 mGy dengan rentang nilai 0.01 mGy – 0.10 mGy dimana masih dalam batas aman yang diijinkan oleh UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee On Effects Of Anatomic Radiation*) dan nilai dosis serap yang diterima pasien Thorax pediatrik di Rumah sakit umum koja juga masih dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh BAPETEN TPDI yaitu bernilai 0.4 mGy.

### Daftar Pustaka

- [1] Dian Pratiwi, A., Yunawati, I., Kesehatan Masyarakat, J., Kesehatan Masyarakat, F., & Halu Oleo, U. (2021). *409 Higeia 5 (3) (2021) Higeia Journal Of Public Health Research And Development Penerapan Proteksi Radiasi Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit*. <https://doi.org/10.15294/Higeia/V5i3/41346>
- [2] Khoirot, R. M., Hakim, M. H., Alam, Y., & Sekar, R. (2023). Analisis Nilai Drl Parameter Esak/Inak Pemeriksaan Thorax Ap/Pa X-Ray Canon Analisis Drl Value Esak/Inak Parameters Thorax Examination Ap/Pa Canon X-Ray. *Jsnu : Journal Of Science Nusantara*, 3(2), 61–68.
- [3] Sjahriar Rasad. (2018). *Radiologi Diagnostik* ( Iwan Ekayuda, Ed.; 2nd Ed.). Badan Penerbit Fkui.
- [4] Indrati, R., Masrochah, S., Susanto, E., Kartikasari, Y., Wibowo, A., Darmini, Abimanyu, B., Rasyid, & Murniati, E. (2018). *Proteksi Radiasi Bidang Radiodiagnosis Dan Intervensional* (Vol. 2).
- [5] Nassef, M. H., & Massoud, E. (2014). Patient Dose-Area Product (Dap) Monitoring In Digital Radiography. In *Www.Crdeep.Com International Journal Of Life Sciences* (Vol. 3, Issue 4). [Www.Crdeep.Com](http://www.crdeep.com)
- [6] Bapeten. (2021). *Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia(Indonesia Diagnostik Reference Level) Untuk Modalitas Sinar-X Ct Scan Dan Radiografi Umum*. 1–5.
- [7] Bapeten. (2021). *Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia(Indonesia Diagnostik Reference Level) Untuk Modalitas Sinar-X Ct Scan Dan Radiografi Umum*. 1–5.
- [8] Bapeten. (2021). *Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia(Indonesia Diagnostik Reference Level) Untuk Modalitas Sinar-X Ct Scan Dan Radiografi Umum*. 1–5.
- [9] Rahma, A., Wigati, A., Hidayanto, E., Marhaendrajaya, I., & Triadyaksa, P. (2022). *Komparasi Entrance Surface Air Kerma (Esak) Dengan Software Caldose\_X Dan Metode Tube Output Pada Pasien Thorax Dewasa Dalam Pemeriksaan Radiografi Umum Berdasarkan Data Si-Intan* (Vol. 25, Issue 4).
- [10] Rahma, A., Wigati, A., Hidayanto, E., Marhaendrajaya, I., & Triadyaksa, P. (2022). *Komparasi Entrance Surface Air Kerma (Esak) Dengan Software Caldose\_X Dan Metode Tube Output Pada Pasien Thorax Dewasa Dalam Pemeriksaan Radiografi Umum Berdasarkan Data Si-Intan* (Vol. 25, Issue 4).



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Tinjauan Awal Keselamatan Radiasi Penggunaan Pesawat Sinar-X Gigi Genggam

Titik Kartika, Leily Savitri, Iswandarini

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

Korespondensi penulis:  
t.kartika@bapeten.go.id  
l.savitri@bapeten.go.id  
i.iswandarini@bapeten.go.id

### Abstrak

Tinjauan telah dilakukan terhadap penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel atau biasa disebut dengan pesawat sinar-X genggam. Adanya teknologi pesawat sinar-X genggam sangat membantu dokter gigi untuk menegakkan diagnosis lebih cepat dan efisien. Pesawat sinar-X genggam juga sangat membantu bagi pasien yang tidak memungkinkan datang ke ruang radiologi. Namun demikian, pesawat sinar-X genggam memiliki risiko yang lebih tinggi dibandingkan pesawat sinar-X terpasang tetap sehingga memunculkan tantangan tersendiri dalam pengawasannya. Saat ini di Indonesia belum terdapat instrumen hukum yang mengatur secara khusus mengenai keselamatan radiasi pesawat sinar-X genggam. Dalam peraturan mengenai radiologi diagnostik yang berlaku saat ini, tidak ada ketentuan yang melarang atau mengatur mengenai penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel, di mana pada peraturan sebelumnya terdapat pelarangan penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel. Sementara itu, ini kebutuhan dan minat dalam penggunaan pesawat sinar-X genggam dalam pemeriksaan gigi intraoral semakin lama semakin tinggi. Akibatnya, banyak pesawat sinar-X genggam yang digunakan dalam praktik dokter gigi tanpa izin pemanfaatan. Makalah ini memberikan tinjauan awal mengenai analisis manfaat dan risiko dalam penggunaan pesawat sinar-X genggam dengan menggunakan metode tinjauan literatur baik nasional maupun internasional. Tinjauan ini memberi kesimpulan bahwa penggunaan pesawat sinar-X genggam memberikan risiko yang lebih besar dibanding pesawat sinar-X terpasang tetap, namun risiko tersebut dapat diminimalisir dengan prosedur keselamatan radiasi yang baik, sehingga dapat digunakan untuk pemeriksaan gigi intraoral terutama pada kondisi pesawat sinar-X terpasang tetap tidak memungkinkan secara medis bagi pasien tertentu. Makalah ini juga memberikan rekomendasi agar ditetapkan suatu ketentuan yang jelas mengenai penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel sehingga memberi kepastian hukum bagi pengguna.

**Kata Kunci:** pesawat sinar-X genggam, proteksi dan keselamatan radiasi, analisis manfaat dan risiko, justifikasi

### Abstract

*A review has been carried out on the use of portable dental X-ray machines or commonly called handheld X-ray. The existence of handheld X-ray technology really helps dentists to make diagnoses more quickly and efficiently. Handheld X-ray are also very helpful for patients who cannot come to the radiology room. However, handheld X-ray have a higher risk than fixed X-ray, which creates challenges in monitoring them. Currently, in Indonesia there is no legal instrument that specifically regulates the radiation safety of handheld X-ray. In the current regulations regarding diagnostic radiology, there are no provisions that prohibit or regulate the use of portable dental X-ray, whereas in previous regulations there was a prohibition on the use of portable dental X-ray. Meanwhile, the need and interest in the use of handheld X-ray in intraoral dental examinations is increasing over time. As a result, many handheld X-ray are used in dental practices without authorization. This paper provides an initial review of the benefit and risk analysis in the use of handheld X-ray using both national and international*

*literature review methods. This review concludes that the use of a handheld X-ray poses a greater risk than a fixed X-ray, but this risk can be minimized with good radiation safety procedures, so that it can be used for intraoral dental examinations, especially when fixed X-ray is still not medically possible for certain patients. This paper also provides recommendations to establish clear provisions regarding the use of portable dental X-ray so as to provide legal certainty for users.*

**Keywords:** *handheld X-ray machines, radiation protection and safety, benefit and risk analysis, justification*

## Pendahuluan

Perkembangan teknologi melaju begitu pesat dan menuntut setiap bangsa maupun setiap individu untuk terus belajar dan beradaptasi terhadap perubahan. Perkembangan teknologi merambah ke semua sektor kehidupan, termasuk sektor kesehatan. Penerapan teknologi modern dalam bidang kesehatan memberikan banyak manfaat, antara lain: meningkatkan aksesibilitas pelayanan kesehatan di daerah yang sulit dijangkau sehingga membantu mengatasi kendala geografis di Indonesia yang memiliki wilayah kepulauan yang luas sekaligus memperluas aksesibilitas layanan kesehatan ke wilayah pedesaan dan terpencil; mengurangi waktu tunggu pasien mendapatkan pelayanan medis; mengurangi beban rumah sakit dan klinik sehingga dapat memberikan pelayanan yang lebih efisien kepada pasien; membantu meningkatkan kualitas perawatan dan diagnosis di Indonesia, serta membantu dalam pemantauan epidemiologi, penelitian kesehatan, dan pengendalian penyakit [1]. Di samping itu, kemajuan teknologi juga dapat membantu meningkatkan diagnosis dan deteksi dini suatu kelainan atau penyakit, mencegah penularan penyakit dan mengurangi angka kematian, yang pada akhirnya semua itu dapat meningkatkan derajat kesehatan dan kualitas hidup masyarakat.

Salah satu perkembangan teknologi dalam bidang kesehatan adalah berkembangnya teknologi radiologi portabel yang digunakan untuk menegakkan diagnosis. Jenis teknologi radiologi yang banyak bermunculan di era saat ini adalah pesawat sinar-X gigi portabel atau biasa disebut dengan pesawat sinar-X genggam. Pesawat sinar-X gigi genggam memiliki ukuran sangat kecil dan sangat mudah untuk dibawa atau dipindahkan. Awalnya, pesawat jenis ini ditujukan untuk pemeriksaan gigi pada kondisi di mana pesawat sinar-X gigi terpasang tetap tidak dapat digunakan, seperti di fasilitas kesehatan lapangan militer dan fasilitas kesehatan gigi darurat, serta dalam upaya tim forensik atau pemulihan bencana untuk mengidentifikasi korban dengan membandingkan struktur gigi sebelum dan sesudah kematian yang biasa disebut dengan pemeriksaan *Disaster victim identification* (DVI) [2]. Penggunaan umum pesawat sinar-X genggam untuk praktik kedokteran gigi pertama kali disetujui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (FDA) pada Juli 2005 [2].

Saat ini, di Indonesia, belum ada regulasi khusus mengenai keselamatan penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel atau pesawat sinar-X genggam. Peraturan BAPETEN (PERBA) No. 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional, hanya mencantumkan ketentuan mengenai pesawat sinar-X portabel radiografi umum dan tidak mencantumkan ketentuan mengenai pesawat sinar-X gigi portabel. Pada peraturan sebelumnya, yaitu PERBA No. 8 Tahun 2011 terdapat ketentuan pelarangan penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel dan dibatasi hanya untuk pemeriksaan DVI. Dengan tidak adanya lagi ketentuan tersebut pada peraturan penggantinya, maka dapat terjadi perbedaan interpretasi pada penerapan peraturan terkait penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel, apakah dilarang atau diizinkan. Dengan demikian, dibutuhkan suatu instrumen hukum untuk menjelaskan ketidakpastian hukum terkait penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel.

Sementara itu, penggunaan pesawat sinar-X genggam di lapangan semakin banyak dan tidak terkendali pertumbuhannya. Hal ini disebabkan adanya kebutuhan atau tuntutan penggunaan pesawat sinar-X genggam yang semakin lama semakin tinggi karena karakteristiknya yang sangat praktis dan mudah untuk digunakan, dibawa, atau dipindahkan. Selain itu, biaya operasional dan harga pesawat sinar-X gigi genggam jauh lebih murah dibanding pesawat sinar-X gigi terpasang tetap. Hal ini mengakibatkan banyaknya pesawat sinar-X genggam yang digunakan di tempat praktik dokter gigi tanpa izin pemanfaatan dari BAPETEN. Fenomena ini akan menyebabkan lepasnya pengawasan BAPETEN dalam memastikan keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-X gigi genggam yang dapat berpotensi bahaya bagi pasien, pekerja, dan masyarakat, mengingat penggunaan pesawat sinar-X gigi genggam mengandung risiko yang tidak dapat diabaikan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu kajian

mengenai keselamatan pesawat sinar-X portabel untuk memastikan apakah penggunaan pesawat ini dapat dijustifikasi atau tidak, dan perlu juga ditinjau bagaimana ketentuan peraturan dan praktik pengawasan pesawat sinar-X genggam di negara lain sehingga dapat mendorong ditetapkannya suatu ketentuan peraturan untuk memberikan kepastian hukum bagi pengguna.

Penulisan makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan yang komprehensif mengenai justifikasi penggunaan pesawat sinar-X genggam yang meliputi aspek manfaat dan aspek risiko serta proteksi dan keselamatan radiasi yang diperlukan untuk mencegah atau meminimalisir bahaya radiasi pengion bagi pasien, pekerja, atau masyarakat. Metode yang digunakan penulis dalam melakukan tinjauan ini adalah metode kualitatif yang berasal dari literatur baik nasional maupun internasional.

## Pokok Bahasan

### 1. Jenis Pesawat Sinar-X Gigi

Ada tiga macam jenis pesawat sinar-X gigi berdasarkan Peraturan BAPETEN No.4 Tahun 2020, yakni pesawat sinar-X gigi intraoral, pesawat sinar-X gigi ekstraoral dua dimensi (panoramik dan chepalometrik) dan pesawat sinar-X gigi ekstraoral tiga dimensi (*cone-beam computed tomography*, CBCT). Di antara ketiga jenis pesawat gigi tersebut, pesawat sinar-X gigi intraoral merupakan jenis pesawat sinar-X yang paling banyak digunakan dan memiliki risiko paling rendah [3].

Berdasarkan bentuk fisiknya, terdapat tiga jenis konfigurasi pesawat sinar-X gigi yaitu dua jenis konvensional yaitu pesawat sinar-X gigi terpasang tetap dan pesawat sinar-X gigi *mobile*, serta satu jenis pesawat sinar-X gigi portabel atau pesawat sinar-X genggam. Pesawat sinar-X gigi terpasang tetap merupakan pesawat yang tidak bergerak dan menempel pada dinding kabinet, atau langit-langit ruang. Pesawat sinar-X gigi *mobile* merupakan pesawat sinar-X gigi yang dilengkapi atau didukung dengan dudukan mekanis pada tripoid atau roda. Sementara pesawat sinar-X gigi genggam tidak dilengkapi atau didukung dengan perlengkapan mekanis apapun [2].



Gambar 1. Pesawat sinar-X gigi terpasang tetap (kiri), pesawat sinar-X gigi *mobile* (tengah), dan pesawat sinar-X gigi portabel (kanan) [2]

### 2. Manfaat dan Risiko Pesawat Sinar-X Genggam

Pesawat sinar-X genggam mulai dipasarkan pada tahun 1990-an dan semakin lama semakin populer. Pesawat jenis ini memiliki banyak manfaat dan kelebihan, di antaranya penggunaan pesawat ini lebih hemat biaya karena harganya yang jauh lebih murah dibandingkan pesawat sinar-X gigi terpasang tetap, daya yang dibutuhkan sangat kecil dan dapat menggunakan baterai, dan tidak membutuhkan biaya tambahan untuk instalasi. Pesawat jenis ini memiliki portabilitas yang sangat tinggi karena ukurannya yang kecil, ringan, dan tidak memerlukan kabel, sehingga sangat mudah untuk dibawa atau dipindahkan. Pesawat ini juga memiliki fleksibilitas yang sangat besar karena dapat memudahkan pengambilan gambar saat pasien berbaring, telentang, atau duduk tegak [4]. Secara psikologis pesawat ini juga bermanfaat bagi pasien yang khawatir sendirian di ruang radiologi, karena operator tetap berada di dekat pasien saat penyinaran [5].

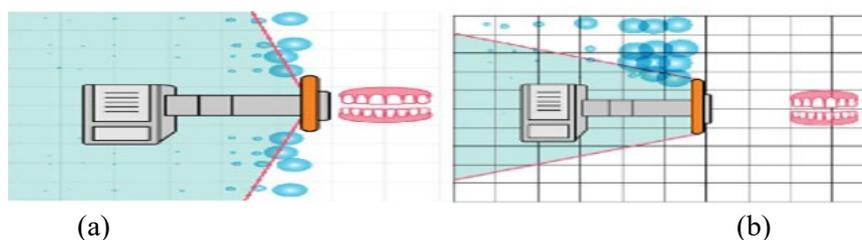
Namun penggunaan pesawat sinar-X genggam juga mengandung risiko yang harus diperhatikan diantaranya adalah adanya peningkatan paparan radiasi pada tangan, lensa mata, dan kepala operator,

potensi peningkatan paparan medik pada pasien, dan citra yang dihasilkan bisa kurang memadai akibat ketidakstabilan tangan operator ketika memegang pesawat sinar-X saat penyinaran [5].

Menurut database FDA *Manufacturer and User Facility Device Experience* (MAUDE), terdapat 85 kejadian kerusakan pesawat sinar-X genggam yang dilaporkan selama periode lima tahun mulai November 2014. Sebagian besar kejadian ini terjadi pada tahun 2016 dan 2017, dengan lebih dari 99% terkait dengan masalah baterai, yang mengakibatkan masalah seperti panas berlebih, meleleh, hangus, pembakaran spontan, dan satu kejadian ledakan pada ponsel yang berisi baterai dan wadahnya. Malfungsi baterai umumnya terkait dengan masalah termal, yang menyebabkan kegagalan baterai yang dapat membahayakan. Beberapa kejadian tidak memadamkannya keluaran radiasi dan penembakan spontan juga dilaporkan [2].

Potensi bahaya fisik bagi operator akibat malfungsi pesawat sinar-X genggam dalam praktik klinis sangat memprihatinkan. Pada pesawat sinar-X terpasang tetap, malfungsi cenderung terkait dengan terlepasnya bagian perangkat karena masalah struktur atau pemasangan. Meskipun demikian, kerusakan ini tidak menimbulkan bahaya serius bagi operator. Namun, malfungsi pada unit pesawat sinar-X genggam umumnya terkait dengan baterai nikel-kadmium atau lithium-ion tunggal yang memberi daya pada perangkat, sehingga berpotensi memberikan risiko lebih tinggi bagi operator. Berdasarkan laporan historis MAUDE, jumlah relatif insiden keselamatan per unit pesawat sinar-X genggam lebih tinggi terjadi dibandingkan pesawat sinar-X terpasang tetap [2].

Radiasi hambur dihasilkan dari pesawat sinar-X genggam ke segala arah melalui interaksi dengan sinar-X pada pasien. Berdasarkan data yang tersedia, paparan operator yang menggunakan pesawat sinar-X genggam berasal dari radiasi hambur balik. Ketika operator menempatkan kolimator sinar-X berdekatan dengan wajah pasien, zona pelindung hamburan balik (*backscatter shielding*), yang merupakan zona aman operator, akan optimal dengan lengkungan 150-160 derajat, dan bergantung pada diameter pelindung hamburan balik. Dalam situasi ini, pelindung hamburan balik efektif dalam mengurangi paparan tahunan di belakang zona pelindung hamburan balik menjadi kurang dari 0,1 mSv dengan nilai paparan tahunan di luar zona pelindung hamburan balik berkisar antara 5 hingga 7 mSv. Namun, ketika kolimator sinar-X dipindahkan dari pasien dan reseptor gambar, sehingga meningkatkan jarak sumber ke objek, dua hal berikut akan terjadi (Gambar 2): yang pertama, busur zona aman hamburan balik berkurang seiring dengan bertambahnya jarak antara ujung kolimator sinar-X dan wajah pasien. Perhatikan bahwa paparan tahunan di zona aman masih kurang dari 0,1 mSv, namun zona tersebut semakin sempit, sehingga memungkinkan kepala atau tubuh bagian bawah operator terkena tingkat radiasi yang lebih tinggi; yang kedua, waktu pemaparan harus bertambah seiring bertambahnya jarak untuk mengimbangi berkurangnya intensitas sinar-X. Peningkatan ini, seiring berjalannya waktu, akan berkontribusi pada penurunan masa pakai tabung sinar-X [2].



Gambar 2. Penggambaran diagram efek peningkatan jarak sumber ke objek (b) dari kolimator pada busur zona hamburan balik untuk pesawat sinar-X genggam yang dibandingkan dengan penempatan yang berdekatan dengan permukaan kulit pasien (a) [2]

Suatu publikasi yang diterbitkan di Negara Inggris dalam seri laporan *Public Health England* (PHE) yang berjudul '*Guidance on the Safe Use of Hand Held Dental X-ray Equipment*' menyatakan bahwa di Inggris terdapat lebih dari 350 praktik kedokteran gigi yang sudah menggunakan pesawat sinar-X genggam untuk pemeriksaan rutin radiografi intraoral. Kemudian PHE melakukan penelitian terhadap penggunaan pesawat sinar-X genggam di Inggris untuk mendapatkan informasi yang lebih rinci. PHE menyelenggarakan lokakarya bersama para profesional dan konsultan dalam bidang radiologi gigi, dokter gigi, dan operator yang berpengalaman dalam penggunaan pesawat sinar-X genggam. Lokakarya berlangsung di fasilitas bedah gigi, dengan seorang sukarelawan bertindak sebagai 'pasien' duduk di kursi gigi. Semua jenis posisi pemeriksaan radiografi intraoral yang umum digunakan dan diuji coba. Dalam setiap kasus, reseptor citra disiapkan seperti biasa dan ditempatkan di mulut pasien yang sesuai

untuk setiap tampilan radiografi. Pasien kemudian diposisikan sedemikian rupa sehingga ujung kerucut (*spacer cone*) pesawat sinar-X dapat ditempatkan dengan benar, dengan batasan bahwa berkas sinar-X harus tetap berada pada bidang horizontal sehingga operator tetap berada di dalam daerah yang terproteksi, dan sinar-X tidak boleh diarahkan ke perut atau dada pasien [6].

PHE juga melakukan investigasi dan pengujian pada lima model pesawat sinar-X gigi portabel di Inggris. Hasil pengujiannya sebagaimana yang tercantum pada Tabel 1 dan 2. Tabel 2 menunjukkan perkiraan dosis terserap tahunan ke tubuh dan tangan operator yang timbul dari penggunaan kelima model pesawat sinar-X genggam pada Tabel 1. Perkiraan dosis didasarkan pada pengukuran dosis serap yang diambil pada posisi vertikal dengan jarak 0,50 m di belakang pesawat sinar-X genggam, dan pada posisi yang mewakili tangan operator, dengan asumsi beban kerja 100 kali penyinaran seminggu selama 50 minggu (setahun).

Tabel 1. Fitur utama lima model pesawat sinar-X genggam yang diuji oleh PHE [7]

Spesifikasi/deskripsi	Model A	Model B	Model C	Model D	Model E
Tegangan tabung [kV]	60	60	60	60	70
Kuat arus tabung [mA]	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
Rentang waktu paparan [detik]	0,02–1,00	0,01–2,00	0,03–2,00	0,05–1,35	0,01–1,30
Laju dosis di ujung kerucut [mGy/s]	3.41	2.38	Tidak ditentukan	4.90	3.37
pelindung hamburan balik disediakan?	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
Jarak fokus ke kulit [mm]	200	200	100	120	205
Ukuran balok: diameter atau lebar [mm] x tinggi [mm]	34x46	60	65	60	35x43
Filtrasi total [mm Al]	1.5	1.8	2.0	1.5	1.5
Lampu 'Power on' disediakan?	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Lampu 'Sinar-X on' disediakan?	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Sinyal suara 'Sinar-X padam' disediakan?	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Batas waktu mati/kontrol otomatis?	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya

Tabel 2. Hasil pengujian yang dilakukan PHE pada kelima pesawat sinar-X genggam dengan spesifikasi yang tertulis pada Tabel 1 [7]

Fitur	Model A	Model B	Model C	Model D	Model E
Waktu paparan untuk radiografi molar rahang bawah dewasa menggunakan film dengan kecepatan F [detik]	0,40	0,61	0,29	0,40	0,26
Dosis masuk pasien dengan waktu paparan di atas [mGy]	1.17	1.45	1.10	1.93	0,86
Dosis serap per paparan 0,50 detik pada tubuh operator [nGy]	73	122	461	73	27
Dosis serap per paparan 0,50 detik pada posisi tangan operator [nGy]	160	1.800	10.800	1.700	70
Perkiraan dosis tahunan pada posisi tubuh operator [mGy]	0,10	0,70	1.3	0,30	0,07
Perkiraan dosis tahunan pada tangan operator [mGy]	0,62	10.9	31.0	6.80	0,20

Di Indonesia, telah dilakukan kajian justifikasi terbaru pada Tahun 2024 terhadap pesawat sinar-X genggam merk tertentu. Dari hasil kajian tersebut didapat informasi bahwa pada jarak 20 cm di belakang pesawat sinar-X (asumsi jarak operator ke sumber radiasi) nilai paparan radiasi maksimal yang diterima oleh pekerja radiasi adalah sebesar 0,04 mSv/jam atau  $1,11 \times 10^{-5}$  mSv/detik. Pengukuran laju paparan dilakukan dengan menggunakan fantom udara sebagai media penghambur dan tidak menggunakan pelindung hamburan balik. Dari dokumen spesifikasi teknis pesawat sinar-X tersebut, waktu penyinaran maksimal adalah dua detik, maka paparan radiasi maksimal yang didapat pekerja radiasi adalah sebesar  $2,22 \times 10^{-6}$  mSv per detik untuk sekali penyinaran. Sementara, untuk paparan di sekitar pesawat pada jarak 120 cm (asumsi jarak orang lain selain operator) diperoleh informasi bahwa nilai laju dosis maksimal adalah sebesar 0,01 mSv/jam atau sebesar 20 mSv/tahun [7].

### 3. Ketentuan Penggunaan Pesawat Pesawat Sinar-X Genggam di Negara Lain

Berikut adalah beberapa rekomendasi proteksi dan keselamatan radiasi untuk pesawat sinar-X gigi portabel atau pesawat sinar-X genggam yang dipublikasikan di beberapa negara lain.

#### 1) *European Academy of Dentomaxillofacial Radiology (EADMFR)* [8]

Di Eropa, EADMFR menyadari tantangan dalam menggabungkan pesawat sinar-X genggam ke dalam praktik radiografi gigi klinis kontemporer. Kelompok ini mengakui bahwa tantangan ini dapat mengakibatkan pelanggaran terhadap prinsip pengurangan risiko optimisasi ALARA. Oleh karena itu, EADMFR menyimpulkan dan merekomendasikan penggunaan umum pesawat sinar-X genggam tidak dibenarkan dan tidak boleh digunakan untuk pemeriksaan rutin radiografi di klinik/praktik dokter gigi. Pesawat sinar-X genggam hanya boleh digunakan untuk kondisi pasien tertentu seperti pasien di fasilitas pasien jompo, situasi operasi militer, fasilitas penyandang disabilitas, fasilitas perawatan gigi residensial, dan odontologi forensic.

#### 2) *Public Health England (PHE)* [6]

Dalam publikasi PHE, dinyatakan bahwa beberapa permasalahan perlu dipertimbangkan seorang dokter gigi ketika akan membeli pesawat sinar-X gigi portabel yang terdiri dari: sejauh mana kualitas citra radiologi terpengaruh oleh pergerakan operator selama penyinaran, keterbatasan dalam pandangan penyinaran; kebutuhan untuk mempertahankan posisi sinar X pada bidang horizontal dan faktor ergonomis lainnya; kepraktisan kolimator berbentuk persegi panjang; penahan penerima citra (*image receptor holder*) dan alat pemusat berkas sinar-X (*beam aiming devices*); waktu penyinaran yang lebih lama berpotensi mempengaruhi kualitas citra dan meningkatkan paparan pada pasien dan operator; potensi kualitas citra terpengaruh oleh keluaran radiasi yang berkurang atau tidak konsisten karena daya baterai berkurang; potensi paparan pada operator yang lebih tinggi dari paparan yang dihasilkan dari pesawat sinar-X gigi terpasang tetap; dan penggunaan peralatan sinar-X gigi portabel di “lingkungan yang tidak terawasi”.

#### 3) *Food and Drug Administration (FDA)* [9]

FDA memberikan dokumen panduan bagi produsen pesawat sinar-X genggam. Panduan ini menjelaskan pertimbangan keselamatan radiasi tertentu, yang meliputi: pesawat sinar-X genggam harus dilengkapi dengan pelindung pada wadah tabung dan pelindung eksternal yang sesuai standar FDA; perlu dilakukan pengukuran paparan radiasi di sekitar pesawat; identifikasi tindakan pencegahan bahaya yang diperlukan dan prosedur keselamatan radiasi; penyediaan peralatan pemantau dosis perorangan dan perlengkapan protektif; pembatasan beban kerja bagi operator pesawat sinar-X genggam tanpa dudukan; penggunaan saklar jarak jauh jika diperlukan; pemberian informasi mengenai keselamatan radiasi pada pasien dan individu lain yang berada di area pemeriksaan; film minimal berkecepatan E atau F atau sensor digital harus digunakan; penggunaan apron dengan kerah Pb pada tiroid harus dipertimbangkan untuk pasien ketika kolimasi persegi panjang tidak dapat diberikan karena desain pesawat; pelindung hamburan balik tidak boleh ditempatkan lebih jauh dari satu cm dari ujung kerucut agar memadai untuk menghalangi radiasi hamburan balik; dan pesawat sinar-X genggam yang digunakan dokter gigi adalah pesawat yang sudah mendapat sertifikat dari FDA yang telah diberikan label yang ditempelkan pada pesawat.

#### 4) *American Dental Association (ADA)* [10]

ADA memberikan panduan terbatas mengenai penggunaan pesawat sinar-X genggam. ADA mendukung ketentuan FDA dengan menyarankan dokter gigi untuk menggunakan pesawat sinar-X genggam yang dipasarkan secara legal dan memeriksa apakah pesawat tersebut diberi label dari FDA. ADA juga menyatakan bahwa paparan radiasi yang dihasilkan dari pesawat sinar-X genggam masih berada dalam batas keselamatan dan menunjukkan bahwa paparan radiasi yang diterima operator pesawat sinar-X genggam jauh lebih kecil dibandingkan pesawat sinar-X terpasang tetap, sehingga ADA menyimpulkan bahwa tidak diperlukan adanya pelindung tambahan.

### 5) *National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)* [11]

NCRP memberikan beberapa rekomendasi mengenai ketentuan keselamatan penggunaan pesawat sinar-X genggam, yang meliputi: orang yang berada di area di sekitar pesawat sinar-X genggam ketika berlangsung penyinaran, selain pasien dan operator, harus diproteksi sebagai anggota masyarakat; operator harus mempunyai kemampuan fisik untuk tetap berada pada posisi yang tepat ketika menahan atau memegang dengan tangan pesawat sinar-X genggam dalam beberapa kali penyinaran; operator harus menyimpan pesawat sinar-X genggam sehingga tidak dapat diakses oleh masyarakat saat tidak digunakan; operator yang mengoperasikan pesawat sinar-X genggam yang telah disetujui FDA tidak diharuskan mengenakan perlengkapan protektif (apron dan sarung tangan); dan kolimasi berbentuk persegi panjang harus digunakan bila memungkinkan.

## Hasil dan Pembahasan

Dari hasil lokakarya yang diselenggarakan PHE yang dijelaskan dalam Pokok Bahasan, dapat dilihat bahwa data pada kedua Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa model pesawat sinar-X gigi portabel model A, D dan E memenuhi batasan dosis yang direkomendasikan oleh PHE. Model-model ini dilengkapi dengan pelindung hamburan balik. Kemungkinan model B juga akan sesuai jika dilengkapi dengan pelindung hamburan balik. Namun, model C dan D memiliki jarak fokus ke kulit (FSD) yang kurang dari nilai minimum 200 mm yang direkomendasikan untuk peralatan yang beroperasi pada 60 kV atau lebih. Penggunaan ujung kerucut yang lebih panjang memberikan FSD 200 mm akan mengurangi dosis pasien dan pengurangan dosis tahunan yang proporsional pada tubuh dan tangan operator, namun kualitas citra diagnostik tetap memadai.

Lokakarya yang diselenggarakan PHE ini menghasilkan kesimpulan bahwa sebagian posisi penyinaran (*bitewings, periapikal, oklusal, dan oblique lateral*) dapat dilakukan dengan pesawat sinar-X genggam, walaupun memiliki ketidaknyamanan atau kesulitan bagi pasien untuk mengambil posisi yang dibutuhkan untuk membatasi paparan sinar-X ke bidang horizontal. Selain faktor posisi penyinaran, lokakarya ini juga memberikan temuan pada faktor peralatan. Penggunaan penahan reseptor citra dan alat pemusat berkas sinar-X dapat memungkinkan *visual alignment* yang mudah dari ujung kerucut, yang terpasang dengan kolimator persegi panjang pada kedua unit terhadap pasien. Namun demikian, lengan proyeksi pada alat yang digunakan saat *workshop*, berbatasan dengan penahan radiasi hamburan balik sedemikian rupa sehingga perlu untuk menahan ujung kerucut 5–10 cm lebih jauh dari pasien. Hal ini akan meningkatkan paparan sinar-X pada pasien dan menambah waktu penyinaran sehingga menghasilkan peningkatan dosis pasien (DAP) secara keseluruhan sebesar 50%–100% dibandingkan apabila penyinaran dilakukan dengan ujung kerucut yang sangat dekat dengan kulit pasien. Kemungkinan ada peningkatan risiko penyalarsan ujung kerucut yang tidak tepat dengan reseptor citra yang mengarah ke ujung kerucut yang terpotong, sehingga berpotensi terjadinya pengulangan penyinaran yang dapat meningkatkan dosis pasien. Selain itu, area yang terproteksi bagi operator juga akan berkurang. Untuk menghindari efek ini, perangkat pengarah berkas sinar harus sedemikian rupa untuk memungkinkan ujung kerucut ditempatkan sedekat mungkin dengan pasien. Oleh karena itu, perangkat pengarah berkas dan ujung kerucut ini harus tersedia pada pesawat sinar-X genggam [6].

Sementara itu, dari hasil kajian justifikasi yang dilakukan di Indonesia sebagaimana dijelaskan dalam bagian Pokok Bahasan, diperoleh informasi bahwa pada jarak 20 cm, operator menerima paparan maksimal  $2,22 \times 10^{-6}$  mSv per detik. Apabila diasumsikan prosedur pemeriksaan (mulai dari persiapan sampai selesai) per pasien dibutuhkan total waktu selama 15 menit dan asumsi 1 hari adalah 8 jam kerja, maka per hari maksimal dapat dilakukan sebanyak 32 kali penyinaran atau 32 pasien. Dengan demikian, pekerja radiasi akan menerima maksimal  $7,11 \times 10^{-5}$  mSv per hari. Nilai ini masih jauh berada di bawah nilai pembatas dosis maksimal yang ditetapkan oleh peraturan mengenai Proteksi dan Keselamatan Radiasi (3/10 NBD pekerja radiasi atau 6 mSv per tahun atau 0,024 mSv/hari dengan asumsi per tahun 250 hari). Hal ini berarti, pada kondisi maksimal (beban kerja dan waktu penyinaran maksimal) paparan radiasi bagi pekerja radiasi yang diterima operator pesawat sinar-X genggam tersebut masih termasuk sangat rendah. Pengukuran ini dilakukan tanpa menggunakan pelindung hamburan balik pada pesawat sinar-X. Tentunya, nilai ini akan jauh lebih rendah lagi apabila menggunakan pelindung radiasi hambur balik.

Selain itu, dari hasil kajian justifikasi didapat informasi bahwa pada jarak 120 cm paparan radiasi maksimal sebesar 20 mSv/tahun. Nilai tersebut jauh melampaui nilai batas dosis masyarakat yaitu sebesar satu mSv/tahun. Dari sini didapat kesimpulan bahwa ketika dilakukan penyinaran tidak boleh ada satupun masyarakat yang mendekati pada jarak tersebut. Nilai batas dosis untuk masyarakat sebesar satu mSv/tahun, apabila diasumsikan setahun adalah 2000 jam kerja maka nilai tersebut sama dengan 0,0005 mSv/jam atau 0,5  $\mu$ Gy/jam. Dari perhitungan dengan metode *inverse square law*, didapatkan bahwa jarak minimal bagi masyarakat yang tidak melebihi Nilai Batas Dosis masyarakat adalah pada jarak yang lebih jauh dari 5,36 m dari pesawat sinar-X genggam. Nilai ini terukur dalam kondisi tidak menggunakan pelindung radiasi, sehingga ketika digunakan pelindung radiasi berupa pelindung hambur balik pada pesawat sinar-X genggam atau apron, nilainya akan lebih kecil lagi.

Walaupun hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis yang diterima pekerja dari penggunaan pesawat sinar-X genggam masih berada di bawah Nilai Batas Dosis yang ditetapkan IAEA, namun perlu dipertimbangkan teori non-ambang batas linier (LNT). Teori LNT mengemukakan hubungan linier antara dosis dan risiko menimbulkan efek stokastik, bahkan pada dosis rendah. Hal ini berarti tidak ada batasan dosis yang aman dari penggunaan pesawat sinar-X genggam walaupun pada dosis rendah sekalipun [12]. Sehingga penggunaan pesawat sinar-X genggam harus mendapat pengawasan.

Hampir semua rekomendasi yang diberikan beberapa publikasi internasional memberikan penekanan yang sama untuk tindakan proteksi dan keselamatan radiasi penggunaan pesawat sinar-X genggam. Namun, terdapat perbedaan mengenai tujuan penggunaan pesawat sinar-X genggam, apakah hanya dibolehkan untuk kondisi tertentu atau dapat digunakan dalam pemeriksaan rutin di praktik dokter gigi. IAEA telah menerbitkan pedoman keselamatan untuk penggunaan pesawat sinar-X gigi dalam suatu publikasinya yaitu *Safety Report Series (SRS) No.108* yang berjudul *Radiation Protection in Dental Radiology*. Dalam SRS 108, IAEA memberi rekomendasi ketentuan untuk penggunaan pesawat sinar-X portabel secara umum yaitu bahwa pesawat sinar-X gigi portabel hanya dapat digunakan untuk penyinaran pasien yang tidak memungkinkan dibawa atau dipindahkan ke ruang radiologi atau ruang pesawat sinar-X terpasang tetap [8]. IAEA mengacu pada beberapa publikasi internasional seperti publikasi yang diterbitkan dari EADMR dan *Position Statement* yang dikeluarkan oleh HERCA [13]. IAEA, EADMR, dan HERCA sama-sama menyatakan bahwa pesawat sinar-X portabel gigi genggam hanya boleh digunakan apabila pesawat sinar-X gigi terpasang tetap tidak memungkinkan atau tidak praktis digunakan untuk kondisi pasien tertentu seperti pasien di fasilitas pasien jompo, situasi operasi militer, fasilitas penyandang disabilitas, fasilitas perawatan gigi residensial, dan odontologi forensik. Sebaliknya, NCRP dan ADA memberikan rekomendasi yang lebih longgar mengenai penggunaan pesawat sinar-X genggam. NCRP dan ADA membolehkan penggunaan pesawat sinar-X genggam untuk pemeriksaan rutin dalam praktik dokter gigi selama terpenuhinya ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi saat menggunakan dan menyimpannya. NCRP dan ADA juga menyatakan bahwa paparan radiasi yang ditimbulkan dari pesawat sinar-X genggam jauh lebih rendah dibandingkan paparan radiasi yang ditimbulkan dari pesawat sinar-X terpasang tetap sehingga tidak diperlukan pelindung radiasi tambahan bagi operator berupa pakaian protektif (apron dan sarung tangan Pb).

Kondisi yang ada di Indonesia saat ini adalah banyaknya pesawat sinar-X genggam tanpa izin pemanfaatan dari BAPETEN yang digunakan oleh praktik dokter gigi bahkan dilaporkan oleh pelapor sukarela bahwa jumlahnya mencapai ribuan pesawat. Hal ini disebabkan manfaat dan kebutuhan yang tinggi dari penggunaan pesawat sinar-X genggam untuk memperoleh penegakan diagnosis yang cepat dan akurat pada pemeriksaan gigi intraoral, sehingga tindakan selanjutnya dapat lebih cepat dan tepat dilakukan. Sementara itu, dalam peraturan mengenai pesawat sinar-X radiologi daignostik, yaitu PERBA No.4 Tahun 2020, tidak memberikan ketentuan khusus mengenai pesawat sinar-X portabel untuk pemeriksaan gigi, dan hanya ada ketentuan untuk pesawat sinar-X portabel untuk pemeriksaan radiografi umum, di mana pada peraturan sebelumnya yaitu PERBA No.8 Tahun 2011, terdapat pelarangan penggunaan pesawat sinar-X portabel, dan hanya dibolehkan untuk pemeriksaan tujuan DVI. Akibatnya, dengan hilangnya ketentuan pelarangan tersebut di peraturan yang berlaku saat ini, terdapat multiinterpretasi di kalangan pengguna dan bahkan di kalangan pengawas radiasi. Ada yang menafsirkan bahwa penggunaan pesawat sinar-X portabel masih dilarang dan ada pula yang menafsirkan bahwa penggunaan pesawat sinar-X portabel sudah tidak dilarang lagi. Terlebih lagi, dengan kemajuan teknologi, saat ini banyak fitur pesawat sinar-X portabel gigi yang jauh lebih baik dari generasi terdahulu sehingga dapat meminimalisir risiko yang dikhawatirkan sebelumnya.

Berdasarkan pada pembahasan sebelumnya, dapat diperoleh informasi bahwa penggunaan pesawat sinar-X genggam memiliki risiko yang lebih tinggi dari pesawat sinar-X terpasang tetap. Namun demikian, risiko tersebut dapat dikurangi dan diatasi dengan fitur atau desain pesawat yang memenuhi aspek proteksi dan keselamatan radiasi dan prosedur keselamatan radiasi yang benar. Beberapa penelitian internasional telah dilakukan untuk mengembangkan protokol yang menjamin keselamatan radiasi bagi operator. Tindakan proteksi dan keselamatan radiasi telah terbukti efektif dalam mengurangi dosis radiasi kepada operator, sehingga meningkatkan proteksi terhadap radiasi sekunder selama pemeriksaan radiografi yang dilakukan dengan pesawat sinar-X genggam. Tindakan proteksi dan keselamatan radiasi tersebut meliputi: pengoperasian perangkat portabel dengan lengan telentang penuh untuk menjaga jarak dari tubuh; pemakaian pelindung hamburan balik pada silinder tabung; pemakaian silinder tabung yang lebih panjang; pemakaian apron dan sarung tangan Pb; dan pemakaian kolimator berbentuk persegi panjang.

Dari semua pembahasan di atas, maka dibutuhkan ketentuan yang jelas mengenai penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel atau pesawat sinar-X genggam yang mempertimbangkan aspek manfaat dan risiko. Ketentuan tersebut juga harus realistis dengan mempertimbangkan kemajuan teknologi, kebutuhan penggunaan pesawat sinar-X yang tinggi di lapangan, dan melihat bagaimana praktik pengawasan di negara lain. Namun, berdasarkan analisis risiko, penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel tetap tidak dapat menggantikan pesawat sinar-X gigi terpasang tetap yang memiliki aspek keselamatan lebih baik, sehingga tetap menjadi prioritas utama dalam pemeriksaan gigi. Akan tetapi, dalam kondisi yang tidak memungkinkan atau dinilai tidak praktis secara medis bagi pasien untuk diperiksa dengan pesawat sinar-X terpasang tetap, maka perlu ada justifikasi dibolehkannya penggunaan pesawat sinar-X portabel. Karena justifikasi ini sangat terkait dengan kondisi klinis pasien, maka tenaga medis yang berhak memberikan justifikasi penggunaan. Adapun justifikasi awal terhadap desain atau fitur keselamatan pesawat sinar-X portabel diberikan oleh BAPETEN selaku badan pengawas melalui pemberian izin pemanfaatan. Sehingga, semua penggunaan pesawat sinar-X portabel dapat dibolehkan selama ada justifikasi dari tenaga medis dan menggunakan pesawat sinar-X yang telah mendapatkan izin pemanfaatan dari BAPETEN. Hal ini akan lebih memberikan kepastian hukum bagi pengguna sehingga tidak perlu ada lagi penggunaan pesawat sinar-X gigi portabel tanpa izin pemanfaatan yang diam-diam digunakan dan berpotensi munculnya risiko bagi pekerja, pasien dan masyarakat. Di samping ketentuan regulasi yang jelas, BAPETEN juga perlu memberikan pedoman yang komprehensif mengenai desain dan prosedur penggunaan pesawat sinar-X portabel. Hal ini dapat meminimalisir perbedaan interpretasi regulasi di lapangan, dan akan sangat membantu para pengguna dalam memenuhi aspek proteksi dan keselamatan radiasi.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pesawat sinar-X genggam dapat memberikan risiko bagi pekerja, pasien, dan masyarakat apabila tidak memperhatikan ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi. Untuk meminimalisir risiko radiasi, fitur pesawat sinar-X genggam harus dilengkapi dengan pelindung hamburan balik, silinder tabung yang lebih panjang, dan kolimator berbentuk persegi panjang. Penggunaan pesawat sinar-X terpasang tetap harus menjadi prioritas utama, namun dapat digantikan dengan pesawat sinar-X genggam untuk kondisi pasien yang tidak memungkinkan atau tidak praktis secara medis diperiksa dengan pesawat sinar-X terpasang tetap. Kondisi pasien tersebut harus mendapat justifikasi yang jelas dari tenaga medik.

BAPETEN perlu menetapkan suatu instrumen hukum yang jelas untuk memberikan kepastian hukum bagi penggunaan pesawat sinar-X genggam. BAPETEN juga perlu menyusun pedoman keselamatan radiasi yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan aspek manfaat serta risiko, kemajuan teknologi, dan kebutuhan yang tinggi di lapangan sehingga masyarakat memperoleh pelayanan kesehatan yang cepat dan efisien yang pada akhirnya dapat meningkatkan derajat kesehatan dan kualitas hidup masyarakat.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya pada unit kerja P2STPFRZR BAPETEN terutama pada semua anggota tim justifikasi dan semua pihak yang telah membantu mendorong dan membantu hingga tersusunnya makalah ini.

## Daftar Pustaka

- [1] [https://aido.id/his/perkembangan-teknologi-kesehatan\\_serta%20contoh/detail](https://aido.id/his/perkembangan-teknologi-kesehatan_serta%20contoh/detail), Aido Health (2023) *Teknologi Kesehatan: Perkembangan, Dampak, serta Contoh*
- [2] Midmark Corporation, Maimisburg, Ohio USA (2020) *Handheld versus Conventional Dental X-Ray Units in Clinical Dental Practice - a Cautionary Discussion*
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2020), "Safety Report Series (SRS) No. 108, *Radiation Protection in Dental Radiology*
- [4] Hand-held X-ray Device, A review, D N S V, Ramesh et.al (2018) *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology* 30(2): 153-157
- [5] DrBicuspid.com, Mellisa Busch (2021) *Handheld vs. Conventional X-Ray: 3 Things to Consider*
- [6] PHE (Public Health England) (2016) *Guidance on The Safe Use of Hand Held Dental X-ray Equipment*
- [7] P2STPFRZR-BAPETEN (2024) *Laporan Hasil Telaah Justifikasi Pesawat Sinar-X Portabel Radiografi Gigi Merk Eighteenth Model Hyperlight*
- [8] European Academy of Dento Maxillo Facial Radiology (EADMFR) (2015) *Justification and Good Practice in Using Handheld Portable Dental X-Ray Equipment*
- [9] US Department of Health and Human Services; Food and Drug Administration (FDA) Centre for Devices and Radiological Health; Diagnostic Devices; (2008) *Guidance for Industry and FDA Staff Radiation Safety Considerations for X-Ray Equipment Designed for Handheld Use*
- [10] American Dental Association (ADA), Dental Radiographic Technology (2020) *Oral Health Topics. X-Rays/Radiographs*
- [11] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) (2019) NCRP Report 177, *Radiation Protection in Dentistry and Oral & Maxillofacial Imaging: Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements*, Bethesda :232
- [12] Guilherme Ceschia Martins et al (2023) *Hand-held Dental X-ray Device: Attention to Correct Use*
- [13] Heads of The European Radiological Protection Competent Authorities (HERCA) (2014) *Use of Handheld Portable Dental X-Ray Equipment, Position Statement*



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Tinjauan Pengawasan Pangan Terkontaminasi Zat Radioaktif di Indonesia Pasca Kecelakaan Fukushima

Ratri Nuraini, Pandu Dewanto, Angga Kautsar, Evin Yulianti

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

Korespondensi penulis:  
r.nuraini@bapeten.go.id  
p.dewanto@bapeten.go.id  
a.kautsar@bapeten.go.id  
y.evin@bapeten.go.id

### Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara yang rutin mengimpor bahan pangan berupa produk perikanan dan komoditas lain dari negara Jepang. Pada tanggal 11 Maret 2011, di negara Jepang tepatnya PLTN Fukushima I terjadi sebuah kecelakaan nuklir yang kemudian dideklarasikan sebagai kondisi kedaruratan nuklir di Jepang. Radionuklida yang berasal dari insiden tersebut dilepaskan ke lingkungan termasuk ke atmosfer, laut bebas, dan lahan pertanian yang berpotensi mencemari hasil pangan. Penyusunan kebijakan terkait pengawasan keamanan pangan oleh Pemerintah Indonesia dinilai sangat penting guna melindungi masyarakat umum dari bahaya cemaran radionuklida yang dapat terkandung dalam pangan impor yang berasal dari Jepang. Dalam makalah ini, ditinjau peraturan-peraturan yang pernah berlaku di Indonesia terkait pengawasan pangan impor asal Jepang serta komparasi nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor asal negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia dengan pedoman internasional. Metode yang digunakan dalam tinjauan ini adalah metode kualitatif dari jurnal ilmiah dan peraturan mengenai pengawasan pemasukan pangan impor asal Jepang yang pernah berlaku di Indonesia serta komparasi nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal dari negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia dengan pedoman Internasional. Hasil tinjauan ini memberikan kesimpulan bahwa pengawasan pangan terkontaminasi zat radioaktif yang berasal dari negara Jepang telah dimiliki oleh Indonesia dengan mulai mensyaratkan surat bebas radioaktif pada pemasukan pangan impor dari negara Jepang hingga melakukan relaksasi. Serta disimpulkan nilai batas maksimum kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal dari negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia lebih ketat dibandingkan dengan pedoman internasional.

**Kata Kunci:** Cemaran radionuklida, kedaruratan nuklir, pangan impor

### Abstract

*Indonesia is one of the countries regularly imports food such as fishery products and other commodities from Japan. On March 11 2011, in Japan specifically at the Fukushima I Nuclear Power Plant, a nuclear accident occurred and declared as a nuclear emergency situation in Japan. Radionuclides originating from the incident were released into the environment, including the atmosphere, open seas and agricultural land, with the potential to contaminate food products. The development of policies related to food safety supervision by the Indonesian Government is considered very important to protect the public community from negative impacts of radionuclide contamination that can be contained in imported food originating from Japan. In this paper, will be reviewed the regulations that have been in force in Indonesia regarding the supervision of imported food from Japan and compare the limit values for radionuclide content in imported food from countries that are experiencing a nuclear*

*emergency that apply in Indonesia with international guidelines. The method used in this review is a qualitative method from scientific journals and regulations regarding supervision of imported Japanese food imports that have been in force in Indonesia as well as a comparison of the limit values for radionuclide content in imported food originating from countries experiencing a nuclear emergency that are in force in Indonesia with guidelines International. The results of this review provide the conclusion that supervision of food contaminated with radioactive substances originating from Japan has been regulated by Indonesia by starting to require non radioactivity certificate for imports of food originated from Japan and finally lifting the regulation. It was also concluded that the maximum limit value for radionuclide content in imported food originating from countries experiencing a nuclear emergency in force in Indonesia is stricter than international guidelines.*

**Keywords:** Radionuclide contamination, nuclear emergency, import food.

## Pendahuluan

Sebuah kecelakaan nuklir terjadi di PLTN Fukushima I atau FDNPS (*Fukushima-Daiichi Nuclear Power Station*) Jepang 13 tahun yang lalu, yang dideklarasikan sebagai kedaruratan nuklir pada tanggal 11 Maret 2011. Menurut Pedoman Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir Nasional yang disusun oleh BAPETEN pada tahun 2021, kedaruratan nuklir adalah keadaan bahaya yang mengancam keselamatan manusia, kerugian harta benda, atau kerusakan lingkungan hidup yang timbul sebagai akibat dari adanya lepasan zat radioaktif dari instalasi nuklir, atau fasilitas/kegiatan yang memanfaatkan zat radioaktif, atau kejadian khusus [4]. Akibat kecelakaan nuklir yang salah satunya disebabkan oleh gempa bumi dan tsunami ini, radionuklida yang mudah menguap dilepaskan ke lingkungan. Diindikasikan oleh *The Nuclear and Industrial Safety Agency of Japan* (NISA) sekitar 160 PBq  $^{131}\text{I}$ , 18 PBq  $^{134}\text{Cs}$ , dan 15 PBq  $^{137}\text{Cs}$  terlepas ke atmosfer antara 11-16 Maret 2011[1]. *The Tokyo Electric Power Company* (TEPCO) juga memperkirakan 10.393 ton aliran air di laut bebas turut terkontaminasi dan mengandung 150 GBq total radionuklida  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ , dan  $^{137}\text{Cs}$  antara 1-6 April 2011. Selain mengkontaminasi atmosfer dan laut bebas, radionuklida ini juga mengkontaminasi daratan, dimana radioiodine dan radiocesium dengan kadar yang tinggi terdeteksi di permukaan tanah dan tanaman pada 15 Maret 2011 [1] [2]. Hal ini sangat berpotensi mencemari hasil pangan yang akan dikonsumsi oleh manusia.

Pangan yang terkontaminasi radionuklida dapat memberikan dampak negatif pada kesehatan manusia, salah satunya adalah risiko kanker. Radionuklida  $^{134}\text{Cs}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  yang diserap melalui cairan tubuh dalam dosis tertentu dapat meningkatkan terjadinya kanker pada otot dan jaringan lunak. Sementara itu, radionuklida  $^{90}\text{Sr}$  dapat meningkatkan terjadinya kanker pada tulang dan sumsum tulang, radionuklida  $^{239}\text{Pu}$  dan  $^{240}\text{Pu}$  dapat meningkatkan potensi terjadinya kanker paru-paru, hati, tulang, dll dan akumulasi radionuklida Yodium yang tinggi dapat menyebabkan meningkatnya kanker tiroid bagi yang terpapar [12]. Untuk melindungi masyarakat umum, sebagai salah satu negara pengimpor komoditas pangan dari negara Jepang, Pemerintah Indonesia perlu menyusun kebijakan berupa panduan dan peraturan terkait pengawasan keamanan pangan impor dari negara yang mengalami kedaruratan nuklir. Salah satu panduannya telah disusun oleh BAPETEN melalui *Prosedur Std: Respons Kejadian Lepas Zat Radioaktif Dan Kontaminasi Dari Negara Lain Tahun 2020* dengan menetapkan tingkat pembatas radionuklida pada produk pangan dan air minum. Sementara itu, peraturannya telah diakomodir oleh Permentan Nomor 12 Tahun 2022 melalui penetapan nilai batas radionuklida pada pemasukan komoditas PSAH (Pangan Segar Asal Hewan) dan PSAT (Pangan Segar Asal Tumbuhan) yang berasal dari daerah atau negara dengan status kedaruratan nuklir dan/atau radiologi. Selain itu, peraturan terkait hasil perikanan dan sarana produksi budidaya ikan dari negara Jepang yang masuk ke dalam wilayah negara Republik Indonesia diatur oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui PermenKP Nomor 12 Tahun 2011 dan peraturan terkait tentang batas maksimum cemaran radioaktif dalam pangan umum dari daerah atau negara yang diduga mengalami kedaruratan pencemaran radioaktif telah diatur oleh Permenkes Nomor 1031 Tahun 2011. Nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia kemudian dikomparasi dengan nilai batas kandungan radionuklida menurut pedoman Internasional.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk meninjau peraturan-peraturan yang pernah berlaku di Indonesia terkait pengawasan pangan impor asal Jepang yang masuk ke wilayah Indonesia serta komparasi nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia dengan pedoman internasional dari Codex

Alimentarius Commission/CAC (FAO & WHO) dan pedoman yang berlaku di US berupa DIL (Derived Intervention Level) FDA.

## Metodologi

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah metode kualitatif dengan melakukan studi literatur dari jurnal ilmiah dan peraturan-peraturan mengenai pengawasan pemasukan pangan impor asal Jepang yang pernah berlaku di Indonesia dan komparasi nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal dari negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia dengan pedoman Internasional dari Codex Alimentarius Commission/CAC (FAO & WHO) dan pedoman yang berlaku di US berupa DIL (Derived Intervention Level) FDA.

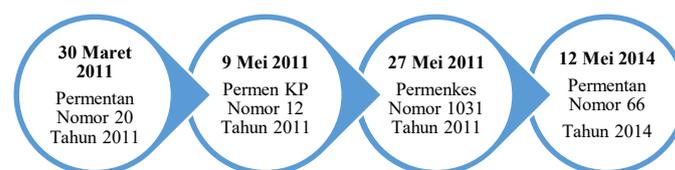
## Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan studi literatur dapat tersaji peraturan-peraturan mengenai pengawasan pemasukan pangan impor asal Jepang yang pernah berlaku di Indonesia dan komparasi nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal dari negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia dengan pedoman Internasional dari Codex Alimentarius Commission/CAC (FAO & WHO) dan pedoman yang berlaku di US berupa DIL (Derived Intervention Level) FDA. Masing-masing poin dibahas secara lebih terperinci sebagai berikut:

### 1. Peraturan-Peraturan Mengenai Pengawasan Pemasukan Pangan Impor Asal Jepang yang Pernah Berlaku di Indonesia

#### 1) Pengetatan Pemasukan Pangan Impor asal Jepang di Indonesia

Setelah Kepala BAPETEN menyatakan Indonesia masuk dalam kategori zona aman [6], untuk tetap melindungi masyarakat atas bahaya kesehatan dari asupan makanan yang berasal dari Jepang, sesuai amanat Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2004 tentang Keamanan, mutu, dan gizi pangan, Kementerian Indonesia memperketat pemasukan impor dengan menyusun peraturan sebagai berikut:



Gambar 1. Peraturan persyaratan pemasukan impor produk pangan yang berasal dari Jepang

Kementerian Pertanian menerbitkan Permentan Nomor 20 Tahun 2011 yang mensyaratkan pemasukan Pangan Segar Asal Hewan (PSAH) dan/atau Pangan Segar Asal Tumbuhan (PSAT) yang dimuat di atas alat angkut dari Jepang mulai 11 Maret 2011 harus disertai sertifikat bebas radioaktif (*non radioactivity certificate*) oleh otoritas kompeten keamanan radiasi di Jepang. Kementerian Kelautan dan Perikanan turut menerbitkan Permen KP Nomor 12 Tahun 2011 dengan mensyaratkan hal yang sama, yaitu sertifikat kesehatan yang memuat hasil perikanan bebas dari zat radioaktif untuk hasil perikanan yang berasal dari Jepang. Kemudian, Kementerian Kesehatan menerbitkan Permenkes Nomor 1031 Tahun 2011 yang mengatur secara umum tentang pangan yang berasal dari daerah atau negara yang diduga mengalami kedaruratan pencemaran radioaktif. Untuk dapat diedarkan di Indonesia pangan tersebut harus memiliki sertifikat radioaktivitas pangan oleh badan yang berwenang di negara asal yang menyatakan pangan tidak mengandung cemaran radioaktif melebihi batas pada Tabel 1. Pada tanggal 12 Mei 2014, Kementerian Pertanian melakukan revisi Permentan Nomor 20 Tahun 2011 menjadi Permentan Nomor 66 Tahun 2014 dengan batas maksimum cemaran radioaktif pada PSAH dan/atau PSAT mengacu pada peraturan Kementerian Kesehatan yang berlaku.

Tabel 1. Nilai batas konsentrasi radionuklida pada pangan yang beredar di Indonesia oleh Peraturan Kementerian Kesehatan Nomor 1031 Tahun 2011 [7]

No	Jenis Pangan	Batas maksimum (Bq/kg)	
		I-131	Cs-137
1	Pangan Bayi	50	100
2	Susu dan olahannya	100	150
3	Buah dan sayuran segar	1000	500
4	Ikan dan hasil laut lainnya	-	500
5	Daging	-	500
6	Air minum dalam kemasan	-	150
7	Sereal, termasuk tepung jagung dan barley	-	500
8	Pangan lainnya	-	500

9 tahun setelah terjadi kecelakaan nuklir di Fukushima banyak perkembangan positif terkait status keamanan pangan pada prefektur di Jepang. Pada tahun 2020 Kementerian Pertanian menerbitkan Permentan Nomor 05 Tahun 2020 dimana hanya prefektur yang memiliki risiko kontaminasi radioaktif tinggi (Ibaraki, Miyagi, Nagano, Niigata, Tochigi, Yamagata, dan Yamanashi) yang dipersyaratkan memiliki surat bebas radioaktif untuk memasuki wilayah Indonesia. Selain itu, surat bebas radioaktif yang dimaksud hanya mengacu pada batas cemar radiocesium, dengan nilai batas konsentrasi radiocesium masing-masing untuk daging dan produk daging; sereal, termasuk tepung jagung dan barley; buah dan sayuran segar; susu dan olahannya; dan pangan lainnya adalah 500 Bq/kg; 500 Bq/kg; 500 Bq/kg; 150 Bq/kg; dan 500 Bq/kg.

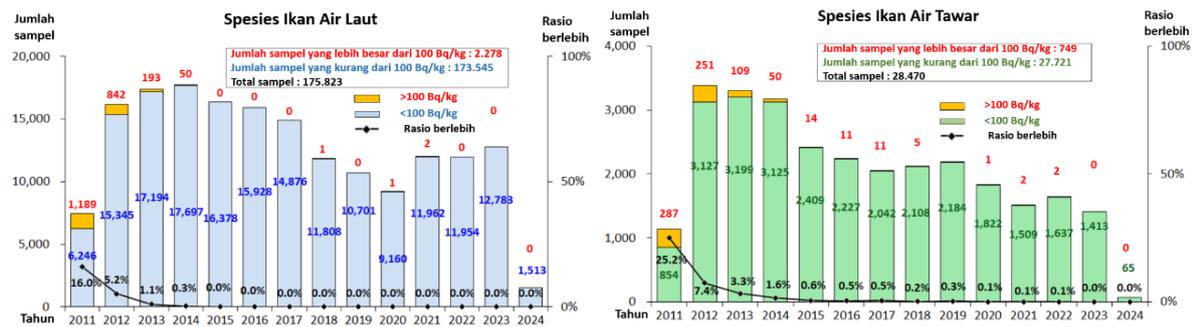
Tabel 2. Batas cemaran radioaktif pada pangan menurut Codex, Indonesia, Jepang, dan US [13]

	Codex Guideline Level	Indonesia (Permenkes)	Jepang (MHLW)	US (DIL FDA)
	Air minum	150 Bq/kg	10 Bq/kg	
	Susu	150 Bq/kg	50 Bq/kg	
Batas maksimum radiosesium dalam makanan	Pangan bayi	1.000 Bq/kg	100 Bq/kg	1.200 Bq/kg
	Selain jenis pangan di atas	1.000 Bq/kg (Pangan yang dikonsumsi dalam kuantitas kecil = 10.000 Bq/kg)	500 Bq/kg	100 Bq/kg (Pangan umum)

Pada tahun 2011 Jepang menetapkan peraturan terkait nilai batas konsentrasi radionuklida pada pangan untuk 4 jenis radionuklida (radioiodine, radiocesium, uranium, dan plutonium serta pemancar  $\alpha$  transuranik lain) sebagai respon atas darurat nuklir. Setelah dilakukan evaluasi oleh FSCJ (*Food Safety Commission of Japan*), pada April 2012 MHLW kembali menetapkan nilai batas konsentrasi radionuklida pada pangan hanya untuk radiocesium. Radioiodine tidak diatur di dalam peraturan baru karena peraturan baru hanya mengatur radionuklida yang memiliki waktu paro  $\geq 1$  tahun (waktu paro  $I^{131}$  8 hari). Nilai batas konsentrasi radioaktivitas uranium juga tidak diatur di dalam peraturan baru karena pelepasan yang terbatas dan tidak ada perbedaan dengan kadar isotop uranium yang ada secara alami. [8] [9].

Nilai radioaktif Cesium pada komoditas produk perikanan Jepang baik spesies ikan air laut maupun spesies ikan air tawar (Gambar 2) memiliki kecenderungan menurun sejak terjadi kecelakaan nuklir di Fukushima hingga 6 Juni 2024. Persentase sampel spesies ikan air laut dan ikan air tawar yang memiliki

kandungan radiocesium >100 Bq/kg dibanding total jumlah sampel bernilai 0% dalam dua tahun terakhir.



Gambar 2. Hasil pemantauan nilai radiocesium pada spesies ikan air laut (kiri) dan spesies ikan air tawar (kanan) tahun 2011 - 2024 [5]

## 2) Relaksasi Pemasukan Pangan Impor asal Jepang di Indonesia

Pada Juni 2022, BPOM melakukan kajian dengan Kementerian Kesehatan, Kementerian Pertanian, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BAPETEN, dan BRIN melalui Kementerian Koordinator Bidang Ekonomi. Berdasarkan data hasil pemantauan cemaran radioaktif pada pangan yang dilakukan oleh Pemerintah Jepang, data importasi pangan olahan asal Jepang, hasil pemantauan dan pengujian sampel pangan olahan oleh Badan POM, hasil pemantauan dan pengujian sampel oleh BAPETEN dan BRIN, dan laporan dari International Atomic Energy Agency (IAEA), BPOM menerbitkan Surat Edaran Nomor T-HK.02.02.5.54.06.22.03 Tahun 2022 yang berisi importasi pangan olahan asal Jepang tidak lagi dipersyaratkan hasil pengujian cemaran radioaktif pada saat pemasukan ke dalam wilayah Indonesia dan sebagai bentuk pengawasan terhadap pangan olahan asal Jepang diberlakukan inspeksi rutin (*regular inspection*) berupa pengawasan post-market (sampling dan pengujian) terhadap cemaran radioaktif yang dilakukan oleh unit pengawasan di Kedeputian Bidang Pengawasan Pangan Olahan dan Balai/Balai Besar POM di seluruh Indonesia [14]. Melalui kebijakan ini, Indonesia menjadi negara ke-43 yang merelaksasi persyaratan pemasukan pangan impor dengan tidak mensyaratkan hasil pengujian cemaran radioaktif pada pangan olahan yang berasal dari Jepang. Hingga Agustus 2023 terdapat 48 negara yang mencabut pembatasan persyaratan pemasukan pangan impor dari total 55 negara yang melakukan larangan impor dan persyaratan sertifikat bebas radioaktif untuk pangan yang berasal dari Jepang [10].

## 2. Komparasi Nilai Batas Kandungan Radionuklida pada Pangan Impor yang Berasal dari Negara yang Sedang Mengalami Kedaruratan Nuklir yang Berlaku di Indonesia dengan Pedoman Internasional dari Codex Alimentarius Commission/CAC (FAO & WHO) dan Pedoman yang Berlaku di US berupa DIL (Derived Intervention Level) FDA.

Pada Tahun 2020 BAPETEN menerbitkan Prosedur Std: Respons Kejadian Lepas Zat Radioaktif Dan Kontaminasi Dari Negara Lain dengan mengakomodir pedoman tingkat pembatas radionuklida pada produk pangan dan air minum. Sementara itu, nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal dari negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia saat ini terakomodir dalam peraturan terbaru Permentan Nomor 12 Tahun 2022 (Tabel 3) dan Permenkes Nomor 1031 Tahun 2011 (Tabel 1).

Tabel 3. Nilai batas konsentrasi radionuklida pada pangan PSAH/PSAT yang beredar di Indonesia oleh Peraturan Kementerian Pertanian Nomor 12 Tahun 2022 [3]

Jenis PSAH dan/atau PSAT	Batas maksimum (Bq/kg)	
	I-131	Cs-137
Susu dan olahannya	100	150
Buah dan sayuran segar	1000	500
Daging dan produk daging	-	500
Serealia, termasuk tepung jagung dan barley	-	500
Pangan lainnya	-	500

Nilai ini akan dikomparasi dengan nilai dari pedoman Internasional dari Codex Alimentarius Commission/CAC (FAO & WHO) yang merupakan organisasi yang menyusun standar pangan secara internasional dan mengembangkan harmonisasi standar pangan. Panduan kontaminasi pangan yang dibuat CAC terakomodir dalam *Codex General Standard For Contaminants And Toxins In Food And Feed CXS 193-1995* yang dilakukan amandemen terakhir pada tahun 2023. Selain itu, akan dikomparasi dengan nilai yang berlaku di US berupa DIL (Derived Intervention Level) FDA dari dokumen *Accidental Radioactive Contamination Of Human Food And Animal Feeds: Recommendations For State And Local Agencies 1998*.

Tabel 4. Perbandingan tingkat panduan nilai batas kandungan radionuklida pada pangan impor dari negara yang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia, Codex, dan US

Jenis Radionuklida	Kategori Pangan (Bq/kg)								
	Pangan Bayi			Susu dan olahannya			Pangan lain		
	INA	Codex	US	INA	Codex	US	INA	Codex	US
<sup>90</sup> Sr	-	100	160	-	-	160	-	100	160
<sup>131</sup> I	50	100	170	100	-	170	-	100	170
<sup>134</sup> Cs + <sup>137</sup> Cs	100	1000	1200	150	-	1200	500	1000	1200
<sup>238</sup> Pu + <sup>239</sup> Pu + <sup>241</sup> Am	-	1	2	-	-	2	-	10	2

Tabel 4 di atas menyajikan nilai batas kandungan radionuklida pada 3 standar yang berbeda. Secara nilai, Indonesia memiliki batas kandungan radionuklida pangan paling rendah dibandingkan Codex dan US sehingga secara proteksi kesehatan, Indonesia memberikan perlindungan yang lebih ketat untuk masyarakat umum. Komparasi nilai batas kandungan radionuklida pada pangan ini juga dapat dilihat pada 3 komponen berikut:

a) Klasifikasi jenis radionuklida

Codex mengklasifikasikan 4 grup radionuklida yang berbeda berdasarkan jenis pemancar dan nilai *Dose Per Unit* (DPU). Radionuklida yang memiliki nilai DPU yang serupa akan diklasifikasikan ke dalam grup yang sama [11]. US mengklasifikasikan 5 grup radionuklida dengan pertimbangan paling signifikan terhadap efek kesehatan. Sementara Indonesia mengklasifikasikan 2 grup radionuklida yaitu radiocesium dan radioiodine.

- b) Klasifikasi jenis usia  
Codex mengklasifikasikan 2 jenis usia: bayi (<1 tahun) dan dewasa. US mengklasifikasikan ke dalam 6 grup usia (1 bulan, 1 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 15 tahun, dan dewasa > 17 tahun) untuk perhitungan DIL. Sementara itu, Indonesia tidak mengklasifikasikan jenis usia.
- c) Kategori jenis pangan  
Codex dan Indonesia memiliki jenis kategori tersendiri untuk pangan bayi. Hal ini disebabkan bayi memiliki tingkat kerentanan dan radiosensitivitas yang tinggi dibandingkan dengan dewasa. Sementara itu, US memiliki *single level system* untuk kategori pangan.

## Kesimpulan

Pemerintah Indonesia telah memiliki kebijakan pengawasan pangan terkontaminasi zat radioaktif yang berasal dari negara yang mengalami situasi kedaruratan nuklir, dalam hal ini Jepang dengan mulai mensyaratkan surat bebas radioaktif pada pemasukan pangan impor dari negara Jepang untuk memperketat keamanan pangan dari bahaya kesehatan tahun 2011 hingga melakukan relaksasi persyaratan pemasukan pangan impor dengan tidak mensyaratkan hasil pengujian cemaran radioaktif pangan olahan yang berasal dari Jepang pada tahun 2022. Selain itu, disimpulkan nilai batas maksimum kandungan radionuklida pada pangan impor yang berasal dari negara yang sedang mengalami kedaruratan nuklir yang berlaku di Indonesia lebih ketat dibandingkan dengan pedoman internasional. Namun demikian, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendukung kesesuaian nilai batas maksimum kandungan radionuklida pangan yang berlaku di Indonesia.

## Daftar Pustaka

- [1] Nobuyuki Hamada, Haruyuki Ogino, dan Yuki Fujimichi. Safety regulations of Food and water implemented in the first year following the Fukushima nuclear accident; ResearchGate. 2012
- [2] NERHQ. Report of Japanese government to the IAEA Ministerial Conference on nuclear safety – the accident at TEPCO’s Fukushima nuclear power stations, 2011, [http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea\\_houkokusho\\_e.html](http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html), released on 7 June 2011.
- [3] Kementerian Pertanian (2022) Peraturan Menteri Pertanian Nomor 12 Tahun 2022 tentang Pengawasan Keamanan Pangan Terhadap Pemasukan Pangan Segar Asal Hewan dan Pangan Segar Asal Tumbuhan ke dalam Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia dari Cemaran Radioaktif, Jakarta
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (2021) Seri Pedoman TA 1 tentang Pedoman Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir Nasional, Jakarta
- [5] Fisheries Agency, MAFF (*n.d.*), Results of the monitoring on radioactivity level in fisheries products, <https://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/>, 2024 (Diakses 06 Juni 2024)
- [6] BAPETEN, Indonesia Zona Aman dari Ledakan PLTN Jepang, <https://bapeten.go.id/berita/indonesia-zona-aman-dari-akibat-ledakan-pltn-jepang-134718>, 2011 (diakses 04 Juni 2024)
- [7] Kementerian Kesehatan (2011) Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 05 Tahun 2011 tentang Batas Maksimum Cemaran Radioaktif Dalam Pangan, Jakarta
- [8] Hamada N.; Ogino H. Food Safety Regulations: What We Learned from the Fukushima Nuclear Accident. *J. Environ. Radioact.* 2012, 111, 83-99. [Pubmed] [Google Scholar].
- [9] Stefan Merz, Katsumi Shozugawa, and Georg Steinhauser. Analysis of Japanese Radionuclide Monitoring Data of Food Before and After the Fukushima Nuclear Accident; *Environ Sci Technol.* 2015; 49, 5, 2875–2885 [Pubmed]
- [10] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) (2023). Request and justification for lifting the import measures on Japanese food regarding radionuclides, Japan. Hal 10.
- [11] Dasep Wahidin (2013) Radioactive Contamination on Foods and Feeds: A Comprehensive Study on Food Safety-Related Radiological Protection System in The EU, The USA, Indonesia, and At International Level.
- [12] World Trade Organization (2018) Korea – Import Bans, And Testing And Certification Requirements For Radionuclides. Hal 30-31.

- [13] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) (2021). Food Safety Radionuclides after March 2011, Japan. Hal 11 dan 36
- [14] BPOM (2022) Surat Edaran BPOM No T-HK.02.02.5.54.06.22.03 tentang Penyesuaian Kebijakan Pengawasan Importasi Pangan Olahan Asal Jepang, Jakarta



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Estimasi Paparan Radiasi Neutron Selama Kalibrasi *Surveymeter Neutron* Dalam Bunker SINETJA Menggunakan Simulasi PHITS Versi 3.17

Krisna Dwi Cahyanto<sup>1</sup>, Rasito<sup>2</sup>, Bunawas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Universitas Nasional, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Organisasi Riset Tenaga Nuklir, BRIN, KST B.J. Habibie, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

<sup>3</sup>NuklindoLab-Koperasi JKRL, Plaza Ciputat Mas, Rempoa, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

Korespondensi penulis:  
krisna.dwi.cahyanto@gmail.com

### Abstrak

Sebuah metode telah dikembangkan mengenai perkiraan laju dosis radiasi dalam simulasi neutron ditempat kerja (SINETJA) dan laju paparan yang diterima saat berada di dalam bunker menggunakan sumber <sup>241</sup>Am-Be dengan dasar acuan standar dari ISO 12789. Latar belakang penelitian dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Adnan Kashougi dan peneliti lainnya mengenai tanggapan surveimeter neutron berkisar di antara 4-254% sedangkan berdasarkan penelitian dari Kim serta peneliti lainnya mengenai nilai tanggapan surveimeter neutron berkisar antara 13-134%. Padahal nilai toleransi yang dianjurkan hanya  $\pm 20\%$ . Tujuan penelitian berdasarkan besar nilai kesalahan dari nilai toleransi dari alat ukur surveimeter neutron dari penelitian sebelumnya dari nilai kesalahan atau nilai toleransi yang seharusnya diperbolehkan maka organisasi NuklindoLab membangun reaktor nuklir neutron dengan sumber <sup>241</sup>Am-Be dalam bentuk bunker di bawah tanah untuk dilakukan kegiatan kalibrasi alat ukur surveimeter neutron. Namun data penting untuk pembuatan reaktor neutron diperlukan seperti laju dosis radiasi dan laju paparan radiasi neutron yang diperkirakan akan diterima oleh pekerja kalibrasi saat berada di dalam bunker sebelum direalisasikan ketahap pembangunan bunker maka peneliti melakukan simulasi untuk mendapatkan estimasi paparan radiasi neutron selama periode waktu saat kalibrasi surveimeter neutron di dalam bunker dengan menggunakan aplikasi simulasi *Particle and Heavy Ions Transport System* (PHITS) versi 3.17. Data mengenai karakteristik struktur, bahan, serta dimensi dioptimalkan dengan simulasi menggunakan program simulasi *Particle and Heavy Ions Transport System* (PHITS) versi 3.17. Simulasi dilakukan dengan dua titik acuan pengukuran yaitu simulasi pengukuran di dekat sumber (X1) dan di dekat pintu reaktor masuk bunker (X2) serta dalam dua kondisi yaitu saat pintu reaktor dalam bunker tertutup dan pintu reaktor terbuka dalam bunker. Mencapai sebuah kesimpulan bahwa sebuah metode telah berhasil dikembangkan mengenai estimasi pengukuran laju dosis dan laju paparan untuk kalibrasi alat surveimeter dengan SINETJA menggunakan sumber <sup>241</sup>Am-Be dengan laju dosis di dalam bunker merupakan mayoritas neutron cepat / fast neutron sebesar  $15,38 \pm 0,77$  uSv/h dan  $11,36 \pm 0,57$  uSv/h. Laju paparan di dalam bunker bagi pekerja radiasi dengan mayoritas di dalam bunker merupakan neutron cepat sebesar 0,0153 uSv/h dan 0,0113 uSv/h.

**Kata Kunci :** Laju dosis, PHITS, SINETJA

### Abstract

*A method has been developed to estimate the radiation dose rate in workplace neutron simulation (SINETJA) and the exposure rate received while in the bunker using the <sup>241</sup>Am-Be source on the basis of the standard reference from ISO 12789. The background of the research was carried out based on previous research conducted by Adnan Kashougi et al regarding neutron survey meter responses ranging from 4-254% while based on research from Kim et al regarding neutron survey meter response values ranging from 13-134%. At the same time the recommended tolerance value is only  $\pm 20\%$ . The purpose of the research is based on the large error value of the tolerance value*

*of the neutron survey meter measuring instrument from previous research from error value or tolerance value that should be allowed, the NuklindoLab organization built a neutron nuclear reactor with a source of  $^{241}\text{Am-Be}$  in the form of an underground bunker for calibration activities of neutron survey meter measuring instruments. However, important data for the manufacture of neutron reactors are needed such as radiation dose rate and neutron radiation exposure rate that is expected to be received by calibration workers while in the bunker before being realized in the bunker construction stage, so the researchers conducted a simulation to obtain an estimate of neutron radiation exposure during the time period when calibrating the neutron survey meter in the bunker using the Particle and Heavy Ions Transport System (PHITS) simulation application version 3.17. Data on structural characteristics, materials, and dimensions were optimized by simulation using the Particle and Heavy Ions Transport System (PHITS) simulation program version 3.17. Simulations were carried out with two measurement reference points, namely simulated measurements near the source (X1) and near the bunker entrance (X2) and in two conditions, namely when the reactor door in the bunker is closed and the bunker door is open. Reached a conclusion that a method has been successfully developed regarding the estimation of dose rate and exposure rate measurements for the calibration of the surveymeter tool with SINETJA using the  $^{241}\text{Am-Be}$  source with the dose rate in the bunker is the majority of fast neutrons of  $15.38 \pm 0.77 \text{ uSv/h}$  and  $11.36 \pm 0.57 \text{ uSv/h}$ . The exposure rate in the bunker for radiation workers with the majority in the bunker is fast neutrons of  $0.0153 \text{ uSv/h}$  and  $0.0113 \text{ uSv/h}$ .*

**Keyword :** Dose rate, PHITS, SINETJA

## Pendahuluan

Di era modern, paparan radiasi semakin umum di medis, industri, dan penelitian. Penggunaan radiasi meningkat, sehingga penting peran alat ukur radiasi (AUR) untuk keamanan dan akurasi pengukuran. AUR yang terkalibrasi dengan tepat menjadi kunci utama dalam mencegah paparan radiasi berlebihan dan menjamin kesehatan serta keselamatan pekerja dan masyarakat di sekitar area penggunaan radiasi. Berdasarkan Perka BAPETEN No 4 tahun 2013 terkait dengan keselamatan radiasi, alat ukur radiasi (AUR) perlu memenuhi beberapa kriteria diantaranya respon energi yang sesuai, dan alat ukur harus terkalibrasi terlebih dahulu berdasarkan tingkat energi yang diukur sebelum dilakukan pengukuran[2]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan Adnan Kashougi dkk mengenai tanggapan surveimeter neutron berkisar antara 4-254%, sedangkan berdasarkan penelitian dari Kim dkk nilai tanggapan surveimeter neutron berkisar antara 13-134%, padahal kesalahan bacaan yang diperbolehkan hanya  $\pm 20\%$  [6][7]. Penelitian sebelumnya mengenai tanggapan dosimeter perorangan untuk neutron dengan faktor kalibrasi (FK) antara 0.04-2 menurut Arini dkk dan antara 0.17-3 menurut Cheretes dkk [4][9]. Dengan demikian alat deteksi radiasi berupa surveimeter maupun dosimeter untuk perorangan perlu dilakukan kalibrasi sesuai dengan spektrum neutron dimana alat tersebut digunakan [3]. Melihat permasalahan tersebut peneliti melakukan pengembangan SIMulasi NEuTron ditempat kerJA (SINETJA) menggunakan dasar acuan dari ISO 12789 yang kemudian mengenai karakteristik struktur, bahan, dimensi, serta dioptimalkan dengan simulasi menggunakan program simulasi PHITS. Penelitian yang dilakukan adalah menganalisa laju dosis dan laju paparan radiasi di dalam bunker berdasarkan dasar proteksi radiasi pada pekerja radiasi saat berada di dalam bunker.

## Landasan Teori

Dalam sektor kesehatan radioaktif isotop yang paling umum digunakan adalah *americium-241*. *Americium Beryllium* (Am-Be) adalah jenis sumber neutron industri khusus. Sumber *Americium Beryllium* dikemas dalam wadah berbentuk kapsul yang mengandung bubuk radioaktif  $^{241}\text{Am}$  (*Americium*) dan *Berilium* (Be) yang tercampur. Dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa perpaduan dapat dibentuk antara aktinida dan berilium melibatkan minat yang signifikan dalam beberapa bidang praktik.

Tabel 1. Sumber neutron simulasi tempat laju di laboratorium beberapa negara

No.	Laboratorium	Sumber Neutron	Moderator	Fluks Neutron Thermal (n/cm <sup>2</sup> .s)
1.	PIAF – PTB Jerman (10)	Akselerator	• Grafit • Polietilen	5500
2.	LANEL – IRSN Perancis (11)	Akeselerator	• Polietilen	5000
3.	KRISS – Korea (12)	AmBe (50 Ci)	• Air berat • Beton	2432
4.	ENEA – Italia (15)	AmBe (20 Ci)	• Polietilen	768
5.	VINATOM – Vietnam (14)	AmBe (50 Ci)	• Polietilen	164
6.	NuklindoLab Indonesia	AmBe (5 Ci)	• Parafin (lilin)	1071

Melihat permasalahan tersebut peneliti melakukan pengembangan simulasi neutron ditempat kerja (SINETJA) menggunakan dasar acuan dari ISO 12789 yang kemudian mengenai karakteristik struktur, bahan, dimensi, serta dioptimalkan dengan simulasi menggunakan program simulasi PHITS. Penelitian yang dilakukan adalah menganalisa laju dosis radiasi di dalam bunker serta menganalisa proteksi radiasi pada pekerja radiasi di dalam bunker.

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan aplikasi perangkat lunak komputer berupa :

- PHITS  
Aplikasi program PHITS yang digunakan untuk menyimulasikan dan mendapatkan data berupa nilai laju dosis SINETJA di dalam bunker.
- Notepad++  
Aplikasi program notepad++ yang digunakan untuk input kode, data bunker dan data sumber radiasi yang kemudian dimasukkan untuk dibentuk menjadi koding data

Pengumpulan data serta penginputan data mengenai karakteristik dari bunker SINETJA dan sumber Am-Be yang digunakan sebagai sumber kalibrasi dilakukan secara simulasi. Pengelolaan data awal berupa geometri, posisi, distribusi sumber diinput dalam aplikasi notepad++ dan dilakukan simulasi dengan aplikasi program *Particle and Heavy Ions Transport System* (PHITS). Simulasi menggunakan PHITS versi 3.17 yang disimulasikan dengan data nuklir JENDL-4.0.

Analisa paparan radiasi dalam bunker SINETJA menggunakan prinsip proteksi radiasi terkait dengan jarak radiasi dengan faktor perhitungan jarak dengan memanfaatkan hukum inverse square law dengan Persamaan (1).

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(d_2)^2}{(d_1)^2} \quad (1)$$

dimana  $I_1$  adalah intensitas awal radiasi,  $d_1$  adalah jarak awal pengukuran,  $d_2$  adalah jarak akhir pengukuran, dan  $I_2$  adalah intensitas akhir. Sehingga mengetahui nilai paparan radiasi menggunakan Persamaan (2).

$$d_1 \times X_1^2 = d_2 \times X_2^2 \quad (2)$$

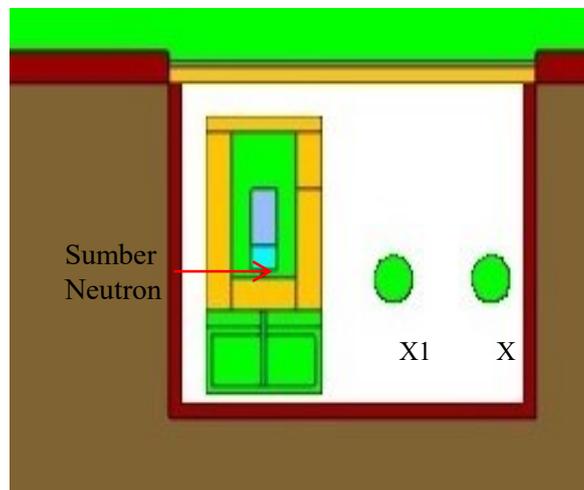
Analisa dosis paparan radasi pekerja di dalam bunker menggunakan prinsip proteksi radiasi eksternal secara dapat dihitung paparan yang diterima oleh para pekerja radiasi. Dengan memasukkan hasil data pengukuran laju paparan pada jarak yang telah disimulasikan, hasil perhitungan laju paparan radiasi dengan Persamaan (3).

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (3)$$

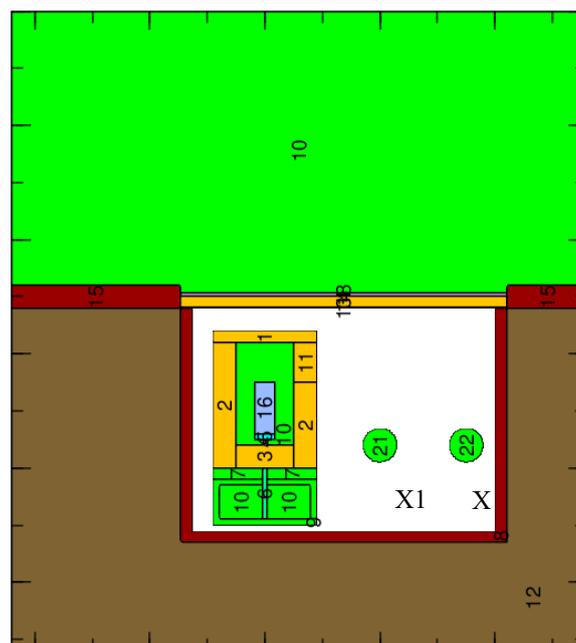
Dimana  $d_1$  merupakan laju dosis pada jarak  $X_1$ , dalam satuan Sv/h,  $d_2$  merupakan merupakan laju dosis pada jarak  $X_2$ , dalam satuan Sv/h,  $X$  merupakan jarak dalam satuan meter.

### Hasil dan Pembahasan

Model geometri bunker yang didesain di bawah tanah dengan diameter bunker yang disimulasikan yaitu berdimensi 263 x 195 x 160 cm, dengan dinding tebal beton 15 cm, di atas bunker diberi tutup besi tebal 0,3 cm, pintu masuk dan keluar bunker bermaterial PVC dengan tebal 3 cm. dibuat dalam bentuk data inputan PHITS. Model sumber dibuat dengan ukuran dimensial kapsul sumber  $^{241}\text{Am-Be}$  dengan radiasi neutron energi 5 Ci yang menimbulkan arah berkas isotropik. Kumpulan inputan diproses dalam aplikasi PHITS ditunjang dengan perangkat laptop core i5 gen 10<sup>th</sup> RAM 4 GB dengan system operasi Windows 10. Tampilan model geometri untuk inputan PHITS ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Geometri desain bunker SINETJA



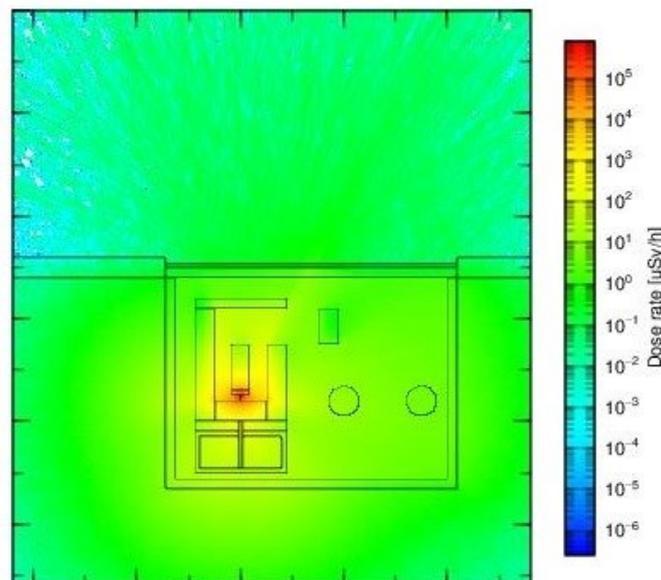
Gambar 2. Nomor geometri desain bunker SINETJA

## Keterangan:

- 1, 6, 7, 9, 11, 13 (Besi)
- 2, 3, 14 (Parafin)
- 4 (Sumber Neutron *Am-Be*)
- 5 (Peyangga *Stainless steel* tipe 304L)
- 8, 15 (Beton K-350)
- 10 (Udara)
- 11 (Pintu reaktor)
- 12 (Tanah)
- 16 (*Politetelin* PE)
- 16 (Pintu Masuk Bunker)
- 17 (N20 *capsule Am-Be*)
- 18 (*Premature Ventricular Contractions* PVC)
- 21, 22 (Indikator paparan radiasi)

PHITS digunakan untuk mensimulasikan reaktor sumber radiasi neutron  $^{241}\text{Am-Be}$  yang berada di dalam bunker menghasilkan mayoritas neutron cepat dan neutron termal dalam keadaan berbeda di dalam bunker. Indikator pengukuran simulasi dilakukan dengan dua titik acuan pengukuran yaitu simulasi pengukuran di dekat sumber (X1) dan di dekat pintu masuk bunker (X2) serta dalam dua kondisi yaitu saat pintu reaktor dalam bunker tertutup dan pintu bunker terbuka.

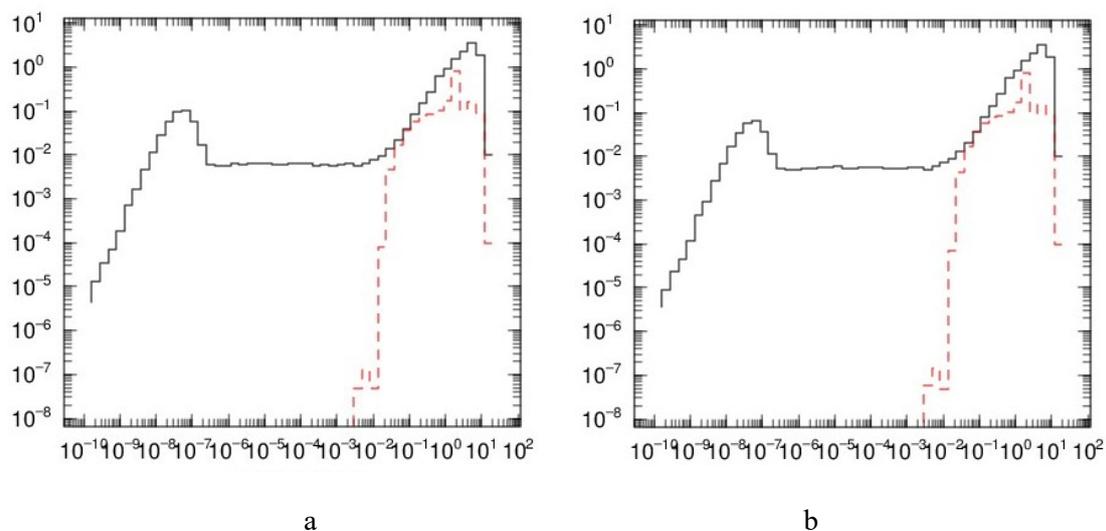
Sumber Am-Be berenergi 5 Ci disimulasikan dalam keadaan pintu tertutup dan keadaan pintu terbuka dengan PHITS. Sumber reaktor  $^{241}\text{Am-Be}$  menghasilkan paparan radiasi neutron dan gamma dari sumber neutron  $^{241}\text{Am-Be}$  menghasilkan berbagai jenis paparan diantaranya paparan neutron cepat / fast neutron, neutron epitermal, neutron termal. Dengan kemungkinan munculnya mekanisme paparan radiasi di dalam bunker yang belum terukur yang diakibatkan dari interaksi antara sumber radiasi dengan material reaktor dan material bunker maka diperlukan perhitungan mengenai laju dosis radiasi di dalam bunker hasil dari interaksi radiasi dengan material di sekitarnya, dan desain bunker. Interaksi antara sumber neutron dengan material reaktor di dalam bunker menghasilkan dua kondisi, untuk laju dosis di dalam bunker pada posisi pintu terbuka dengan mayoritas di dalam bunker merupakan neutron cepat pada titik ukur X1 sebesar  $15,38 \pm 0,77$  uSv/h dan dititik X2 sebesar  $11,36 \pm 0,57$  uSv/h. Kondisi ini dapat terjadi dikarenakan pada saat pintu reaktor neutron terbuka terjadi hamburan neutron yang tidak melewati material penahan di dalam reaktor. Hasil simulasi PHITS dalam paparan radiasi neutron  $^{241}\text{Am-Be}$  dalam bunker menghasilkan spektrum diperlihatkan dalam gambar terlampir di bawah:



Gambar 3. Hasil simulasi bunker SINETJA

Sedangkan dalam kondisi pintu reaktor tertutup, laju dosis di dalam bunker pada posisi pintu tertutup dengan mayoritas di dalam bunker merupakan neutron termal pada titik ukur X1 sebesar  $11,80 \pm$

0,59 uSv/h dan pada titik X2 sebesar  $5,15 \pm 0,26$  uSv/h. Terdapat perbedaan mayoritas neutron berupa neutron termal dikarenakan energy neutron sumber  $^{241}\text{Am-Be}$  yang terukur dengan simulasi didapatkan nilai yang relatif kecil. Selain paparan radiasi, diperhitungkan juga paparan dosis radiasi yang diterima saat berada di dalam bunker. Hasil simulasi laju paparan di dalam bunker pada posisi pintu tertutup dengan mayoritas di dalam bunker merupakan neutron termal menggunakan sumber radiasi  $^{241}\text{Am-Be}$  pada titik ukur X1 sebesar 0,0118 uSv/h serta pada titik ukur X2 sebesar 0,0049 uSv/h. Hasil simulasi laju paparan di dalam bunker pada posisi pintu terbuka dengan mayoritas di dalam bunker merupakan neutron cepat menggunakan sumber radiasi  $^{241}\text{Am-Be}$  pada titik ukur X1 sebesar 0,0153 uSv/h serta pada titik ukur X2 sebesar 0,0113 uSv/h. Selain menghasilkan geometri bunker dan reaktor dalam simulasi PHITS, hasil lainnya berupa spektrum dari hasil simulasi menggambarkan tentang spektrum dosis dalam SINETJA pada titik ukur X1 dan X2 yang terlihat tidak jauh berbeda dikarenakan perbandingan yang tidak terlalu jauh pada angka yang didapatkan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 4. Spektrum dosis fasilitas bunker SINETJA pada titik X1 (a) dan titik X2 (b)

## Kesimpulan

Sebuah metode telah berhasil dikembangkan kalibrasi SINETJA menggunakan sumber  $^{241}\text{Am-Be}$  dengan laju dosis di dalam bunker merupakan mayoritas neutron cepat / fast neutron sebesar  $15,38 \pm 0,77$  uSv/h dan  $11,36 \pm 0,57$  uSv/h. Laju paparan di dalam bunker bagi pekerja radiasi dengan mayoritas di dalam bunker merupakan neutron cepat sebesar 0,0153 uSv/h dan 0,0113 uSv/h. Untuk hasil yang lebih baik dapat menambahkan penahan pada dinding reaktor berupa karet Pb agar dapat mereduksi paparan yang dihasilkan oleh sumber  $^{241}\text{Am-Be}$ .

## Daftar Pustaka

- [1] (ISO), T. I. O. f. S., 2008. ISO 12789-1 Reference Radiation Fields — Simulated Workplace Neutron Fields — Part 1: Characteristics And Methods Of Production.
- [2] BAPETEN, 2013. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 4 Tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [3] Bunawas, Dumais, J. & R., 2020. Desain Fasilitas Kalibrasi SINETJA Sesuai ISO12789-I Dengan MCNP.
- [4] Cherestes, M. C. C. P. M. V. C. L. M. & T. C. A., 2010. New Personal Dosimetry Services In Romania For Mixed Fields Gamma-Neutrons Using 6LiF:Mg, Ti – 7LiF:Mg,Ti pairs detectors.
- [5] J., B., 2007. Simulation of Neutron Production at A Medical Linear Accelerator.
- [6] Kashougi, J., A. . N. & B., 2015. *Tanggapan Surveimeter Neutron Terhadap Spektrum Campuran Energi Neutron*. s.l.:s.n.

- [7] Kim SI, K. B. C. I. L. J. K. J. P. A., 2013. Response of six neutron survey meters in mixed fields of fast and thermal neutrons....
- [8] South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Perancangan *User Interface* Aplikasi *Smartphone* Sistem Pemantauan Energi Nuklir Pemerintah Menggunakan *User Centered Design*, Studi Kasus: BAPETEN B@LIS - SMILE

Adrian Navis Sulizsetyo

*Fakultas Teknik Industri, UI, Depok*

Korespondensi penulis:  
navismufc@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *Smartphone User Interface* yang ramah pengguna untuk sistem B@LIS - SMILE, sistem pemantauan energi nuklir yang digunakan oleh lembaga pemerintah Indonesia BAPETEN. Studi ini menggunakan prinsip desain yang berpusat pada pengguna untuk memastikan bahwa antarmuka disesuaikan dengan kebutuhan dan pengalaman pengguna. Antarmuka yang ada saat ini kurang memiliki kegunaan dan pengalaman pengguna, sehingga menyebabkan kesulitan dalam memantau dan mengelola energi nuklir. *User centered design* adalah metodologi yang memprioritaskan desain berdasarkan perasaan, keinginan, dan tujuan pengguna, memastikan bahwa kebutuhan mereka berada di garis depan dalam siklus pengembangan. Tampilan yang ada saat ini kurang memiliki kenyamanan penggunaan dan kepuasan bagi pengguna, sehingga menyebabkan kesulitan dalam memantau dan mengelola energi nuklir. Studi ini mengusulkan *Smartphone User Interface* baru yang menggabungkan prinsip desain yang berpusat pada pengguna, termasuk navigasi yang jelas, ikon intuitif, dan tata letak responsif. Hasil dari studi ini adalah prototipe desain telah berhasil meningkatkan efisiensi dan kenyamanan penggunaan B@LIS - SMILE secara signifikan (menaikkan efisiensi sekitar 40% dan menurunkan *task errors* sekitar 50%).

**Kata Kunci:** B@LIS - SMILE, Desain UI Seluler, *UI/UX*, BAPETEN

### Abstract

*This research aims to design a user-friendly Smartphone User Interface for the B@LIS - SMILE system, a nuclear energy monitoring system used by the Indonesian government agency BAPETEN. This study uses user-centered design principles to ensure that the interface is tailored to the needs and experience of its users. The current B@LIS - SMILE interface lacks usability and good user experience, resulting in difficulties in monitoring and managing nuclear energy. This study proposes a new Smartphone User Interface that incorporates user-centered design principles, including clear navigation, intuitive icons, and responsive layout. Designs are tested using usability testing that show significant improvements in the satisfaction of their users. This study contributes to the field of user-centered design in the context of government nuclear energy monitoring systems. This highlights the importance of considering user needs and experiences in the design of such systems to improve their usability and effectiveness. The results of this study are that the design prototype has succeeded in significantly increasing the efficiency and comfort of using B@LIS - SMILE (increases efficiency by around 40% and decreases task errors by around 50%).*

**Keywords:** B@LIS - SMILE, Mobile UI Design, User-Centered Design, *UI/UX*, BAPETEN.

## Pendahuluan

Energi nuklir dihasilkan melalui fisi atau fusi, proses yang melibatkan inti atom, terdiri dari proton dan neutron [1]. Fisi memecah inti atom, melepaskan energi, sedangkan fusi menggabungkannya. Saat ini, fisi nuklir adalah metode utama produksi listrik, dan fusi masih dalam pengembangan [1]. Dalam fisi nuklir, inti atom terbagi menjadi inti yang lebih kecil, melepaskan panas dan radiasi, yang kemudian diubah menjadi listrik dengan cara yang mirip dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil [1].

Reaktor nuklir di pembangkit listrik mengendalikan reaksi berantai fisi untuk menghasilkan panas, biasanya menggunakan uranium-235 [1]. Indonesia memanfaatkan energi nuklir di berbagai sektor seperti industri, kesehatan, dan penelitian [2]. Di bidang medis, teknologi nuklir digunakan untuk terapi radiasi, CT scan, dan rontgen [2]. Meskipun Indonesia telah mencapai kemajuan yang signifikan dalam teknologi nuklir untuk keperluan non-militer, Indonesia belum mengembangkan pembangkit listrik tenaga nuklir untuk menghasilkan listrik dan saat ini belum ada pembangkit listrik tenaga nuklir [2]. Namun, Indonesia unggul dalam penerapan teknologi nuklir di bidang kesehatan dan pertanian.

BAPETEN, sebuah badan pemerintah, mengawasi regulasi, perizinan, dan inspeksi kegiatan energi nuklir, memastikan keselamatan dan keamanan melalui kerangka peraturan yang komprehensif [2]. BAPETEN bertujuan untuk menjadi badan regulasi yang kredibel, kompeten, dan inovatif dalam mendukung tujuan nasional menuju “Indonesia yang Berdaulat, Mandiri, dan Kooperatif” [2]. Tugas utama BAPETEN meliputi pembuatan peraturan, pemberian izin, dan melakukan inspeksi untuk melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat, memastikan penggunaan energi nuklir yang aman dan terjamin [2].

B@LIS - SMILE, yang merupakan singkatan dari *BAPETEN Licensing and Inspection System Online 2.0 - Electronic Inspection and Report Management System*, merupakan alat berbasis web yang dirancang untuk mendigitalkan pengawasan instalasi nuklir melalui data yang direkam secara elektronik. Dapat diakses di komputer dan perangkat portabel melalui browser, terakhir ditingkatkan pada tahun 2020 [2]. Sistem ini membantu pelaksana teknis dalam memasukkan laporan rutin dan operasi, menyerahkan rancangan kepada manajer, dan menghasilkan laporan. Manajer teknis menggunakannya untuk menyetujui dan meneruskan laporan ke BAPETEN dan meninjau data. Inspektur memanfaatkan perangkat lunak untuk menyetujui laporan yang diserahkan manajer, melihat hasil inspeksi (LHI) dan formulir masukan (FIHI), dan melakukan tugas lainnya.

Wawancara dengan pakar industri memberikan wawasan tentang *software* B@LIS - SMILE yang digunakan oleh BAPETEN. Menurut Bapak Rizal Palapa, Koordinator Fungsi Inspeksi Instalasi Nuklir, *software* tersebut belum diperbarui sejak tahun 2020, hal ini menunjukkan perlunya integrasi ke dalam sistem operasi seluler. Bapak Arifin Wibowo, Inspektur Keselamatan Nuklir, mencatat bahwa desain yang ketinggalan jaman dan kurangnya versi seluler menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengguna, terutama pekerja di lokasi yang menggunakan *Smartphone*. Berdasarkan analisis latar belakang dan wawancara, penulis berencana untuk meneliti dan menganalisis penggunaan B@LIS - SMILE pada *smartphone*, mengumpulkan saran pengguna untuk mengembangkan prototipe Antarmuka Pengguna (UI) baru yang disesuaikan untuk penggunaan *smartphone*.

## Pokok Bahasan

### 1. B@LIS - SMILE

B@LIS - SMILE (*BAPETEN Licensing and Inspection System Online 2.0 - Electronic Inspection and Report Management System*) memfasilitasi digitalisasi kegiatan pengawasan instalasi nuklir dengan menggunakan data e-recorded. Perangkat lunak berbasis web yang dapat diakses melalui browser di komputer dan perangkat portabel ini terakhir diperbarui pada tahun 2020 [2]. pengguna dari B@LIS - SMILE terdiri dari pelaksana teknis, manajer teknis, dan inspektur. adapun fungsi dari B@LIS - SMILE sesuai dengan penggunaannya adalah sebagai berikut:

- a) Pelaksana teknis menggunakan B@LIS - SMILE untuk memasukkan data laporan rutin, menyerahkan rancangan laporan kepada manajer, dan membuat laporan operasi.

- b) Manajer teknis menyetujui laporan tersebut, meneruskannya ke BAPETEN, dan meninjau laporan status.
- c) Inspektur memeriksa hasil laporan dari manajer, membuat LHI (Laporan Hasil Inspeksi) dan FIHI (Formulir hasil inspeksi), dan menilai IKK (Indeks Keselamatan Keamanan).

## 2. User Interface

Antarmuka pengguna atau *User Interface* (UI) berfungsi sebagai saluran komunikasi antara pengguna dan produk, membantu mereka mencapai tujuan mereka [7]. UI yang efektif menyampaikan pesan yang jelas melalui seluruh aspek desain, baik visual maupun tekstual, serta melalui interaktivitas dan responsnya. Setiap keputusan desain berdampak pada keseluruhan pesan yang disampaikan UI, sehingga penting bagi desainer untuk menyelaraskan UI dengan pengalaman pengguna yang diinginkan [7]. *Usability Heuristics* dari Jakob Nielsen, sebuah pedoman efektif untuk desain UI, menekankan komunikasi yang jelas. Heuristik ini, yang dapat disesuaikan dengan berbagai pengaturan, membantu desainer membuat antarmuka yang berpusat pada pengguna yang memfasilitasi kelancaran interaksi dan membantu pengguna mencapai tujuan mereka [14].

Tabel 1. 10 *Usability Heuristics* oleh Nielsen [14]

1. Visibilitas Status Sistem.	6. Pengakuan Daripada Mengingat.
2. Kecocokan Antara Sistem dan Dunia Nyata.	7. Fleksibilitas dan Efisiensi Penggunaan.
3. Kontrol dan Kebebasan Pengguna.	8. Desain Estetika dan Minimalis.
4. Konsistensi dan Standar.	9. Bantu Pengguna Mengenali, Mendiagnosis, dan Memulihkan dari Kesalahan.
5. Pencegahan Kesalahan	10. Bantuan dan Dokumentasi

## 3. User Experience

*ISO 9241* mendefinisikan *user experience* (UX) sebagai "persepsi dan respons seseorang yang dihasilkan dari penggunaan dan/atau antisipasi penggunaan suatu produk, sistem, atau layanan." Desain UX, yang berasal dari interaksi manusia-komputer (HCI), tumbuh seiring dengan internet, didorong oleh kebutuhan akan desain interaksi yang lebih baik [8]. Donald Norman, seorang ilmuwan kognitif, menciptakan "*user experience*" untuk menggambarkan keseluruhan proses interaksi pengguna dengan teknologi, yang mencakup antarmuka, desain visual, desain industri, interaksi fisik, dan banyak lagi [8]. Untuk menciptakan pengalaman yang berpusat pada pengguna, desainer harus mempertimbangkan "mengapa", "apa", dan "bagaimana" penggunaan produk [9].

Dalam "Laws of UX" oleh Jon Yablonski, prinsip psikologis diterapkan untuk menciptakan produk yang lebih baik. Hukum dan prinsip utama dalam merancang sebuah produk meliputi *Jakob's Law*, *Fitts's Law*, *Postel's Law*, *Peak-end Rule*, *Aesthetic-Usability Effect*, *Von Restorff Effect*, *Tesler's Law*, dan seterusnya.

## 4. User-centered design

*User-centered design* (UCD) berasal dari Interaksi Manusia-Komputer (HCI) dan merupakan metodologi desain yang berfokus pada pembuatan aplikasi yang memenuhi kebutuhan pengguna secara efektif [10]. Dengan memusatkan proses pengembangan pada pengguna, UCD menghilangkan ketidakpastian dan secara langsung memenuhi permintaan pengguna. Tidak seperti teknik subjektif, UCD mengandalkan data untuk mendukung keputusan desain, menggunakan observasi pengguna langsung untuk menghilangkan prasangka dan menguatkan perilaku aktual secara statistik. *ISO 13407* menguraikan empat fase utama UCD:

- a) Memahami dan menentukan konteks penggunaan. Fase ini melibatkan identifikasi lingkungan, tugas, dan perilaku pengguna [13].

- b) Menentukan persyaratan pengguna. Hal ini melibatkan identifikasi persyaratan fungsional dan non-fungsional, termasuk tugas, kebutuhan akses data, dan metrik kinerja [13].
- c) Menghasilkan solusi desain. Wawasan dari konteks penggunaan dan kebutuhan pengguna diterjemahkan ke dalam prototipe desain.
- d) Mengevaluasi desain. Desain dievaluasi untuk mengumpulkan umpan balik, meningkatkan produk, dan memastikan produk memenuhi persyaratan pengguna [11].

## Metode

### 1. Fokus penelitian

Fokus utama penelitian ini adalah pada program B@LIS-SMILE ketika digunakan pada *smartphone* oleh pelaksana teknis, manajer teknis, dan inspektur. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan hambatan dan permasalahan kegunaan yang dihadapi saat menggunakan program B@LIS-SMILE di *smartphone*. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe antarmuka pengguna seluler untuk B@LIS-SMILE sebagai hasilnya, menggunakan metodologi desain yang berpusat pada pengguna untuk memastikan aplikasi memenuhi kebutuhan dan preferensi pengguna.

Responden penelitian ini mencakup pengguna perangkat lunak B@LIS-SMILE: pelaksana teknis, manajer teknis, dan inspektur. Tujuan utamanya adalah untuk menangkap dan mendokumentasikan pengalaman pengguna, khususnya permasalahan dan opini mereka. Jumlah total pengguna B@LIS-SMILE mencakup sekitar 9-18 pelaksana teknis, 9 manajer teknis, dan 10 inspektur. Mengikuti pedoman Nielsen dan memastikan sampel yang representatif dari setiap demografi, lima orang dari setiap kelompok dipilih, dengan total 5 pelaksana teknis, 5 manajer teknis, dan 5 inspektur. Demografi responden dalam penelitian ini berkisar antara 29-53 tahun, dengan jumlah responden laki-laki sebanyak 11 orang dan perempuan sebanyak 4 orang.

### 2. Wawancara

Penulis melakukan wawancara awal dengan dua pejabat senior BAPETEN yang menjadi pembimbing penulis selama penelitian ini: Bapak Rizal Palapa, Koordinator Fungsi Inspeksi Instalasi Nuklir, dan Bapak Arifin Wibowo, Inspektur Keselamatan Nuklir. Sistem B@LIS-SMILE terdiri dari 28-37 pengguna, termasuk pekerja teknis, manajer, dan pengawas. Antarmuka pengguna (UI) dibagi menjadi dua bagian: "*backend*" untuk inspektur dan "*frontend*" untuk staf teknis dan manajemen. Saat ini, aplikasi B@LIS-SMILE untuk *Smartphone* beroperasi pada platform yang sama dengan aplikasi *desktop*, sehingga semua fungsi *desktop* tersedia di *Smartphone*. Namun, pengguna telah melaporkan masalah seperti kelebihan fitur dan masalah lain saat menggunakan aplikasi di *Smartphone*.

Aplikasi B@LIS-SMILE mencakup beragam fitur, total sekitar 20 fungsi berbeda. Penulis berhipotesis bahwa keluhan pengguna berasal dari kelebihan fitur dan penyertaan fungsi yang tidak sesuai untuk penggunaan seluler. Oleh karena itu, pendekatan yang lebih sederhana dianjurkan, dengan fokus pada fitur-fitur inti *Smartphone*.

Setelah membahas gagasan ini dalam pertemuan tersebut, pembimbing penulis, Pak Rizal dan Pak Bowo, menyetujui saran tersebut namun memutuskan bahwa penentuan prioritas dan pemeringkatan fitur sebaiknya dilakukan secara internal karena sifat sensitif dari beberapa informasi. Pada pertemuan berikutnya pada tanggal 28 Februari, pengawas menentukan fitur mana yang harus diprioritaskan untuk penggunaan *Smartphone* yaitu memasukkan laporan rutin untuk pelaksana teknis ; menyetujui laporan rutin untuk manajer teknis ; mengevaluasi laporan rutin, lihat FIHI, dan lihat LHI untuk inspektur.

### 3. Usability testing

Setelah wawancara pendahuluan, alur proses untuk setiap fitur yang diprioritaskan dikembangkan. Proses ini akan digunakan sebagai langkah penyelesaian setiap demografi, serta tahap pengujian untuk setiap kelompok. Pengujian kegunaan sangat bermanfaat untuk penelitian mengenai desain atau desain ulang, karena calon pengguna memberikan perspektif baru, masukan, dan/atau kritik yang membangun

untuk memikirkan kembali penyempurnaan desain aplikasi seluler. Berdasarkan studi literatur, diperlukan beberapa atribut untuk memastikan alur aplikasi mobile berjalan dengan baik:

- a) Efektivitas: Ditunjukkan oleh tingkat keberhasilan tugas atau tingkat penyelesaian.
- b) Efisiensi: Ditunjukkan berdasarkan waktu pelaksanaan tugas.
- c) Kesalahan: Ditunjukkan oleh tingkat kesalahan tugas.
- d) Kepuasan: Ditunjukkan dengan skala kegunaan sistem.

Ada lima tugas yang akan diujikan oleh responden dalam penelitian ini. Tugas-tugas ini mewakili fitur-fitur prioritas yang akan dijelajahi oleh pengguna BAPETEN sebagai bagian dari perjalanan pengalaman pengguna mereka di aplikasi seluler B@LIS-SMILE. Setiap tugas akan dinilai berdasarkan kinerjanya yang diukur dengan kriteria kegunaan. Setiap atribut sudah mempunyai indikator; dengan demikian, data akan diproses dan direpresentasikan dalam grafik. Tingkat keberhasilan tugas adalah indikator biner, dihitung berdasarkan kinerja setiap pengguna. Stopwatch akan digunakan untuk mengukur waktu yang dihabiskan untuk setiap tugas. Jumlah kesalahan akan diperkirakan dengan menghitung berapa kali pengguna gagal ketika *usability test* berlangsung.

Tabel 2. hasil dari *usability testing* awal kepada user

<i>Respondent</i>	<i>Task</i>	<i>Task Success</i>	<i>Task Error</i>	<i>Average Time on Task (seconds)</i>
<i>Technical Staff</i>	<i>Login</i>	100%	0	36
	<i>Input Routine Report</i>	100%	8	140
<i>Technical Manager</i>	<i>Login</i>	100%	0	33
	<i>Approve Routine Report 1</i>	100%	3	34
<i>Inspector</i>	<i>Login</i>	100%	1	30
	<i>Evaluate Routine Report</i>	100%	3	38
	<i>View FIHI</i>	100%	5	75
	<i>View LHI</i>	100%	6	59

Pada tahap *usability testing*, pelaksana teknis membutuhkan rata-rata 140 detik untuk menyelesaikan tugas "Memasukkan Laporan Rutin", dan mengalami total 8 kesalahan. Manajer teknis, di sisi lain, rata-rata membutuhkan waktu 34 detik untuk "Menyetujui Laporan Rutin 1", dengan 3 kesalahan yang diamati. Durasi tugas pengawas bervariasi: 38 detik untuk "Evaluasi Laporan Rutin", 75 detik untuk "Lihat FIHI", dan 59 detik untuk "Lihat LHI". Kesalahan dicatat sebagai 3 untuk "Evaluasi Laporan Rutin," 5 untuk "Lihat FIHI," dan 6 untuk "Lihat LHI," dengan total 15 kesalahan di seluruh tugas yang dilakukan oleh pemeriksa.

#### 4. Think aloud

Dalam proses *think aloud*, responden didorong untuk menyuarkan pemikiran dan pengalaman mereka saat menggunakan produk, memberikan wawasan berharga tentang tindakan, perasaan, dan tantangan yang mereka hadapi [12]. Metode ini tidak hanya mengungkapkan apa yang dilakukan pengguna, namun juga mengapa mereka melakukannya, menyoroti aspek positif dan negatif dari interaksi mereka. Berpikir serentak, di mana pengguna mengungkapkan pemikiran mereka secara real-time saat melakukan tugas, terbukti paling efektif dalam mengidentifikasi masalah kegunaan dibandingkan dengan metode retrospektif [12].

Selama penelitian ini, proses *think aloud* berjalan bersamaan dengan *usability testing*, menghasilkan observasi spesifik untuk setiap kelompok responden. Untuk pelaksana teknis, masalah seperti pengoptimalan UI dalam mode potret, kebutuhan akan fitur penyimpanan tanpa internet, dan indikator

kemajuan telah dicatat. Manajer teknis menyatakan kesulitan dengan inspeksi manual dalam mode potret dan menginginkan fitur kompilasi untuk laporan. Inspektur menghadapi tantangan pengoptimalan UI yang serupa dalam mode potret, masalah keterbacaan karena teks yang berlebihan, dan rasa frustrasi saat melihat konten yang luas. Wawasan ini akan menginformasikan perbaikan pada antarmuka seluler aplikasi B@LIS-SMILE sangat dibutuhkan untuk meningkatkan pengalaman dan fungsionalitas pengguna.

## 5. Analisis data

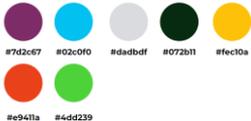
Penulis mengidentifikasi potensi area perbaikan untuk aplikasi seluler B@LIS-SMILE berdasarkan hasil *usability testing & think aloud*. Untuk pelaksana teknis, perbaikan mencakup tata letak halaman, gaya font & ikon, proses navigasi, dan indikator kemajuan. Untuk manajer teknis, area fokusnya adalah proses navigasi dan ikhtisar laporan. Inspektur bisa mendapatkan keuntungan dari peningkatan dalam proses navigasi, gaya font & ikon, dan detail yang ditampilkan. Potensi perbaikan yang dikumpulkan untuk aplikasi B@LIS-SMILE Mobile mencakup estetika font & ikon, orientasi tata letak halaman, fungsi navigasi, indikator kemajuan, ikhtisar laporan, dan detail yang ditampilkan.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Panduan gaya yang diperbarui

Setelah menyelesaikan analisis data, penulis melanjutkan untuk merancang UI *smartphone* B@LIS-SMILE yang baru. Awalnya, penulis meninjau panduan gaya B@LIS-SMILE saat ini, mencatat masalah dengan pilihan warna yang berlebihan yang menyorot fungsi serupa dengan warna serupa. Berdasarkan rekomendasi umum untuk desain warna yang efektif [7], penulis memilih untuk menyederhanakan palet warna untuk aplikasi seluler B@LIS-SMILE yang baru. Selain itu, penulis menerapkan wawasan dari *Laws of UX* [8] untuk secara selektif mempertahankan dan membuang warna berdasarkan dampaknya terhadap pengalaman pengguna.

Tabel 3. Panduan gaya baru untuk B@LIS - SMILE

Aspek	Catatan
<p>Warna</p> 	Pilihan warna disederhanakan.
<p>Font</p> 	Pilihan font yang bagus, font yang jelas dan sederhana sehingga mudah dimengerti

### 2. Desain baru untuk pelaksana teknis

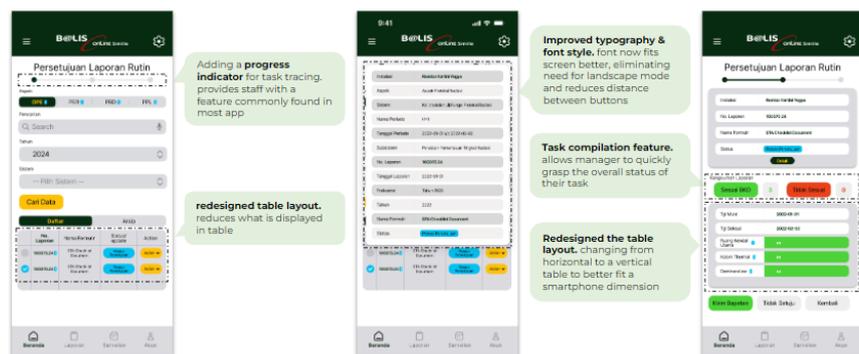
Setelah panduan gaya yang diperbarui selesai, penulis mulai merancang prototipe antarmuka *smartphone* B@LIS-SMILE yang dirancang untuk pelaksana teknis. Menggabungkan wawasan dari analisis, prinsip-prinsip dari *laws of UX* karya Yablonski, dan 10 *usability heuristics*, penulis memperkenalkan perubahan desain pada prototipe. Peningkatan utama mencakup indikator kemajuan untuk pelacakan tugas, navigasi yang disederhanakan untuk menyederhanakan kompleksitas antarmuka, tata letak daftar yang didesain ulang untuk menghilangkan mode lanskap, dan mode offline untuk mengaktifkan pelaporan di tempat sambil menyimpan data dan kemajuan.



Gambar 1. Visualisasi desain prototipe aplikasi B@LIS - SMILE untuk pelaksana teknis

### 3. Desain baru untuk manajer teknis

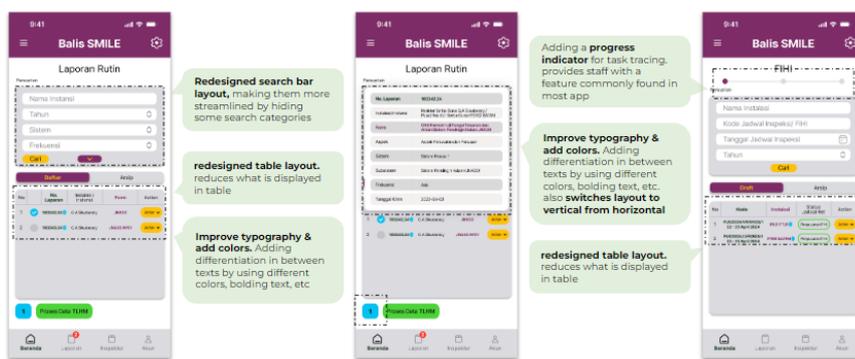
Selanjutnya, penulis merancang prototipe antarmuka smartphone B@LIS-SMILE yang dirancang untuk manajer teknis. *User interface* yang baru dirancang untuk akun manajer teknis B@LIS-SMILE menggabungkan beberapa peningkatan utama: indikator kemajuan untuk penelusuran tugas, tata letak tabel yang didesain ulang untuk mengurangi konten yang ditampilkan, peningkatan tipografi dan gaya font agar lebih sesuai dengan layar tanpa mode lanskap, tugas fitur kompilasi untuk tinjauan status tugas dengan cepat, dan peralihan dari tata letak tabel horizontal ke vertikal untuk kegunaan ponsel cerdas yang lebih baik.



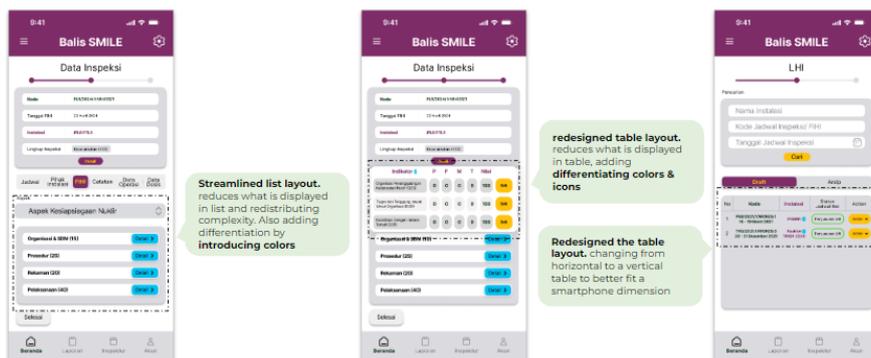
Gambar 2. Visualisasi desain prototipe aplikasi B@LIS - SMILE untuk pelaksana teknis

### 4. Desain baru untuk Inspektur

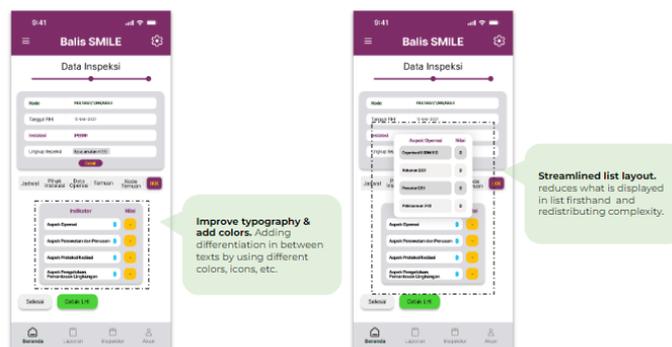
Selanjutnya, penulis merancang prototipe antarmuka smartphone B@LIS-SMILE yang dirancang untuk inspektur. *User interface* yang didesain ulang untuk B@LIS-SMILE menggabungkan beberapa perbaikan: tata letak kolom pencarian yang disederhanakan dengan menyembunyikan beberapa kategori, tata letak tabel yang direvisi dengan pengurangan konten dan penambahan diferensiasi melalui warna dan ikon, peningkatan tipografi dengan diferensiasi warna dan perubahan tata letak dari horizontal ke vertikal, indikator kemajuan untuk penelusuran tugas, tata letak daftar yang disederhanakan dengan pengurangan kompleksitas dan diferensiasi warna, serta peralihan dari tata letak tabel horizontal ke vertikal agar lebih sesuai dengan dimensi *smartphone*.



Gambar 3. Visualisasi desain prototipe aplikasi B@LIS - SMILE untuk inspektur mengevaluasi laporan rutin



Gambar 4. Visualisasi desain prototipe aplikasi B@LIS - SMILE untuk inspektur melihat FIHI



Gambar 5. Visualisasi desain prototipe aplikasi B@LIS - SMILE untuk inspektur melihat LHI

## 5. Analisis & tes validasi

Prototipe yang telah selesai dibuat kemudian diuji menggunakan *usability testing* dan proses *think aloud* pada pelaksana teknis, manajer teknis, dan inspektur. Untuk pelaksana teknis, rata-rata waktu menyelesaikan "Memasukkan Laporan Rutin" adalah 67 detik dengan 3 kesalahan. Manajer teknis memerlukan waktu 26 detik untuk "Setujui Laporan Rutin 1" dengan 1 kesalahan. Inspektur membutuhkan waktu 25 detik untuk "Evaluasi Laporan Rutin", 54 detik untuk "Lihat FIHI", dan 41 detik untuk "Lihat LHI", dengan 3 kesalahan pada tugas terakhir. Dibandingkan dengan kinerja UI yang ada, UI baru menunjukkan peningkatan: kesalahan tugas berkurang dari 25 menjadi 11, dan waktu penyelesaian tugas berkurang secara signifikan, yang menunjukkan peningkatan efisiensi.

Membandingkan hasil proses *think aloud* menggunakan *user interface* baru versus *user interface* B@LIS - SMILE yang sudah ada, semua kelompok responden menunjukkan lebih sedikit kesalahan dan rasa frustrasi. Untuk pelaksana teknis, kesalahan dan frustasi menurun dari 5 menjadi 2. Untuk manajer teknis, kesalahan dan frustasi menurun dari 4 menjadi 1. Inspektur juga menunjukkan penurunan, dari 7 menjadi 3 kesalahan dan frustasi.

Tabel 4. Perbandingan hasil *usability testing* dari prototipe B@LIS - SMILE dengan versi awal

Task	Initial Task Error	New Task Error	Initial Time on Task	New Time on Task
Input Routine Report	8	3	140	67
Approve Routine Report 1	3	1	34	26
Evaluate Routine Report	3	2	38	25
View FIHI	5	2	75	54
View LHI	6	3	59	41

## Kesimpulan

Hasil utama dari penelitian ini adalah desain antarmuka pengguna yang dikembangkan melalui metodologi desain yang berpusat pada pengguna. Penelitian dimulai dengan wawancara pendahuluan dan diskusi untuk menentukan tujuan penelitian dan memprioritaskan fitur. Dalam fase menentukan persyaratan desain, lima fitur utama diidentifikasi dan diuji menggunakan UI saat ini untuk mengungkap dan mendokumentasikan tantangan kegunaan yang ada. *usability testing*, proses *think aloud* digunakan untuk memvalidasi perlunya perbaikan dalam B@LIS - SMILE.

Selanjutnya, pada tahap desain, data dari *usability testing* dan pokok bahasan dimanfaatkan untuk membuat prototipe desain menggunakan Figma. Prototipe ini bertujuan untuk mengatasi tantangan yang teridentifikasi dan meningkatkan pengalaman pengguna berdasarkan masukan pengguna dan praktik terbaik dalam desain UI. Tahap evaluasi melibatkan pengujian prototipe UI yang baru dirancang dengan kelompok pengguna yang sama menggunakan metode yang serupa dengan tahap sebelumnya. Hasil dari tahap ini kemudian dibandingkan dengan pengujian awal antarmuka B@LIS - SMILE saat ini.

Kesimpulannya, setelah evaluasi akhir, *UI smartphone* yang baru dirancang untuk B@LIS - SMILE menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam perbandingan hasil *usability testing* dan proses *think aloud*, menunjukkan penurunan *task errors* sekitar 50% dan menaikkan efisiensi *time on task* sekitar 40% setelah di rata-rata. metode *user centered design* yang digunakan ini berhasil memenuhi tingkat kepuasan pelaksana teknis, manajer teknis, dan inspektur, menyoroti efektivitas proses desain ulang dalam memenuhi kebutuhan pengguna.

## Daftar Pustaka

- [1] IAEA Office of Public Information and Communication. (2022, November 15). What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power. Retrieved from International Atomic Energy Agency (IAEA) Web Site: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (n.d.). Profil BAPETEN. Retrieved from Badan Pengawas Tenaga Nuklir Web Site: <https://bapeten.go.id/berita/profil-bapeten113414?lang=id>
- [3] World Nuclear Association. (2011). Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of Various Electricity Generation Sources. WNA Report. [https://www.world-nuclear.org/uploadedfiles/org/wna/publications/working\\_group\\_reports/comparison\\_of\\_lifecycle.pdf](https://www.world-nuclear.org/uploadedfiles/org/wna/publications/working_group_reports/comparison_of_lifecycle.pdf)
- [4] International Atomic Energy Agency. (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards General Safety Requirements Part 3. Vienna: IAEA Safety Standards.
- [5] World Nuclear Association. (2024). Nuclear Power in Indonesia. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/nuclear-power-in-indonesia>
- [6] Ojovan, M. I., & Steinmetz, H. J. (2022). Approaches to Disposal of Nuclear Waste. *energies*, 1.
- [7] McKay, E. N. (2013). UI is communication how to design intuitive, user-centered interfaces by focusing on effective communication. Morgan Kaufmann.

- [8] Yablonski, J. (2024). *Laws of UX using psychology to Design Better Products & Services*. O'REILLY MEDIA.
- [9] Interaction Design Foundation - IxDF. (2016, June 1). What is User Experience (UX) Design?. Interaction Design Foundation - IxDF. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/ux-design>
- [10] Lowdermilk, T. (2013). *User-Centered Design: A Developer's Guide to Building User-Friendly Applications*. "O'Reilly Media, Inc."
- [11] Benyon, D. (2010), *Designing Interactive Systems: HCI and Interaction Design*, 2nd edn, Addison-Wesley, Essex.
- [12] Barnum, C. M. (2020). *Usability Testing Essentials: Ready, set...test!* Morgan Kaufmann, an imprint of Elsevier.
- [13] ISO 13407: "Human-centered design processes for interactive systems" ([https://files.defcon.no/RUP/process/workflow/requirem/co\\_ucd.htm](https://files.defcon.no/RUP/process/workflow/requirem/co_ucd.htm))
- [14] 10 Usability heuristics for user interface design. (n.d.). Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Tahap Proses Pengembangan Indikator Kinerja Keselamatan

Liliana Yetta Pandi, Decky Dendy Dharmaperwira, Lilis Susanti Setianingsih, Petit Wiringgalih

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

Korespondensi penulis:  
pandililiana@gmail.com  
d.dharmaperwira@bapeten.go.id

### Abstrak

**Tahap Proses Pengembangan Indikator Kinerja Keselamatan.** Perusahaan industri baik nuklir maupun non nuklir melakukan penilaian kinerja keselamatan. Di Indonesia, dalam peraturan perundang-undangan, suatu organisasi instalasi nuklir diharuskan melakukan penilaian kinerja keselamatan. Pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2015 tentang Verifikasi dan Penilaian Keselamatan Reaktor Nondaya, dan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor mengatur pemegang izin instalasi nuklir diwajibkan melakukan penilaian kinerja keselamatan dan disampaikan ke BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) dalam bentuk laporan Penilaian Keselamatan Berkala. Penentuan penilaian kinerja keselamatan diperlukan suatu indikator. Makalah ini bertujuan untuk menentukan cara/proses pengembangan indikator kinerja keselamatan. Pada makalah ini dibahas tentang tahapan proses pengembangan indikator kinerja keselamatan. Cara/tahapan ini memandu pemegang izin dalam menentukan indikator kinerja keselamatan sehingga memudahkan dalam penentuan indikator yang akan digunakan dalam penilaian kinerja keselamatan.

**Kata Kunci:** indikator kinerja keselamatan, keselamatan nuklir, instalasi nuklir.

### Abstract

**Process Stages of the Safety Performance Indicator Development.** Industrial companies, both nuclear and non-nuclear, carry out safety performance assessments. In Indonesia, according to statutory regulations, a nuclear installation organization is required to carry out a safety performance assessment. In Republic of Indonesia Government Regulation Number 54 of 2012 on Safety and Security of Nuclear Installations; Republic of Indonesia Government Regulation Number 2 of 2014 on Licensing of Nuclear Installations and Utilization of Nuclear Material; Regulation of the Chairman of the Nuclear Energy Regulatory Agency Number 2 of 2015 on Verification and Safety Assessment of Research Reactors and Regulation of the Regulatory of the Nuclear Energy Supervisory Agency Number 11 of 2007 on Safety Provisions for Fuel Cycle Facility regulates that nuclear installation permit holders are required to carry out a safety performance assessment and submit it to BAPETEN ( Nuclear Energy Regulatory Agency) in the form of a Periodic Safety Assessment report. Determining the safety performance assessment requires an indicator. This paper aims to determine the method/process for developing safety performance indicators. This paper discusses the stages of the process of developing safety performance indicators. This method/stage guides the permit holder in determining safety performance indicators, making it easier to determine the indicators that will be used in assessing safety performance..

**Keywords:** safety performance indicator, nuclear safety, nuclear installation.

## Pendahuluan

Pada peraturan perundangan terkait instalasi nuklir mensyaratkan pemegang izin harus melakukan penilaian kinerja keselamatan. Penilaian kinerja keselamatan instalasi nuklir di Indonesia diatur dalam: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 mengenai Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir Pasal 39 huruf e menyatakan bahwa penilaian keselamatan wajib dilakukan secara berkala yang meliputi penilaian terhadap kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi; [1] pasal 48 Ayat (4) Huruf b, Pasal 98 ayat (4) huruf b dan penjelasan dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir yang menyatakan bahwa penyusunan laporan penilaian keselamatan berkala, pada laporan penilaian keselamatan berkala di antaranya kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi; [2] pada pasal Pasal 6 ayat (1) huruf e Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2015 tentang Verifikasi dan Penilaian Keselamatan Reaktor Nondaya yang menyatakan bahwa penilaian keselamatan meliputi di antaranya penilaian terhadap kinerja keselamatan; dan Pasal 60 ayat (2) huruf g dari Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor yang menyatakan bahwa organisasi pengoperasi harus membuat pengaturan mengenai penyusunan dan pengendalian rekaman dan laporan yang memiliki bobot keselamatan selama tahap operasi dan dekomisioning, di antaranya data kejadian dan insiden [3, 4].

Dalam penentuan penilaian kinerja keselamatan diperlukan suatu indikator, studi literatur ini bertujuan untuk memberikan panduan cara/tahapan memproses pengembangan indikator kinerja keselamatan. Pada makalah ini dibahas tentang proses pengembangan indikator kinerja keselamatan sehingga memudahkan dalam penentuan indikator yang akan digunakan dalam penilaian kinerja keselamatan.

## Pokok Bahasan

Metode yang digunakan untuk penulisan makalah ini adalah studi literatur terhadap beberapa referensi terkait dengan indikator kinerja keselamatan dan peraturan perundangan.

Instalasi/fasilitas harus memiliki indikator kinerja keselamatan operasional dan efektivitas tindakan korektif yang diambil sebagai tanggapan/respons terhadap kekurangan yang teridentifikasi. Sebagian besar instalasi nuklir mengumpulkan dan menerbitkan serangkaian indikator kinerja standar seperti paparan radiasi, jumlah trip reaktor yang tidak direncanakan, tingkat pemadaman paksa, ketersediaan instalasi, kinerja manusia, rasio antara jumlah kejadian tingkat rendah dan jumlah kejadian total, jumlah perbaikan, tindakan tertunda dan sebagainya. Dalam implementasi pemantauan kinerja keselamatan operasional, pertimbangan harus diberikan pada kualitas informasi yang disediakan oleh setiap indikator [5].

Indikator untuk memantau kinerja operasional digunakan oleh operator dan badan pengawas di seluruh dunia, dan indikator yang ada ini juga harus digunakan untuk tren kejadian tingkat rendah dan kejadian nyaris celaka jika memungkinkan. Oleh karena itu, instalasi nuklir harus memiliki kemampuan untuk membuat tren, menganalisis, dan mengenali tanda-tanda peringatan dini dari penurunan kinerja organisasi pengoperasi dalam melakukan penentuan indikator diperlukan suatu cara/proses untuk pengembangan indikator kinerja keselamatan. Dalam makalah ini dilakukan studi terhadap pedoman untuk proses pengembangan indikator kinerja keselamatan yang diterbitkan oleh OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) dan HSE-UK (*Health, Safety and Environment - United Kingdom*) yaitu: *Guidance On Developing Safety Performance Indicators related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response* (OECD) dan *Developing Process Safety Indicators: A Step-by-Step Guide for Chemical and Major Hazard Industries* (HSE- UK). [6, 7]

Dari kedua pedoman tersebut diperoleh cara/tahapan dalam proses pengembangan indikator kinerja keselamatan yaitu [6, 7, 8]:

- Tahapan pertama: pembentukan tim SPI (*Safety Performance Indicator*)/IKK (indikator kinerja keselamatan)
- Tahapan kedua: identifikasi masalah utama yang menjadi perhatian
- Tahapan ketiga: penetapan indikator hasil (*lagging indicator/outcome indicator*) dan

- metrik terkait
- Tahapan keempat: penetapan indikator kegiatan (*leading indicator/activities indicator*) dan metrik terkait
- Tahapan kelima: pengumpulan data dan laporan hasil indikator
- Tahapan keenam: tindak lanjut temuan dari IKK
- Tahapan ketujuh: evaluasi dan penyempurnaan IKK.

Tiap tahapan dalam proses pengembangan indikator kinerja keselamatan diuraikan pada bagian pembahasan di bawah ini.

## Hasil dan Pembahasan

Kinerja keselamatan yang dipersyaratkan dalam peraturan perundangan mengenai penilaian keselamatan berkala merupakan proses dan prosedur keselamatan untuk menentukan seberapa baik sistem tersebut berfungsi. Analisis ini termasuk pengujian/pemeriksaan level risiko, identifikasi potensi bahaya, evaluasi kebijakan dan kepatuhan terhadap peraturan keselamatan, dan investigasi terhadap insiden/kecelakaan. Tujuan analisis ini untuk mengurangi insiden/kecelakaan dan terulangnya insiden/kecelakaan serupa dan mendiagnosa masalah keselamatan serta solusinya. Untuk melakukan penilaian kinerja keselamatan diperlukan suatu indikator. Dalam penentuan indikator kinerja keselamatan diperlukan suatu proses. Adapun proses penentuan indikator kinerja, menurut pedoman OECD terdiri dari 7 tahapan, sedangkan menurut HSE-UK terdiri 6 tahapan. Perbedaan ini dapat dilihat pada Tabel 1. Tahapan Proses OECD dan HSE-UK [6, 7] di bawah ini.

Tabel 1. Tahapan Proses OECD dan HSE-UK [6, 7]

Tahapan		OECD	HSE-UK
Pertama	pembentukan tim IKK	✓	✓
Kedua	Identifikasi masalah utama yang menjadi pertimbangan	✓	✓
Ketiga	penetapan indikator hasil/ <i>lagging indicator/outcome indicator</i> dan metrik terkait	✓	✓
Keempat	penetapan indikator kegiatan/ <i>leading indicator/activities indicator</i> dan metrik terkait	✓	✓
Kelima	pengumpulan data dan laporan hasil indikator	✓	✓
Keenam	Tindak lanjut temuan dari IKK	✓	
Ketujuh	Evaluasi dan penyempurnaan IKK	✓	✓

Tahapan pengembangan SPI dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Gambar 1 mengilustrasikan 7 (tujuh) tahapan dalam proses tersebut:

- pembentukan Tim SPI;
- identifikasi isu-isu utama yang menjadi perhatian;
- penentuan indikator hasil yang relevan dan metrik terkait;
- penentuan indikator kegiatan dan metrik terkait;
- pengumpulan data dan pelaporan hasil indikator;
- tindak lanjut terhadap temuan dari hasil SPI; dan
- evaluasi dan penyempurnaan SPI [6, 8].



Gambar 1. Tahapan Pengembangan SPI [6, 8]

### 1. Tahapan Pertama: Pembentukan Tim Organisasi

Organisasi menetapkan pengaturan organisasi/tim untuk menerapkan indikator kinerja keselamatan dengan menunjuk seorang pengurus/manajemen atau pemimpin dan manajemen senior harus terlibat secara aktif dalam pengembangan indikator. Dalam organisasi yang lebih besar, pertimbangkan untuk menggunakan komite pengarah proses keselamatan.

Titik awal pembentukan program SPI adalah mengidentifikasi pimpinan untuk memulai upaya, mempromosikan dan mengkoordinasikan pengenalan program SPI, memastikan komunikasi yang efektif dan secara umum mengawasi pelaksanaan program. Penunjukan ini dapat terdiri dari satu orang atau sekelompok orang, tergantung pada ukuran dan kompleksitas perusahaan dan ketersediaan sumber daya.

Sangat penting untuk keberhasilan upaya bahwa manajer senior organisasi yang berada dalam posisi untuk mengambil tindakan berkomitmen terhadap program SPI. Untuk mencapai hal tersebut, tim pimpinan SPI harus meminta masukan dari manajemen senior mengenai tujuan dan sasaran program SPI [6, 7, 8].

### 2. Tahapan Kedua: Identifikasi Isu-isu Utama yang Menjadi Perhatian

Pada tahapan kedua ini adalah menentukan ruang lingkup sistem pengukuran dan mempertimbangkan apa yang salah dan di mana. Identifikasi ruang lingkup sistem pengukuran yaitu mengidentifikasi skenario insiden - apakah bisa salah? mengidentifikasi penyebab langsung dari skenario bahaya dan, mereviu kinerja dan ketidaksesuaian.

Setelah Tim SPI maka tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi indikator yang akan ditangani oleh program SPI. Setiap instalasi akan memiliki bahaya dan risiko yang berbeda, sistem manajemen, kegiatan, program pemantauan dan budaya perusahaan. Oleh karena itu, setiap perusahaan perlu memutuskan prioritasnya sendiri, untuk memilih indikator yang sesuai dan cara pengukurannya. [6-8]

### 3. Tahapan Ketiga: Penentuan Indikator Hasil/lagging yang Relevan dan Metrik Terkait

Tahapan ketiga ini menguraikan tentang penentuan untuk mengidentifikasi indikator hasil dan kegiatan yang sesuai, masing-masing untuk isu utama yang menjadi perhatian yang diidentifikasi pada tahapan kedua yang disebut di atas. Kombinasi indikator hasil dan indikator kegiatan memberikan dua

perspektif tentang apakah kebijakan, prosedur, dan/atau praktik yang terkait dengan keselamatan berfungsi sebagaimana mestinya. Indikator hasil dirancang untuk membantu menilai apakah tindakan terkait keselamatan (kebijakan, prosedur, dan praktik) mencapai hasil yang diinginkan dan apakah tindakan tersebut mengarah ke kemungkinan terjadinya kecelakaan dan/atau dampak yang kurang merugikan terhadap kesehatan manusia, lingkungan dan/atau harta benda dari suatu kecelakaan. Indikator hasil reaktif, dimaksudkan untuk mengukur dampak dari tindakan yang diambil untuk mengelola keselamatan dan mirip dengan apa yang disebut indikator *lagging*. Indikator hasil seringkali mengukur perubahan kinerja keselamatan dari waktu ke waktu, atau kegagalan kinerja.

Indikator hasil menginformasikan apakah telah tercapai hasil yang diinginkan (atau ketika hasil keselamatan yang diinginkan gagal). Namun, tidak seperti indikator kegiatan, indikator kegiatan tidak menginformasikan mengapa hasilnya tercapai atau mengapa tidak.

Indikator kegiatan dirancang untuk membantu mengidentifikasi apakah organisasi mengambil tindakan yang diyakini perlu untuk menurunkan risiko (misalnya, jenis kebijakan, prosedur, dan praktik yang dijelaskan dalam Prinsip Panduan). Indikator kegiatan adalah tindakan proaktif dan mirip dengan apa yang disebut indikator *leading*. Indikator kegiatan sering mengukur kinerja keselamatan terhadap tingkat toleransi yang menunjukkan penyimpangan dari ekspektasi keselamatan pada titik waktu tertentu. Saat digunakan dengan cara ini, indikator kegiatan menyoroti perlunya tindakan saat tingkat toleransi terlampaui.

Penentuan indikator hasil dan indikator kegiatan biasanya merupakan proses berulang, dan berfokus pada satu masalah yang menjadi perhatian pada satu waktu dapat menjadi penggunaan sumber daya yang tersedia secara lebih efektif.

Indikator kinerja keselamatan yang efektif menyampaikan hasil yang jelas mengenai kinerja keselamatan kepada personil yang memiliki tanggung jawab dan wewenang untuk bertindak atas hal-hal yang berkaitan dengan keselamatan instalasi dan bahan nuklir serta bahan kimia.

Inti dari Tahapan ketiga adalah mengidentifikasi sistem pengendalian risiko yang ada untuk mencegah kecelakaan besar. Menentukan hasil untuk masing-masing dan menetapkan indikator *lagging* serta menindaklanjuti penyimpangan dari hasil [6-8].

Indikator hasil/*lagging* sangat penting dalam memahami sifat dan penyebab kecelakaan indikator ini dapat dipecah menjadi beberapa unit, seperti jumlah orang yang terluka atau terbunuh, jumlah kerusakan properti, dan biaya terkait lainnya. Selain itu, pengukuran hasil harus akurat untuk mematuhi semua peraturan hukum dan asuransi. Indikator ini dapat dipertimbangkan untuk menilai indikator keselamatan dengan mengevaluasi suatu kejadian, indikator, atau hasil yang sudah terjadi. Tujuannya adalah untuk mencegah kecelakaan di masa depan dengan menilainya sesudahnya [9].

#### **4. Tahapan Keempat: Penentuan Indikator Kegiatan/*leading* dan Metrik Terkait**

Tahapan keempat adalah menentukan indikator kegiatan untuk memantau elemen kunci dari program keselamatan, prosedur, dan kebijakan yang diidentifikasi pada Tahapan Kedua. Indikator kegiatan berhubungan dengan indikator hasil dan membantu mengukur apakah elemen penting dari program, prosedur, dan kebijakan keselamatan tersedia untuk mencapai hasil yang diinginkan. Sementara indikator hasil dirancang untuk memberikan jawaban tentang apakah Anda telah mencapai hasil keselamatan, indikator kegiatan dirancang untuk memberikan informasi tentang mengapa atau mengapa hasil tersebut tidak tercapai.

Oleh karena itu, indikator kegiatan yang dirancang dengan baik harus memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mengoreksi program, prosedur, dan kebijakan ketika hasil yang diinginkan tidak tercapai.

Dalam mengidentifikasi indikator aktivitas yang tepat, perusahaan harus mempertimbangkan aktivitas yang paling penting untuk mencapai target yang dimaksudkan dan paling erat kaitannya dengan indikator hasil yang dipilih pada Tahapan Tiga. Jika perubahan dalam indikator kegiatan tidak menghasilkan perubahan indikator hasil, ini mungkin berarti bahwa indikator kegiatan terlalu jauh dari

indikator hasil dan indikator kegiatan baru harus dipilih. Terkait dengan indikator hasil, sistem pengukuran yang tepat perlu ditetapkan untuk indikator kegiatan [6-8].

Indikator kegiatan/*leading*/terkemuka merupakan indikator keselamatan yang digunakan untuk menyelidiki keefektifan proses kerja utama, disiplin operasi, dan tindakan proaktif lainnya dalam memprediksi insiden. Jenis matrik/indikator ini mungkin melibatkan partisipasi dalam inisiatif pelatihan dan inisiatif perhatian personel. Jika data dikumpulkan dari waktu ke waktu dari indikator *leading* ini maka dapat membantu mengidentifikasi setiap penurunan dalam efisiensi sistem keselamatan sebelum terjadi kecelakaan, sehingga tindakan korektif dapat diambil [9].

Pada tahapan ini faktor-faktor berikut dipertimbangkan saat menentukan aspek yang akan dicakup yaitu [7]:

- kegiatan atau operasi mana yang harus dilakukan dengan benar pada setiap kesempatan?
- aspek mana saja dari sistem yang dapat mengalami penurunan kualitas dari waktu ke waktu?
- kegiatan apa yang paling sering dilakukan?

Dari tahapan ini, identifikasi elemen dari setiap sistem pengendalian risiko yang sangat penting dalam memberikan hasil.

Setelah pengendalian kritis yang akan dipantau ditentukan, tetapkan indikator utama/*leading*/kegiatan terhadap masing-masing untuk menunjukkan bahwa sistem beroperasi sebagaimana dimaksud, misalnya persentase system/komponen kritis keselamatan yang diperiksa sesuai jadwal. Indikator utama menyoroti apakah sistem pengendalian risiko yang ada untuk memberikan hasil beroperasi seperti yang dirancang.

## 5. Tahapan Kelima: Pengumpulan Data dan Pelaporan Hasil Indikator

Setelah indikator dan metrik hasil dan aktivitas ditentukan, tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi cara mengumpulkan dan melaporkan hasilnya. Tahapan awal adalah meninjau sumber data yang ada (misalnya, informasi yang dikumpulkan untuk kontrol kualitas atau tujuan bisnis lainnya) untuk melihat apa yang mungkin relevan dan menentukan apakah kualitasnya memadai untuk digunakan dalam Program SPI.

Prosedur pengumpulan data harus membahas seberapa sering data dikumpulkan dan hasilnya dilaporkan. Data harus dikumpulkan cukup sering untuk mengidentifikasi perubahan kritis dalam proses secara tepat waktu sehingga tindakan dapat diambil untuk memastikan keselamatan di fasilitas. Laporan harus diberikan secara tepat waktu untuk memungkinkan diambilnya tindakan yang tepat. Untuk indikator yang menggunakan metrik ambang batas, prosedur harus mengidentifikasi ambang batas atau toleransi tertentu, yaitu titik di mana penyimpangan dalam kinerja harus ditandai untuk ditindaklanjuti [6-8].

## 6. Tahapan Keenam: Tindak Lanjut terhadap Temuan dari Hasil SPI

Hasil dari SPI, termasuk toleransi yang terlampaui, tren yang mengganggu dari waktu ke waktu, dan tidak konsisten hasilnya, harus ditindaklanjuti. Jika tidak, tidak ada gunanya menerapkan Program SPI. Tepat waktu laporan dengan informasi penting yang disorot harus diberikan kepada manajer senior, personel manajemen keselamatan, insinyur, operator, dan karyawan terkait lainnya. Informasi ini sangat penting untuk memastikan tindakan tindak lanjut yang cepat atas temuan yang merugikan untuk memperbaiki masalah dalam proses, kebijakan, dan prosedur terkait [6, 8].

## 7. Tahapan Ketujuh: Evaluasi/reviu dan Penyempurnaan SPI

Program SPI, termasuk indikator dan metriknya, harus ditinjau dan dievaluasi secara berkala. Tinjauan ini membantu memastikan bahwa indikator didefinisikan dengan baik, terus menanganai bidang prioritas yang menjadi perhatian, dan memberikan informasi yang diperlukan untuk memantau tahapan-tahapan keselamatan dan menanggapi potensi masalah keselamatan. Selain itu, ini akan membantu untuk mengidentifikasi kapan indikator tertentu tidak lagi diperlukan dan memungkinkan penyesuaian Program SPI untuk fokus pada isu dan indikator yang paling penting [6-8].

Jika kinerja buruk terhadap sekelompok indikator utama tetapi indikator lagging terkait memuaskan, kemungkinan indikator utama yang dipilih terlalu jauh dari ukuran pengendalian kritis yang memberikan atau mempertahankan hasil yang diinginkan. Misalnya, persentase pelatihan induksi yang diselesaikan dapat diukur, sedangkan yang lebih penting, pelatihan dan kompetensi dalam aktivitas proses tertentu mungkin lebih penting untuk memastikan keselamatan aktivitas spesifik tersebut.

Jika sekelompok indikator utama tepat sasaran dan terkait erat dengan sistem pengendalian risiko tetapi indikator lagging terkait menunjukkan kinerja yang buruk, kemungkinan sistem pengendalian risiko tidak efektif dalam memberikan hasil yang diinginkan [6-8].

Terdapat perbedaan tahapan proses pada pedoman OECD dan HSE-UK (lihat Tabel 1) yaitu perbedaan pada Tahapan 6 mengenai Tahapan tindak lanjut terhadap hasil evaluasi IKK pada OECD dilakukan sedangkan pada HSE-UK tidak dibahas, hal ini dikarenakan pedoman OECD (terbit tahun 2008) dikembangkan dari pedoman HSE-UK yang terbit pada tahun 2006.

IAEA menerbitkan dokumen teknis tentang penentuan indikator keselamatan reaktor daya (*Operational Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants*) namun dalam dokumen tersebut tidak membahas tentang tahapan proses indikator keselamatan kinerja, hanya memberikan satu set SPI yang cukup lengkap, keputusan dibuat untuk menyusun struktur dengan tingkat teratas adalah kinerja keselamatan operasi dan tingkat berikutnya adalah atribut keselamatan operasional, yaitu: [10, 11]

- Instalasi beroperasi dengan lancar
- Instalasi beroperasi dengan risiko rendah
- Instalasi beroperasi dengan sikap keselamatan yang positif.

Dengan menggunakan atribut-atribut ini sebagai titik awal, setiap indikator keseluruhan atribut ditetapkan. Terkait dengan setiap indikator keseluruhan adalah tingkat indikator strategis. Terakhir, setiap indikator strategis didukung oleh seperangkat indikator spesifik.

Indikator keseluruhan atau kunci diharapkan untuk memberikan evaluasi keseluruhan dari aspek kinerja keselamatan yang relevan. Indikator strategis dimaksudkan untuk menyediakan jembatan dari keseluruhan ke indikator khusus. Indikator spesifik mewakili ukuran kinerja yang dapat diukur. Indikator khusus dipilih karena kemampuannya untuk mengidentifikasi tren penurunan kinerja atau bidang masalah dengan cepat sehingga setelah penyelidikan yang tepat, manajemen dapat mengambil tindakan korektif untuk mencegah penurunan kinerja lebih lanjut [11].

Pada dokumen IAEA tidak dijelaskan tentang IKK lagging dan leading, namun IKK berdasarkan indikator strategis, khusus dan spesifik, dalam penentuan indikator spesifik dapat dimasukkan indikator *lagging/leading* (lihat Gambar 2 di bawah).



Gambar 2. Penetapan Kinerja Keselamatan Reaktor Daya dari IAEA [10, 11]

## Kesimpulan

Dari pembahasan di atas diperoleh kesimpulan bahwa dalam menentukan indikator kinerja keselamatan diperlukan suatu panduan tahapan proses pengembangan IKK sehingga memudahkan dalam penentuan indikator yang akan digunakan dalam penilaian kinerja keselamatan. Pada pedoman OECD dan HSE-UK, dilakukan kombinasi IKK *lagging* dan *leading*. Pada IAEA tidak dijelaskan tentang IKK *lagging* dan *leading*, namun IKK berdasarkan indikator strategis, khusus dan spesifik.

## Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Indonesia (2012), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta
- [2] Pemerintah Indonesia (2014), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Jakarta
- [3] BAPETEN (2015), Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2015 tentang Verifikasi dan Penilaian Keselamatan Reaktor Nondaya, Jakarta
- [4] BAPETEN (2017), Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor, Jakarta
- [5] IAEA, (2005), Trending of low level events and near misses to enhance safety performance in nuclear power plants, TECDOC-1477, Vienna
- [6] OECD, (2008), Guidance On Developing Safety Performance Indicators related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, Guidance for Industry, Environment, Health and Safety Publications Series on Chemical Accidents No. 19, Environment Directorate, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris.
- [7] HSE, (2006), Developing Process Safety Indicators: A Step-by-Step Guide for Chemical and Major Hazard Industries, ISBN:9780717661800, Series code:HSG254, Inggris, <https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg254.htm>
- [8] Jennings K. and Schulberg F. (2009), Guidance on Developing Safety Performance Indicators, Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). Published on behalf of the AIChE\_ 2009 American Institute of Chemical Engineers, DOI 10.1002/prs.10343. December 2009, Process Safety Progress, Vol.28, No.4 p 362–366.
- [9] What is Safety Performance? Published 29 Mar 2023 <https://safetyculture.com/topics/safety-performance/>
- [10] International Atomic Energy Agency, (2000) Operational Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1141, IAEA, Vienna
- [11] Saqib N. and Siddiqi M. T. (2005), Thresholds and goals for safety performance indicators for nuclear power plants. Reliability Engineering and System Safety 87 p. 275–286.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Penguatan Budaya Keselamatan Nuklir Melalui Budaya Lokal Jawa Dengan Pendekatan Ketidaksadaran Kolektif Jung

Djoko Hari Nugroho

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

Korespondensi penulis:  
d.harinugroho@bapeten.go.id

### Abstrak

Kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir Chernobyl di Ukraina menimbulkan trauma besar dalam dunia teknologi nuklir. Penyebab utama kecelakaan Chernobyl adalah masalah budaya keselamatan. Permasalahan dalam penerapan budaya keselamatan muncul pada tahap internalisasi tingkat nilai dan asumsi dasar pada model Schein. Biasanya untuk melakukan internalisasi dilakukan upaya melalui aspek kesadaran (*consciousness*). Usaha untuk melakukan internalisasi melalui aspek ketidaksadaran (*unconsciousness*) yang melibatkan unsur insting penting untuk dilakukan, karena pada dasarnya masalah kedaruratan terkait dengan kecepatan respon. Dengan insting pemimpin yang kuat berdasarkan ketidaksadaran kolektif diharapkan akan dicapai respon yang cepat dalam mengantisipasi permasalahan keselamatan. Tujuan makalah mengembangkan atribut budaya keselamatan secara konseptual menggunakan budaya lokal Jawa mengikuti konsep ketidaksadaran kolektif Jung. Metodologi yang dipergunakan adalah pendekatan kualitatif melalui tinjauan pustaka. Jika selama ini dalam dokumen IAEA, budaya keselamatan selalu menggunakan pendekatan kesadaran (*consciousness*), maka kontribusi dalam makalah ini dicapai melalui penerapan konsep ketidaksadaran kolektif (*collective unconsciousness*) berdasarkan pendekatan Jung. Permasalahan internalisasi pada model Schein akan dicapai melalui budaya lokal yang menerapkan ketidaksadaran kolektif. Para pemimpin instalasi nuklir yang sudah mewarisi tradisi keselamatan dalam budaya lokal, akan lebih mudah dalam menerapkan dan memperkuat budaya keselamatan nuklir, untuk kemudian dapat mentransmisikannya ke staf dan karyawan di sekitarnya. Dalam makalah ini diambil budaya Jawa sebagai contoh budaya lokal. Penguatan budaya keselamatan diterapkan melalui pengembangan atribut budaya keselamatan dalam Dokumen Kerja IAEA tentang Model Harmonisasi Budaya Keselamatan. Pengembangan dilakukan dengan mengelaborasi atribut pada aspek perilaku pemimpin, aspek komunikasi dan aspek pengambilan keputusan. Aspek internalisasi keselamatan dalam budaya lokal melalui konsep ketidaksadaran kolektif pada personil disarankan untuk menjadi pertimbangan saat rekrutmen pemimpin.

**Kata Kunci:** atribut budaya keselamatan, instalasi nuklir, budaya Jawa, ketidaksadaran kolektif Jung,

### Abstract

*Chernobyl nuclear power plant accident in Ukraine caused a major trauma in the world of nuclear technology. The main cause of the Chernobyl accident was safety culture issues. Problems in implementing safety culture arise at the stage of internalizing values and basic assumptions in Schein Model. Usually, internalization is carried out through awareness. Efforts to internalize through unconscious aspects involving instinctive elements are important, because basically emergency problems are related to response speed. By establishing a strong leader based on the collective unconscious, it is hoped that a quick response will be achieved in anticipating safety problems. The aim of this paper is to develop safety culture attributes conceptually using local Javanese culture following Jung's concept of the collective unconscious. The methodology used is qualitative approach through a literature review. So far in IAEA documents, safety culture has always reached by conscious approach, then the contribution in this paper is achieved conceptually through the implementation of collective unconsciousness based on Jung's approach. Internalization problems in Schein's model will be achieved through local culture that*

*implements the collective unconscious. Nuclear installation leaders who have inherited safety traditions in the local culture will find it easier to implement and strengthen a nuclear safety culture, which can then be transmitted to the staff and employees around them. In this paper, Javanese culture is taken as example of local culture. Strengthening safety culture is implemented through development of safety culture attributes in the IAEA Working Document on the Safety Culture Harmonization Model. Development is carried out by elaborating on attributes in aspects of leader behavior, communication aspects and decision-making aspects. Aspect of internalizing safety in local culture through the collective unconscious concept of personnel is suggested to be a consideration when recruiting leaders.*

**Keywords:** *safety culture attributes, nuclear installation, Javanese culture, Jung's collective unconscious*

## Pendahuluan

Kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir Chernobyl di Ukraina menimbulkan trauma besar dalam dunia teknologi nuklir. Penyebab utama kecelakaan Chernobyl adalah masalah budaya keselamatan [1,2]. Saat ini teknologi reaktor nuklir berkembang pesat, begitu pula dengan sistem keselamatannya. Faktor umum dalam banyaknya insiden bukan karena kegagalan dalam mengidentifikasi bahaya atau bahkan kegagalan dalam menerapkan peraturan pengawasan, namun banyak terjadi karena masalah budaya keselamatan. Salah satu aspek pembelajaran dari kecelakaan Chernobyl adalah bahwa keterlibatan karyawan dalam organisasi adalah sebuah kebutuhan [2].

Pendekatan yang sering digunakan pada saat menerapkan budaya keselamatan adalah model Schein. Model Schein memiliki tiga tingkat, dan tingkat paling rendah adalah artefak yang terkait dengan hal bersifat nyata. Sedangkan permasalahan dalam penerapan ini muncul pada tahap internalisasi budaya keselamatan untuk tingkat nilai dan asumsi dasar. Banyak kalangan menilai bahwa permasalahan internalisasi merupakan permasalahan penting dalam penerapan budaya keselamatan. Biasanya untuk melakukan internalisasi dilakukan upaya melalui aspek kesadaran (*consciousness*). Usaha untuk melakukan internalisasi melalui aspek ketidaksadaran (*unconsciousness*) yang melibatkan unsur insting penting untuk dilakukan, karena pada dasarnya masalah kedaruratan terkait dengan kecepatan respon. Artinya semakin cepat melakukan respon akan lebih baik. Dengan insting pemimpin yang kuat berdasarkan ketidaksadaran kolektif diharapkan akan dicapai respon yang cepat dalam mengantisipasi permasalahan keselamatan. Tujuan penulisan makalah ini adalah mengembangkan atribut budaya keselamatan secara konseptual menggunakan budaya lokal Jawa mengikuti konsep ketidaksadaran kolektif Jung. Metodologi yang dipergunakan dalam pembuatan makalah adalah pendekatan kualitatif melalui tinjauan pustaka.

Pada publikasi terdahulu dapat dilihat bahwa *leaflet* yang dipublikasikan oleh IAEA menyebutkan bahwa budaya lokal memberi pengaruh pada budaya keselamatan [3]. Selain itu, makalah yang dipublikasikan oleh Alamsyah dan Septilarso mengembangkan Budaya Keselamatan Nuklir yang mempertimbangkan nilai-nilai atau tema budaya nasional yang diyakini ada saat ini dan juga diperkirakan akan terjadi di masa depan menggunakan metode kualitatif dan deskriptif dengan pendekatan komparatif [4].

Pada makalah ini dilakukan pendekatan untuk penguatan budaya keselamatan instalasi nuklir melalui budaya lokal Jawa sesuai konsep ketidaksadaran kolektif Jung. Jika selama ini dalam dokumen IAEA, budaya keselamatan selalu menggunakan pendekatan kesadaran (*consciousness*), maka kontribusi dalam makalah ini adalah pendekatan akan dilakukan melalui aspek ketidaksadaran kolektif (*collective unconsciousness*) yang dikemukakan oleh Carl Gustav Jung. Makna keselamatan yang selama ini telah mendarah daging dalam budaya lokal, dikorelasikan keberadaannya dalam budaya keselamatan melalui ketidaksadaran kolektif Jung. Dengan demikian para pemimpin instalasi nuklir yang sudah mewarisi tradisi keselamatan dalam budaya lokal akan lebih mudah menerapkan budaya keselamatan nuklir, untuk kemudian dapat mentransmisikannya ke staf dan karyawan di sekitarnya. Tinjauan dilakukan melalui pendekatan ketidaksadaran kolektif Jung bagi para pemimpin kemudian akan diintegrasikan ke dalam budaya organisasi Schein terutama untuk tercapainya internalisasi nilai, keyakinan dan norma. Dalam hal ini ketidaksadaran kolektif yang diwariskan dapat dimanifestasikan dari budaya lokal. Dalam makalah ini akan diambil budaya Jawa sebagai contoh budaya lokal. Indonesia yang terdiri dari ratusan suku bangsa yang memiliki budaya lokal, misalnya budaya Minang, Sunda, Banten, Palembang dan yang lain. Kemudian konsep ketidaksadaran kolektif Jung akan dijadikan dasar untuk mengembangkan

budaya keselamatan nuklir yang direpresentasikan dalam dokumen kerja IAEA Model Budaya Keselamatan yang Harmonis (*A Harmonized Safety Culture Model*), dimana model ini mencakup kerangka sifat WANO dan karakteristik budaya keselamatan dalam dokumen kerja IAEA.

## Teori Psikologi Jung

### 1. Kepribadian Manusia Menurut Jung

Konsep Jung tentang manusia menitik beratkan pada keberadaan totalitas kepribadian yang disebut *psyche*. *Psyche* terdiri dari sejumlah sistem yang berbeda tetapi saling terkait. Berdasarkan konsep Jung, *psyche* merupakan sistem dinamis yang mengatur diri secara spontan tanpa ada pertentangan, sehingga tidak akan ada keseimbangan psikis dan tidak pula ada sistem pengaturannya. Keseluruhan dari sistem tersebut secara terus menerus berlangsung terarah pada satu tujuan yaitu tercapainya kepribadian yang utuh.

Pandangan Jung juga dikaitkan dengan simbol Mandala berupa lingkaran magis yang dapat dijumpai dalam beberapa kebudayaan, seperti dalam Taoisme dan Budhisme. *Mandala* biasanya dibuat di atas kertas atau kain menggunakan benang, atau juga dilukis di atas batu. *Mandala* diyakini mewakili berbagai aspek alam semesta dan digunakan sebagai instrumen meditasi di China, Tibet, India, dan Jepang. Simbol Mandala ini merupakan gambaran atas keseluruhan yang utuh. Melalui hal tersebut, struktur kepribadian diri dalam pandangan Jung direpresentasikan oleh sistem yang menyusunnya, antara lain yang terpenting adalah: ego, ketidaksadaran personal, dan ketidaksadaran kolektif.

Kepribadian berdasarkan psikologi analitik yang dikembangkan oleh Jung menyatakan bahwa seseorang akan terbentuk secara dinamis oleh energi psikis. Jung juga mengatakan bahwa perkembangan kepribadian merupakan akulturasi diri yang paling selaras dari segala aspek kepribadian yang telah dialami seseorang. Dalam proses perkembangan kepribadian dapat terjadi kausalitas atau teleologi, maupun progresi atau regresi. Konsep kausalitas mengacu pada penyebab dan akibat yang mempengaruhi kepribadian seseorang, termasuk pengalaman masa lalu, lingkungan dan genetik. Sedangkan konsep teleologi terkait tujuan dan arah dari kepribadian. Progresi terjadi karena adanya pertumbuhan pribadi, sedangkan regresi merupakan kemunduran ke fase-fase sebelumnya. Setiap aspek kepribadian yang mencapai perkembangan yang optimal akan mencapai kepribadian yang terintegrasi dan sehat [5].

### 2. Ketidaksadaran Kolektif Jung

Ketidaksadaran dalam teori psikologi banyak dikaitkan dengan konsep yang dikemukakan oleh Carl Jung dan Sigmund Freud. Freud menyatakan bahwa pikiran manusia terbagi menjadi sadar dan tidak sadar. Alam bawah sadar mengandung unsur-unsur yang tidak dapat diakses secara langsung oleh kesadaran. Lebih jauh lagi Jung mengembangkan konsep ketidaksadaran kolektif yang mencakup peran warisan simbolik dan pengalaman bersama terhadap kepribadian seseorang.

Jung menggambarkan proses individuasi sebagai upaya untuk menyatukan berbagai aspek kepribadian, termasuk yang terdapat dalam ketidaksadaran kolektif menjadi lebih seimbang dan sadar secara utuh. Hal ini melibatkan pengenalan dan integrasi unsur-unsur bawah sadar ke dalam kesadaran individu. Jika konsep ini diterapkan pada budaya keselamatan dalam suatu organisasi, maka pengalaman bersama dan simbol-simbol yang tidak disadari dapat membentuk norma dan nilai yang membentuk keselamatan sebagai budaya yang diterima bersama dalam organisasi.

Ketidaksadaran kolektif berdasarkan konsep Jung mengacu pada gagasan bahwa segmen pikiran bawah sadar terdapat diwariskan secara genetik dan tidak dibentuk oleh pengalaman pribadi. Menurut ajaran Jung, ketidaksadaran kolektif adalah hal yang umum bagi semua manusia. Jung juga percaya bahwa ketidaksadaran kolektif bertanggung jawab atas sejumlah keyakinan dan naluri yang mendalam, seperti spiritualitas, perilaku seksual, dan naluri hidup dan mati. Ketidaksadaran kolektif terdiri dari kumpulan pengetahuan dan gambaran yang dimiliki setiap orang sejak lahir dan dimiliki bersama oleh seluruh umat manusia karena pengalaman leluhur.

Meskipun manusia mungkin tidak mengetahui pikiran dan gambaran apa yang ada dalam ketidaksadaran kolektif mereka, namun diperkirakan pada saat krisis, jiwa dapat memanfaatkannya. Pemahaman terhadap keyakinan Jung tentang ketidaksadaran kolektif memerlukan pemahaman konsep seputar keyakinan tersebut. Karena ketidaksadaran kolektif merupakan akar dari naluri hidup dan mati, maka jika ketidaksadaran kolektif ini terkait budaya keselamatan akan menjadi aspek yang sangat penting terutama dalam kondisi darurat, karena seseorang akan bertindak sesuai budaya keselamatan secara naluriah tanpa perlu dikendalikan dahulu oleh kesadaran pemikiran [6].

### 3. Psikologi Analitik Jung

Dalam teori psikologi analitik Jung disebutkan bahwa kepribadian seseorang dibagi dalam tiga tingkat kesadaran yaitu kesadaran (*consciousness*), ketidaksadaran personal (*personal unconscious*), serta ketidaksadaran kolektif (*collective unconscious*) yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a) Kesadaran (*consciousness*). Kesadaran adalah bagian dari pikiran yang berisi semua pikiran, perasaan, dan sensasi yang disadari pada saat tertentu yang digunakan untuk berinteraksi dengan dunia luar dan untuk membuat keputusan. Menurut Jung, bayangan mengenai kesadaran merupakan hal yang dapat dirasakan oleh ego, sementara elemen ketidaksadaran tidak ada kaitannya dengan ego. [6].
- b) Ketidaksadaran personal (*personal unconscious*). Ketidaksadaran personal adalah bagian dari pikiran yang berisi semua pikiran, perasaan, dan sensasi yang tidak disadari pada saat tertentu, tetapi yang dapat diakses dengan mudah jika diperlukan. Ketidaksadaran personal berisi semua pengalaman yang tidak disadari, baik yang menyenangkan maupun yang tidak menyenangkan. [7]
- c) Ketidaksadaran kolektif (*collective unconscious*). Ketidaksadaran kolektif adalah bagian dari pikiran yang berisi semua pikiran, perasaan, dan sensasi yang diwarisi dari nenek moyang. Isi fisik yang menyertai ketidaksadaran kolektif diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya sebagai sebuah kondisi psikis yang potensial. Hal ini tidak terbatas oleh pengalaman pribadi [7].

## Budaya Lokal Jawa

### 1. Budaya Jawa

Pada dasarnya kebudayaan adalah tatanan yang mengatur kehidupan suatu masyarakat. Kebudayaan juga sering diartikan sebagai norma dan nilai yang terbentuk dalam suatu lingkungan masyarakat. Pada perkembangan berikutnya akan terbentuk suatu sistem sosial dari nilai-nilai dan norma-norma melalui kebutuhan masyarakat tersebut. Manusia pada dasarnya memiliki kebutuhan dalam bidang spiritual maupun materi. Oleh karena itu kebudayaan akan dapat mengatur manusia untuk mengetahui cara bertindak, berbuat, serta menentukan sikap kepada orang lain.

Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau memiliki banyak budaya lokal, salah satunya adalah budaya Jawa. Pada dasarnya budaya adalah hasil karya, cipta, dan karsa manusia. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa budaya Jawa adalah budaya hasil karya, cipta, karsa masyarakat Jawa. Budaya Jawa sendiri merupakan budaya yang tentunya berasal dari Jawa dan dianut oleh masyarakatnya sendiri, khususnya di daerah Jawa Tengah, Jawa Timur, Daerah Istimewa Yogyakarta, serta daerah-daerah lain.

### 2. Keselamatan dalam Budaya Jawa

Dari beberapa observasi dapat dilihat bahwa orang Indonesia pada dasarnya sudah memiliki budaya keselamatan. Di lingkungan budaya Jawa, akan dapat ditemukan pelajaran tentang arti pentingnya keutamaan akan keselamatan yang berasal dari ajaran nenek moyang. Salah satu tradisi turun temurun yang dilakukan oleh masyarakat Jawa adalah tradisi slametan

Tradisi slametan atau selamatan sudah mendarah daging dalam budaya Jawa. Makna slametan bagi orang Jawa adalah untuk memperoleh keselamatan, sebagai langkah antisipasi sebelum terjadi sesuatu hal yang tidak diinginkan. Dengan melakukan slametan, orang Jawa mempunyai langkah antisipatif dan proaktif. Sebelum agama-agama besar datang, Jawa sudah mempunyai kepercayaan adanya Tuhan yang

melindungi dan mengayomi. Slametan merupakan bukti orang Jawa percaya kekuatan di luar dirinya yang besar, yang dapat melindungi, dan mengayomi. Dengan demikian tujuan slametan antara lain adalah untuk mencapai keadaan slamet, sebagaimana yang dideskripsikan Koentjaraningrat sebagai sebuah keadaan dimana peristiwa-peristiwa diharapkan akan mengikuti alur yang telah ditetapkan dengan mulus dan tak satu pun kemalangan yang menimpa siapa saja. Untuk mencapai hal tersebut, maka manusia wajib memelihara kerukunan, saling menjaga dan berintrospeksi dengan masyarakat dan alam sebagai sebuah hal yang tidak dapat ditinggalkan. Apabila manusia hanya menuruti dan memenangkan ego sendiri, maka hal yang tidak baik akan mengikuti [8].

### 3. Ungkapan Keselamatan dalam Budaya Jawa

Dari beberapa penuturan masyarakat Jawa, istilah slamet yang berarti selamat telah menjadi kata penting dalam harapan yang akan ditemui dalam kehidupan sehari-hari masyarakat Jawa. Selain dari segi spiritualitas, arti keselamatan juga diterjemahkan dalam bentuk ungkapan. Berikut ini beberapa ungkapan masyarakat Jawa terkait dengan keselamatan.

#### 1) Falsafah Hamemayu Hayuning Bawana

Manusia hidup berdampingan dengan alam, sehingga harus dapat menempatkan diri. Manusia dalam kehidupannya merupakan bagian dari tata kehidupan alam semesta. Dengan demikian diperlukan adanya simbiosis yang saling menguntungkan antara alam semesta dengan manusia. Disadari bahwa perilaku seseorang akan sangat menentukan keberlangsungan kehidupan hingga anak cucunya. Sejalan dengan hal tersebut masyarakat Jawa memiliki kearifan dalam hubungan antara manusia dengan alam sekitar. Keduanya saling bergantung dan membentuk suatu harmoni. Melalui nilai kearifan kemudian dituangkan dalam sebuah konsep dasar hubungan yang harmonis antara manusia dengan Tuhan, manusia dengan manusia, dan manusia dengan alam sekitar. Dalam konsepsi memayu hayuning bawana, konsep dasar hubungan yang harmonis ini dilakukan sebagai upaya untuk mencapai keselamatan hidup di dunia maupun kehidupan batiniah [9].

Dari pengertian istilah, falsafah hamemayu hayuning bawana dapat diartikan dari kata hamemayu yang berarti memayungi dengan maksud menjaga dari segala hal yang mengganggu keselamatan atau ketidaknyamanan yang disebabkan oleh kekacauan kehidupan. Dalam hal ini yang dimaksud dengan hamemayu atau memayungi mengarah ke tujuan memayungi hayuning bawana, rahayuning jagat atau keselamatan dan kelestarian dunia dan seisinya. Sedangkan makna bawono merupakan hal yang dimaknai sebagai jagat atau dunia, sehingga falsafah tersebut mengandung makna global. Bawono yang harus dilindungi atau dijaga dapat dimaknai dalam lingkup dunia seisinya bahkan jagat raya. Dengan demikian dapat dipahami adanya makna yang mendalam mengenai cara menjaga dan menyelamatkan dunia seisinya [9].

#### 2) Tak sangoni slamet

Arti kata ungkapan di atas adalah saya berikan bekal selamat. Ungkapan ini diberikan seseorang, biasanya orang yang lebih tua, pada saat seseorang akan bepergian. Ungkapan ini mengandung arti bahwa bukan harta atau limpahan uang yang diharapkan orang tua tapi keselamatan diri ketika kembali ke rumah. Secara umum makna ungkapan tersebut adalah agar selalu selamat dalam perjalanan sampai di tempat tujuan. Hal ini sesuai dalam teknologi nuklir dimana mengutamakan keselamatan [10].

#### 3) *Sluman slumun slamet*

Setiap pekerjaan pastilah ada suatu resiko yang ditanggung, namun semua resiko itu bisa dikurangi atau tidak akan terjadi jika dikerjakan dengan penuh perhatian dan teliti. Terlepas dari semua itu, kadang juga resiko tersebut datangnya tidak terduga dan tiba-tiba. Jika hal ini terjadi, maka perlu diupayakan keselamatan diri. Pepatah ini juga banyak diartikan sebagai usaha seseorang yang ingin meraih kesuksesan namun dengan cara yang tidak mencolok. Bisa juga seseorang yang sedang melakukan hal besar tanpa perlu memamerkannya kepada orang lain, yang penting berhasil [10].

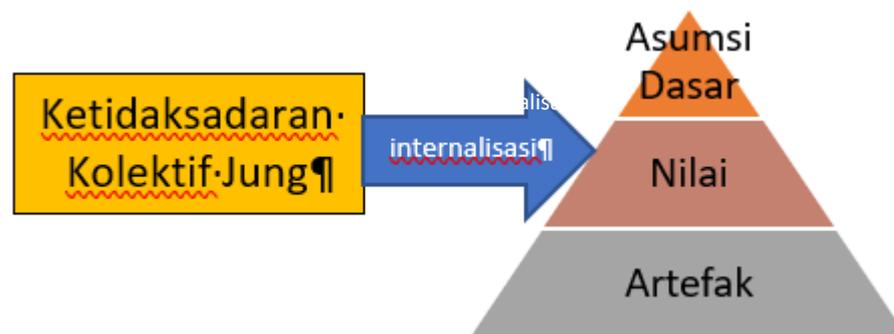
## Hasil dan Pembahasan

### 1. Budaya Keselamatan Nuklir

IAEA mendefinisikan budaya keselamatan sebagai kumpulan karakteristik, sikap dan perilaku individu, organisasi dan lembaga yang menetapkan bahwa, sebagai prioritas utama, masalah perlindungan dan keselamatan mendapat perhatian sesuai dengan signifikansinya. Untuk memahami budaya keselamatan di industri nuklir biasanya digunakan model budaya organisasi Schein. Schein menjelaskan budaya organisasi terdiri dari tiga tingkat yaitu (a) artefak, (b) keyakinan dan nilai-nilai serta, (c) asumsi dasar.

Pada tahap artefak, budaya keselamatan dapat diamati secara langsung. Arsitektur tempat kerja, housekeeping, dokumentasi, prosedur, proses kerja, jarak aman, perawatan peralatan, pencahayaan ruangan, kompetensi tenaga kerja, dan sebagainya. Tingkat yang kedua yaitu 'nilai-nilai' yang dianut oleh seluruh pekerja. Nilai bisa berupa prioritas utama terhadap keselamatan; keterbukaan dan komunikasi; dan pembelajaran organisasi. Nilai-nilai ini diusahakan sudah tertanam dalam diri Pemimpin dan karyawan. Tingkat yang terakhir ialah asumsi dasar. Asumsi merupakan pemahaman dan keyakinan yang sangat mendasar yang dirasakan oleh seluruh pekerja tanpa disadari oleh mereka atau sudah terinternalisasi. Karakteristik asumsi dasar biasanya dijabarkan berupa beberapa hal seperti pandangan terhadap keselamatan; sistem berfikir; peranan para manager; pandangan para pegawai, dan sebagainya.

Banyak kalangan menilai bahwa permasalahan internalisasi merupakan permasalahan penting dalam penerapan budaya keselamatan. Biasanya untuk melakukan internalisasi dilakukan upaya melalui aspek kesadaran (consciousness). Usaha untuk melakukan internalisasi melalui aspek ketidaksadaran (unconsciousness) yang melibatkan unsur insting penting untuk dilakukan, karena pada dasarnya masalah kedaruratan terkait dengan kecepatan respon. Artinya semakin cepat melakukan respon akan lebih baik. Dengan insting pemimpin yang kuat berdasarkan ketidaksadaran kolektif diharapkan akan dicapai respon yang optimal dalam mengantisipasi permasalahan keselamatan. Pada langkah analisis selanjutnya akan dibahas pendekatan internalisasi melalui aspek ketidaksadaran. Konsep ketidaksadaran Jung untuk mencapai internalisasi budaya keselamatan melalui nilai-nilai dalam model organisasi Schein dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Internalisasi Ketidaksadaran Kolektif Jung pada Model Schein

### 2. Ketidaksadaran Kolektif Jung pada Budaya Jawa

Jung memasukkan unsur budaya dalam aliran psikoanalisa sehingga teorinya juga menjangkau bidang luas. Jung percaya bahwa ada pola-pola tertentu mental dasar atau pola informasi yang ada dalam semua pikiran manusia dan yang merupakan bagian dari warisan umat manusia. Banyak orang berpendapat bahwa arketipe Jung tidak bisa benar-benar diwariskan, dan harus ditransmisikan melalui jalur budaya. Ada dua cara yang organisme hidup dapat mengirimkan informasi satu sama lain melalui transmisi genetik atau komunikasi dari satu jenis atau yang lain. Dengan demikian arketipe seperti misalnya mitologi seperti yang tertanam dalam budaya Jawa berdasarkan konsep ketidaksadaran kolektif Jung bisa genetik ditularkan atau secara kultural ditransmisikan. Untuk memperoleh hasil maksimal, maka kedua metodologi transmisi informasi dapat dilakukan dengan cara pewarisan secara genetik dan transmisi secara kultural.

Dari sisi kultural, proses penanaman falsafah ajaran hidup masyarakat Jawa dapat ditempuh dengan berbagai cara antara lain:

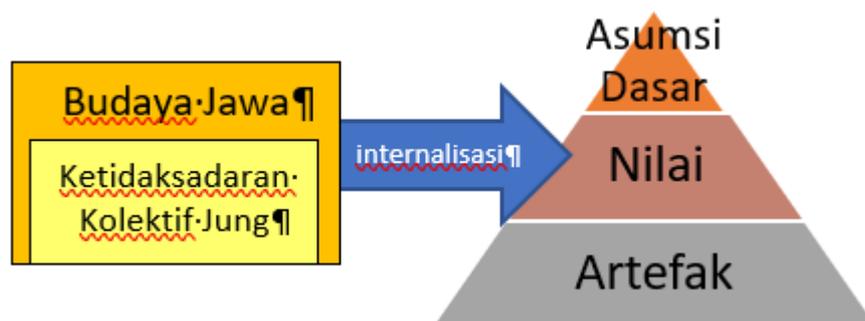
- a) tembang-tembang (syair yang diberi lagu untuk dinyanyikan) antara lain Wulangreh, Wedhatama, Tripama,
- b) sesanti atau ungkapan yang mengandung pengertian luas dan mendalam tentang makna budi luhur,
- c) upacara tradisi seperti upacara selamatan.

Ungkapan dalam budaya Jawa seperti yang dicontohkan di atas merupakan frasa yang mengandung nilai-nilai kehidupan, kearifan lokal, dan falsafah budaya Jawa. Ungkapan tersebut sering digunakan untuk memberikan harapan, nasihat, menggambarkan situasi, atau menyampaikan pemahaman tentang kehidupan yang bersifat spiritual, religius dan mendalam, namun juga disertai usaha pencapaian. Ungkapan adalah doa atau harapan yang tulus kepada Yang Maha Pencipta agar diperoleh keselamatan. Dengan demikian makna selamat dalam ungkapan budaya Jawa merupakan ungkapan permohonan kepada Yang Maha Kuasa dengan disertai usaha untuk tercapainya tujuan kegiatan dengan selamat.

Selain itu tradisi slametan dilakukan dengan tujuan antara lain untuk mencapai keselamatan atau keadaan selamat dimana semua peristiwa mengikuti alur yang telah ditetapkan dapat terlaksana dengan mulus dan tak satu pun kemalangan yang menimpa. Untuk mencapai hal tersebut, maka manusia wajib memelihara kerukunan, saling menjaga dan berintrospeksi dengan masyarakat dan alam.

Dengan demikian seorang pemimpin yang berpegang erat pada budaya Jawa akan memiliki budaya keselamatan yang sudah tertanam sebagai warisan kultural dari nenek moyang. Sesuai pendekatan Jung, makna keselamatan dapat diwariskan oleh leluhur ke pemimpin organisasi melalui jalur genetika dan/atau kultural.

Dalam psikologi dan sosiologi, internalisasi mengacu pada integrasi prinsip, atribut, sifat, nilai dan standar ke dalam identitas diri sendiri. Sesuai pendekatan Jung, makna keselamatan dapat diwariskan oleh leluhur ke pemimpin organisasi melalui jalur genetika dan/atau kultural. Dengan demikian dalam konteks budaya Jawa, seorang pemimpin dalam organisasi dapat mentransfer nilai-nilai, prinsip-prinsip dan standar-standar budaya keselamatan nuklir yang dimilikinya sesuai budaya Jawa kepada nilai-nilai dan prinsip-prinsip yang dianut dan diadopsi dan dinyatakan dalam dokumen kebijakan organisasi. Nilai-nilai, prinsip-prinsip dan standar-standar ini kemudian dapat diinternalisasikan oleh orang-orang lain yang bekerja di organisasi yang sama. Nilai-nilai dan perilaku organisasi yang sudah inheren dalam jiwa Pemimpin dan dicontohkan oleh para pemimpinnya dan diinternalisasikan oleh para anggotanya dengan tujuan untuk menjadikan keselamatan nuklir sebagai prioritas utama dalam internalisasi budaya keselamatan organisasi. Internalisasi akan mendukung tingkat nilai yang dianut Schein sehingga dapat mencapai tingkat asumsi dasar secara efektif seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2 Internalisasi Ketidaksadaran Kolektif Jung dalam Budaya Jawa pada Model Schein

Di pihak lain, konsep ketidaksadaran kolektif Carl Jung juga dapat dihubungkan dengan budaya keselamatan dalam organisasi melalui pemahaman perilaku dan keputusan yang mungkin terjadi di luar kesadaran individu. Pengalaman bersama dan simbol-simbol yang tidak disadari dapat membentuk norma dan nilai yang membentuk keselamatan sebagai budaya yang diterima bersama. Dengan demikian, konsep ketidaksadaran kolektif dalam teori Jung memberikan pemahaman mendalam mengenai dimensi ketidaksadaran kolektif kemanusiaan dan warisan budaya. Integrasi unsur-unsur ini dianggap sebagai langkah menuju pertumbuhan spiritual dan psikologis yang lebih utuh.

Dalam hubungan antara pemimpin dan karyawan dalam lingkungan organisasi, seorang pemimpin dapat menciptakan konteks bisnis, menciptakan identitas dan nilai-nilai yang diakui oleh karyawan dan konsumen. Simbol dan konsep bersama ini menciptakan makna yang dikenali dan dipahami secara luas dan mendalam. Apa yang dilakukan seorang pemimpin dalam ketidaksadaran kolektif sering disebut kepemimpinan kolektif.

Dalam proses individuasi dilakukan upaya menyatukan berbagai aspek kepribadian, termasuk yang terdapat dalam ketidaksadaran kolektif, menjadi lebih seimbang dan sadar secara utuh. Hal ini melibatkan pengenalan dan integrasi unsur-unsur bawah sadar ke dalam kesadaran individu. Penerapan konsep ini pada budaya keselamatan dalam suatu organisasi akan memberikan pengalaman bersama dan simbol-simbol yang tidak disadari dapat membentuk norma dan nilai yang membentuk keselamatan sebagai budaya yang diterima bersama.

### 3. Pengembangan Model Budaya Keselamatan

Pada tahun 2020, IAEA mempublikasikan Model Budaya Keselamatan yang Harmonis (*Harmonized Safety Culture Model*) dalam bentuk dokumen kerja. Dalam dokumen kerja terkait ada 10 aspek, dimana masing-masing aspek terdiri dari beberapa atribut. Dokumen Kerja tersebut menyebutkan bahwa Sifat Budaya Keselamatan meliputi aspek Tanggung Jawab Individu, Sikap Bertanya, Komunikasi, Lingkungan Kerja, Pembelajaran Berkelanjutan, Tanggung Jawab Pemimpin, Pengambilan Keputusan, Identifikasi Masalah & Resolusi, Pengungkapan Perhatian, Rencana Kerja



Gambar 3 Pengembangan Model Budaya Keselamatan yang Harmonis

Pada pengembangan model budaya keselamatan yang harmonis, budaya Jawa melalui konsep ketidaksadaran kolektif Jung diterapkan pada aspek “Pengambilan Keputusan” yang dilakukan dengan menambahkan atribut “Mengutamakan Keselamatan” pada setiap pengambilan keputusan seperti tampak pada Gambar 4. Penambahan atribut ini menjelaskan bahwa atribut mengutamakan keselamatan pada saat pengambilan keputusan menjadi kontribusi utama yang diturunkan dari tradisi slamet dalam budaya Jawa yang tertanam inheren dan dijelaskan melalui konsep ketidaksadaran kolektif Jung. Selanjutnya, aspek Komunikasi diperluas dengan menambahkan atribut “Keterlibatan Karyawan”. Pada dasarnya budaya Jawa melalui konsep ketidaksadaran kolektif dari Jung dapat diwariskan melalui genetik maupun kulturalisasi. Hal ini akan memberikan pemahaman mendalam mengenai dimensi ketidaksadaran kolektif kemanusiaan dan warisan budaya. Keterlibatan karyawan akan dapat memberikan pengalaman bersama dan simbol-simbol yang tidak disadari dapat membentuk norma dan nilai yang membentuk keselamatan sebagai budaya yang diterima bersama. Integrasi unsur-unsur ini dianggap sebagai langkah menuju pertumbuhan spiritual dan psikologis yang lebih utuh.

Aspek “Tanggung Jawab Pemimpin” dapat dikembangkan sedemikian rupa sehingga Pemimpin yang terinternalisasi makna keselamatan dalam budaya Jawa akan menunjukkan komitmen terhadap keselamatan dalam pengaruh, keputusan, dan perilaku mereka. Pemimpin adalah panutan dalam meningkatkan keselamatan. Manajer eksekutif dan senior merupakan penggerak utama keselamatan dan menunjukkan komitmen mereka baik dalam kata-kata maupun tindakan. Para pemimpin di seluruh organisasi akan memimpin dengan memberi contoh berdasarkan budaya keselamatan yang secara inheren sudah tertanam dalam diri melalui budaya lokal Jawa turun temurun dari nenek moyang melalui genetic ataupun kultural. Berdasarkan karakteristik budaya keselamatan warisan ini, maka Pemimpin akan dapat secara aktif mempengaruhi lingkungan dalam hal keselamatan. Dalam konteks ini, budaya

Jawa melalui konsep ketidaksadaran kolektif dari Jung direpresentasikan ke dalam atribut “Perilaku Pemimpin” dengan karakteristik budaya lokal Jawa akan menerapkan dan menginduksi budaya yang sudah tertanam dalam diri untuk meningkatkan budaya keselamatan nuklir ke karyawan di sekitarnya. Dalam aspek “Tanggung Jawab Pemimpin” ini atribut “Keterlibatan Karyawan” (*Employee Engagement*) dipindahkan ke aspek “Komunikasi”. Kemudian dalam aspek “Tanggung Jawab Pemimpin” ditambahkan atribut “Motivasi dan Kepuasan Kerja Karyawan” dengan tujuan menciptakan lingkungan positif untuk menginduksikan tradisi selamat budaya lokal Jawa ke budaya keselamatan organisasi. Untuk memperlancar proses dalam pencapaian budaya keselamatan, maka Pemimpin mendukung keterlibatan aktif individu di semua tingkatan dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah untuk meningkatkan motivasi kerja dan kepuasan kerja karyawan.

Untuk meningkatkan budaya keselamatan organisasi melalui budaya lokal Jawa, maka pada saat rekrutmen pemimpin organisasi direkomendasikan untuk memilih calon pemimpin yang memiliki internalisasi budaya lokal (misalnya budaya Jawa) yang sudah inheren melalui konsep ketidaksadaran kolektif untuk mencapai budaya keselamatan organisasi yang tinggi.

## Kesimpulan

Telah dilakukan pendekatan melalui aspek ketidaksadaran kolektif (*collective unconsciousness*) dari Carl Gustav Jung untuk meningkatkan budaya keselamatan nuklir melalui budaya lokal dalam hal ini budaya Jawa. Para pemimpin instalasi nuklir yang sudah mewarisi tradisi keselamatan yang inheren dalam budaya lokal Jawa melalui genetik maupun kultural akan lebih mudah menerapkan dan memperkuat budaya keselamatan nuklir, sehingga dapat mentransmisikannya ke staf dan karyawan di sekitarnya. Kepemimpinan kolektif dapat diperoleh melalui ketidaksadaran kolektif Jung dalam representasi budaya lokal Jawa untuk internalisasi tingkat nilai dan kemudian mencapai tingkat asumsi dasar pada budaya organisasi Schein. Dalam penerapannya dilakukan penguatan budaya keselamatan dalam operasional instalasi nuklir melalui *Safety Culture Traits* yang dikembangkan pada aspek Tanggung Jawab Pemimpin termasuk leverage khususnya pada sosialisasi Intensif. Dalam aspek “Tanggung Jawab Pemimpin” ini atribut “Keterlibatan Karyawan” (*Employee Engagement*) dipindahkan ke aspek “Komunikasi”. Kemudian dalam aspek “Tanggung Jawab Pemimpin” ditambahkan atribut “Motivasi dan Kepuasan Kerja Karyawan” dengan tujuan menciptakan lingkungan positif yang mendukung keselamatan. Penerapan budaya Jawa melalui konsep ketidaksadaran kolektif dari Jung diimplementasikan pada aspek “Pengambilan Keputusan” yang dilakukan dengan menambahkan atribut “Mengutamakan Keselamatan” pada setiap pengambilan keputusan. Selanjutnya, aspek Komunikasi diperluas dengan menambahkan atribut “Keterlibatan Karyawan”.

## Saran

Untuk meningkatkan budaya keselamatan dalam instalasi nuklir disarankan untuk melakukan aktivitas yang memperkuat budaya lokal yang selaras dengan budaya keselamatan sesuai budaya lokal karyawan. Aktivitas dapat berupa peningkatan kompetensi, focus group discussion, dan sebagainya. Konsep ketidaksadaran kolektif yang direpresentasikan dalam pendekatan keselamatan dalam budaya lokal (misalnya budaya Jawa) direkomendasikan untuk diterapkan pada saat rekrutmen pemimpin untuk meningkatkan budaya keselamatan organisasi.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Rekan-rekan di Kelompok Fungsi, Koordinator Kelompok Fungsi dan Pimpinan sehingga memungkinkan makalah ini dapat diselesaikan dengan baik.

### Daftar Pustaka

- [1] IAEA. (1992). SAFETY SERIES No. 75-INSAG-7. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1
- [2] Washburn, A. (2021). Campbell Institute Research Outlook: Measuring and Promoting Safety Culture.
- [3] IAEA. (2017). Culture for Safety Leaflet: Nuclear Safety and Security Programme. Vienna
- [4] Alamsyah, R., Septilarso, A. (2023). The Development of Country-Specific Nuclear Safety Culture for Indonesia: a Preliminary Study. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2023, pp 225-234, Jakarta
- [5] Suryosumunar, J.A.Z. (2019). Konsep Kepribadian Dalam Pemikiran Carl Gustav Jung Dan Evaluasinya Dengan Filsafat Organisme Whitehead. SOPHIA DHARMA, Vol. 2, No. 1, Mei 2019
- [6] Aryndani, L.M, Ediyono, S. (2022). Pembentukan Konsep Kepribadian Dalam Pandangan Filsafat Dan Psikologi. INSAN Jurnal Psikologi dan Kesehatan Mental. Desember 2022
- [7] Kurniawan, H. (2024). Bab 4 Jung: Psikologi Analitik diunduh dari [https://www.academia.edu/9475779/BAB\\_4\\_Jung\\_Psikologi\\_Analitik](https://www.academia.edu/9475779/BAB_4_Jung_Psikologi_Analitik) tanggal 19 Juni 2024
- [8] Awaln, F.R.N. (2018). Slametan: Perkembangannya Dalam Masyarakat Islam-Jawa Di Era Mileneal. Jurnal IKADBUDI Volume 7, Agustus 2018
- [9] Ainia, D.K. (2021). Konsep Metafisika dalam Falsafah Jawa Hamemayu Hayuning Bawana. Jurnal Filsafat Indonesia, Vol 4 No 2 Tahun 2021 ISSN: E-ISSN 2620-7982, P-ISSN: 2620-7990
- [10] Setiyawan, B. (2024). Budaya K3 dalam Budaya Jawa. Diunduh dari <https://katigaku.top/2021/01/20/budaya-k3-jawa/> tanggal 19 Juni 2024
- [11] Chatzis, I. (2020). IAEA Issues Harmonized Model for Enhanced Safety Culture in Nuclear Organizations. Diunduh dari <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-issues-harmonized-model-for-enhanced-safety-culture-in-nuclear-organizations> tanggal 10 Juli 2024.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Remotely Operated Vehicle (ROV) Videoray Pro-4 Operation Test in the RSG-GAS Reactor Pool for Visual Inspection Activities in the Application of Aging Management

Abdul Aziz, Aep Saepudin C, Frendy Hardiantoro K, Salsalina Br. Ginting

*Central of Multipurpose Reactor, Directorate of Nuclear Facility Management, BRIN, South Tangerang*

Author's Correspondence:  
Abdu070@brin.go.id

### Abstract

One of the technologies used to find out the latest visual condition of the RSG-GAS reactor pool used Remotely Operated Vehicle (ROV). This equipment is an underwater sensing tool using certain electronic sensors such as cameras, LED lights, thrusters, and main bodies. The type of ROV used is a portable Videoray Pro-4 ROV that has a special configuration so that it is easier and more effective in performing underwater imaging. The use of ROV as a visual inspection aid is very effective considering the complexity of the installation inside the reactor core, as well as the ability to maneuver in narrow gaps to a depth of 13 meters. The results of this operation test can be seen in the ability to dive, maneuver, and take pictures. It can also be shown that the camera on the ROV can capture images well in both photo and video formats to support recording data of the internal side of the pool in the implementation of aging management programs.

**Keywords:** ROV, RSG-GAS reactor, aging

### Introduction

Safety is a condition that must always be achieved in managing of a nuclear reactor from the time of construction, and operation to completion of the decommissioning process. The safety of reactor operation is closely related to the reliability of Structures, Systems, and Components (SSC). SSC is an important part of the reactor installation, mechanical loads received such as internal pressure, heat, flow, and its presence for a long time in an environment that allows damage due to radiation and a corrosive environment due to cooling water, the ability of materials and equipment will decrease over time. [1]

The internal part of the reactor pool, including the pool wall, is an important part of the operation of the reactor, in addition to functioning as a barrier to radiation so that it does not leave the reactor system, as well as a component in the reactor cooling water storage system, as well as a container to place other reactor components and as a place to store other reactor components and where nuclear reaction takes place. The walls and other internals of the pool are the components most susceptible to the effects of radiation aging that may occur under service conditions associated with normal operation. Therefore, visual inspections of SSK inspections and visual inspections are carried out in a periodic and scheduled in-service inspection program for all FSS. This activity is part of a preventive maintenance program that aims to detect signs of aging in the form of dimensional, surface, or material distortions, leaks, cracks, and discoloration. [2]

Operators and maintenance personnel are trained to be sensitive to signs of aging so that they can report them promptly so that preventive or corrective actions can be taken immediately on the internal parts of the pool, which is needed as a first step to avoid component failure during operation. Visual inspection activities using ROV are surveillance activities planned every 5 years to determine the current condition of the walls and internals of the RSG-GAS reactor pool to support aging management. [3]

## Methodology

### 1. ROV (Remotely Operated Vehicle) [4-7]

A Remote Operating Vehicle (ROV) is a vehicle that is operated remotely, bringing cameras, lights, and sensors or accessories to the underwater places you want to observe. This ROV is controlled from the surface using a control panel and hand controller.

The type of ROV used in this inspection activity is the Videoray Pro-4 which is capable of diving to a depth of 300 meters. It weighs 4.5 kg and can carry loads up to 20 kg. It also had a length of 75 meters of ROV connecting cable with control panel. The main ROV components are illustrated below.

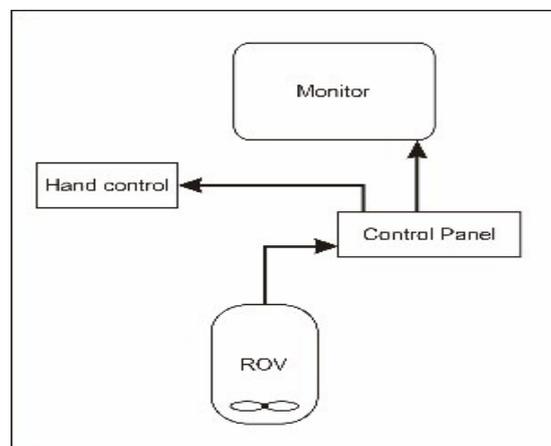


Figure 1. ROV Components

### 2. ROV Main Parts

The main parts of the ROV are as follows:

- a) ROV
- b) Control Panel
- c) Laptop
- d) Joystick
- e) Tether Cable

### 3. ROV Parts

The ROV is equipped with a main body, 2 thrusters, propellers for the direction of movement, LED lights for additional light when the camera takes pictures/photos. For the weight of the ROV for diving capability, there are 2 parts of the ballast. The details are shown in Figure 2.

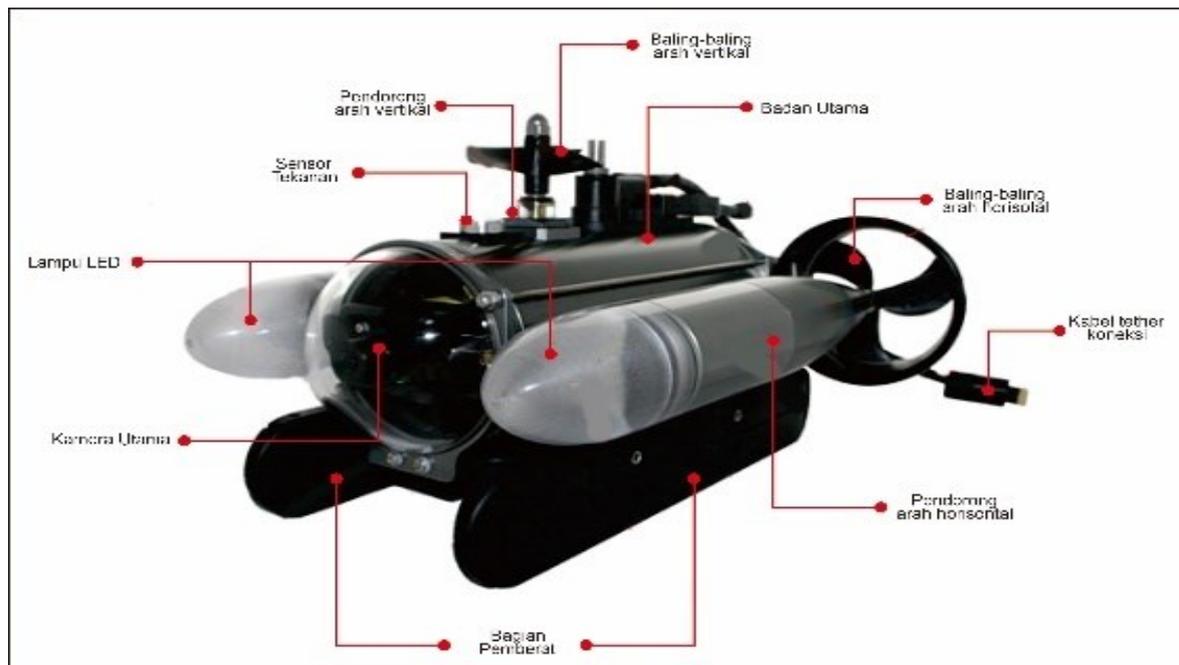


Figure 2. ROV Parts

### 1) Control Panel

This Part serves to provide power, communication, and surface video interface with the underwater ROV via a tether cable. This control panel connects the computer with the ROV tether cable and joystick running the software.

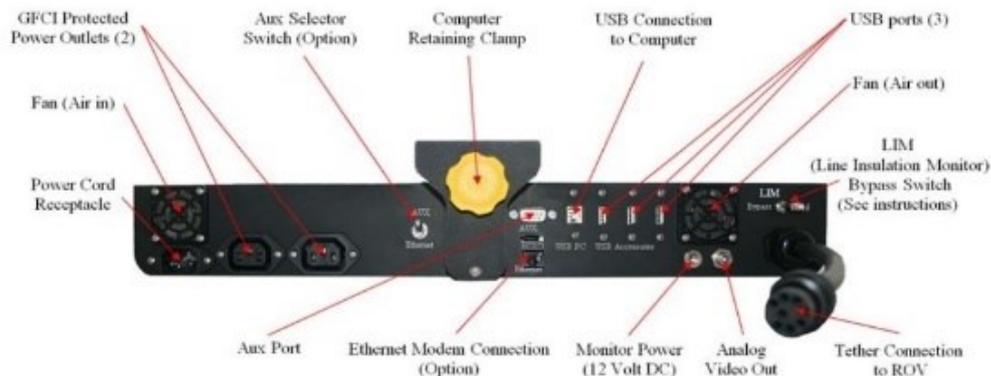


Figure 3. Control Panel

### 2) Computer Control

The computer or laptop is to provide a hardware platform and operating system for the VideoRay Cockpit software, which functions for the editing and production of images and videos. The computer is attached to the control panel with a clamp. This computer contains VideoRay's built-in software for the purpose of operating the PRO-4 ROV, and it is not recommended to install additional hardware or software on the computer. The software packaged on the computer with the VideoRay accessory has been tested and approved for use. The laptop has technical specifications: Intel i-5, memory, 8GB, 256GB HDD, Windows 10 operating system. Figure 4 shows the location of the laptop storage position on this ROV system.



Figure 4. ROV Computer Control

### 3) Joystick

This part is used to operate VideoRay and its features. The industry standard Pro-4 uses a kind of joystick with easy-to-use buttons to fully operate the ROV. The joystick buttons and operating instructions are as shown in the image below.



Figure 5. Joystick

### 4) Tether Cable

The tether cable serves to connect the ROV to the control panel on the surface and as a flow cable for the supply of electrical power to the ROV as well as a communication and video channel. VideoRay tether is plug and play, the type and length are selected based on the planned needs for ROV system use. Figure 6 is the type of tether cable used on the videoray Pro-4.



Figure 6. Tether Cable

## Working Procedure

### 1. Tether Cable

The equipment used in the ROV PRO-4 VideoRay system operation test is as follows:

- a. Reactor Pool
- b. ROV System
- c. Cable Roll
- d. Rubber Latex Gloves
- e. Safety Equipment (Life Jackets)

### 2. Test Method

The initial requirements that must be met to carry out ROV operations are:

- a. Reactor is Shutdown.
- b. ROV System are ready to operate.

Test operation of the ROV VideoRay PRO-4, carried out as shown in Figure 7 Below:

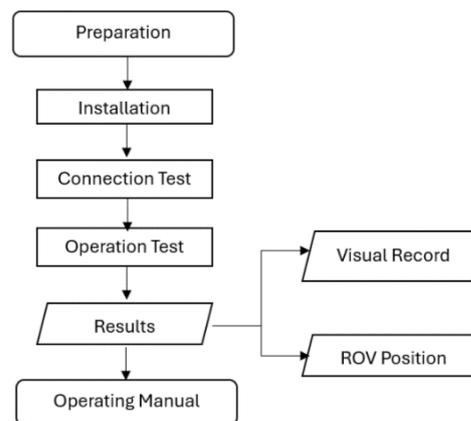


Figure 7. ROV Test Procedure

## Testing

### 1. Test Method

- a) Choose a safe and comfortable area to assemble the ROV (outside the reactor pool fence).
- b) Inspect the ROV and other system components to ensure there are no signs of damage or looseness and at the same time tighten the parts.
- c) Prepare guidelines and plans for selecting objects to be inspected.
- d) Inspect the horizontal thruster to ensure that the shaft is not bent and loose, and the propeller is free to rotate (no drag).
- e) Check the vertical thrusters to make sure the shaft is not bent and the propeller is not dirty or loose.
- f) Ensure that the back of the ROV with the connector is attached.
- g) Prepare the roll cable for connection of laptop power supply and control panel.

### 2. Performing the Installation

- a) Connect the joystick to one of the USB ports on the back of the control panel or directly to one of the USB ports on the laptop.
- b) Connect the end of the tether connector cable (female) to the ROV, then lock it by turning the thread on the two-tether cable connection covers, and connect the strain relief cable from the ROV to the tether strap with a carabiner lock.

- c) Connect the end of the tether cable (male) to the control panel, then lock it by turning the thread on the cable connection cover both.
- d) Connect the VGA cable from the control panel to the auxiliary monitor in the control panel bay.
- e) Connect the control power supply to a power source (100-240 Volt AC, 50.60 Hz).

### 3. Connection Test

In VideoRay Pro 4, there are two parts of the safety circuit components, namely the circuit breaker and the test and reset buttons on the right side of the front of the control panel. Activities to test the connection on the ROV system, are as follows:

- a) Make sure the system is connected to the main power supply in the vicinity of the work area. The power supply on the switch is turned on (ON Position)
- b) Set the Power switch to the on position. The green Power On indicator light should be on. If the green power on the indicator light is not on, make sure the system is connected to a power supply.
- c) Turn on the laptop and wait for the system to complete the boot up process.
- d) After the computer is operating normally, start the ROV application by pressing the VideoRay Cockpit icon on the desktop screen.
- e) When the VideoRay Cockpit application starts, you will see the video window, control instrument and control panel. For the initial time of operation, it is only necessary to focus on the video window. The application display as shown in Figure 8, below.



Figure 8. Interface of ROV Application

### 4. ROV Functional Test

The next step is to ensure that the essential features of the ROV are functioning properly. Use the joystick to perform the following tests. Do not operate the horizontal plunger out of water for more than 30 seconds, this is to avoid overheating or premature wear of the propeller shaft. The steps to test the ROV system operation are as follows:

- a) Gently move the joystick back and forth and left and right, the horizontal pusher motor should be able to rotate the propeller. Release the joystick then the propeller will stop spinning.
- b) Turn the depth control knob, then the vertical booster motor will rotate the propeller, then the control knob is returned to the middle position then it will stop the propeller rotation.
- c) Press and hold the lights bright button to adjust the intensity of the light on the lamp (adjust the brightness of the lamp for lighting according to needs).
- d) Press and hold the light button to turn on/off the light.
- e) For the next two steps, do not leave the light on brightly for more than 30 seconds while the ROV is on the ground to avoid overheating.

### 5. Operation Test

After completing the inspection flow from preparation to connection test, the operation test steps are as

follows:

- a) Lower the ROV slowly by extending the tether cable and holding the tether cable where there is a carabiner.
- b) Check buoyancy by lowering the ROV at least 3 meters above the pool water level.
- c) Observe the ROV that is already in the pool water, it should not float too high or sink too fast.
- d) Set the ballast on the ROV, by adding or subtracting the ballast block/plate at the bottom of the ROV. So that the appropriate buoyancy conditions are obtained.
- e) Start with the ROV on the surface and push the joystick forward slightly to make the ROV move forward. Move the joystick left or right to make it turn left or right according to our control.
- f) Observe the video display as well as the ROV to get acquainted with the camera's wide-angle lens and its effect on depth perception underwater.
- g) While diving the camera on the ROV can be directed forwards and downwards. Change light settings and adjust camera focus.
- h) When the ROV is maneuvering, we can start observing on the screen some info like direction, depth, camera settings and other data.
- i) Take radiation measurements on the tether and ROV cables after completing the dive.
- j) Clean the ROV by wiping and drying the ROV after diving

## Results

To find out the current condition of the internal part of the RSG-GAS reactor pool which may occur due to the influence of neutrons and primary cooling water, visual observations have been made by operating the ROV and recording it using a camera mounted on the device. ROV operation is carried out when the reactor is shutdown. This ROV operation test is intended to determine:

- a) Diving Power Capability
- b) Camera Recording Ability
- c) Range and maneuverability
- d) Shooting Capability

The ROV Pro-4 Videoray can dive to a depth of 40 meters with a tether cable length of up to 75 meters. In carrying out its operation, the buoyancy of the ROV can be adjusted to the needs of the dive by adding or removing the ballast block/plate at the bottom of the ROV. So that the appropriate buoyancy conditions are obtained. Figure 9 shows some operating conditions and the dive capability of the ROV in the RSG-GAS reactor pool.

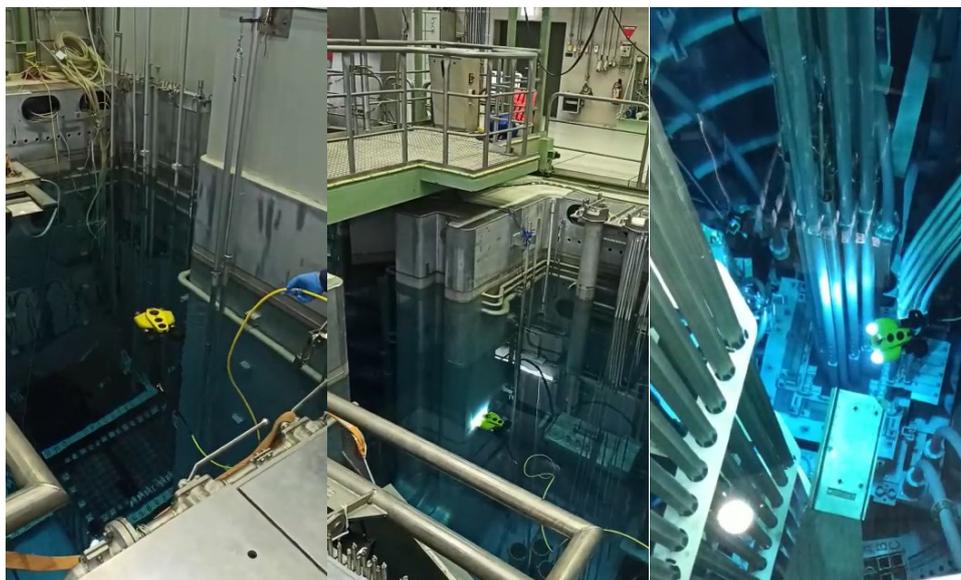


Figure 9. Diving Capability

The ability of the camera on the ROV Pro-4 can produce files in image format (JPG) or video files (WMV) as seen in figure number 10. The results of camera screenshots are greatly influenced by the distance and the strength of the lighting in the lamp that can be adjusted in intensity. On the camera there is also a sensor that can determine the temperature of the pool water, the depth level, and the position of the ROV. The recordings are stored on the laptop that is the ROV operating system, with the VideoRayImagery folder.



Figure 10. Camera Recording Ability

Ease of operation of the ROV is an important part needed, so that the ROV can explore and maneuver to reach narrow and deep parts. This cannot be done by handling tools and cranes in the reactor operation center. Figure 11 shows the ability of the ROV's operating range to penetrate a depth of 11.80 meters which is located on the bottom plate of the reactor fuel holder. From the captured images, it still looks good and clean, and the details of the conditions displayed are clear.



Figure 11. Range and maneuverability

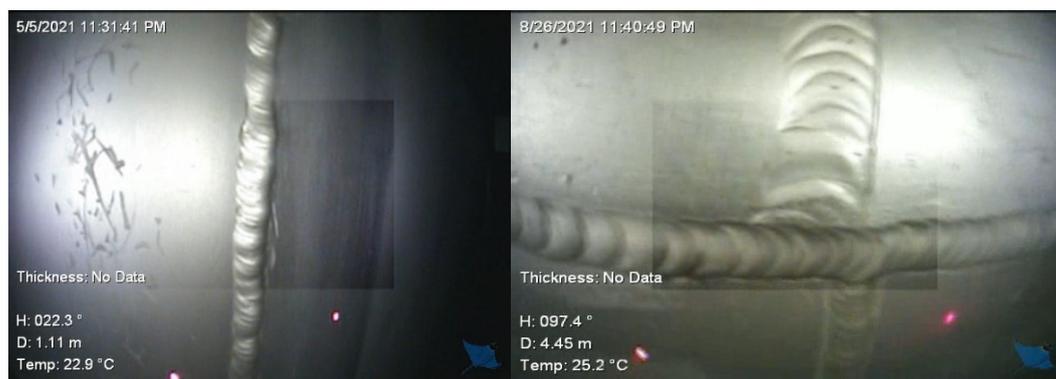


Figure 12. Shooting Capability

The Shooting Capability of the ROV can provide visualization results in the form of images and videos with good and clear resolution so that the results obtained can be analyzed to support visual inspection activities in the application of RSG-GAS management as seen in figure number 12.



Figure 13. Shooting Capability

## Conclusion

From the results of the ROV Pro-4 Videoray operation test results, the ability to dive, maneuver and take imagery can be done well, so that it is able to provide visualization in the form of images and videos. The visual data recording of the results of this operation can support visual inspection activities in the application of aging management in the RSG-GAS reactor.

## Reference

- [1] PRSG-BATAN, Laporan Kajian Penuaan Reaktor RSG-GAS, No. Ident : 001.001/KN 03 01/RSG. 2018.
- [2] PRSG-BATAN, Program Manajemen Penuaan Reaktor RSG-GAS, nomor 002.001/RN 00 02/RSG 3, 2021.
- [3] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2022, tentang Manajemen Penuaan Reaktor Nuklir.
- [4] VideoRay PRO 4, Operator Manual. Version 1.07.00. copyright 2012.
- [5] Wallacy Viana, Amir Z. Mesquita, Vitor F. de Almeida , and Daniel Artur P. Palma. (2019). Design of a remote-operated underwater vehicle for visual inspection of research nuclear reactors. ISSN (Online): 2455-4707
- [6] Luis B. Gutierrez, Carlos A. Zuluaga, Juan A. Ramirez, Rafael E. Vasquez\* , Diego A. Florez, Elkin A. Taborda, Raul A. Valencia. (2010) . Development Of An Underwater Remotely Operated Vehicle (Rov) For Surveillance And Inspection Of Port Facilities. Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition
- [7] Marko Vukšića , Slaven Josipovića , Ante Čorićb , Ante Kraljevića,. (2017). Underwater ROV as Inspection and Development Platform. Transactions on Maritime Science.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Pengembangan Format dan Isi Dokumen Program Keamanan Zat Radioaktif

Nanang Triagung Edi Hermawan

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

Korespondensi penulis:  
n.triagung@bapeten.go.id

### Abstrak

Aspek keamanan menjadi salah satu persyaratan terpenting dalam pemanfaatan zat radioaktif. Program keamanan zat radioaktif menjadi dokumen persyaratan utama. Hingga saat ini belum ada panduan format dan isi program keamanan zat radioaktif yang baku. Telah dilakukan studi literatur dalam rangka pengusulan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif. Format dan isi dokumen tersebut dapat menjadi salah satu bagian muatan pengaturan dalam Revisi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif, sekaligus dapat memandu pengguna dalam menyusun dokumen program keamanan zat radioaktif. Dari hasil kajian diusulkan bahwa format dokumen program keamanan zat radioaktif sekurang-kurangnya mencakup pendahuluan, deskripsi fasilitas, manajemen keamanan, sistem keamanan, prosedur keamanan, dan respon ancaman keamanan. Keberadaan format dan isi dokumen program keamanan yang dibakukan di dalam peraturan akan memberikan panduan bagi pemohon izin dalam proses penyusunan, bagi evaluator dalam mengevaluasi permohonan izin, bagi inspektur dalam pelaksanaan inspeksi, maupun pihak lain yang berkepentingan.

**Kata Kunci:** keamanan zat radioaktif, dokumen program keamanan zat radioaktif, format dan isi

### Abstract

*The security aspect is one of the most essential requirements in the use of radioactive materials. The radioactive material security program is the main requirement document. Until now, there has been no standard format and content guide for a radioactive material security program. A literature study has been carried out to propose the format and content of the radioactive material security program document. The format and content of this document can be part of the regulatory content in the Revision of BAPETEN Chairman Regulation Number 6 Year 2015 concerning the Security of Radioactive Sources, as well as being able to guide users in compiling radioactive material security program documents. The study results propose that the format of the radioactive material security program document should include an introduction, facility description, security management, security system, security procedures, and security threat response. The existence of a standardized format and content of security program documents in regulations will guide permit applicants in the preparation process, evaluators in evaluating permit applications, inspectors in carrying out inspections, and other interested parties.*

**Keywords:** security of radioactive material, radioactive material security program, format and content

### Pendahuluan

Setiap pemanfaatan zat radioaktif harus memenuhi aspek keselamatan (*safety*), keamanan (*security*), dan garda aman (*safeguards*) [1] [2]. Dari aspek keamanan, pemanfaatan zat radioaktif harus disertai dengan tindakan untuk mencegah akses tidak sah, perusakan, kehilangan, pencurian, dan/atau

pemindahan tidak sah terhadap zat radioaktif, fasilitas, ataupun kegiatan [3]. Salah satu persyaratan untuk memastikan tindakan keamanan di atas dapat diimplementasikan adalah keberadaan dokumen program keamanan zat radioaktif. Dokumen program keamanan zat radioaktif merupakan dokumen yang memuat komitmen, janji, dan strategi pemegang izin untuk mengamankan zat radioaktif, fasilitas, dan semua kegiatan yang berkaitan.

Berdasarkan ketentuan Pasal 9 ayat (1) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif [3], dokumen program keamanan sumber radioaktif harus memuat uraian mengenai: deskripsi sumber radioaktif, desain dan denah fasilitas, data peralatan keamanan sumber radioaktif, dan lingkungan sekitarnya; organisasi keamanan sumber radioaktif; prosedur operasional keamanan sumber radioaktif; pelatihan; inventarisasi dan rekaman hasil inventarisasi; prosedur penanggulangan keadaan darurat keamanan sumber radioaktif; dan pelaporan.

Dinamika perubahan standar internasional *International Atomic Energy Agency (IAEA) Nuclear Security Series No. 11 on Security of Radioactive Sources (IAEA NSS-11)* [4] menjadi *IAEA NSS-11-G (Rev.1) on Security of Radioactive Material in Use and Storage and of Associated Facilities* [5] mengharuskan dilakukannya revisi terhadap peraturan perundang-undangan nasional yang ada. Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [6] telah digantikan Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif [7]. Di sisi lain, dokumen program keamanan zat radioaktif secara umum menjadi salah satu dokumen persyaratan izin sebagaimana diatur di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [8] juncto Peraturan BAPETEN Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [9] dan Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [10].

Kedua dinamika perubahan standar internasional dan peraturan perundang-undangan di atas berimplikasi terhadap perlunya dilakukan amandemen terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif [3]. Berkenaan dengan format dokumen program keamanan sumber radioaktif, peraturan di atas telah memberikan panduan pada Lampiran II. Namun demikian Lampiran II hanya memberikan arahan terkait judul bab dan subbab, tanpa disertai dengan uraian-uraian penjelasan yang memadai. Di sisi lain, merujuk standar *IAEA* terkini, format tersebut menjadi tidak relevan lagi dan perlu penyesuaian. Di samping keberadaan judul bab dan subbab, ke depan diperlukan penjelasan mengenai uraian bab dan subbab yang harus disusun, bahkan contoh dokumen program keamanan zat radioaktif. Hal ini akan mempermudah pemohon izin dalam menyusun dokumen program keamanan zat radioaktif.

Dengan mempertimbangkan latar belakang sebagaimana terurai di atas, perlu dilakukan kajian yang bertujuan untuk mengembangkan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif sebagai bagian dari proses amandemen Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015. Kajian fokus untuk merancang mengembangkan format dan isi program keamanan zat radioaktif berdasarkan rekomendasi dari dokumen *IAEA NSS-11-G (Rev.1)*.

## Pokok Bahasan

Istilah program keamanan zat radioaktif berkesesuaian dengan istilah *Site Security Plan (SSP)* ataupun *Operator's Security Plan* [5]. Berkenaan dengan format dan isi, *IAEA NSS-11-G (Rev.1)* telah memberikan panduan pada *Appendix II*. Tabel 1 memberikan uraian mengenai format dan isi dokumen keamanan yang direkomendasikan.

Tabel 1. *Topics to be addressed in an operator's security plan* [5]

<b>Chapter I Introduction</b>	
Subchapter I.1	<i>Objective(s) of the security plan</i> <i>Describe the objectives to be satisfied by the security plan, such as documenting the operation of the security system and security management measures to meet or demonstrate compliance with regulatory requirements.</i>
Subchapter I.2	<i>Scope</i> <i>Briefly describe the areas to be covered by the security plan, including the plan's link to other relevant documents or arrangements such as any management system, operational safety, radiation protection, or emergency preparedness and response matters.</i>
Subchapter I.3	<i>Preparation and updating</i> <i>Describe the process for developing, updating, and approving the security plan.</i>
<b>Chapter II Facility Description</b>	
<i>This section should describe the radioactive material(s) and their location(s); the level of protection required according to the categorization of the material and the assessed security level; the physical features of the facility; and the facility's operations and regulatory requirements.</i>	
<b>Chapter III Security Management</b>	
<i>This section should describe the security management measures in place, including:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Roles and responsibilities;</i></li> <li>• <i>Training and qualification;</i></li> <li>• <i>Access authorization;</i></li> <li>• <i>Trustworthiness;</i></li> <li>• <i>Information protection;</i></li> <li>• <i>Maintenance programme;</i></li> <li>• <i>Budget and resource planning;</i></li> <li>• <i>Evaluation for compliance and effectiveness.</i></li> </ul>	
<b>Chapter IV Security System</b>	
<i>This section should describe how the security system achieves the required level of protection, based on a graded approach. The specific measures to be described should include the following.</i>	
Subchapter IV.1	<i>Threat information</i> <i>To the extent that the threat information is provided by the regulatory body, describe the information in sufficient detail to indicate how the security system is designed to protect against both external and internal threats. Also, indicate who is responsible for receiving threat information and how such information is shared with operator personnel who need to know.</i>
Subchapter IV.2	<i>Security system design</i> <i>Describe the process or methodology used to evaluate the security system and assess its vulnerabilities, taking into account the threat information provided.</i>
Subchapter IV.3	<i>Access control</i> <i>Describe the physical measures for controlling access, including how personnel and vehicles are physically controlled at each access control point to limit access only to authorized persons and the specific media used to authenticate the identity of authorized persons and vehicles at access points such as key card, personal identification number, biometric device or a combination thereof.</i>
Subchapter IV.4	<i>Delay, detection, and alarm assessment measures</i> <i>For each of the controlled or secured areas, describe the means of detection at each barrier or access point, the barriers (delay measures) used to increase adversary task time relative to response time, and the methods of alarm assessment (such as video monitoring, central alarm stations, both internal and external guard or response forces and computer and recording systems).</i>
<b>Chapter V Security Procedures</b>	
<i>This section should describe the written procedures for personnel, such as procedures for routine, off-shift, and emergency operations, opening and closing of the facility, key and lock control, accounting and inventory control, and acceptance and transfer of radioactive material from one facility to another.</i>	
<b>Chapter VI Response</b>	
<i>This section should describe the response arrangements for all nuclear security events, including references to emergency plans and emergency response actions. This section should capture the following:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Roles and responsibilities of on-site security or facility personnel during nuclear security events and those of local and national response forces if external response is required;</i></li> <li>• <i>Communication methods to be used by response forces when communicating with the alarm monitoring station or facility security personnel;</i></li> <li>• <i>Procedures for reporting nuclear security events, including any reporting requirements and arrangements for review of the security system following an event and corrective actions required.</i></li> </ul>	
<b>References</b>	
<i>List any reference documents, such as specific regulations, regulatory authorization, operating manuals, organizational policies, and manuals, that are referred in the security plan or are needed to explain or expand on any details in the plan.</i>	

Tabel 1 di atas menjadi acuan utama dalam pelaksanaan pengembangan format, isi, serta uraian dokumen program keamanan zat radioaktif pada pelaksanaan kajian ini. Beberapa contoh format dan

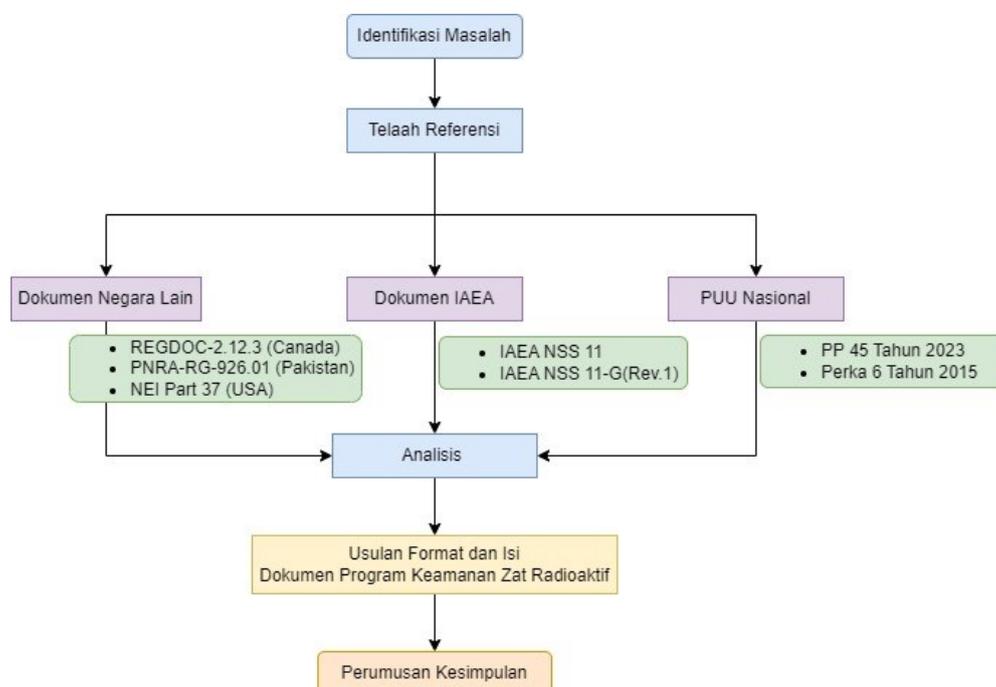
isi dokumen program keamanan zat radioaktif dari negara lain dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengkayaan [11, 12, 13, 14].

## Metodologi Pelaksanaan Kajian

Untuk melaksanakan kegiatan kajian secara sistematis, terarah, dan efisien, kajian dalam rangka pengembangan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif dilakukan dengan tahapan metodologi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.

Tahapan kajian diawali dengan identifikasi masalah di mana belum ada panduan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif yang baku dan mampu operasional untuk memandu pemohon izin. Informasi mengenai permasalahan ini dapat digali dan lebih diperluas dari telaah peraturan perundang-undangan, pelaksanaan proses perizinan, ataupun dari data inspeksi yang didapatkan di lapangan.

Berdasarkan identifikasi permasalahan yang telah ditentukan, telaah dilakukan terhadap dokumen *IAEA* (meliputi *IAEA-NSS-11* dan *IAEA-NSS-11-G(Rev.1)*), dokumen serupa di negara lain (*REGDOC-1.12.3* dari Canada, *PNRA-RG-926.01* dari Pakistan, dan *NEI Part 37* dari USA), dan peraturan perundang-undangan (PP Nomor 45 Tahun 2023 dan Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015). Pemilihan dokumen acuan utama dari *IAEA* didasarkan kepada pertimbangan kriteria dokumen keamanan yang memuat format dan isi operator's security plan dan sekaligus mewakili dinamika perkembangan standar keamanan zat radioaktif. Di sisi lain, pemilihan dokumen dari negara lain sebagai bahan telaah lebih didasari kepada pertimbangan keberadaan dokumen yang mudah diakses dan keterwakilan dari negara maju dan negara berkembang. Tiga dokumen dari negara lain dianggap cukup, meskipun akan lebih baik jika banyak dokumen serupa yang ditelaah. Adapun pemilihan dua dokumen peraturan perundang-undangan merepresentasikan peraturan yang eksis saat ini berlaku serta mewakili kronologis perubahan kebijakan di tingkat peraturan pemerintah dan peraturan kepala lembaga. Identifikasi tersebut bertujuan untuk memetakan kondisi terkini dan menggali kemungkinan pengembangan format dan isi dokumen program keamanan ke depan.



Gambar 1. Metodologi penelitian dalam rangka kajian rancang bangun format dan isi program keamanan zat radioaktif

Hasil dari tahapan telaah kemudian dianalisis dengan pendekatan penyusunan tabulasi perbandingan kesamaan maupun perbedaan format dan isi program keamanan. Perbandingan tersebut selanjutnya menjadi titik pijak untuk mengembangkan usulan format dan isi dokumen program keamanan yang dilengkapi dengan uraian-uraian atau penjelasan yang dapat memandu pemohon izin dalam menyusun

dokumen program keamanan. Berdasarkan analisis dan hasil pembahasan, kesimpulan dari pelaksanaan kajian ini dirumuskan.

## Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil telaah terhadap referensi *IAEA*, dokumen dari negara lain yang relevan, dan peraturan perundang-undangan terkait, kajian ini mengusulkan suatu model format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif yang secara garis besar terdiri atas bagian pendahuluan, deskripsi fasilitas, manajemen keamanan, sistem keamanan, prosedur keamanan, dan respon terhadap ancaman keamanan. Secara lebih detail rancang bangun format, isi, dan uraian penjelasan mengenai dokumen program keamanan zat radioaktif yang diuraikan sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengembangan format, isi, dan uraian dokumen program keamanan zat radioaktif

<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1	<p>Profil Badan Usaha dan Komitmen Manajemen</p> <p>Uraikan profil badan usaha/perusahaan/instansi/unit kerja secara lengkap, meliputi antara lain: nama, kapan berdiri/beroperasi, bidang usaha/layanan,dll.</p> <p>Tambahkan uraian yang memuat kebijakan umum atau komitmen pimpinan/direktur/manajemen dalam rangka memenuhi, mewujudkan, dan menerapkan aspek keamanan zat radioaktif.</p>
I.2	<p>Dasar Hukum</p> <p>Cantumkan peraturan perundang-undangan yang terkait langsung dengan ketentuan atau persyaratan aspek keamanan zat radioaktif, mulai di tingkat Undang-undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Badan/Menteri, dll. Jika diperlukan dapat dilengkapi dengan uraian-uraian penjelasan yang memadai.</p>
I.3	<p>Tujuan Program Keamanan Zat Radioaktif</p> <p>Uraikan tujuan disusun dan ditetapkannya Program Keamanan Zat Radioaktif, terkait pemenuhan persyaratan, pedoman untuk semua pemangku kepentingan internal dalam rangka mewujudkan keamanan, dll.</p>
I.4	<p>Ruang Lingkup Program Keamanan Zat Radioaktif</p> <p>Uraikan ruang lingkup penerapan Program Keamanan Zat Radioaktif. Ruang lingkup bisa dirumuskan dari berbagai tinjauan, misal: aspek pelaksanaan kegiatan (penggunaan/pengoperasian, penyimpanan, pengangkutan); kondisi/situasi (kegiatan rutin, kedaruratan keamanan), dll</p>
I.5	<p>Penyusunan dan Pembaruan Program Keamanan Zat Radioaktif</p> <p>Uraikan kebijakan manajemen mengenai mekanisme penyusunan, evaluasi, dan/atau pembaruan dokumen Program Keamanan Zat Radioaktif, serta hal-hal atau situasi/kondisi dinamis yang melatarbelakanginya.</p>
<b>BAB II DESKRIPSI FASILITAS</b>	
II.1	<p>Informasi Umum</p> <p>Uraikan secara garis besar fasilitas pemanfaatan atau penggunaan zat radioaktif.</p>
II.2	<p>Data Zat Radioaktif</p> <p>Cantumkan daftar atau tabel yang memuat inventori zat radioaktif yang dimanfaatkan pada fasilitas. Data yang tersaji dapat mencakup, antara lain: data mengenai peralatan, nomor seri alat, serta jenis, nomor seri, dan aktivitas zat radioaktif (per tanggal tertentu).</p>
II.3	<p>Kategori dan Tingkat Keamanan Zat Radioaktif</p> <p>Uraikan langkah perhitungan akumulasi Nilai A/D dari keseluruhan inventori zat radioaktif yang ada pada fasilitas atau suatu kegiatan.</p> <p>Uraikan kategori dan tingkat keamanan zat radioaktif yang ditentukan berdasarkan hasil perhitungan akumulasi Nilai A/D sebelumnya.</p>
II.4	<p>Deskripsi Fisik Fasilitas dan Lingkungan Sekitar</p> <p>Uraikan gambaran fisik mengenai fasilitas secara keseluruhan, dapat mencakup ruangan, gedung, area, hingga kawasan pemanfaatan zat radioaktif, termasuk keberadaan pos keamanan utama dan pendukung.</p> <p>Tambahkan uraian mengenai kondisi fisik ataupun situasi lingkungan di sekitar fasilitas, dapat meliputi batas sekeliling fasilitas utama, keberadaan gedung/area/fasilitas/kawasan lain di lingkungan sekitar, jalur akses ke dan dari fasilitas, keberadaan, jalanan di lingkungan sekitar, termasuk keberadaan pos atau kantor kepolisian terdekat.</p> <p>Lengkapi uraian dengan gambar peta pendukung sesuai kebutuhan agar uraian-uraian sebelumnya semakin jelas. Tambahkan keterangan-keterangan untuk mendukung peta tertampil</p>
II.5	<p>Deskripsi Pengoperasian Fasilitas</p> <p>Uraikan operasionalisasi rutin fasilitas dalam pemanfaatan zat radioaktif, dapat meliputi antara lain jam buka-tutup pelaksanaan operasi (bisa beroperasi terus-menerus), pengaturan shift kerja, personel-personel yang terlibat dan jumlahnya, pola pengamanan rutin yang diterapkan, waktu atau situasi yang krusial, dll.</p> <p>Gambaran pengoperasian fasilitas yang memadai dapat membantu perencanaan sistem keamanan, kebutuhan personel, serta peralatan keamanan pendukung yang dibutuhkan untuk mempersempit celah-celah kerentanan keamanan yang ada.</p>

Tabel 2. (Lanjutan 1)

<b>BAB III MANAJEMEN KEAMANAN</b>	
III.1	<b>Tugas dan Tanggung Jawab</b> Tampilkan bagan struktur organisasi keamanan zat radioaktif yang dibentuk dan ditetapkan oleh pimpinan manajemen. Uraikan pola koordinasi atau komunikasi yang diterapkan, baik secara internal ataupun eksternal termasuk dengan pihak kepolisian. Uraikan tugas dan tanggung jawab secara umum untuk semua personel dan secara khusus untuk setiap personel dengan lebih detail.
III.2	<b>Kualifikasi dan Pelatihan Personel</b> Uraikan kebijakan internal dalam rangka mempertahankan, mengembangkan, dan meningkatkan kompetensi personel melalui pelatihan yang relevan. Lengkapi dengan daftar kualifikasi personel, pelatihan yang diperlukan, frekuensi dan pelaksana/penyedia pelatihan
III.3	<b>Pemberian Kewenangan Akses</b> Uraikan pengaturan atau pembatasan internal mengenai ketentuan akses terhadap zat radioaktif, ruang/area/kawasan/lokasi zat radioaktif, area terbatas, dan/atau informasi sensitif, termasuk kebijakan akses dengan/tanpa pengawalan dan proses review/evaluasinya
III.4	<b>Keterpercayaan</b> Uraikan kebijakan internal mengenai pelaksanaan verifikasi keterpercayaan personel dan pengelolaan rekamannya.
III.5	<b>Pengamanan Informasi</b> Uraikan kriteria yang ditetapkan oleh manajemen mengenai kriteria atau contoh informasi sensitif dan prosedural penanganannya. Pengamanan yang dilakukan mencakup semua bentuk informasi sensitif, baik fisik maupun perangkat lunak.
III.6	<b>Program Pemeliharaan</b> Uraikan kebijakan manajemen mengenai program pemeliharaan terhadap peralatan ataupun komponen sistem keamanan yang lain, termasuk pelaksanaan perbaikan ataupun penggantian peralatan yang rusak.
III.7	<b>Perencanaan Sumber Daya dan Anggaran</b> Uraikan hasil identifikasi semua sumber daya yang diperlukan untuk menerapkan dan memelihara sistem keamanan, perencanaan pengadaannya, dan proses pengawasannya.
III.8	<b>Evaluasi Kepatuhan dan Efektivitas</b> Uraikan komitmen manajemen untuk menerapkan evaluasi terhadap penerapan keamanan dalam rangka menilai tingkat kepatuhan terhadap standar ataupun peraturan perundang-undangan yang berlaku.
<b>BAB IV SISTEM KEAMANAN</b>	
Uraikan sistem keamanan yang dirancang dan diterapkan di dalam organisasi dalam rangka pengamanan zat radioaktif, fasilitas, maupun kegiatan terkait.	
IV.1	<b>Pendekatan Perancangan Sistem Keamanan</b> Identifikasi dan jika perlu uraikan pendekatan perancangan sistem keamanan yang dilakukan organisasi dalam mencapai tujuan keamanan.
IV.2	<b>Desain Sistem Keamanan</b> Identifikasi semua kebutuhan peralatan keamanan yang diperlukan sesuai tingkat keamanan, tampilkan sebagai daftar peralatan dan jumlah minimal yang diperlukan untuk keseluruhan fasilitas. Tampilkan denah atau peta ruangan/gedung/area/kawasan fasilitas yang dilengkapi dengan informasi posisi peralatan keamanan terpasang. Jika diperlukan lengkapi dengan penjelasan cara kerja setiap alat sebagai satu alat mandiri maupun sebagai satu kesatuan pengoperasian sistem keamanan.
IV.3	<b>Kendali Akses</b> Uraikan sistem keamanan pendukung utama kendali akses, seperti bentuk, tebal, massa, dan material pintu, sistem kerja, dll. Tambah juga informasi mengenai prosedural kendali akses ke Unit Teletarapi, khususnya ke ruang operator dan ke dalam ruang operasi, baik pada saat dilaksanakan layanan pasien maupun saat layanan ditutup/malam hari.
IV.4	<b>Deteksi dan Tindakan Penundaan</b> Uraikan prosedural sebagai tindakan deteksi, penilaian, dan langkah penundaan terhadap kejadian ancaman, baik pada kondisi di luar jam kerja dan pada saat layanan pasien berlangsung.
IV.5	<b>Tindak Lanjut Informasi Adanya Ancaman</b> Uraikan kebijakan internal dalam menindaklanjuti adanya potensi ancaman ataupun peningkatan potensi ancaman, pengamanan distribusi informasi secara berjenjang, dan tindakan peningkatan keamanan yang dilakukan, baik melalui tindakan teknis maupun kendali administrasi.

Tabel 2. (Lanjutan 2)

<b>BAB V PROSEDUR KEAMANAN</b>	
Identifikasi semua kebutuhan prosedur yang diperlukan dalam pengamanan zat radioaktif, fasilitas dan/atau kegiatan pemanfaatan zat radioaktif.	
Dokumen prosedur-prosedur yang telah disusun dapat disatukan dan menjadi bagian dokumen program keamanan zat radioaktif ini, atau dijadikan sebagai dokumen terpisah. Dalam hal masing-masing prosedur ditetapkan sebagai dokumen terpisah, tampilkan daftar semua prosedur yang ada untuk mendukung aspek keamanan dengan mencantumkan informasi, antara lain: nama, nomor, dan tahun diterbitkannya prosedur di dalam satu uraian pada dokumen program keamanan zat radioaktif.	
Berikut merupakan daftar beberapa contoh prosedur yang bersifat umum. Jenis atau kebutuhan prosedur yang dikembangkan sangat tergantung situasi lapangan dan jenis kegiatan pemanfaatan zat radioaktif berdasarkan kebijakan internal yang ditetapkan.	
V.1	<b>Pengamanan Rutin, di Luar Jam Kerja, dan Respon Kedaruratan</b>
	Uraikan bagaimana langkah-langkah pengamanan dilakukan untuk tiga kondisi yang membutuhkan pendekatan yang tidak sama, mulai dari pengamanan pada saat pengoperasian fasilitas pada jam kerja rutin, di luar jam kerja, termasuk pada situasi kedaruratan terjadi.
V.2	<b>Pembukaan dan Penutupan Fasilitas</b>
	Pembukaan atau penutupan fasilitas pada batas antara jam operasional dan nonoperasional merupakan saat krusial. Uraikan bagaimana langkah-langkah pengendalian keamanan antar personel yang berganti tugas. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan agar pemindahtanganan tanggung jawab dapat dilakukan tanpa menimbulkan celah kerentanan keamanan.
V.3	<b>Kendali Kunci dan Gembok</b>
	Langkah-langkah penetapan kewenangan personel terhadap akses kunci dan gembok harus dikendalikan dengan baik. Uraikan bagaimana langkah-langkah prosedural untuk pemindahtanganan kendali akses dan gembok dilakukan, serta rekaman-rekaman atau logbook seperti apa yang diterapkan.
V.4	<b>Akuntansi dan Inventori</b>
	Uraikan langkah-langkah dalam pencatatan atau perekaman terhadap perubahan akuntansi dan inventori zat radioaktif dari waktu ke waktu, termasuk rekaman perpindahan zat radioaktif dari dan keluar fasilitas.
V.5	<b>Penerimaan dan Pengiriman</b>
	Uraikan langkah-langkah pengamanan dalam penyiapan bungkusan untuk diangkut keluar fasilitas melalui jaringan lalu lintas umum, termasuk pengamanan pada saat pembongkaran atau penerimaan zat radioaktif dari luar fasilitas.
<b>BAB VI RESPON TERHADAP ANCAMAN KEAMANAN</b>	
Uraikan kebijakan internal untuk merespon kejadian ancaman keamanan, meliputi (tidak terbatas): penanggung jawab utama, prosedural-prosedural tindakan respon.	
VI.1	<b>Koordinasi dengan Kepolisian</b>
	Uraikan langkah koordinasi dengan kepolisian untuk merespon ancaman keamanan nyata agar dapat tertangani secara efektif dan efisien.
VI.2	<b>Komunikasi dengan Pemangku Kepentingan</b>
	Uraikan langkah-langkah respon untuk mengkomunikasikan situasi ancaman keamanan baik kepada pemangku kepentingan internal maupun eksternal.
VI.3	<b>Pengamanan dalam Situasi Darurat</b>
	Uraikan langkah-langkah respon untuk tetap mengoptimalkan tindakan pengamanan pada situasi keadaan darurat, baik yang disebabkan aspek keselamatan maupun keamanan.
VI.4	<b>Pelaporan Tindakan Respon terhadap Kejadian Ancaman Keamanan</b>
	Uraikan langkah-langkah pelaporan adanya kejadian ancaman keamanan, baik seketika ancaman terjadi, saat penanggulangan, pemulihan, dan pasca kejadian.
VI.5	<b>Peningkatan Tingkat Ancaman</b>
	Uraikan langkah-langkah respon terhadap adanya indikasi peningkatan tingkat ancaman, baik yang bersumber dari internal maupun eksternal.
<b>Referensi</b>	
Buat daftar berbagai referensi yang mendukung penyusunan program keamanan zat radioaktif, antara lain dapat berupa: standar, buku referensi, makalah atau jurnal, termasuk peraturan perundang-undangan yang relevan.	
<b>Lampiran</b>	
Sertakan lampiran-lampiran yang merupakan data dukung dokumen Program Keamanan Zat Radioaktif, misal: Laporan Hasil Kajian Keamanan Zat Radioaktif.	

Pengembangan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 merupakan adaptasi dan pengembangan dari *Appendix II – IAEA NSS-11-G (Rev.1)* yang dikombinasikan dengan perkembangan peraturan terkini. Di samping sepenuhnya mengadopsi judul dari setiap bab, beberapa subbab ditambahkan dalam rangka kelengkapan data dan informasi secara lebih komprehensif. Perbandingan muatan dan isi dari usulan pengembangan, *IAEA NSS-11-G (Rev.1)*, *REGDOC-2.12.3*, *PNRA-RG-926.01*, dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan muatan dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif

Muatan dan Isi Usulan Dokumen Program Keamanan Zat Radioaktif		IAEA NNS 11-G (Rev.1) [5]	REGDOC- 1.12.3 [13]	PNRA-RG- 926.01 [14]	Perka 6/2015 [3]	Keterangan
<b>Bab I</b>	<b>Pendahuluan</b>	√	√	√	√	sama
I.1	Profil badan usaha dan komitmen manajemen	X	√		x	ditambahkan
I.2	Dasar hukum	X			x	ditambahkan
I.3	Tujuan program keamanan zat radioaktif	√			√	sama
I.4	Ruang lingkup program keamanan zat radioaktif	√			√	sama
I.5	Penyusunan dan pembaruan program keamanan zat radioaktif	√		√	x	sama
<b>Bab II</b>	<b>Deskripsi Fasilitas</b>	√		√	√	sama
II.1	Informasi umum	X	*		x	ditambahkan
II.2	Data zat radioaktif	√	√	√	√	diuraikan
II.3	Kategori dan tingkat keamanan zat radioaktif	√	*		√	lebih detail satu per satu subbab
II.4	Deskripsi fisik fasilitas dan lingkungan sekitar	√	***	√	√	
II.5	Deskripsi pengoperasian fasilitas	√			x	
<b>Bab III</b>	<b>Manajemen Keamanan</b>	√			x	sebelumnya tidak muncul secara eksplisit
III.1	Tugas dan tanggung jawab	√	*	√	√	
III.2	Kualifikasi dan pelatihan personel	√	*	√	√*	
III.3	Pemberian kewenangan akses	√	***		x	beberapa subbab
III.4	Keterpercayaan	√	√	√	x	ditambahkan dan diberikan uraian detail
III.5	Pengamanan informasi	√	√	√	x	
III.6	Program pemeliharaan	√	*	√	x	
III.7	Perencanaan sumber daya dan anggaran	√			x	
III.8	Evaluasi kepatuhan dan efektivitas	√	*		x	
<b>Bab IV</b>	<b>Sistem Keamanan</b>	√			x	
IV.1	Pendekatan perancangan sistem keamanan	√	*	√	x	
IV.2	Desain sistem keamanan	√	**		x	diuraikan lebih detail satu per satu subbab
IV.3	Kendali akses	√	√		x	
IV.4	Deteksi dan tindakan penundaan	√			x	
IV.5	Tindak lanjut informasi adanya ancaman	√			x	
<b>Bab V</b>	<b>Prosedur Keamanan</b>	√		√	√	
V.1	Rutin, di luar jam kerja, dan respon kedaruratan	√	*		x	
V.2	Pembukaan dan penutupan fasilitas	√			x	penambahan uraian umum
V.3	Kendali kunci dan gembok	√			x	
V.4	Akuntansi dan inventori	√	√		x*	
V.5	Penerimaan dan pengiriman	√	*	*	√*	
<b>Bab VI</b>	<b>Respon terhadap Ancaman Keamanan</b>	√	√	√	√*	
VI.1	Koordinasi dengan kepolisian	√	√		√	penambahan uraian umum
VI.2	Komunikasi dengan pemangku kepentingan	√	√		x	
VI.3	Pengamanan dalam situasi darurat	X		√	x	ditambahkan
VI.4	Pelaporan tindakan respon terhadap ancaman keamanan	√		√	√*	penambahan uraian umum
VI.5	Peningkatan tingkat ancaman	X	√		x	ditambahkan
Referensi		√	√	√	x	ditambahkan
Lampiran		X		√	x	ditambahkan

Keterangan: √ (sesuai/sama/ada); x (tidak sesuai/sama/ada); \* (ada, tetapi sedikit berbeda)

Appendix A pada dokumen REGDOC-2.12.3 memandu bahwa dokumen program keamanan zat radioaktif, mencakup pendahuluan, organisasi keamanan, kebijakan keamanan, perencanaan fisik bangunan dan pengamanannya, perimeter, kendali akses, keamanan intern, penyimpanan zat radioaktif, pengangkutan zat radioaktif, keamanan informasi, tes latar belakang dalam rangka memastikan

keterpercayaan dan keandalan personel, pemeliharaan-perbaikan-pengecekan sistem keamanan, rencana tanggap darurat, program peningkatan kesadaran keamanan, dan referensi-prosedur-instruksi keamanan.

Dibandingkan dengan dokumen *IAEA-NSS-11-G(Rev.1)*, dokumen *REGDOC-2.12.3* memiliki judul-judul bab yang jauh berbeda karena judul sudah sangat spesifik. Namun demikian, separuh lebih dari muatan dokumen serupa atau sama dengan muatan dokumen *IAEA-NSS-11-G(Rev.1)*. Dengan demikian, *REGDOC-2.12.3* dapat dikatakan tidak sepenuhnya mengadopsi rekomendasi *IAEA*. Di sisi lain, keserupaan usulan pengembangan format dan isi program keamanan zat radioaktif terhadap rekomendasi *IAEA* lebih tinggi.

*PNRA-RG-926.01*, sebagai panduan penyusunan dokumen program keamanan di Pakistan, mencakup judul bab: pendahuluan, deskripsi fasilitas, deskripsi-kategori-tingkat keamanan zat radioaktif, peta area pengamanan, struktur organisasi dan tanggung jawab, keterpercayaan personel, tindakan keamanan, pengaturan respon terhadap ancaman keamanan, pelaporan kejadian keamanan, antar muka keselamatan-keamanan, program pelatihan, program pemeliharaan, geladi, penerapan prosedur, review dan pembaruan dokumen program keamanan, pengangkutan zat radioaktif, serta referensi, singkatan, tabel dan lampiran. Dibandingkan *IAEA-NSS-11-G(Rev.1)*, dokumen *PNRA-RG-926.01* menyisakan beberapa bab atau bagian yang tidak ada. Namun dibandingkan *REGDOC-2.12.3*, kemiripan judul bab *PNRA-RG-926.01* lebih baik.

Isi bab dokumen program keamanan sumber radioaktif berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015, dibanding dengan kedua dokumen sebelumnya, memiliki tingkat kemiripan yang paling rendah (diperlihatkan dengan tanda 'x'). Hal ini sekaligus menjadi pendorong yang sangat kuat bahwa revisi Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 harus menyertakan panduan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif yang lebih progresif dan komprehensif mengacu kepada *IAEA-NSS-11-G(Rev.1)*.

Berdasarkan informasi yang tersaji di dalam Tabel 3, usulan muatan dan isi program keamanan yang dikembangkan sudah berkesesuaian dengan rekomendasi *IAEA NSS-11-G (Rev.1)*, bahkan beberapa diantaranya dimodifikasi ataupun ditambahkan untuk lebih melengkapi data dan dalam rangka penyesuaian situasi lokal secara nasional, seperti perubahan terkini pada beberapa peraturan perundang-undangan terkait. Jika dibandingkan dengan panduan sistematika dokumen program keamanan sumber radioaktif yang diberikan pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015, usulan pengembangan yang dihasilkan jauh lebih komprehensif, progresif, dan implementatif dikarenakan adanya penambahan uraian penjelasan yang akan semakin memandu pengguna dalam proses penyusunan dokumen.

Khusus untuk kolom keterangan, keterangan 'ditambahkan' memiliki arti bahwa suatu bab atau subbab belum ada di dalam format dan isi program keamanan sumber radioaktif yang diatur di dalam Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015. Berdasarkan perkembangan terkini, baik dokumen *IAEA-NSS-11-G (Rev.1)* maupun keberadaan Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2023, pengembangan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif pada kajian ini mengusulkan ditambahkan bab ataupun subbab tersebut. Di sisi lain, terdapat juga tambahan subbab pelengkap yang tidak bersumber dari *IAEA*, contoh di negara lain, ataupun peraturan perundang-undangan eksisting. Hal ini semata-mata sebagai kelengkapan data atau informasi yang relevan, di samping untuk menciptakan alur dokumen yang runut, lengkap, dan mudah dipahami.

Di samping memberikan uraian bab dan subbab secara lebih detail dan lengkap, lampiran format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif sebagai bagian tidak terpisahkan dari peraturan akan lebih baik lagi jika disertai dengan contoh program keamanan zat radioaktif pada suatu fasilitas pemanfaatan zat radioaktif. Dokumen *A Security Plan for a University Medical Center pada Annex IV IAEA NSS 43-T Security Management of Radioactive Material in Use and Storage and of Associated Facilities* [15] dapat dipertimbangkan untuk diadaptasi. Keberadaan contoh dokumen ini dapat memandu pemohon izin secara lebih riil, tentu dengan penyesuaian seperlunya berdasarkan jenis fasilitas penggunaan zat radioaktif masing-masing pengguna.

## Kesimpulan

Usulan pengembangan format dan isi dari dokumen program keamanan zat radioaktif yang disampaikan dalam kajian ini telah sesuai dengan rekomendasi terbaru dari *IAEA*. Penambahan uraian dan penjelasan menjadikan panduan yang ada jauh lebih komprehensif, progresif dan implementatif. Dengan demikian, panduan yang baru nantinya diharapkan dapat lebih memandu pemohon izin dalam proses penyusunan dokumen, sekaligus menjadi acuan bersama bagi personel evaluator, inspektur, ataupun pihak lain yang berkepentingan. Format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif nantinya akan tetap dijadikan lampiran dan menjadi satu kesatuan tidak terpisahkan dari peraturan yang baru.

## Ucapan Terima Kasih

Apresiasi penulis disampaikan kepada semua pihak yang turut terlibat dalam diskusi, rapat internal, maupun rapat koordinasi dalam rangka pembahasan format dan isi dokumen program keamanan zat radioaktif sebagai bagian dari proses revisi terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif.

## Daftar Pustaka

- [1] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*. Jakarta, 1997.
- [2] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir*. Jakarta, 2022.
- [3] Republik Indonesia, *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 Keamanan tentang Sumber Radioaktif*. Jakarta, 2015.
- [4] IAEA, *Security of Radioactive Sources*. Vienna, 2009, pp. 1–77.
- [5] IAEA, *Security of Radioactive Material in Use and Storage and of Associated Facilities*. Vienna, 2019, pp. 1–129.
- [6] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif*. Jakarta, 2007.
- [7] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Zat Radioaktif*. Jakarta, Jakarta, 2023.
- [8] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*. Jakarta, 2021.
- [9] Republik Indonesia, *Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2021 Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran*. 2021.
- [10] Republik Indonesia, *Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran*. Jakarta, 2022.
- [11] US NRC, “Security Plan Template for the Protection of Category 1 and Category 2 Based on 10 CFR 37,” New York, 2018.
- [12] M. Khairul and A. Ramli, “Development of a Comprehensive Security Plan for Radioactive Waste Disposal Facility in Malaysia,” in *Nuclear Security Annual Meeting*, 2020, vol. 1, pp. 1–8.
- [13] Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), *Security of Nuclear Substances: Sealed Sources and Category I, II, and III Nuclear Material, version 2*, REGDOC-2.1., no. September. Ottawa, 2020.
- [14] PNRA, *Format and Content of Physical Protection Plan for Radiation Facilities Having Radioactive Sources*. Islamabad, 2021.
- [15] IAEA, *Security Management of Radioactive Material in Use and Storage and of Associated Facilities*. Vienna, 2022, pp. 1–82.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Prapengolahan Limbah Zat Radioaktif pada Kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia

Diajeng Susanti Putry, Giyatmi

*Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia*

Korespondensi penulis:  
diajeng.susanti0504@gmail.com  
giat\_78@yahoo.com

### Abstrak

PRAPENGOLAHAN LIMBAH ZAT RADIOAKTIF PADA KAMPUS POLITEKNIK TEKNOLOGI NUKLIR INDONESIA. Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia merupakan perguruan tinggi vokasi kenukliran yang berada di bawah Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Sebagai perguruan tinggi vokasi kenukliran, Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia banyak memanfaatkan zat radioaktif untuk mendukung kegiatan pembelajaran dan penelitian. Setiap kegiatan yang memanfaatkan tenaga nuklir wajib menerapkan keselamatan dan keamanan kenukliran yang salah satu aspeknya terletak pada pengelolaan limbah zat radioaktif. Dosis zat radioaktif yang dipergunakan oleh kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia tidak terlalu tinggi sehingga limbah zat radioaktif yang dihasilkan digolongkan ke dalam limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang. Sesuai dengan peraturan yang berlaku, Politeknik Teknologi Nuklir selaku penghasil limbah zat radioaktif memiliki kewajiban untuk melakukan pengumpulan dan pengelompokan limbah tersebut sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Pada tulisan ini dilakukan pengkajian terhadap pelaksanaan pengelolaan limbah zat radioaktif oleh Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia dimana pengkajian dilakukan menggunakan metode perbandingan antara pelaksanaan pada lapangan dengan peraturan perundang-undangan pengelolaan limbah zat radioaktif di Indonesia. Dari hasil pengkajian didapatkan kesimpulan walaupun limbah zat radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan pembelajaran dan penelitian merupakan jenis limbah zat radioaktif kategori rendah dan sedang, akan tetapi pengelolaan limbah zat radioaktif pada Kampus Politeknik Teknologi Nuklir sudah memenuhi prosedur peraturan perundang-undangan terkait yang berlaku.

**Kata Kunci:** prapengolahan limbah radioaktif, Kampus Politeknik Teknologi Nuklir, keselamatan kenukliran

### Abstract

*RADIOACTIVE WASTE PRE-MANAGEMENT AT THE POLYTECHNIC INSTITUTE OF NUCLEAR TECHNOLOGY. The Polytechnic Institute of Nuclear Technology is a nuclear vocational college under the National Research and Innovation Agency (BRIN). As a nuclear vocational college, the Indonesian Nuclear Technology Polytechnic makes extensive use of radioactive substances to support learning and research activities. Every activity that utilizes nuclear energy is required to implement nuclear safety and security, one aspect of which lies in the management of radioactive waste. The dose of radioactive substances used by the Indonesian Nuclear Technology Polytechnic campus is not too high, so the radioactive waste produced is classified into low and medium-level radioactive waste. In accordance with applicable regulations, the Nuclear Technology Polytechnic, as the producer of radioactive waste, has the obligation to collect and group the waste in accordance with established procedures. In this paper, a study was carried out on the implementation of radioactive waste management by the Indonesian Nuclear Technology Polytechnic, where the study was carried out using a comparative method between implementation in the field and the statutory regulations for radioactive waste management in Indonesia. From the results of the study, it was concluded that although the radioactive waste produced from learning and research activities is a type of radioactive waste in the low and medium categories,*

*the management of radioactive waste at the Nuclear Technology Polytechnic Campus has complied with applicable relevant statutory and regulatory procedures.*

**Keywords:** *radioactive waste pre-management, Polytechnic Institute of Nuclear Technology, nuclear safety*

## Pendahuluan

Sumber Daya Manusia (SDM) merupakan salah satu aspek paling penting dalam keberhasilan pemanfaatan energi nuklir baik pada bidang non-energi maupun bidang energi. IAEA menetapkan bahwa Pengembangan Sumber Daya Manusia menjadi salah satu dari 19 Aspek Infrastruktur Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang harus dipenuhi oleh negara yang ingin mendirikan PLTN [1]. Oleh karena itu, penyiapan SDM kenukliran melalui pendidikan merupakan investasi jangka panjang yang dapat menjadi suatu solusi dari permasalahan lingkungan yang tengah dicari-cari penyelesaiannya yaitu pengurangan emisi karbon. Salah satu perguruan tinggi yang memiliki fokus untuk mencetak SDM kenukliran yang unggul adalah Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia [2].

Politeknik Teknologi Nuklir atau Poltek Nuklir merupakan perguruan tinggi yang berada di ranah ilmu sains dan teknologi khususnya bidang kenukliran. Sebagai perguruan tinggi yang fokus utama pengajarannya terdapat pada bidang kenukliran, pembelajaran mengenai radiasi pengion menjadi materi yang harus dikuasai oleh mahasiswa Poltek Nuklir dengan baik dan benar. Untuk itu, tentunya kampus Poltek Nuklir harus menggunakan bahan radioaktif nyata secara rutin pada proses pembelajaran seperti pada praktikum maupun penelitian. Limbah zat radioaktif tersebut harus diolah sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia.

Undang-Undang Ketenaganukliran Nomor 10 Tahun 1997 dan Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2023 menyatakan bahwa setiap kegiatan yang menggunakan zat radioaktif diharuskan menerapkan keselamatan, keamanan, ketentraman, kesehatan terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup [3] [4]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir resiko bahaya radiasi pengion guna mencapai keselamatan dan keamanan penggunaan bahan radioaktif terletak pada pengelolaan limbah zat radioaktif. Walaupun bahan radioaktif yang digunakan pada pembelajaran di Poltek Nuklir dosisnya termasuk ke dalam tingkat rendah dan sedang, akan tetapi semua limbah radioaktif harus diolah sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh Undang Undang Ketenaganukliran, Peraturan Pemerintah dan Peraturan Kepala BAPETEN mengenai pengelolaan limbah radioaktif. Pengelolaan limbah zat radioaktif diatur pada Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016. Pada kedua aturan tersebut dijelaskan bahwa pengelolaan zat radioaktif terdiri atas prapengolahan, pengolahan, pascapengolahan, perekaman, dan pelaporan limbah radioaktif [5] [6]. Tahap prapengolahan wajib dilakukan oleh pemegang izin atau dalam kasus ini adalah Poltek Nuklir.

Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016, limbah radioaktif terbagi menjadi limbah radioaktif terbungkus, limbah radioaktif terbuka, dan bahan serta peralatan terkontaminasi yang tidak digunakan [6]. Dalam kegiatan pembelajaran dan penelitian, Poltek Nuklir menghasilkan limbah padat radioaktif yang kategorinya termasuk ke dalam zat radioaktif terbuka serta bahan dan peralatan terkontaminasi yang tidak digunakan.

Untuk memastikan aspek keselamatan kenukliran mengenai pengelolaan limbah, pada tulisan ini akan dilakukan pengkajian terhadap pelaksanaan pengelolaan limbah zat radioaktif oleh kampus Poltek Nuklir dengan peraturan perundang-undangan mengenai pengelolaan limbah zat radioaktif dan keselamatan kenukliran yang berlaku di Indonesia. Kajian dilakukan menggunakan metode perbandingan antara pelaksanaan pengelolaan limbah zat radioaktif di lapangan dengan peraturan perundang-undangan terkait.

## Metodologi

Metode yang digunakan:

1. Kajian berdasarkan aturan-aturan mengenai pengelolaan limbah radioaktif dan keselamatan nuklir yaitu sebagai berikut:
  - a. Undang-Undang Ketenaganukliran Nomor 10 Tahun 1997,
  - b. Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
  - c. Peraturan Kepala Bapeten Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang
  - d. Peraturan Kepala Bapeten Nomor 45 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif
  - e. Peraturan Kepala Bapeten Nomor 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens
2. Kajian berdasarkan wawancara penulis terhadap pelaksana pengelolaan limbah zat radioaktif di Kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Alur Pengelolaan Limbah Zat Radioaktif Kampus Politeknik Teknologi Nuklir

Pada tahun 2024, pelimbahan zat radioaktif yang berasal dari kegiatan praktikum dan penelitian kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia menghasilkan limbah radioaktif yang termasuk ke dalam kategori zat radioaktif terbuka tidak digunakan dan bahan serta alat terkontaminasi yang tidak digunakan. Laboratorium Poltek Nuklir penghasil limbah radioaktif diantaranya Lab. irradiator, Lab. Radio Lingkungan, Lab. Kimia Radiasi, Lab. Aktif, Lab. *Non Destructive Test* (NDT), Lab. Betatron, Lab. Instrumentasi Kenukliran, Lab. Proteksi dan Keselamatan Radiasi, dan Lab. X-Ray Medik. Sebelum dilakukan pengelolaan limbah lebih lanjut, limbah zat radioaktif yang dihasilkan dari laboratorium-laboratorium tersebut disortir ke ruangan penyimpanan sementara terlebih dahulu.

DPFK BRIN merupakan satuan yang bertanggung jawab atas keselamatan nuklir KSE Achmad Baiquni. Limbah radioaktif Poltek Nuklir yang telah dilakukan proses prapengolahan, kemudian akan diambil oleh petugas dari DPFK sebelum dilanjutkan ke IPLR sehingga dalam hal ini Kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia tidak langsung menyerahkan limbah yang telah diolah ke IPLR.

### 2. Tahap Prapengolahan (Pengumpulan dan Pengelompokan) Limbah Radioaktif

Semenjak perubahan Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) menjadi Politeknik Teknologi Nuklir yaitu mulai tahun 2021, kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia telah melaksanakan kegiatan prapengolahan limbah radioaktif sebanyak 2 kali yaitu pada tahun 2023 dan tahun 2024. Berdasarkan pasal 4 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 tahun 2016 pihak penghasil limbah berkewajiban melakukan kegiatan pra pengolahan yang terdiri dari kegiatan pengumpulan dan pengelompokan. Berikut merupakan realisasi tahapan prapengolahan limbah radioaktif di Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia:

- 1) Limbah radioaktif dikumpulkan di ruangan penyimpanan limbah radioaktif sementara

Limbah radioaktif yang berasal dari pelaksanaan praktikum maupun penelitian Lab. irradiator, Lab. Radio Lingkungan, Lab. Kimia Radiasi, Lab. Aktif, Lab. *Non Destructive Test* (NDT), Lab. Betatron, Lab. Instrumentasi Kenukliran, Lab. Proteksi dan Keselamatan Radiasi, dan Lab. X-Ray Medik. kan ditempatkan di ruang penyimpanan sementara sampai pelimbahan zat radioaktif dilaksanakan.

- 2) Dilakukan identifikasi awal terhadap limbah radioaktif

Apabila Politeknik Teknologi Nuklir mendapat informasi dari Penanggung Jawab Kawasan Sains Edukasi (KSE) bahwa IPLR akan melakukan pengambilan limbah, limbah radioaktif yang sudah dikumpulkan di ruang penyimpanan sementara dilakukan proses pelimbahan yang diawali dengan identifikasi awal meliputi identifikasi berdasarkan sifat radiologi, sifat biologi, sifat fisika, sifat kimia, volume, bahaya nonradiasi, dan cara pengolahan dan penyimpanan yang akan dilakukan. Namun

identifikasi yang paling pertama terdapat pada sifat fisika limbah yaitu apakah limbah radioaktif tersebut berfasa cair atau padat. Pelimbahan kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia pada tahun 2024 hanya menghasilkan jenis limbah radioaktif fasa padat. Langkah pada tahap ini merupakan realisasi pasal 24 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016.

3) Limbah radioaktif ditempatkan ke dalam drum sesuai pengelompokan berdasarkan identifikasi awal

Penggunaan drum sebagai tempat limbah radioaktif ini sudah sesuai dengan persyaratan yang terdapat pada pasal 5 dan 6 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 yaitu wadah yang digunakan sebagai tempat limbah radioaktif harus terbuat dari bahan yang tidak mudah rusak, kompatibel dengan sifat dan karakteristik zat radioaktif, memberikan pengungkungan yang memadai, dan memberikan proteksi yang memadai dari bahaya radiasi dan non radiasi.

4) Dilakukan identifikasi lanjutan

Identifikasi lanjutan merupakan identifikasi melalui uji jenis radionuklida. Uji jenis radionuklida ini dilakukan oleh Laboratorium Pengujian Radioaktivitas Lingkungan Yogyakarta yang mencakup uji radioaktivitas alfa, uji radioaktivitas beta, dan uji radioaktivitas gamma. Berdasarkan hasil uji lab, pelimbahan radioaktif yang dilakukan di Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia pada tahun 2024 adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Daftar Limbah Radioaktif pada Pelimbahan Kampus Politeknik Teknologi Nuklir Tahun 2024

Kode Limbah	Volume Drum (L)	Radionuklida
Padat (kertas/tissue)	60	Cs-137, Ac-228
Padat (sarung tangan)	40	Pb-214, Bi-214, K-40
Padat ( <i>Iyonyl</i> )	60	Pb-212
Padat (kaca)	40	Pb-214, Pb-212
Padat (serbuk, tanah halus)	1 kantong	Pb-212, Pb-214, Bi-214

Langkah ini dilakukan untuk memenuhi aturan yang terdapat pada pasal 6 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 yang menyebutkan bahwa wadah limbah radioaktif harus diberi label yang setidaknya memuat beberapa informasi salah satunya jenis radionuklidanya.

5) Limbah yang terverifikasi mengandung radionuklida akan diambil oleh DPFK

Telah dipaparkan dalam Peraturan Pemerintah No 61 Tahun 2013 bahwa setelah dilakukan proses prapengolahan limbah radioaktif, penghasil limbah wajib menyerahkan kepada Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif (IPLR). Akan tetapi, untuk kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia tidak langsung menyerahkan limbah yang telah dikumpulkan dan dikelompokan ke IPLR melainkan akan diserahkan terlebih dahulu ke DPFK (Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran) selaku penanggung jawab keselamatan nuklir kawasan sains edukasi. Dari DPFK kemudian yang akan melanjutkan ke IPLR.

### 3. Ruang Penyimpanan Limbah Radioaktif Sementara

Berdasarkan pasal 24 Peraturan Pemerintah No 61 Tahun 2013, limbah yang telah dilakukan prapengolahan wajib dilakukan penyimpanan sementara sebelum diserahkan ke pihak selanjutnya. Dalam hal ini, Politeknik Teknologi Nuklir memiliki ruangan sementara tersendiri untuk menyimpan limbah radioaktif tersebut. Ruang penyimpanan ini juga berfungsi untuk menyimpan limbah sebelum dilakukan proses prapengolahan.



Gambar 1. Ruang Penyimpanan Limbah Radioaktif Sementara Kampus Poltek Nuklir

Ruangan penyimpanan limbah radioaktif yang dimiliki oleh kampus Politeknik Teknologi Nuklir ini menandakan bahwa aturan yang terdapat pada pasal 24 Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2013 yaitu limbah yang dilakukan prapengolahan wajib disimpan terlebih dahulu sebelum diserahkan ke pihak IPLR dipenuhi oleh kampus Politeknik Teknologi Nuklir.

#### **4. Keselamatan pada Pelaksanaan Prapengolahan Limbah Radioaktif oleh Petugas**

Pada saat pelaksanaan prapengolahan limbah radioaktif, petugas menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yaitu jas lab, *shoes cover*, masker, personal dosimeter, pinset/tang penjepit panjang. Dipergunakan alat untuk mengetahui laju paparan dan kontaminasi yaitu surveymeter serta digunakan rambu-rambu peringatan radiasi. Petugas yang melakukan prapengolahan di kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia menerapkan Prinsip Proteksi Radiasi yang telah diatur pada Peraturan Pemerintah No 45 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif yaitu limitasi. Petugas berupaya mengerjakan pekerjaan pra pengolahan ini dengan memperhatikan aspek waktu.

#### **5. Nilai Klierens**

Dalam pengelolaan limbah radioaktif, kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia belum melakukan upaya agar nilai klierens limbah radioaktif yang dihasilkan dapat mencapai di bawah atau sama dengan nilai klierens yang telah ditetapkan pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2016, yaitu 1 Bq/cm<sup>2</sup> untuk limbah radioaktif berupa bahan dan peralatan terkontaminasi, dan batas nilai yang telah ditetapkan pada lampiran I dan lampiran II Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2016 untuk radionuklida buatan dan radionuklida alam [7]. Hal ini dikarenakan sumber radioaktif yang digunakan untuk praktikum ataupun penelitian Politeknik Teknologi Nuklir mayoritas memiliki waktu paruh yang panjang sehingga untuk mencapai nilai di bawah atau sama dengan klierens dibutuhkan waktu yang sangat lama.

### **Kesimpulan**

Pelimbahan zat radioaktif kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia tahun 2024 menghasilkan jenis limbah radioaktif padat terbakar dimana limbah tersebut termasuk ke dalam tingkat rendah dan tingkat sedang. Walaupun limbah yang dihasilkan termasuk ke dalam tingkat rendah dan sedang, akan tetapi pengelolaan limbah radioaktif dan keselamatan kenukliran yang terdapat pada Kampus Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia sudah sesuai dengan aturan yang tertera pada Undang-Undang Kenukliran No 10 Tahun 1997, Peraturan Pemerintah No 45 Tahun 2023, Peraturan Pemerintah No 61 Tahun 2013, dan Peraturan Kepala BAPETEN No 8 Tahun 2016.

### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Ir. Giyatmi, M.Eng selaku dosen pembimbing, Ibu Dian Prasetyo selaku laboran yang bersedia diwawancarai terkait pengolahan limbah radioaktif di kampus

Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, dan layanan perpustakaan Politeknik Teknologi Nuklir yang senantiasa siap membantu dalam penyusunan tulisan ini.

### Daftar Pustaka

- [1] M. D. Birmano, “Identifikasi Tanggung-Jawab Penyiapan Infrastruktur Pembangunan PLTN di Indonesia,” *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, Oktober 2019.
- [2] BRIN, *Peraturan BRIN Nomor 1 Tahun 2022 tentang Statuta Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia*. 2022, p. 65. [Online]. Available: <file:///C:/Users/hp/Downloads/Peraturan%20BRIN%20Nomor%201%20Tahun%202022.pdf>
- [3] Pemerintah Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*. 1997, p. 34. [Online]. Available: <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/377-full.pdf>
- [4] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif*. 2023, p. 94. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/265188/pp-no-45-tahun-2023>
- [5] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*. 2013, p. 40. [Online]. Available: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-61-tahun-2013-tentang-pengelolaan-limbah-radioaktif>
- [6] Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia, *Peraturan Kepala BAPETEN tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang*. 2016, p. 30. [Online]. Available: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-8-tahun-2016-tahun-2016-tentang-pengolahan-limbah-radioaktif-tingkat-rendah-dan-tingkat-sedang>
- [7] Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens*. 2016, p. 12. [Online]. Available: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-16-tahun-2012-tentang-tingkat-klierens>



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Tinjauan Zat Radioaktif yang Sering Digunakan untuk Radiosinovektomi Menggunakan Nanomaterial Silika dan Aspek Keselamatannya

Dewi Novitasari<sup>1</sup>, Maria Christina P.<sup>2</sup>, Nofriady Aziz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

<sup>2</sup>Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, BRIN, Yogyakarta

<sup>3</sup>Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN, Serpong

Korespondensi penulis:

d.novitasari@bapeten.go.id

maria@sttn-batan.ac.id

nofr002@brin.go.id

### Abstrak

Radiosinovektomi adalah sebuah metode pengobatan yang efektif untuk terapi penderita *rheumatoid arthritis* yaitu penyakit peradangan dan kelainan pada sendi. Teknik terapi ini dilakukan dengan cara menginjeksikan zat radioaktif pemancar  $\beta$  ke dalam sendi yang mengalami peradangan secara intra-artikular. Senyawa radioaktif yang digunakan untuk radiosinovektomi yaitu pemancar  $\beta$  dengan energi yang cukup untuk menembus jaringan setebal 5 mm-10 mm, mempunyai waktu paruh singkat, biaya relatif murah, murni secara kimia dan bersifat *non-toxic*. Penggunaan nanomaterial silika bertanda radioisotop sebagai radiofarmaka merupakan sebuah terobosan baru untuk pengembangan kedokteran dan kesehatan di Indonesia. Pemanfaatan teknologi nuklir di bidang kesehatan sudah begitu pesat, namun di samping manfaatnya yang begitu besar tenaga nuklir juga mempunyai bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup, apabila ketentuan tentang keselamatan nuklir tidak diperhatikan dan tidak diawasi dengan baik. Ketentuan tersebut diatur dalam Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan pada Peraturan Pemerintah Nomor 45 tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif menyatakan bahwa keselamatan radiasi bertujuan untuk melindungi pekerja, pasien, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi pengion. Metode yang digunakan dalam tinjauan ini adalah metode kualitatif yang berasal dari literatur baik nasional maupun internasional serta berdiskusi dengan para peneliti yang memiliki *background* kenukliran dan sudah lama menggeluti bidang radiofarmaka untuk kebutuhan radiosinovektomi dan aplikasi nanomaterial silika sebagai pembawa. Dari tinjauan ini diketahui bahwa radiosinovektomi menggunakan zat radioaktif  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{169}\text{Er}$  merupakan metode yang efektif untuk mengobati radang sendi kronis. Namun aspek keselamatan terkait radiasi, biokompatibilitas, dan pembuangan limbah harus dikelola dengan hati-hati untuk memastikan keamanan prosedur bagi pasien dan lingkungan. Penelitian lebih lanjut dan pengawasan ketat diperlukan untuk memaksimalkan manfaat dan meminimalkan risiko dari penggunaan teknologi ini dalam praktik klinis.

**Kata Kunci:** Zat Radioaktif, Radiosinovektomi, Nanomaterial Silika, Keselamatan Radiasi

### Abstract

*Radiosynovectomy is an effective treatment method for rheumatoid arthritis, namely inflammatory diseases and joint disorders. This therapeutic technique is carried out by injecting  $\beta$ -emitting radioactive substance into the inflamed joint intra-articularly. The radioactive compound used for radiosynovectomy emits  $\beta$  with sufficient energy to penetrate tissue with a thickness 5 mm-10 mm, has a short half-life, is relatively cheap, chemically pure and non-toxic. The use of radioisotope tagged silica nanomaterials as radiopharmaceuticals is a new breakthrough for the development of medicine and health in Indonesia. The use of nuclear technology in the health sector has become very rapid, but in addition to its enormous benefits, nuclear energy also poses radiation hazards*

to workers, society and environment, if provisions regarding nuclear safety are not observed and not properly supervised. These provisions are regulated in law Number 10 of 1997 concerning Nuclear Energy and in the Government Regulation Number 45 of 2023 concerning Ionizing Radiation Safety and Security of Radioactive Substance states that radiation safety aims to protect workers, patients, society and the environment from the dangers of ionizing radiation. The method used in this review is a qualitative method derived from both national and international literature as well as discussions with researchers who have a nuclear background and have long been involved in the field of radiopharmaceuticals for needs of radiosynovectomy and application of silica nanomaterials as a carrier. From this review it is known that radiosynovectomy using radioactive substances such as  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{169}\text{Er}$  is an effective method for treating chronic arthritis. However, safety aspects related to radiation, biocompatibility and waste disposal must be managed carefully to ensure the safety of the procedure for patients and the environment. Further research and close monitoring are needed to maximize the benefits and minimize the risks of using this technology in clinical practice.

**Keywords:** Radioactive Substance, Radiosynovectomy, Silica Nanomaterial, Radiation Safety

## Pendahuluan

Radiosinovektomi merupakan prosedur medis yang bertujuan untuk mengobati peradangan sendi yang kronis, terutama yang disebabkan oleh penyakit seperti *rheumatoid arthritis*. Teknik ini melibatkan injeksi zat radioaktif langsung ke dalam rongga sendi yang mengalami peradangan dengan tujuan mengurangi peradangan dan nyeri. Salah satu inovasi terbaru dalam pengembangan teknik ini adalah penggunaan nanomaterial silika sebagai pembawa (*carrier*) untuk zat radioaktif, yang berpotensi meningkatkan efektivitas dan keamanan prosedur. Nanomaterial silika adalah jenis nanomaterial berbasis silika bioaktif yang digunakan dalam keperluan medis untuk aplikasi *in vivo* salah satunya untuk prosedur radiosinovektomi. Ukuran partikel nanomaterial silika yang paling sesuai untuk radiosinovektomi adalah berkisar antara 2-5 nm. Penggunaan nanomaterial silika sebagai pembawa zat radioaktif menawarkan beberapa keuntungan signifikan. Nanomaterial silika dikenal memiliki biokompatibilitas yang baik, permukaan yang mudah dimodifikasi, serta kemampuan untuk mengontrol pelepasan zat radioaktif secara bertahap. Namun, seiring dengan manfaat tersebut, aspek keselamatan penggunaan zat radioaktif dan nanomaterial dalam prosedur medis ini menjadi sangat penting untuk diperhatikan [1].

Di samping nanomaterial silika, ada beberapa pilihan bahan pembawa lain yang dapat digunakan untuk radiosinovektomi. Berikut adalah beberapa contoh lainnya:

- Koloid Radiosinovektomi: koloid yang mengandung radioisotop seperti  $^{186}\text{Re}$  atau  $^{90}\text{Y}$  dapat digunakan sebagai bahan pembawa. Partikel-partikel koloid ini memungkinkan zat radioaktif secara langsung ke dalam sendi yang terkena.
- Albumin merupakan protein yang ada dalam darah, dapat dimodifikasi untuk mengandung radioisotop tertentu. Albumin dapat digunakan sebagai bahan pembawa untuk radiosinovektomi, memberikan pengiriman yang efektif dari radiasi ke daerah yang tepat.
- Lipiodol adalah bahan kontras minyak yang dapat digunakan sebagai bahan pembawa untuk radioisotop dalam radiosinovektomi. Lipiodol mampu mengangkut zat radioaktif ke area yang memerlukan perawatan [2].

Radiokoloid yang ideal untuk radiosinovektomi adalah pemancar beta dengan energi yang cukup untuk menembus jaringan dengan tebal 5 mm - 10 mm, waktu paruh yang singkat, mudah diperoleh, membentuk partikel stabil, murni secara kimia, dan tidak bersifat toksik. Zat radioaktif yang sering digunakan dalam radiosinovektomi adalah  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{169}\text{Er}$ . Isotop-isotop ini dipilih berdasarkan karakteristik fisik dan sifat radiasinya yang memungkinkan penetrasi dan destruksi jaringan sinovial yang meradang secara efektif tanpa merusak jaringan sekitarnya [3] [4].

Makalah ini akan mengkaji jenis-jenis zat radioaktif yang sering digunakan dalam radiosinovektomi, manfaat penggunaan nanomaterial silika sebagai pembawa zat radioaktif, serta aspek-aspek keselamatan yang perlu dipertimbangkan dalam prosedur ini. Diharapkan dengan tinjauan ini, dapat memberikan wawasan lebih dalam mengenai perkembangan terbaru dalam teknik radiosinovektomi dan implikasinya terhadap praktik medis yang lebih aman dan efektif. Dalam menyusun makalah ini beberapa metode penelitian digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data yang relevan

mengenai penggunaan zat radioaktif dalam radiosinovektomi dan aplikasi nanomaterial silika sebagai pembawa. Metode yang digunakan meliputi:

- a) Studi Literatur: sumber penelusuran literatur dilakukan melalui basis data ilmiah. Artikel dari jurnal-jurnal terkemuka dalam bidang kedokteran nuklir *in vivo*, nanoteknologi, dan aplikasi radiosinovektomi digunakan sebagai referensi utama.
- b) Kriteria Pemilihan: artikel yang dipilih mencakup penelitian yang relevan dengan topik radiosinovektomi, penggunaan zat radioaktif, dan nanomaterial silika. Penekanan diberikan pada studi yang memeriksa aspek efikasi dan keselamatan.
- c) Analisis: setiap artikel dianalisis untuk mengidentifikasi temuan utama, metode yang digunakan, dan implikasi klinis dari hasil penelitian tersebut.
- d) Kajian Teoritis: mengkaji sifat fisik dan kimia dari zat radioaktif  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{169}\text{Er}$ . Analisis meliputi waktu paruh, jenis radiasi, dan penetrasi jaringan.
- e) Nanomaterial Silika: mengkaji struktur, sifat fisikokimia, biokompatibilitas, serta kemampuan modifikasi permukaan nanomaterial silika. Penelitian juga mencakup mekanisme kontrol pelepasan zat radioaktif.
- f) Analisis Keselamatan: menelaah protokol keselamatan radiasi dalam penanganan zat radioaktif di lingkungan medis. Analisis mencakup penyimpanan, pengangkutan, dan prosedur klinis.
- g) Dampak Lingkungan: menganalisis metode pengelolaan dan pembuangan limbah radioaktif dan nanomaterial untuk memastikan tidak ada kontaminasi terhadap lingkungan.

## Landasan Teori

### 1. Zat Radioaktif yang Sering Digunakan untuk Radiosinovektomi Menggunakan Nanomaterial Silika

Radiosinovektomi merupakan prosedur medis yang efektif untuk mengatasi peradangan sendi kronis, terutama pada kondisi seperti *rheumatoid arthritis*. Teknik ini melibatkan penyuntikan zat radioaktif ke dalam sendi yang mengalami peradangan, bertujuan untuk menghancurkan jaringan sinovial yang meradang dan meredakan gejala. Penggunaan nanomaterial silika sebagai pembawa zat radioaktif telah menambah dimensi baru dalam prosedur ini, dengan potensi meningkatkan efektivitas dan keamanan. Pembahasan berikut mengulas secara mendalam zat radioaktif yang digunakan, peran nanomaterial silika, serta aspek keselamatan yang terkait. Metode penyuntikan secara intra artikular ditunjukkan seperti pada Gambar 1.

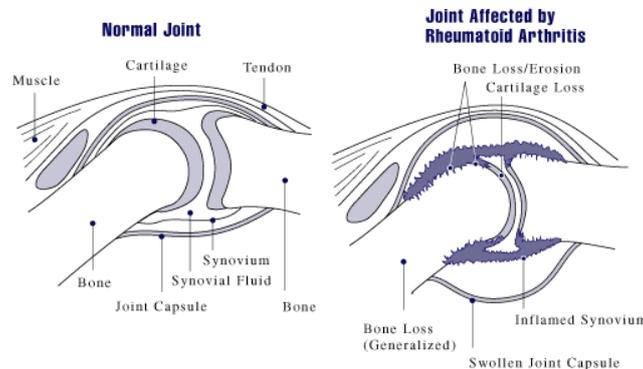


Gambar 1. Teknik Injeksi Intra Artikular [5]

Tujuan utama radiosinovektomi adalah untuk mengurangi peradangan dan nyeri yang disebabkan oleh *arthritis* pada sendi tertentu, terutama pada kasus yang tidak responsif terhadap pengobatan konvensional atau ketika pengobatan lain tidak dapat ditoleransi. Radiosinovektomi telah terbukti efektif dalam mengurangi gejala *arthritis* pada sendi tertentu dengan risiko komplikasi yang relatif rendah dibandingkan dengan prosedur bedah yang lebih invasif. Manfaat dari radiosinovektomi meliputi penurunan peradangan, peningkatan mobilitas sendi, dan penurunan gejala nyeri. Risiko potensial termasuk reaksi alergi terhadap bahan yang digunakan dalam prosedur serta risiko paparan radiasi harus dijaga seminimal mungkin.

*Rheumatoid arthritis* merupakan kelainan autoimun kronis yang menyebabkan peradangan pada sendi terjadi karena sistem kekebalan tubuh secara keliru menyerang jaringan tubuh yang sehat khususnya membran sinovial yang melapisi sendi, proses ini menyebabkan peradangan yang kronis dan merusak

sendi serta jaringan di sekitarnya, pada umumnya sistem kekebalan tubuh membantu melindungi tubuh dari infeksi dan penyakit, pada kasus ini justru sebaliknya sistem kekebalan tubuh menyerang jaringan sehat pada persendian antara lain sendi pada tangan, kaki, leher, panggul, pergelangan kaki atau organ internal lainnya [6]. Perbedaan sendi normal dengan yang terkena *rheumatoid arthritis* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sendi dalam Keadaan Normal (a) dan Terkena Rheumatoid Arthritis (b) [7]

Aplikasi nanomaterial telah menjadi perhatian beberapa tahun yang lalu. Salah satu aplikasinya adalah untuk terapi radiosinovektomi. Nanomaterial silika bertanda radioisotop sebagai radiofarmaka merupakan terobosan yang dapat mengembangkan bidang kedokteran nuklir dan kesehatan masyarakat di Indonesia. Modifikasi dengan gugus fungsional yang sesuai akan mengurangi tingkat toksisitas terhadap sel, mengurangi residu secara cepat dalam waktu tiga bulan, dan mempunyai tingkat biokompatibilitas yang baik [8]. Pembawa radioisotop untuk terapi harus memenuhi beberapa syarat penting untuk memastikan efektivitas dan keamanannya dalam penggunaan medis. Berikut ini persyaratan yang harus dipenuhi oleh pembawa radioisotop untuk aplikasi terapi:

- a) Pembawa radioisotop harus mampu mengarahkan radioisotop ke target yang diinginkan dalam persendian.
- b) Pembawa harus memiliki toksisitas yang rendah pada dosis terapeutik yang diberikan kepada pasien yang berarti bahan tersebut tidak boleh menimbulkan efek samping yang signifikan atau merusak organ non-target.
- c) Idealnya pembawa harus dapat melepaskan radioisotop dengan efisiensi tinggi di tempat target, sehingga meminimalkan kerusakan pada jaringan sekitar.
- d) Pembawa harus stabil dalam tubuh untuk menghindari pelepasan radioisotop yang tidak diinginkan sebelum mencapai targetnya. Stabilitas ini juga membantu dalam penyimpanan dan penggunaan praktis.
- e) Pembawa radioisotop sebaiknya dapat diperoleh dengan mudah dan memiliki kemampuan untuk dihilangkan dari tubuh secara alami setelah selesai terapi, misalnya melalui proses biodegradasi atau ekskresi.

Aspek keselamatan dalam penggunaan nanomaterial silika dibandingkan dengan alternatif pembawa lainnya dalam aplikasi radiosinovektomi adalah penting karena mempertimbangkan risiko potensial terhadap kesehatan pasien dan staf medis yang terlibat dalam prosedur tersebut. Berikut adalah beberapa pertimbangan umum:

- a) Nanomaterial silika memiliki sifat unik yang dapat mempengaruhi toksisitasnya. Partikel-partikel nanosilika dapat masuk ke dalam tubuh dengan mudah dan ukuran nanoskala dapat memungkinkan menembus jaringan dengan lebih mudah, hal ini dapat meningkatkan risiko efek toksik dan peradangan jika tidak dikendalikan dengan baik.
- b) Potensi akumulasi dan biodegradabilitas merupakan pertimbangan penting ketika nanomaterial silika dapat dipecah atau dieliminasi secara efisien dari tubuh setelah aplikasi. Akumulasi nanomaterial yang tidak dapat dipecah dapat meningkatkan risiko jangka panjang terhadap kesehatan.
- c) Penggunaan nanomaterial silika memerlukan langkah-langkah pencegahan yang ketat untuk mengurangi paparan potensial kepada staf medis dan lingkungan. Hal ini dapat dilakukan dengan penggunaan peralatan pelindung diri yang tepat dan penanganan bahan yang aman.

Penggunaan bahan pembawa dalam radiosinovectomi harus didasarkan pada penelitian ilmiah yang kuat, evaluasi risiko yang cermat, kepatuhan terhadap panduan keamanan dan regulasi yang berlaku.

Radioisotop yang umum digunakan untuk radiosinovectomi adalah radioisotop yang memancarkan radiasi beta yang dapat menargetkan membran sinovial yang meradang, memiliki kemampuan untuk memberikan dosis radiasi yang terkonsentrasi secara lokal ke daerah yang tepat, mengurangi peradangan dan nyeri sendi, serta dapat memperlambat kerusakan sendi tanpa memerlukan pembedahan besar, mempunyai waktu paruh singkat tetapi cukup digunakan untuk terapi, biaya relatif murah, murni secara kimia, dan bersifat *non-toxic*. Pada Tabel 1 berikut ini disebutkan beberapa radioisotop yang memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam radiosinovectomi.

Tabel 1. Radioisotop yang digunakan dalam radiosinovectomi

Radioisotop	Waktu Paruh (hari)	Energi maks. $\beta$ (MeV)	Energi $\gamma$ (keV)	Kedalaman Maksimal Penetrasi pada Jaringan (mm)
$^{165}\text{Dy}$	0,1	1,29	95	5,7
$^{109}\text{Pd}$	0,56	1,03	-	0,42
$^{188}\text{Re}$	0,7	2,12	155	11
$^{166}\text{Ho}$	1,2	1,85	81	8,5
$^{153}\text{Sm}$	1,9	0,81	103	3,1
$^{198}\text{Au}$	2,7	0,96	411	3,9
$^{90}\text{Y}$	2,7	2,26	-	11
$^{186}\text{Re}$	3,7	1,07	137	3,6
$^{177}\text{Lu}$	6,7	0,48	208	1,7
$^{169}\text{Er}$	9,4	0,35	-	1
$^{32}\text{P}$	14,4	1,71	-	7,9

Isotop radioaktif yang memancarkan sinar beta digunakan untuk prosedur radiosinovectomi. Radionuklida dalam bentuk koloid, ketika mencapai rongga sendi dikenali sebagai benda asing oleh lapisan seluler terluar membran sinovial dan difagositosis oleh sel-sel tersebut, karena radiasi selektif pada membran sinovial, terjadi nekrosis sel dan penurunan proliferasi sel inflamasi. Infiltrasi monokuler pada membran sinovial hilang sepenuhnya setelah beberapa bulan dan membran sinovial mengalami fibrosis. Kerusakan lebih lanjut pada rongga sendi yang disebabkan oleh reaksi imunologi berkelanjutan dapat dicegah, karena jaringan fibrotik yang menggantikan membran sinovial tidak dapat bereaksi terhadap rangsangan imunologis, proses inflamasi tidak terulang kembali dan remisi jangka panjang dapat dicapai.

## 2. Keselamatan Radiasi Bidang Kedokteran Nuklir untuk Aplikasi Radiosinovectomi

Keselamatan Radiasi adalah upaya yang dilakukan untuk melindungi manusia dan lingkungan dari efek bahaya radiasi. Ini mencakup pengaturan, penggunaan, perlindungan, dan pemantauan radiasi untuk memastikan tingkat paparan yang aman bagi individu dan masyarakat secara umum. Penggunaan radiasi pengion untuk kesehatan telah berkembang pesat, baik untuk diagnosis maupun terapi. Perkembangan ini harus diikuti dengan cara meningkatkan keselamatannya, sehingga paparan medik yang diakibatkannya diketahui dengan benar [9].

Persyaratan keselamatan radiasi sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 17 Tahun 2012 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir meliputi:

- a) Persyaratan manajemen;
- b) Persyaratan Proteksi Radiasi;
- c) Persyaratan teknis; dan
- d) Verifikasi Keselamatan Radiasi [10].

Setiap fasilitas kedokteran nuklir harus: [11]

- a) Menjamin proteksi radiasi secara efisien kepada pasien, pekerja dan penduduk pada umumnya;
- b) Memiliki sumber daya listrik yang memadai;
- c) Memiliki sistem ventilasi udara ruangan yang baik;
- d) Memiliki ruangan-ruangan berikut: ruangan tunggu pasien, ruang penyiapan zat radioaktif, laboratorium radiokimia, dan ruang pemberian radiofarmaka pada pasien;
- e) Memiliki ruangan khusus untuk treatment pasien terapi;
- f) Dilengkapi WC khusus radioaktif untuk ekskreta pasien.

Tersedia ruang penyiapan zat radioaktif yang meliputi:

- a) Memiliki luas cukup, minimal 8 meter persegi;
- b) Lantainya dilapisi bahan kedap air;
- c) Dilengkapi bak pencuci (minimal 2 buah);
- d) Memiliki tempat sampah radioaktif dan non-radioaktif; dan
- e) Dilengkapi dengan meja yang mampu menahan beban berat dan mudah didekontaminasi.

Tersedia ruang radiokimia yang dilengkapi lemari asam tahan karat, lantainya dilapisi bahan kedap air, dilengkapi meja yang mudah didekontaminasi.

## Hasil dan Pembahasan

Radiosinovectomi adalah prosedur medis dimana radioisotop digunakan untuk mengurangi atau menghancurkan jaringan sinovial yang berlebihan pada sendi melibatkan penggunaan radioterapi untuk mengobati sendi yang mengalami peradangan kronis seperti pada kasus *rheumatoid arthritis*. Prosedur ini dilakukan dengan menyuntikkan radioisotop ke dalam sendi yang meradang untuk mengurangi peradangan dan gejala nyeri, untuk beberapa gangguan persendian menggunakan injeksi intra artikular suatu radioisotop yang diikat pada partikel kecil atau koloid ke dalam sendi yang terjadi peradangan, partikel ini menetap di dalam sinovium (membran yang melapisi sendi) dan mengeluarkan radiasi beta yang mempengaruhi sel-sel yang berkontribusi pada peradangan [12].

### 1. Zat Radioaktif dalam Radiosinovectomi [4]

#### Rhenium-186 ( $^{186}\text{Re}$ )

- Karakteristik Fisik:  $^{186}\text{Re}$  adalah pemancar beta dengan waktu paruh 90 jam. Radiasi beta yang dihasilkan efektif dalam menghancurkan jaringan sinovial yang meradang tanpa penetrasi yang terlalu dalam, sehingga mengurangi risiko kerusakan jaringan sehat di sekitarnya.
- Penetrasi Jaringan: radiasi dari  $^{186}\text{Re}$  memiliki penetrasi sekitar 3,6 mm.
- Penggunaan Klinis:  $^{186}\text{Re}$  digunakan untuk sendi-sendi berukuran sedang, memberikan fleksibilitas dalam aplikasi klinisnya.

#### Yttrium-90 ( $^{90}\text{Y}$ )

- Karakteristik Fisik:  $^{90}\text{Y}$  adalah pemancar beta dengan waktu paruh 64,1 jam. Memiliki penetrasi radiasi yang lebih dalam dibandingkan  $^{186}\text{Re}$ , membuatnya cocok untuk sendi yang membutuhkan penetrasi lebih dalam.
- Penetrasi Jaringan: radiasi  $^{90}\text{Y}$  memiliki penetrasi jaringan sekitar 2,5 mm - 11 mm, cukup untuk merusak jaringan sinovial yang menebal tanpa merusak tulang atau jaringan sehat.
- Penggunaan Klinis:  $^{90}\text{Y}$  sering digunakan untuk sendi-sendi besar seperti lutut dan bahu, dimana penetrasi yang moderat diperlukan.

#### Erbium-169 ( $^{169}\text{Er}$ )

- Karakteristik Fisik:  $^{169}\text{Er}$  adalah pemancar beta dengan waktu paruh 9,4 hari. Memiliki penetrasi yang lebih dangkal dibandingkan  $^{90}\text{Y}$  dan  $^{186}\text{Re}$ , sehingga cocok untuk sendi-sendi berukuran kecil.
- Penetrasi Jaringan: radiasi dari  $^{169}\text{Er}$  hanya menembus jaringan pada kedalaman yang sangat dangkal yaitu maksimum 1 mm, sehingga ideal untuk sendi-sendi kecil seperti tangan dan kaki.

- Penggunaan Klinis:  $^{169}\text{Er}$  digunakan terutama untuk sendi-sendi kecil yang membutuhkan penetrasi minimal namun efektif.

## 2. Peran Nanomaterial Silika dalam Radiosinovektomi

Penggunaan nanomaterial silika sebagai pembawa zat radioaktif menawarkan beberapa keunggulan signifikan dalam prosedur radiosinovektomi yaitu antara lain: [13]

- a) Biokompatibilitas: silika memiliki sifat biokompatibilitas yang tinggi, yang berarti dapat berinteraksi dengan jaringan tubuh tanpa menyebabkan reaksi imun yang merugikan. Hal ini penting untuk mengurangi risiko efek samping pasca prosedur.
- b) Modifikasi Permukaan: nanomaterial silika memiliki permukaan yang dapat dimodifikasi untuk meningkatkan afinitas terhadap zat radioaktif, memastikan ikatan yang lebih stabil dan efisien. Modifikasi ini juga memungkinkan penargetan yang lebih spesifik pada jaringan sinovial yang meradang.
- c) Kontrol Pelepasan: nanomaterial silika memungkinkan kontrol pelepasan zat radioaktif secara bertahap, memberikan distribusi yang lebih merata dan berkepanjangan di dalam jaringan target. Hal ini dapat meningkatkan efektivitas terapeutik dan mengurangi dosis radiasi yang diperlukan.
- d) Targeting Spesifik: dengan memodifikasi permukaan nanomaterial, zat radioaktif dapat diarahkan langsung ke area yang meradang, meningkatkan akurasi dan efektivitas pengobatan sambil meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat.

## 3. Aspek Keselamatan [14]

### Keselamatan Penggunaan Nanomaterial Silika

Dalam prosedur radiosinovektomi menggunakan pembawa nanomaterial silika perlu mempertimbangkan sudut pandang keselamatan lingkungan. Nanomaterial silika dapat berakhir di lingkungan air melalui pembuangan limbah medis atau pencucian peralatan. Di lingkungan air, partikel-partikel nanosilika dapat berinteraksi dengan organisme hidup, seperti ikan dan plankton yang dapat mengganggu ekosistem dan rantai makanan. Meskipun silika secara alami hadir dalam lingkungan, bentuk nanoskala dari nanomaterial silika dapat memiliki sifat yang berbeda, termasuk kemampuan untuk menembus jaringan hidup dan bertahan lama dalam lingkungan. Hal ini dapat mempengaruhi organisme hidup dan ekosistem di mana nanomaterial tersebut dilepaskan. Sifat nanomaterial silika yang dapat terakumulasi di lingkungan dapat mengarah pada efek jangka panjang yang belum sepenuhnya dipahami terhadap keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem. Penggunaan nanomaterial silika dalam prosedur medis seperti radiosinovektomi memerlukan manajemen limbah yang hati-hati. Limbah yang mengandung nanomaterial silika harus ditangani dengan protokol yang ketat untuk mencegah pencemaran lingkungan. Ketersediaan regulasi yang memadai dan pengawasan terhadap penggunaan dan pembuangan nanomaterial silika penting untuk meminimalkan dampaknya terhadap lingkungan.

### Keselamatan Radiasi

Penyimpanan dan Pengangkutan: zat radioaktif harus disimpan dan diangkut sesuai dengan standar keselamatan radiasi yang ketat untuk mencegah paparan yang tidak disengaja. Hal ini melibatkan penggunaan wadah penyimpanan yang sesuai dan protokol pengangkutan yang aman.

- a) Prosedur Penanganan: staf medis harus mendapatkan pelatihan khusus dalam penanganan zat radioaktif untuk meminimalkan risiko paparan radiasi. Prosedur yang tepat harus diikuti saat menyiapkan dan menyuntikkan zat radioaktif ke pasien.
- b) Evaluasi Toksisitas: uji toksisitas harus dilakukan secara menyeluruh untuk memastikan bahwa nanomaterial silika tidak menimbulkan efek samping yang merugikan bagi pasien. Hal ini mencakup pengujian *in vitro* (di laboratorium) dan *in vivo* (pada hewan atau manusia) untuk menilai dampak yang ditimbulkan.
- c) Studi *In Vivo*: penelitian harus mencakup evaluasi reaksi biologis terhadap nanomaterial silika, termasuk potensi yang dapat menyebabkan iritasi, inflamasi, atau reaksi alergi.

Paparan yang diterima oleh pasien secara individual pada paparan medik harus memberikan keuntungan secara medik kepada pasien yang bersangkutan. Perlindungan pasien dalam paparan medik dilakukan dengan memperhatikan tiga hal berikut yaitu: [15]

- a) Pembeneran tindakan (justifikasi): paparan medik harus mendapatkan pembeneran tindakan dengan mempertimbangkan keuntungan atau manfaat dari prosedur diagnostik atau terapi dibandingkan dengan kerugian yang ditimbulkannya, dan memperhitungkan keuntungan serta risiko teknik lain tanpa radiasi. Justifikasi terhadap setiap jenis pemeriksaan dengan kedokteran nuklir hendaknya selalu menggunakan pedoman-pedoman yang relevan, seperti yang diterbitkan WHO.
- b) Prinsip-prinsip ALARA (optimisasi) dalam konteks radiasi *As Low As Reasonably Achievable* adalah pendekatan yang mendasari upaya untuk meminimalkan paparan radiasi kepada individu sebanyak mungkin, dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi.
- c) Pembatasan dosis radiasi adalah upaya untuk menetapkan batas maksimum dosis radiasi yang dapat diterima oleh individu dalam berbagai konteks, seperti diagnostik medis, perlindungan radiasi di lingkungan kerja, dan pengobatan radioterapi. Tujuan utamanya adalah untuk melindungi individu dari efek radiasi yang berbahaya, sambil mempertahankan manfaat salah satunya dari paparan radiasi yang diperlukan untuk keperluan medis.

Sumber terbuka untuk prosedur kedokteran nuklir harus diukur aktivitasnya dengan menggunakan “dose calibrator” yang tertelusur ke Laboratorium Standar Nasional. Pengelolaan limbah radioaktif pada unit kedokteran dimulai dengan pemisahan limbah cair dan padat, kemudian disimpan di tempat yang aman. Tempat penyimpanan limbah radioaktif harus dipantau secara berkala untuk mendeteksi adanya kebocoran. Karena umumnya berumur pendek, maka teknik pengelolaannya dilakukan dengan metode penundaan dan peluruhan (*delay and decay*).

#### **4. Dampak Lingkungan dan Pembuangan Limbah [16]**

**Pengelolaan Limbah:** limbah radioaktif harus dikelola dengan sangat hati-hati untuk menghindari kontaminasi lingkungan. Hal ini melibatkan proses penyimpanan, transportasi, dan pembuangan limbah yang mematuhi regulasi lingkungan yang ketat.

**Keselamatan Publik:** protokol ketat harus diterapkan untuk memastikan bahwa limbah radioaktif tidak mencemari sumber daya air atau tanah, yang dapat membahayakan kesehatan publik. Termasuk pada penggunaan teknik penanganan limbah yang aman dan efektif.

### **Kesimpulan**

Radiosinovetomi menggunakan zat radioaktif  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{169}\text{Er}$  merupakan metode yang efektif untuk mengobati radang sendi kronis. Penggunaan nanomaterial silika sebagai pembawa zat radioaktif menawarkan keuntungan tambahan dalam hal biokompatibilitas, kontrol pelepasan, dan modifikasi permukaan. Namun aspek keselamatan terkait radiasi, biokompatibilitas, dan pembuangan limbah harus dikelola dengan hati-hati untuk memastikan keamanan prosedur bagi pasien dan lingkungan. Penelitian lebih lanjut dan pengawasan ketat diperlukan untuk memaksimalkan manfaat dan meminimalkan risiko dari penggunaan teknologi ini dalam praktik klinis.

### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi kepada Dosen POLTEK Nuklir Ibu Maria Christina P. yang telah memberikan saran dan masukan demi terlaksananya pembuatan makalah ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala P2STPIBN, Pengelola Kegiatan Pengkajian Instalasi Nuklir Non Reaktor P2STPIBN dan seluruh rekan di Kelompok Fungsi Pengkajian INNR unit kerja P2STPIBN BAPETEN yang telah banyak memberikan bantuan, sumbangsih ide dan saran sehingga makalah ini dapat terwujud.

### Daftar Pustaka

- [1] Juwita S R Dkk. (2019) Studi Awal Biodistribusi Nanomaterial  $^{186}\text{Re-M41S-NH}_2$  Sebagai Radiofarmaka Untuk Prosedur Radiosinovectomi. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*.
- [2] IAEA Technical Report Series (2019) *Production, Quality Control and Clinical Applications of Radiosynovectomy agents*.
- [3] N Karavida and A Notopoulos (2010) Radiation Synovectomy: An Effective Alternative Treatment for Inflamed Small Joints. *Quarterly Medical Journal*.
- [4] Jong Min K. et.al, (2018) Treatment Response Evaluation using Yttrium-90 in Patients with Rheumatoid Arthritis of Knee Joint. *World Journal of Nuclear Medicine*.
- [5] Website internet, <http://www.arthritiscenter.com/treatments/joint-injection> , diakses pada 31 Mei 2024.
- [6] Website internet, <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/rheumatoid-arthritis/symptoms-causes/syc-20353648>, diakses pada 1 Juli 2024
- [7] Website internet, <https://www.drlox.com/medical-conditions-treated/arthritis/rheumatoid-arthritis/>, diakses pada 31 Mei 2024.
- [8] S H Wu, Y Hung, C Y Chung-Yuan Mou (2011) Mesoporous Silica Nanoparticles as Nanocarriers. *Chemical Communications*.
- [9] Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 (2013) *Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan tenaga Nuklir*.
- [10] Peraturan Kepala BAPETEN No. 17 (2012) *Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir*.
- [11] IAEA Safety Standards Series No. SSG-46 Specific Safety Guide (2018) *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*.
- [12] Ioannis L. Et. Al, (2020) Radiosynovectomy is a Safe and an Efficient Alternative in The Treatment of Chronic, Recurrent Knee Hemarthrosis. *World Journal of Nuclear Medicine*.
- [13] Y Huang & Peng Li (2022) Silica Nanoparticles : Biomedical Application and Toxicity. *Biomedicine & Pharmacotherapy Journal*.
- [14] Alabama Department of Public Health (2023) *Medical Radiation Safety Procedure Manual. Fifth Edition*. Radiation Control Licensing.
- [15] Peraturan Pemerintah No. 45 (2023), *Keselamatan Radiasi Pengion dan keamanan Zat Radioaktif*.
- [16] Shoukat K., et.al, (2010) Radioactive Waste Management in a Hospital. *International Journal of Health Sciences*.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Studi Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya Terapung

Liliana Yetta Pandi, Rahmat Edhi Harianto, M. Rifqi Harahap, Yudi Pramono

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

Korespondensi penulis:  
pandililiana@gmail.com  
rahmatdhih@gmail.com

### Abstrak

Rencana industri swasta membangun dan mengoperasikan reaktor daya terapung di Indonesia kian menguat. Sehubungan dengan rencana proyek pembangunan kapal nuklir tersebut perlu dipersiapkan infrastruktur pengawasan termasuk ketersediaan peraturan pemenuhan persyaratan izin. Salah satu dokumen persyaratan izin ini adalah dokumen laporan analisis keselamatan (LAK) untuk disampaikan ke badan pengawas (BAPETEN). Saat ini telah tersedia regulasi LAK reaktor daya berbasis di darat dalam Perba No. 11 Tahun 2020 namun belum tersedia regulasi LAK reaktor daya terapung. Oleh karena itu tujuan studi ini adalah mempelajari format dan isi LAK reaktor daya terapung khususnya pada tahap izin konstruksi. Makalah ini merupakan studi literatur yang akan mengidentifikasi kemampuserapan Perba No. 11 Tahun 2020 mengenai Penyusunan LAK Reaktor Daya, terhadap reaktor daya terapung. Metode studi berupa kajian literatur dari berbagai referensi peraturan yang digunakan di Indonesia, standar/code International termasuk publikasi IAEA, dan peraturan dari negara Rusia, Inggris dan Jerman. Studi menyimpulkan bahwa peraturan penyusunan LAK reaktor daya berbasis di darat dapat digunakan diantaranya pada bab karakteristik tapak, reaktor, sistem pendingin, sistem pendukung, catu daya, proteksi radiasi, dan pemantauan lingkungan. Namun tetap diperlukan penambahan klausul keselamatan untuk mengakomodasi fenomena dinamika pergerakan kapal di badan air. Sementara bab lainnya perlu diintegrasikan dengan pemanfaatan operasional kapal termasuk desain kapal harus ditambahkan ketentuan sesuai dengan peraturan perundangan terkait kapal.

**Kata Kunci:** laporan analisis keselamatan, reaktor daya terapung, kapal

### Abstract

*Private industry plans to build and operate floating power reactors in Indonesia are gaining momentum. In connection with the planned nuclear ship building project, it is necessary to prepare a regulatory infrastructure that includes the availability of regulations to fulfill licensing requirements. One of these licensing requirement documents is a Safety Analysis Report (SAR), which must be submitted to the regulatory body (BAPETEN). Currently, there is a regulation for SARs for land-based power reactors in Perba No. 11 of 2020; however, there is no regulation for SARs for floating power reactors. Therefore, the purpose of this paper is to study the format and content of the SAR for floating power reactors, specifically at the construction permit license stage. This paper is a literature study that will identify the applicability of Perba No. 11 of 2020 concerning the preparation of SARs for power reactors to floating power reactors. The method involves a literature review of various regulatory references used in Indonesia, international standards/codes including IAEA publications, and regulations from Russia, England, and Germany. The study concluded that the SAR preparation regulations for land-based power reactors can be adapted, including the chapters on site characteristics, reactors, cooling systems, support systems, power supply, radiation protection, and environmental monitoring. However, it is necessary to add safety clauses to accommodate phenomena such as ship movement dynamics in water bodies. Other chapters need to be integrated with the operational utilization of ships, including ship design, with provisions added according to ship-related laws and regulations.*

**Keywords:** safety analysis report, floating nuclear power plant, ship

## Pendahuluan

Rencana industri swasta membangun dan mengoperasikan reaktor daya terapung menggunakan tenaga nuklir di Indonesia kian menguat. Saat ini kapal pembangkit listrik terapung yang digunakan di Indonesia menggunakan teknologi bahan bakar diesel dan tenaga surya untuk menyediakan listrik ke pulau-pulau dan daerah terpencil. [1]. Di masa depan terdapat potensi penggunaan kapal pembangkit listrik menggunakan teknologi nuklir dalam bentuk kapal reaktor daya (RD) terapung oleh perusahaan swasta sebagai salah satu upaya pemerintah mempercepat transisi menuju emisi nol bersih menggunakan tenaga nuklir.

Beberapa kapal RD terapung dengan beragam status desain tengah dibuat oleh pengembang teknologi, diantaranya adalah KLT-40S, ACPR50S, ACP100S, BANDI-60, ABV-6E, RITM-200M, VBER-300, dan SHELF-M. Desain KLT-40S menjadi yang paling unggul diantara desain kapal RD terapung lainnya dan menjadi desain SMR pertama yang terhubung ke jaringan listrik. Kapal ini digunakan oleh Akademik Lomonosov, mulai beroperasi secara komersial di Pevek, Federasi Rusia [2]. Tabel 1 menampilkan karakteristik desain RD terapung khususnya dengan status desain rinci dan tahap operasi reaktor.

Tabel 1. Jenis dan Status Desain Kapal RD Terapung

Desain	Output (MWe)	Tipe	Fitur SSK Reaktor*	Desainer	Negara	Status Desain
KLT-40S	2 x 35	PWR	(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)	JSC Afrikantov OKBM	Rusia	Operasi
ACPR50S	50	PWR (tipe loop)	(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)	CGNPC	Cina	Desain rinci
ACP100S	125	PWR integral	-	CNNC/NPIC	Cina	Desain dasar
BANDI-60	60	PWR	-	KEPCO E&C	Republik Korea	Desain konseptual
ABV-6E	6-9	PWR	-	JSC Afrikantov OKBM, Rosatom	Rusia	Desain Final
RITM-200M	50					Desain dasar lengkap
VBER-300	325	PWR integral	-			Tahap perizinan
SHELF-M	10		-	NIKIET		Desain dasar

\*Catatan: SSK: Struktur, sistem, dan komponen. (1) Sistem pasok uap nuklir; (2) teras reaktor; (3) instrumentasi dan kendali; (4) bejana reaktor; (5) sistem pendingin reaktor; (6) fitur keselamatan teknis; (7) sistem pengungkung; (8) sistem catu daya; (9) gedung reaktor; (10) gedung turbin dan sistem konversi daya;

Terhadap rencana proyek membangun dan mengoperasikan reaktor daya terapung menggunakan tenaga nuklir di Indonesia maka perlu dipersiapkan infrastruktur pengawasan termasuk ketersediaan peraturan pemenuhan persyaratan izin. Salah satu dokumen persyaratan izin ini adalah dokumen laporan analisis keselamatan (LAK) untuk disampaikan ke BAPETEN.

Saat ini telah tersedia regulasi LAK reaktor daya berbasis di darat dalam Perba 11 Tahun 2020 namun belum tersedia regulasi LAK reaktor daya terapung. Oleh karena itu tujuan studi ini adalah mempelajari format dan isi LAK reaktor daya terapung khususnya pada tahap izin konstruksi. Makalah ini merupakan studi literatur yang akan mengidentifikasi kemampooterapan Perba No. 11 Tahun 2020 mengenai Penyusunan LAK Reaktor Daya, terhadap reaktor daya terapung. Metode studi berupa kajian literatur dari berbagai referensi peraturan yang digunakan di Indonesia, standar/code International termasuk publikasi IAEA, dan peraturan dari negara Rusia, Inggris dan Jerman.

## Pokok Bahasan

Istilah RD terapung mengacu pada sistem pembangkit listrik bertenaga nuklir yang dirancang untuk ditempatkan pada kapal atau tongkang di laut atau di tepi pantai. RD terapung dirancang untuk mensuplai kebutuhan listrik pada lokasi konsumen yang berada di daratan.

RD terapung berbeda dengan RD yang berlokasi di daratan. RD daratan berada pada lokasi yang bersifat stabil. Sementara itu, RD terapung selalu berada pada lokasi yang secara normal selalu bergerak di permukaan laut. Pada RD di daratan, guncangan hanya terjadi pada kondisi gempa bumi. Daya dukung daratan memungkinkan diaplikasikannya sistem keselamatan dan sistem pengungku yang masif (misalnya gedung pengungku yang terbuat dari beton). Lain halnya dengan RD terapung, untuk menjaga kapal atau tongkang tetap stabil, sistem keselamatan dan perisai radiasi yang masif sebagaimana digunakan pada RD daratan tidak dapat digunakan pada RD terapung [3].

Pembangunan dan pengoperasian RD terapung juga memerlukan evaluasi dan penilaian keselamatan dari banyak faktor. Uraian dokumen keselamatan ini dituangkan dalam LAK yang akan disampaikan ke BAPETEN pada tahap izin konstruksi, komisioning, dan operasi. Ketentuan RD di darat diatur pada Peraturan Badan No 11 Tahun 2020 Tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya[4]. Namun, karena RD terapung memiliki karakteristik yang berbeda dengan RD di darat maka dimungkinkan terdapat kondisi lain yang berbeda dan tidak ditemui pada RD berbasis darat.

Acuan perundang-undangan dan literatur yang digunakan untuk analisis reaktor nuklir dan merupakan referensi untuk kajian literatur adalah: a). Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, dan b) Peraturan Badan No 11 Tahun 2020 Tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya. Batasan lingkup kajian terbatas pada pemenuhan izin konstruksi sehingga hanya dibahas 21 dari 22 bab dari Perba No 11 Tahun 2020.

## Hasil dan Pembahasan

Format dan isi LAK tertera pada Perba No 11 Tahun 2020, berisi dua puluh dua bab [4]. Batasan lingkup kajian terbatas pada pemenuhan izin konstruksi sehingga bab Komisioning tidak disertakan dalam pembahasan, dengan revidi sebagai berikut.

### 1. Karakteristik Tapak

Regulasi dan ketentuan LAK untuk kapal di Rusia dan di Inggris menyatakan bahwa pada karakteristik tapak harus disediakan informasi mengenai karakteristik fisik, geografis, iklim dan meteorologi dari lokasi, desain untuk pengoperasian dan instalasi kapal, serta batasan operasi yang berkaitan dengan karakteristik iklim, angin, musim, kondisi es, fenomena alam khusus (arus laut yang luar biasa, tornado, tsunami, angin topan, siklon, puting beliung). [5,6] Di samping itu, perlu tersedia juga informasi mengenai penilaian kondisi tanah dan geoteknik, lereng, pelabuhan, teluk, serta rencana potensi pengembangan wilayah instalasi (pembangunan dermaga, bendungan, dan lain-lain.). Ditambah dengan memperhatikan kondisi meteorologi setempat, penggunaan wilayah pesisir dan lepas pantai serta kepadatan penduduk. [6]

Informasi ringkasan karakteristik tapak yang diatur pada Perba No. 11 tahun 2020 dapat digunakan karena Perba ini telah memuat pengaruh kejadian eksternal di tapak dan wilayah sekitarnya yang memengaruhi keselamatan reaktor, baik yang berasal dari kejadian alam (misalnya kejadian dari aspek geoteknik dan pondasi, kegempaan, kegunungpian, hidrologi, meteorologi), maupun kejadian akibat ulah manusia (misalnya jatuhnya pesawat terbang, lepasan fluida berbahaya dan beracun, ledakan dan kejadian eksternal lainnya yang diakibatkan ulah manusia);

Lebih rinci pemohon dapat mengikuti panduan evaluasi karakteristik tapak pada Perba No. 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan keselamatan tapak instalasi nuklir [7].

### 2. Tujuan Keselamatan dan Persyaratan Desain

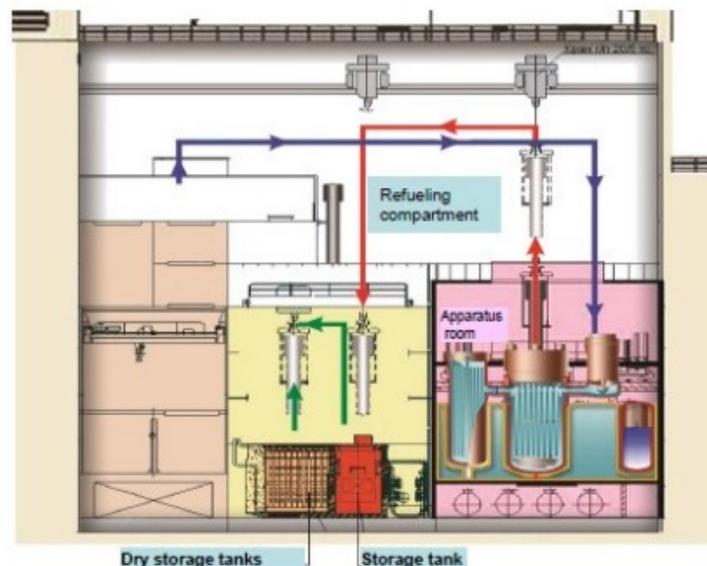
Regulasi dan ketentuan LAK untuk kapal di Rusia dan di Inggris mensyaratkan pemohon menguraikan persyaratan desain umum dan khusus, dan klasifikasi pada kapal. [5,6]. Oleh karenanya, tujuan keselamatan dan persyaratan desain yang diatur pada Perba No. 11 tahun 2020 dapat digunakan karena telah mengatur tujuan keselamatan instalasi nuklir; persyaratan umum desain; persyaratan khusus desain; klasifikasi struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan; perlindungan terhadap bahaya internal; perlindungan terhadap bahaya eksternal; kualifikasi peralatan (sistem,

struktur, dan komponen-SSK); metode desain teknis; dan kesesuaian dengan standar nasional, standar yang digunakan pabrik, dan standar internasional.

Hal penekanan yang harus diperhitungkan dalam RD terapan adalah analisis dan perhitungan desain, yang harus dilakukan pada beragam kondisi operasi, antara lain ketika operasi reaktor pertama kali (initial start-up), operasi reaktor normal dingin, operasi reaktor normal panas, operasi daya tunak, operasi kondisi beragam, kondisi abnormal, kondisi kecelakaan, kondisi padam panas dan padam dingin. Menurut Zunhong Yu (2020), RD terapan diharapkan memiliki kondisi operasi dinamis yang secara berkala dapat memenuhi persyaratan. Sehingga hasil analisis dan perhitungan desain pada beragam kondisi operasi bisa digunakan sebagai dasar utama dalam menetapkan prosedur operasi. [18]

### 3. Sistem, Struktur, dan Komponen bagian nuklir (*Nuclear Island*)

Sistem, Struktur, dan Komponen (SSK) bagian nuklir RD terapan terdiri atas Sistem Primer, Sistem Keselamatan, Sistem Penyimpanan bahan bakar baru, dan Sistem Penyimpanan bahan bakar bekas. Sistem primer dalam hal ini terdiri dari beberapa sub sistem yakni bejana reaktor, pembangkit uap (steam generator), pompa pendingin primer dan pengatur tekanan (*pressurizer*). Dari seluruh komponen ini, bejana reaktor merupakan komponen utama dari sistem primer dan SSK bagian nuklir. Hal ini dikarenakan dalam bejana reaktor terdapat teras reaktor yang menjadi sumber pembangkitan panas utama yang berasal dari bahan bakar nuklir pada teras reaktor. Teras reaktor kemudian dialiri aliran pendingin yang berfungsi untuk mengatur laju pembangkitan panas dan pendinginan dari bahan bakar nuklir. Teras reaktor juga diatur tingkat dayanya menggunakan batang kendali yang terletak di bagian atas teras reaktor [8]. Gambar 1. menunjukkan SSK nuklir (kompartemen reaktor dan bahan bakar) RD terapan berbasis KLT-40S.



Gambar 1. SSK bagian nuklir (kompartemen reaktor dan bahan bakar) pada PLTN terapan berbasis KLT-40S

Sistem keselamatan yang terdapat pada SSK bagian nuklir dalam hal ini harus mampu menjalankan fungsi keselamatan berupa pengendalian reaktivitas, pendinginan temperatur bahan bakar dan teras reaktor, serta pengungkungan lepasan material radioaktif yang terdapat pada sistem primer. Dalam sistem RD terapan, desain dari sistem keselamatan harus mempertimbangkan pengaruh dari dinamika pergerakan kapal, induksi getaran dari mesin penggerak, serta kecelakaan dasar desain kapal. Pada dasar desain ini, guncangan yang terjadi pada fluida pendingin dalam bejana reaktor akibat dinamika pergerakan kapal perlu menjadi pertimbangan tambahan dalam desain sistem primer [9].

Bejana reaktor juga perlu dimanufaktur dengan mempertimbangkan penggunaan material yang memiliki integritas material yang andal dan teruji dapat mengungkung zat radioaktif apabila sistem primer nantinya tenggelam akibat kecelakaan dasar desain [10].

Lebih lanjut Zunhong Yu (2020) mengemukakan bahwa lingkungan kerja RD terapung sangat berbeda dengan RD di darat seperti kondisi ekstrim misalnya perubahan kemiringan dan ayunan kapal pada lambung RD terapung yang disebabkan gelombang laut dan pengaruh lingkungan laut pada material kapal harus diperhitungkan. Dibandingkan dengan bejana tekan pada industri lain seperti industri petrokimia, bejana tekan RD terapung diharapkan memiliki lebih banyak fungsi khusus dan dapat tetap berfungsi pada lingkungan kerja yang lebih ekstrim seperti radiasi. Sehingga persyaratan untuk desain, manufaktur, inspeksi, pengangkutan, pemasangan, dan perawatan dan survailan bejana RD terapung lebih ketat. [18]

#### **4. Sistem Pendingin Reaktor dan Sistem Terkait**

Pipa utama pendingin reaktor adalah bagian kunci RD terapung. Sebagai bagian penting dari komponen bertekanan sistem pendingin, pipa utama ini berfungsi menghubungkan komponen utama seperti reaktor, generator uap, dan pompa utama termasuk beberapa sistem pendukung berenergi tinggi, yang membentuk untai aliran sirkulasi pendingin reaktor. Oleh karena itu, pipa utama ini disebut juga aorta sistem pendingin reaktor [18].

Sistem pendingin reaktor yang dioperasikan pada RD terapung harus mempertimbangkan pengaruh dari dinamika pergerakan kapal yang akan terjadi sepanjang masa layan sistem. Sistem pendingin dalam hal ini diharapkan tidak kehilangan keandalannya pada setiap kondisi yang ditimbulkan dari dinamika pergerakan kapal. Sistem pendingin dalam hal ini sebaiknya menerapkan sistem pendingin kalang tertutup untuk meminimalisir risiko lepasan radioaktif yang dilengkapi dengan sistem-sistem isolasi yang dibutuhkan [11].

Dibandingkan dengan RD di darat, pipa RD terapung memiliki beberapa pertimbangan: 1) Paparan radioaktivitas maupun korosi pada material pipa harus diperhitungkan karena sistem loop primer membawa media radioaktif dan beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi, 2) RD terapung beroperasi pada lingkungan laut yang terbatas dan ekstrim, dan dapat bertahan pada beban statis dan dinamis termasuk ekspansi termal, pipa pendingin diharapkan memiliki kinerja mekanis yang baik dan dapat memberikan dukungan dan sambungan ekspansi yang baik untuk mencegah dari kerusakan/kegagalan operasi, 3) Material pipa harus memiliki kinerja material baik, tahan korosi dan tahan radiasi.

Pada kondisi operasi yang merugikan ketika beroperasi, pipa utama akan terpapar tidak hanya kerusakan mekanis disebabkan kombinasi beban dan kelelahan material karena penggunaan pada durasi pendek dan tingkat beban tinggi tapi juga bahaya dari temperatur, tekanan, dan laju alir klorida tinggi, pada lingkungan laut. Konsekuensinya, dibutuhkan perhatian khusus pada teknologi desain, material dan manufaktur. Selain itu, diperlukan persyaratan lebih ketat pada keselamatan dan keandalan dari sudut pandang peningkatan umur desain. Kinerja operasi ini memiliki dampak signifikan pada operasi selamat dan keandalan RD terapung [18].

Perba 11 Tahun 2020 dapat digunakan karena telah memuat bahan, sistem pendingin reaktor dan batas tekanan pendingin reaktor, bejana reaktor, pompa pendingin reaktor/pompa resirkulasi, penukar panas utama untuk pembangkitan uap, pemipaan pendingin reaktor, dan perlengkapan inspeksi in-service dan perawatan. Namun isi sistem pendingin Perba No. 11 Tahun 2020 harus ditambahkan pertimbangan pengaruh dari dinamika pergerakan kapal, lingkungan laut serta dan dapat bertahan pada beban statis dan dinamis termasuk ekspansi termal.

#### **5. Fitur Keselamatan Teknis**

Perba No. 11 tahun 2020 mengatur terkait ketentuan fitur desain keselamatan yang harus tersedia pada dalam desain PLTN. Fitur keselamatan harus mencakup sistem pendingin teras darurat, sistem pembuangan panas sisa, sistem pengungkung, sistem pengendalian reaktivitas darurat, fitur keselamatan untuk stabilisasi corium, sistem kemampuhunian, sistem pelepasan, dan pengendalian produk fisi, serta sistem dan fitur keselamatan lainnya. Fitur-fitur keselamatan teknis ini umumnya dapat diterapkan pada RD terapung, namun pada desain sebaiknya sudah mempertimbangkan dinamika pergerakan kapal akibat dari sistem balancing dan sistem penambatan yang digunakan.

Fitur-fitur desain yang tercakup pada Perba No. 11 tahun 2020 diharapkan dapat dipenuhi oleh desain RD terapung. Salah satu desain RD terapung yakni KLT-40s memiliki fitur keselamatan inheren sebagai sistem pengendalian reaktivitas secara inheren dan sistem injeksi boron untuk keadaan darurat. Fitur keselamatan untuk sistem pendingin teras darurat dan sistem pembuangan panas sisa memanfaatkan prinsip keselamatan pasif berupa aliran sirkulasi alami pada sistem primer dan sistem keselamatan pasif yang difungsikan sebagai sistem pendinginan sehingga keselamatan desain KLT-40S dicapai dengan mengandalkan umpan balik alami dan proses-proses yang tidak memerlukan campur tangan operator, daya eksternal maupun bantuan dari tim kedaruratan untuk periode waktu tertentu yang dapat digunakan oleh personal untuk mengevaluasi keadaan dan melakukan tindakan koreksi seperlunya.

Persyaratan sistem pendukung pada Perba No. 11 tahun 2020, juga diterapkan pada KLT-40S dalam bentuk penggunaan desain lambung ganda untuk kompartemen reaktor. Desain lambung ganda dalam hal ini digunakan untuk mengungkung sistem primer serta melindungi sistem primer dari benturan dan tumbukan serta meminimalisir lepasan radioaktif ke lingkungan. [12].

Fitur keselamatan dari KLT-40S untuk mencegah dan memitigasi bahaya eksternal akibat dari dinamika pergerakan kapal berupa pemenuhan standar desain vessel dengan standar kelas maritim dan perkapalan Rusia. Dengan memenuhi standar kelas maritim dan perkapalan Rusia, KLT-40S didesain sesuai dengan kondisi tapak maritim serta mampu menahan guncangan sebesar 3g.

## 6. Sistem Instrumentasi dan Kendali

Pada bagian Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) ini, aturan dari Perba No. 11 tahun 2020 mengatur terkait SIK apa saja yang harus tercantum pada desain reaktor daya. SIK dalam hal ini mencakup arsitektur dan alokasi fungsional SIK, sistem proteksi reaktor, sistem aktuasi fitur keselamatan, sistem pemadaman selamat reaktor, sistem informasi, sistem kendali, sistem interlock, sistem SIK beragam, ruang kendali utama, ruang kendali darurat, sistem komunikasi data, serta desain SIK digital. Ketersediaan sistem-sistem yang disyaratkan dalam persyaratan SIK dalam hal ini harus dapat dipenuhi oleh RD terapung. Hal ini karena SIK merupakan komponen utama untuk melaksanakan operasi dan kendali dari RD terapung.

Desain SIK pada KLT-40S dan ACPR50S dalam hal ini sudah mencakup persyaratan-persyaratan SIK pada Perba No. 11 tahun 2020. Akan tetapi, dalam proses evaluasi dan verifikasi terdapat beberapa hal yang harus menjadi perhatian badan pengawas untuk dapat menjamin keselamatan operasi, yaitu lokasi fisik dan reduksi komponen, perkabelan dan peralatan harus sedemikian sehingga instrumentasi sistem proteksi reaktor akan tetap dapat beroperasi jika terjadi kebakaran yang berasal dari kejadian tunggal atau kecelakaan kapal atau reaktor lainnya. [4]

Di samping itu, pada SIK RD terapung diharapkan memperhatikan karakteristik tapak dari pantai atau laut di lokasi. Pertimbangan ini penting untuk memastikan keandalan operasi SIK dalam menghadapi korosi dan getaran yang diakibatkan oleh dinamika pergerakan kapal, integrasi sistem komunikasi, pemantauan, dengan sistem kegawatdaruratan [12].

Karakteristik lingkungan laut harus dipertimbangkan dalam desain sistem. Kemiringan kapal, ayunan, getaran, dan kondisi tahan guncangan serta pengaruh kondisi atmosfer laut seperti kabut garam dan jamur harus dipertimbangkan dalam mendesain sistem instrumentasi dan kendali [18].

Keandalan yang cukup tinggi harus dipertimbangkan dalam desain SIK. Selain penggunaan fungsi redundan yang dipertimbangkan dalam desain kelas keselamatan SIK, persyaratan keandalan untuk SIK RD terapung juga tercermin dalam beberapa aspek seperti konfigurasi redundan dari peralatan atau perangkat yang mengimplementasikan fungsi keselamatan yang cukup penting dan pengurangan fungsi komponen.

Ruang pengaturan RD terapung terbatas, sehingga peralatan dan SIK harus memenuhi persyaratan perawatan dengan pengaturan yang ringkas dan pemanfaatan ruang kompartemen yang efektif.

## 7. Sistem Catu Daya Listrik

Perba No. 11 tahun 2020 mengatur tentang prinsip umum dan pendekatan desain, sistem catu daya listrik luar tapak, sistem catu daya listrik arus bolak balik dan searah di tapak, peralatan listrik, kabel dan penjalurannya, pentanahan, penangkal petir, dan kompatibilitas elektromagnetik.

Praktik persyaratan desain kapal di Rusia dan Jerman menunjukkan bahwa pada bagian ini harus ditunjukkan aktivasi sistem proteksi darurat dapat dilakukan untuk mencegah hilangnya kemampuan manuver kapal apabila terjadi kegagalan pada komponen sistem catu daya listrik. Dalam hal ini perlu didemonstrasikan bahwa lokasi sistem catu daya listrik beserta switchboard utama di kapal telah dilakukan proteksi yang memadai terhadap pengaruh eksternal.[5,6]

Sistem catu daya listrik sendiri perlu dirancang dengan memperhatikan proteksi komponen-komponen utamanya terhadap korosi dari lingkungan laut dan getaran dari dinamika pergerakan kapal. Selain itu, proteksi sistem catu daya listrik terhadap banjir juga perlu diperhatikan agar keandalannya tetap dipertahankan di semua kondisi operasi.

Dengan demikian, pada bagian ini selain pemenuhan Perba No. 11 tahun 2020 perlu ditambahkan klausul mengenai aktivasi sistem proteksi darurat dan keandalan yang memperhitungkan faktor korosi dari lingkungan laut dan getaran dari dinamika pergerakan kapal.

## 8. Sistem Pendukung

Perba No. 11 Tahun 2020 memuat informasi mengenai sistem penanganan dan penyimpanan bahan bakar, sistem air, sistem sampling proses dan paska kecelakaan, sistem udara dan gas, sistem ventilasi, dan pengkondisi udara, sistem proteksi kebakaran, sistem pendukung untuk pembangkit diesel atau untuk pembangkit turbin gas, dan sistem pendukung lainnya.

Diacu dari referensi [18] bahwa persyaratan keselamatan teknologi pengisian bahan bakar lebih tinggi dari RD di darat karena bahan bakar RD terapung akan digunakan untuk waktu yang lama, memperhitungkan pengaruh fluktuasi permukaan air, penyalarsan dan pemosisian pengisian bahan bakar reaktor harus lebih akurat; karena transmisi bahan bakar harus melewati atmosfer, persyaratan untuk perisai lebih tinggi. Oleh karena itu, dibandingkan dengan pemuatan bahan bakar di PLTN, pengisian bahan bakar reaktor laut harus mengadopsi teknologi khusus dengan persyaratan keselamatan lebih ketat. Dengan demikian, informasi sistem pendukung dalam Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan, namun tetap memerlukan tambahan persyaratan keselamatan yang lebih ketat.

## 9. Sistem Konversi Energi

Sistem konversi energi RD, terdiri dari sistem suplai uap utama, sistem air umpan, sistem turbin-generator, sistem turbin-kondensor, sistem pemrosesan blowdown pembangkit uap, serta sistem pemipaan dan katup.

Desain sistem konversi energi RD terapung sebaiknya dirancang dengan mempertimbangkan resiliensi sistem dan material terhadap lingkungan laut dan pantai. Perlindungan, proteksi, serta pemeliharaan sistem dan komponen dari korosi dan biofouling untuk mencegah tumbuhnya organisme laut terutama pada komponen/sistem konversi energi yang berada terendam di laut. Selain itu, sistem konversi energi sebaiknya didesain dengan mempertimbangkan juga sistem penambatan dari kapal atau vessel yang digunakan. Pertimbangan ini ditujukan untuk mengakomodir beban dinamik yang ditimbulkan dari gelombang dan pergerakan kapal [13].

Dalam mendesain sistem konversi energi pada RD terapung, pertimbangan yang sama yang diterapkan pada pertimbangan sistem konversi energi sebaiknya diterapkan. Pada sistem konversi energi, sistem-sistem penting seperti turbin, generator, dan kondensor perlu didesain untuk sesuai dengan lingkungan kapal dan tapak. Pada turbin, kelurusan dan stabilitas turbin terhadap dinamika gerakan kapal perlu menjadi pertimbangan. Generator listrik dalam hal ini perlu dilengkapi dengan proteksi komponen generator terhadap korosi dan memastikan bahwa insulasi elektrik tetap utuh. Untuk kondenser

sendiri, perlindungan dari biofouling pada kondenser untuk membuang panas ke lingkungan perlu menjadi pertimbangan dalam mendesain sistem konversi energi [8].

## 10. Gedung dan Struktur

Perba No. 11 Tahun 2020 memberikan aturan terkait gedung dan struktur pada reaktor daya berbasis darat. Kapal atau *vessel* yang digunakan pada RD terapung dalam hal ini dapat mengadopsi ketentuan-ketentuan yang terdapat pada peraturan ini dalam hal; ketentuan ventilasi; struktur, pembagian dan stabilitas kerusakan; proteksi tabrakan; alat bantu navigasi dan kemampuan manuver; proteksi kebakaran; keamanan kapal dan perlindungan fisik bahan fisil; bukaan akses; dan sistem uap uap non-propulsif. Pada laporan analisis keselamatan, sebaiknya terdapat informasi detail terkait desain kapal dan karakteristik teknisnya berupa: deskripsi kelas kapal, tujuan utamanya dan tipe arsitektural dan strukturalnya; struktur lambung kapal; perlengkapan lambung kapal; dan deskripsi teknis desain untuk reaktor daya, serta pelabuhan. [14]

Dalam pengoperasian RD terapung, dibutuhkan adanya pelabuhan dan bangunan penunjang lainnya. Dalam merancang pelabuhan dan bangunan lainnya sebagai penunjang operasi RD terapung terdapat Faktor-faktor keselamatan yang perlu dipertimbangkan, yakni informasi jalur pelayaran di sekitar pelabuhan, pasang surut air laut dan batimetri, serta akses utilitas ke lokasi pelabuhan [15].

## 11. Pengelolaan Limbah Radioaktif, dan Aspek Lingkungan.

RD terapung dalam operasionalnya memiliki risiko keselamatan nuklir dan keselamatan maritim. Sehingga dalam pembangunan, pengoperasian, dan pengembangannya RD terapung menghadapi lebih banyak tantangan keselamatan dan lingkungan dibandingkan dengan PLTN darat.

Operasi harian, perawatan, dan pengisian bahan bakar RD terapung dapat menghasilkan bahan bakar bekas dan limbah radioaktif. Limbah radioaktif memiliki efek bervariasi, yang utama terserap oleh organisme laut dan menjadi terkonsentrasi pada siklus rantai makanan, dan mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, dan kematian kehidupan laut [16]. Sebagian besar kerusakan lingkungan yang disebabkan industri nuklir berasal dari pengisian bahan bakar dan pembuangan bahan bakar bekas dan limbah radioaktif [17]. Di samping itu, operasi harian RD terapung dapat mempengaruhi lingkungan laut di sekitarnya karena potensi pelepasan radiasi tingkat rendah dan pembuangan panas. Polusi termal RD terapung dapat mempengaruhi flora, fauna, dan ekosistem laut di perairan terdekat akibat perubahan suhu air.

Ketentuan pengelolaan limbah radioaktif dalam Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan. Pada bagian ini harus diuraikan upaya pemohon mengantisipasi pengelolaan limbah padat, cair, dan gas. Penyimpanan, pemrosesan di kapal (jika ada) dan fasilitas transportasi serta pipa pembuangan bahan limbah radioaktif harus dirancang, dibangun, dioperasikan, dirawat dan disurvei dengan standar tinggi yang sepadan dengan implikasi keselamatannya sehingga lepasan zat radioaktif yang tidak terkendali ke lingkungan atau ke kompartemen lain di kapal dapat dicegah. Limbah radioaktif selain limbah yang diolah milik kapal tidak boleh dibawa ke atas kapal kecuali diangkut sebagai kargo sesuai dengan perjanjian internasional yang diterima. [5,6]

## 12. Proteksi dan Keselamatan Radiasi

Proteksi radiasi RD terapung memiliki karakteristik sebagai berikut: (1) keterbatasan ruang, berat, dan dimensi. Fitur teknologi proteksi radiasi dengan ukuran kecil dan ringan harus diadopsi sedapat mungkin, seperti penggunaan bahan perisai khusus dan instrumen pemantauan radiasi; (2) RD terapung memiliki kondisi operasi yang bervariasi. Perlu adanya pertimbangan dalam analisis suku sumber dan zonasi radiasi. Kapal bertenaga nuklir memiliki berbagai kondisi operasi. Perubahan laju aliran pendingin primer yang disebabkan oleh peningkatan dan penurunan daya mempengaruhi variasi intensitas medan radiasi dalam zonasi yang sama; (3) Kompatibilitas elektromagnetik dari instrumen pemantauan proteksi radiasi yang sesuai harus dipertimbangkan karena terbatasnya ruang sehingga peralatan disusun secara kompak; (4) Desain struktur pelindung dan instalasi peralatan harus memperhitungkan daya dukung dalam kondisi miring, berayun, atau benturan karena instalasi beroperasi di lingkungan laut [18].

Perisai RD terapung umumnya dibagi menjadi dua bagian: perisai primer dan perisai sekunder. Perisai primer adalah perisai yang paling penting dan langsung berkaitan dengan radioaktivitas teras untuk mengurangi tingkat dosis radiasi di sekitar reaktor ke tingkat yang dapat diterima. Perisai primer juga digunakan untuk mencegah paparan berlebihan pada peralatan dan instrumen di sekitar reaktor. Selain itu, perisai primer berfungsi untuk mengurangi berat total perisai dan menghindari kesulitan manuver kapal. Perisai sekunder sendiri berfungsi melindungi sinar radiasi yang lewat dari perisai primer agar terjamin keselamatan radiasi pekerja di luar perisai sekunder.

Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan dengan menguraikan evaluasi radiologi termasuk sumber paparan, perkiraan dosis yang diterima, tindakan proteksi untuk optimisasi, kajian keselamatan, dan deskripsi fasilitas, namun tetap memperhitungkan karakteristik proteksi radiasi di RD terapung.

### 13. Pelaksanaan Operasi

Perba No. 11 Tahun 2020 memuat informasi mengenai organisasi pengoperasi, pelatihan, implementasi keselamatan operasi, prosedur dan pedoman, dan antarmuka keselamatan dan keamanan.

Peraturan klasifikasi dan konstruksi kapal nuklir dan fasilitas terapung Rusia, 2022 [19], menguraikan bahwa dalam kondisi operasi selamat kapal nuklir dan fasilitas terapung berisi kondisi batas untuk mengoperasikan kapal dan fasilitas terapung, survei dan inspeksi (interval, lingkup rekaman dan pengujian) termasuk pelaksanaan perawatan, manual pengoperasian dan pedoman organisasi, dan organisasi dan garis subordinasi dan tanggung jawab, kelaiklautan awal kapal (kualifikasi dan jumlah), serta prosedur operasi kondisi normal, darurat, dan kecelakaan.

Penyusunan prosedur operasi harus dipastikan diperoleh dari hasil analisis dan perhitungan desain reaktor yang telah memasukkan beragam kondisi operasi reaktor pertama kali (initial start-up), operasi reaktor normal dingin, operasi reaktor normal panas, operasi daya tunak, operasi kondisi beragam, kondisi abnormal, kondisi kecelakaan, kondisi padam panas dan padam dingin. [18]

Dalam melaksanakan operasional RD terapung, regulasi terkait *flag states* kapal dan *port states* tapak atau pelabuhan perlu menjadi perhatian baik bagi pemohon izin dan badan pengawas. *Flag states* dalam regulasi *International Maritime Organization (IMO)* mengacu pada standar dan yurisdiksi yang berlaku pada kapal atau vessel RD terapung. RD terapung harus mematuhi dan memenuhi regulasi dan peraturan negara RD terapung yang diregistrasikan atau dimiliki oleh pemohon izin. Di Indonesia sendiri, kapal atau vessel dapat menggunakan *flag states* Indonesia apabila pemilik atau mayoritas pemilik kapal adalah entitas perusahaan Indonesia. Regulasi *port states* sendiri memberikan otoritas kepada negara tempat kapal atau vessel bersandar untuk dapat dilakukan inspeksi bahwa kapal atau vessel telah memenuhi kaidah keselamatan maritim internasional [20].

Pada penggunaan RD terapung di Indonesia, untuk menjamin keberlanjutan operasionalnya, kapal atau vessel yang digunakan pada RD terapung sebaiknya menggunakan bendera Indonesia sebagai *flag states*. Hal ini dikarenakan untuk kapal atau vessel dengan fungsi khusus yang berbendera asing, tidak diperbolehkan untuk beroperasi di Indonesia selama lebih dari dua tahun [21].

Dengan demikian Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan dengan menambahkan persyaratan khususnya mengenai antara lain *flag states* kapal dan *port states* tapak untuk operasional RD terapung.

### 14. Analisis Keselamatan

Untuk mencegah kecelakaan, serangkaian prinsip keselamatan harus diikuti mulai dari desain hingga operasi, seperti desain yang rasional, peralatan yang handal, prosedur operasi yang matang, dan budaya keselamatan yang baik dari personil yang beroperasi. Meskipun demikian, potensi kecelakaan di RD terapung ini tidak dapat dihilangkan dengan semua upaya tersebut.

Oleh karena itu, selama desain juga harus memperhitungkan kecelakaan parah dengan tepat dengan beberapa fitur keselamatan dirancang untuk mencegah kecelakaan dan mengurangi konsekuensinya. Setiap fitur keselamatan teknis dikhususkan untuk kecelakaan dengan pengendalian tertentu. Analisis

deterministik kemampuan kendali dilakukan untuk memastikan bahwa fitur tersebut memiliki margin desain yang memadai.

Analisis kecelakaan merupakan bagian penting dari desain keselamatan RD terapung. Analisis kecelakaan bertujuan untuk mempelajari perilaku RD terapung dalam kondisi kegagalan, dan hasil analisis digunakan sebagai dasar desain fitur keselamatan RD terapung, dan untuk menilai keselamatan reaktor nuklir dalam kondisi kegagalan, yaitu untuk menentukan apakah tiga fungsi keselamatan reaktor nuklir tersedia, yaitu pengendalian reaktivitas, pembuangan panas sisa reaktor, dan pengungkungan produk radioaktif.

Analisis kecelakaan harus mencakup informasi mengenai: a. kinerja RD terapung dalam kondisi terantisipasi; b. fitur keselamatan kecelakaan dasar desain; dan c. urutan kejadian yang dapat menyebabkan kecelakaan parah. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kemampuan untuk mencegah kejadian awal terpostulasi dan kecelakaan, serta memverifikasi keefektifan sistem keselamatan dan SSK atau sistem yang terkait dengan keselamatan, dan mempersiapkan prosedur tanggap darurat.

RD terapung memiliki metode dan muatan analisis kecelakaan yang serupa dengan RD di darat. Namun, dikarenakan adanya perbedaan besar antara lingkungan dan konfigurasi sistem keselamatan antara RD terapung dan RD di darat, maka terdapat perbedaan dalam upaya mitigasi dan penanganan kecelakaan. RD terapung berada di laut dalam jangka panjang sehingga instalasi tersebut hanya bergantung pada sistem dan peralatan di kapal tersebut dalam hal penanganan dan mitigasi kecelakaan tanpa dukungan sumber listrik, air maupun lainnya. [18]

## 15. Batasan dan Kondisi Operasi (BKO)

Praktik regulasi kapal di Rusia pada referensi [5] menunjukkan bahwa isi BKO selamat serta batas operasi yang ditetapkan dalam desain untuk sistem keselamatan dan sistem terkait keselamatan serta untuk kapal reaktor daya harus tersedia harus berdasarkan pada analisis keselamatan kapal reaktor daya sesuai dengan ketentuan yang ditentukan dalam desain. Lebih rinci dalam referensi [19], muatan BKO meliputi data desain awal mendefinisikan karakteristik dan parameter sistem, serta kondisi eksternal yang diperlukan untuk mencapai karakteristik yang ditentukan, spesifikasi sistem meliputi: 1) fungsi, 2) parameter operasi normal dan ekstrim, 3) karakteristik bahan, 4) tata letak struktural, 5) inspeksi dan pengujian dalam layanan, 6) perawatan, 7) hasil analisis kekuatan, 8) hasil perhitungan termal dan hidrolis.

Oleh karena itu BKO Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan karena juga telah memuat informasi mengenai: 1) batas keselamatan; 2) pengesetan sistem keselamatan; 3) kondisi batas untuk operasi; 4) persyaratan surveilan; dan 5) persyaratan administratif.

## 16. Sistem Manajemen

Sistem Manajemen adalah sekumpulan unsur yang saling terkait atau berinteraksi untuk menetapkan kebijakan dan sasaran, serta memungkinkan sasaran tersebut tercapai secara efisien dan efektif, dengan memadukan semua unsur organisasi yang meliputi struktur, sumber daya, dan proses. Pada bagian Sistem Manajemen ini, aturan dari Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan, tidak hanya pada bagian reaktor saja, tetapi juga diterapkan pada desain kapal. Secara lebih rinci format dan isi Dokumen Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, dapat menggunakan Perba No. 6 Tahun 2023.

## 17. Dekomisioning

Manajemen sepanjang hidup RD terapung meliputi seluruh proses penelitian dan desain, fabrikasi dan manufaktur, operasi, Perbaikan dan pengisian bahan bakar selama masa operasi, hingga penghentian setelah selesainya operasi. RD terapung harus didekomisioning ketika masa pakai desainnya tercapai, yaitu pada umur 30-40 tahun.

RD terapung mempunyai biaya tinggi, proses manufaktur yang rumit, dan siklus yang panjang. Oleh karena itu, dalam pemanfaatannya seringkali hingga umur maksimum desain bahkan diperpanjang setelah masa pakai desain berakhir, dengan tetap melakukan inspeksi, analisis keselamatan dan keandalan serta evaluasi peralatan utama reaktor (seperti bejana tekan reaktor dan bagian dalam serta komponen lain yang tidak dapat diganti), termasuk upaya perbaikan atau penggantian.

Akan tetapi, meskipun RD terapung ini masih dalam masa pakai desainnya, ketika SSK yang penting untuk keselamatan mengalami korosi atau kerusakan parah, atau ketika biaya perbaikannya cukup tinggi dan perbaikannya tidak dapat menjamin kinerjanya, instalasi tersebut harus didekomisioning sebelum masa pakainya berakhir.

Karena SSK reaktor, sistem pendingin reaktor, dan sistem pendukungnya laut bersifat radioaktif, maka kegiatan dekomisioning menjadi proyek yang sangat sulit, rumit secara teknis, dan secara sistematis melibatkan banyak disiplin ilmu, yang terkait erat dengan keselamatan paparan radiasi pekerja dan masyarakat serta keselamatan lingkungan, dan membutuhkan penanganan zat radioaktif yang komprehensif [18].

Dari pembahasan di atas, secara umum Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan. Meskipun begitu, terdapat faktor-faktor lain yang penting untuk diperhitungkan untuk diakomodasi dalam Perba tersebut. Faktor tersebut meliputi lokasi RD terapung yang secara normal selalu bergerak di permukaan laut karena gelombang laut, kondisi operasi dinamis untuk memenuhi persyaratan operasi, faktor korosi dan pengaruh lingkungan laut pada material kapal, kerusakan mekanis disebabkan kombinasi beban dan kelelahan material karena penggunaan pada durasi pendek dan tingkat beban tinggi tapi juga bahaya dari temperatur, tekanan, dan laju alir klorida tinggi, pada lingkungan laut, kompartemen SSK yang ringkas, kebutuhan pelabuhan dan bangunan penunjang lainnya, kelaiklautan awal kapal, persyaratan *flag states* kapal dan *port states*, upaya mitigasi dan penanganan kecelakaan, serta pengelolaan dekomisioning. Di samping itu, perlu penambahan persyaratan keselamatan termasuk persyaratan untuk desain, manufaktur, inspeksi, pengangkutan, pemasangan, dan perawatan dan survailan terutama SSK yang penting untuk keselamatan.

## Kesimpulan

1. Perba No. 11 Tahun 2020 dapat digunakan oleh pemohon izin dalam menyusun LAK tahap konstruksi. Meskipun demikian persyaratan keselamatan lebih ketat harus ditambahkan dalam hal stabilitas kapal karena gelombang laut, kondisi operasi dinamis untuk memenuhi persyaratan operasi, faktor korosi dan pengaruh lingkungan laut pada material kapal, kerusakan mekanis disebabkan kombinasi beban dan kelelahan material karena penggunaan pada durasi pendek dan tingkat beban tinggi tapi juga bahaya dari temperatur, tekanan, dan laju alir klorida tinggi, pada lingkungan laut, kompartemen SSK yang ringkas, kebutuhan pelabuhan dan bangunan penunjang lainnya, kelaiklautan awal kapal, persyaratan *flag states* kapal dan *port states*, upaya mitigasi dan penanganan kecelakaan, serta pengelolaan dekomisioning.
2. Diperlukan penambahan persyaratan keselamatan dalam desain, manufaktur, inspeksi, pengangkutan, pemasangan, dan perawatan dan survailan terutama pada SSK yang penting untuk keselamatan.
3. Diperlukan upaya harmonisasi dan integrasi antara persyaratan keselamatan reaktor dan persyaratan keselamatan kapal.

## Daftar Pustaka

- [1] <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2022/04/pln-resmi-operasikan-bmpp-nusantara-1-pembangkit-terapung-pertama-buatan-indonesia>
- [2] International Atomic Energy Agency (2022), *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), Vienna.

- [3] Laporan Hasil Kajian P2STPIBN, Kajian Teknis Tentang Keselamatan dan Keamanan PLTN Generasi III+ dan IV, Sub Kajian Kajian Teknologi Keselamatan dan Keamanan PLTN Terapung, Jakarta, 2016
- [4] BAPETEN (2020) Peraturan Badan No 11 Tahun 2020 Tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya, Jakarta
- [5] Federal Rules and Regulations (2000) *the Area of Atomic Energy Use Requirements to the Safety Analysis Report for Ship Nuclear Power Units, NP-023-2000*, Rusia, <https://www.secnrs.ru/science/development/english/?doc=5695>
- [6] *Nuclear-Ship Code Code of safety for nuclear merchant ships* - Res. A.491(XII) [https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC\\_3002\\_14/1/](https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_3002_14/1/)
- [7] BAPETEN (2018) Peraturan Badan No 4 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir, Jakarta
- [8] International Atomic Energy Agency, Status Report 73 - KLT-40S, IAEA, Vienna, 2013.
- [9] I. Gusti Bagus Awienandra, Alexander Agung, Mondjo; *Thermal hydraulics analysis of KLT-40S floating nuclear power plant in rolling – Heaving and pitching – Heaving motion at various sea state condition with RELAP5 – 3D code*. AIP Conf. Proc. 6 April 2020; 2223 (1): 030001
- [10] Zhang, Y., Buongiorno, J., Golay, M., & Todreas, N. (2018). *Safety Analysis of a 300-MW(electric) Offshore Floating Nuclear Power Plant in Marine Environment*. Nuclear Technology, 203(2), 129–145. <https://doi.org/10.1080/00295450.2018.1433935>
- [11] Yenivatov, V., Fedorovsky, K., Zhelezniak, A., & Bordyug, A. (2017). *Increasing efficiency safety of cooling systems in a floating nuclear power plant*. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 803, No. 1, p. 012182). IOP Publishing
- [12] Phull, B., & Abdullahi, A. A. (2017). Marine corrosion
- [13] Satpathy, K. K., Mohanty, A. K., Sahu, G., Biswas, S., Prasad, M. V. R., & Sivanayagam, M. (2010). *Biofouling and its control in seawater cooled power plant cooling water system-a review*. Nuclear power, 191-242
- [14] Lee, K. H., Kim, M. G., Lee, J. I., & Lee, P. S. (2015). *Recent advances in ocean nuclear power plants*. Energies, 8(10), 11470-11492
- [15] Xiao, J., Xu, X., Zhang, H., & Peng, C. (2023). *A method for hazard analysis of a floating nuclear power plant subjected to ship collision*. Annals of Nuclear Energy, 190, 109870
- [16] Qiuwen Wang et al, *The Development of Floating Nuclear Power Platforms: Special Marine Environmental Risks, Existing Regulatory Dilemmas, and Potential Solutions, Sustainability* 2023, 15, 3022. <https://doi.org/10.3390/su15043022>.
- [17] Molinari, E. *A New Vessel on the Block: How the Law of the Sea Applies to Floating Nuclear Power Plants*. 2020. Available online: <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/20089/thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y> .
- [18] Junchong Yu, *Marine Nuclear Power Technology*, Nuclear Power Institute of China, Chengdu, Sichuan, China, ISBN 978-981-15-2893-4, <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2894-1>
- [19] Russian Maritime Register of Shipping. (2022). *Rules For The Classification And Construction of Nuclear Ships and Floating Facilities*, ND No. 2-020101-168-E , St. Petersburg.
- [20] Honniball, A. N. (2016). *The exclusive jurisdiction of flag states: a limitation on pro-active port states?*. The International Journal of Marine and Coastal Law, 31(3), 499-530
- [21] Kementerian Perhubungan. 2023. *Persetujuan penggunaan kapal asing*. disampaikan dalam Rapat Koordinasi Forum Regulator Energi Nuklir 6 Juni 2023



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Kinetika Adsorpsi Uranium Sulfat Menggunakan Resin Anion

Dwi Luhur Ibnu Saputra<sup>1</sup>, Yuli Purwanto<sup>1</sup>, Jaka Racmadetin<sup>1</sup>, Risdiyana Setiawan<sup>1</sup>, Nurhayati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pusat Riset Teknologi Bahan Nuklir dan Limbah Radioaktif*  
<sup>2</sup>*Universitas Satya Negara Indonesia*

Korespondensi penulis  
dwil004@brin.go.id

### Abstrak

Uranium cair dihasilkan dari ekstraksi yang mengandung sedikit uranium dan banyak radionuklida hasil belah, serta fase rafinat yang didominasi radionuklida hasil belah dan uranium. Uranium cair tersebut perlu dilakukan pengolahan karena masih dapat diambil dan digunakan kembali dengan cara pemisahan menggunakan proses adsorpsi berdasarkan interaksi ikatan ionnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kapasitas adsorpsi dan mengetahui kinetiknya. Telah dilakukan penelitian adsorpsi uranium cair yang terkompleks Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menggunakan resin amberlite IRA 400 – Cl. Hasil parameter optimum didapatkan berat pengkompleks sebesar 0,12 gr setara dengan 0,05 mg/L dan pH 4. Analisis yang digunakan menggunakan spektrometer UV Vis dengan pengkompleks arsenazo III. Kapasitas serap yang didapat sebesar 21,52 mg/g dengan konstanta laju adsorpsi menunjukkan orde pseudo 1 sebesar 0,0225694 g/mg min. Efisiensi adsorpsi resin anion tersebut sangat baik dalam pengolahan uranium cair.

**Kata Kunci:** uranium cair, amberlite IRA 400 – Cl, pertukaran ion, kinetika adsorpsi

### Abstract

Liquid uranium produced from the extraction contains amount a small of uranium and a lot of fission radionuclides, and also the raffinate phase which is dominated by fission radionuclides and uranium. Liquid uranium must be processed because it can still be taken and reused by separating it using an adsorption process based on ionic bond interactions. The aims of present study was to determine adsorption capacity and kinetics. Research has been carried out on the adsorption of liquid uranium complexed with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> using amberlite IRA 400 – Cl. The optimum parameter results obtained were a complexing weight of 0.12 gr, equivalent to 0.05 mg/L, and a pH of 4. The analysis used a UV Vis spectrometer with arsenazo III complexes. The absorption capacity obtained was 21.52 mg/g with the adsorption rate constant showing pseudo 1st order of 0.0225694 g/mg min. The adsorption efficiency of the anion resin is very good in treatment liquid uranium.

**Keywords:** liquid uranium, amberlite IRA 400 – Cl, ion exchange, adsorption kinetics.

### Pendahuluan

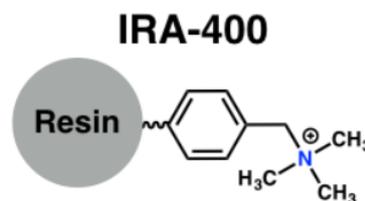
Teknologi nuklir memiliki banyak manfaat dan merupakan komponen penting dalam mensejahterakan masyarakat. Pada kedokteran nuklir digunakan isotop Mo<sup>99</sup> untuk diagnosis penyakit seperti fungsi hati, ginjal dan tumor di rumah sakit. Isotop Mo<sup>99</sup> tersebut dihasilkan dari reaksi uranium-235 dengan neutron di dalam reaktor nuklir G.A Siwabessy. Bahan bakar nuklir uranium-235 akan mengalami reaksi fisi menjadi hasil belah seperti Mo<sup>99</sup>, sedangkan uranium-235 mengalami reaksi aktivasi neutron menjadi unsur – unsur aktinida [1]. Radionuklida molibdenum-99 diambil melalui proses CINTICHEM yaitu pelarutan target setelah pendinginan dan proses ekstraksi untuk pengambilan molibdenum-99

dengan menggunakan larutan  $Al_2O_3$  [2]. Uranium dalam larutan dipisahkan secara ekstraksi menggunakan pelarut tributyl fosfat dodekan [3]. Hasil dari sisa proses ekstraksi siklus II yaitu fase ekstrak yang sedikit mengandung uranium dan banyak radionuklida hasil belah, serta fase rafinat yang didominasi radionuklida hasil belah dan uranium [4]. Uranium cair tersebut masih dapat digunakan dengan cara pemisahan dari unsur – unsur hasil belah. Oleh karena itu dalam proses tersebut perlu dilakukan pengelolaan uranium cair agar uranium tersebut dapat diambil kembali dari proses ekstraksi yang telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini melakukan pengambilan kembali uranium konsentrasi rendah dari hasil belah yang terkandung dalam sisa hasil ekstraksi tersebut dengan resin penukar anion.

Peraturan Pemerintah nomor 61 tahun 2013 mengatur bahwa badan pelaksana wajib melakukan pengolahan limbah radioaktif yang ada di Indonesia [5]. Kebijakan dan strategi pemerintah dalam pengolahan limbah radioaktif dilakukan manajemen pengelolaan limbah radioaktif agar menghindari masalah yang akan datang [6]. Oleh karena itu badan pelaksana yang dikelola oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) harus diawasi dalam oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) memiliki fasilitas pengolahan limbah cair radioaktif berupa evaporator dan kolom resin penukar kation yang berada di IPLR [7] akan tetapi pengolahan limbah cair mengandung uranium hanya dilakukan skala penelitian.

Pengolahan limbah radioaktif cair dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti, pengendapan, pertukaran ion, adsorpsi, evaporasi, reverse osmosis, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi dan pelarut ekstraksi [8]. Beberapa metode pengolahan limbah tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. Metode adsorpsi dengan modifikasi resin pertukaran ion banyak dilakukan karena sudah terbukti memiliki kapasitas serap yang tinggi [9].

Penukar ion ini terdiri dari makropori berbentuk butiran penukar ion polimer yang mengandung partikel submikron oksida logam polivalen yang tersebar secara merata dan tidak dapat diubah. Resin yang digunakan adalah resin amberlite yang merupakan katalis heterogen dan telah digunakan terbukti menjadi katalis padat yang efektif. Salah satu contohnya adalah resin amberlite IRA-400 Cl yang terdiri dari ikatan silang divinil benzena dimana garam amonium kuaterner dari inti polistiren digunakan sebagai katalis [10]. Resin berbahan dasar stirena/divinil benzena tersebut dapat dilihat pada Gambar 1[11].



Gambar 1. Struktur Divinil Benzena

Resin penukar anion yang sering digunakan mempunyai gugus amina primer ( $R-NH_2Cl$ ), sekunder ( $R_2-NHCl$ ) atau tertier ( $R_3-NCl$ ), yang secara umum ditulis sebagai  $R-Cl$ . Resin penukar anion ini dibagi menjadi resin penukar anion basa kuat dan basa lemah. Resin penukar anion basa kuat berisi gugus amina kuaterner sebagai spesies fungsional. Resin basa kuat mempunyai kemampuan memindahkan gugus amonium kuartner dan semua anion. Jenis resin basa kuat dapat dibagi menjadi resin berbasis nama dagang, yaitu *dowex – 1*, *permutit S – 1*, *amberlite IRA 450*, *amberlite IRA 400 Cl*, *purolite A – 400* [12], sedangkan karakteristik resin amberlit IRA- 400 dapat dilihat pada Tabel 1 [13].

Tabel 1. Karakteristik resin amberlit IRA- 400 Cl

Parameter	Keterangan
Bahan resin	Polystyrene DVB
Functional group	-N+R3
Ion	Cl-
Kapasitas pertukaran	2.6-3 eq kg <sup>-1</sup>
Ukuran	0.3-0.9 mm
Temperatur proses	80°C (maximum)
range pH	0-14
Kelembapan	40-47%
Warna	Kuning pucat transparan

Uranium dapat membentuk kompleks anionik seperti, uranil karbonat, uranil fosfat, uranil dan uranil sulfat[14]. Uranium konsentrasi rendah, hasil belah dan aktinida dalam bentuk kation merupakan limbah cair yang dikomplekskan dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk mengubah uranium oksida dalam bentuk kation menjadi senyawa anion. Penambahan ion sulfat dari natrium sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dalam larutan akan bereaksi dengan uranium sebagai berikut. [15]



Persamaan reaksi di atas menunjukkan bahwa penambahan ion sulfat pada reaksi (2) dan (3) akan membentuk berturut-turut senyawa anion kompleks uranium sulfat  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$  dan  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  [16].

## Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi dengan pengkompleks uranium sulfat dengan cara *batch* pada suhu kamar.

### 1. Bahan dan Alat yang Digunakan

Limbah simulasi yang digunakan adalah  $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  buatan Merck, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> buatan Merck untuk pengkompleks limbah uranium, resin amberlit IRA – 400 Cl dari Rohm & Haas Co untuk penukar anion, arsenazo III untuk pengkompleks pada analisis uranium. Alat analisis yang digunakan adalah spektrometer UV – Vis.

### 2. Prosedur Penelitian

#### 1) Penentuan Komposisi Pengkompleks Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> secara *batch*

Penentuan komposisi umpan dilakukan dengan melarutkan limbah yang berkonsentrasi 50 mg/l uranium dan pengkompleks Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan berbagai berat 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16; 0,17; 0,18; 0,19 dan 2,0 gram. Komposisi umpan dicampurkan dengan resin amberlite IRA – 400 Cl sebanyak 0,1 gram ke dalam 250 ml selama 120 menit.

## 2) Penentuan pH Umpan Optimum

Penentuan pH umpan yang digunakan adalah 2; 3; 4; 5; 7; 9 dan 11 dalam larutan umpan yang mengandung 50 mg/L dan konsentrasi optimal dari Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dicampur dengan resin amberlit IRA – 400 Cl sebanyak 0,1 gram ke dalam 250 ml.

## 3) Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak dilakukan dengan mengambil kondisi optimum dari konsentrasi Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan pH optimum dalam 0,1 gram resin *amberlite* IRA – 400 Cl ke dalam 250 ml dengan waktu kontak 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 110; dan 120 menit. Proses adsorpsi dengan menghitung efisiensi penyerapan dengan persamaan.

$$Efisiensi = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100 \%$$

dimana  $C_o$  dan  $C_e$  masing-masing adalah konsentrasi awal dan kesetimbangan adsorbat, keduanya dalam mg/L. Nilai kapasitas serapan dapat dihitung dengan jumlah ion yang teradsorpsi per satuan massa adsorben dievaluasi menggunakan persamaan.

$$q_e = (C_o - C_e) \times \frac{V}{m}$$

dimana  $q_e$  adalah jumlah ion yang teradsorpsi per gram adsorben dalam (mg/g).

## 3. Kinetika adsorpsi

Investigasi kinetik penting untuk studi adsorpsi karena dapat memprediksi potensi pengendalian laju adsorpsi dan mekanisme reaksi adsorpsi. Studi kinetik dilakukan dengan menggunakan berat adsorben yang terlarut dengan waktu kontak yang berbeda.

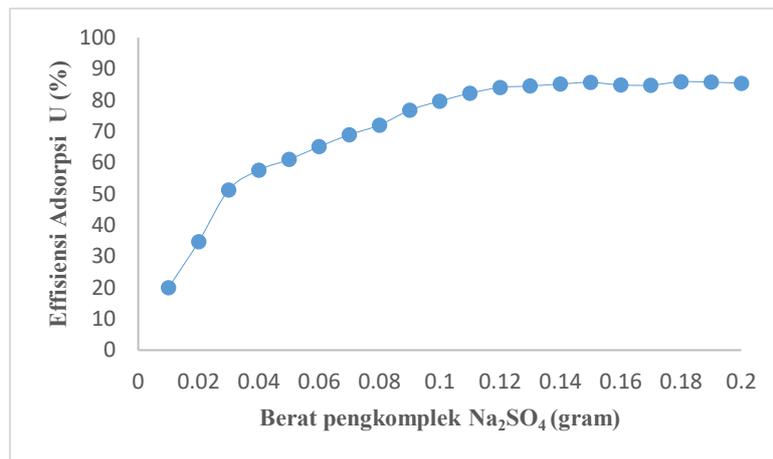
## Hasil dan Pembahasan

Adsorpsi uranium dilakukan dengan percobaan *batch* untuk menentukan variasi adsorpsi optimum dari parameter yang dilakukan. Komplek sulfat optimal sebagai [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>4-</sup> dapat menentukan kapasitas serap uranium karena ikatannya stabil sehingga uranium terikat kuat dengan ion sulfat. Interaksi yang terjadi dapat dipengaruhi oleh gaya elektrostatik [17] yang dipengaruhi oleh konsentrasi sulfat dan pH larutan.

### 1. Pengaruh konsentrasi Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap adsorpsi uranium

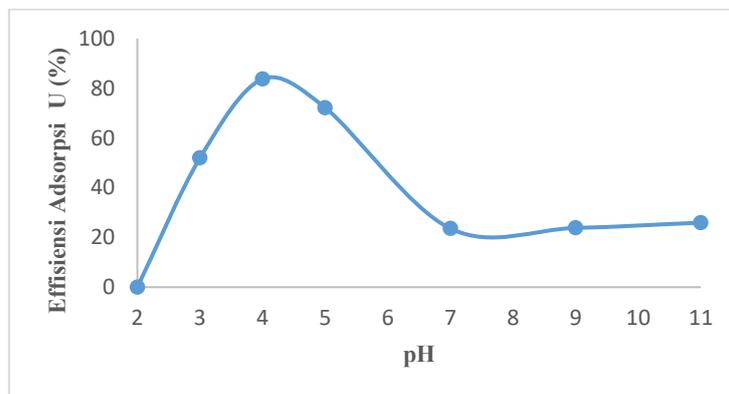
Penentuan konsentrasi optimum dilakukan dengan berbagai berat pengkompleks Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan dapat dilihat pada Gambar 2. Berat Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada kondisi setimbang akan membentuk kompleks [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>4-</sup> sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi.

Pada Gambar 2 ditunjukkan kenaikan persentase adsorpsi pada 0,12 g hingga 0,18 g pada kondisi optimal dengan konsentrasi 0,005 M. Pada konsentrasi tersebut kompleks [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>2-</sup> akan terikat pada permukaan resin dan dengan penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> akan terjadi kompetisi ion natrium dalam kompleksnya sehingga mengurangi adsorpsi uranium [18].

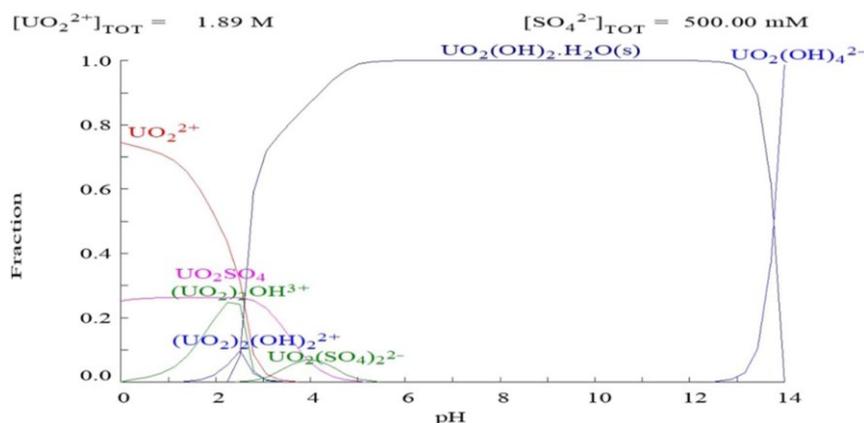
Gambar 2. Pengaruh adsorpsi uranium terhadap berat kompleks Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oleh amberlite IRA 400-Cl

## 2. Pengaruh konsentrasi pH terhadap adsorpsi uranium

Kondisi optimum juga dipengaruhi oleh derajat pH dalam spesiasi tertentu membentuk kompleks  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{2-}$ . Kondisi tersebut berada pada pH 4 yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Pengaruh adsorpsi uranium terhadap pH oleh amberlite IRA 400-Cl

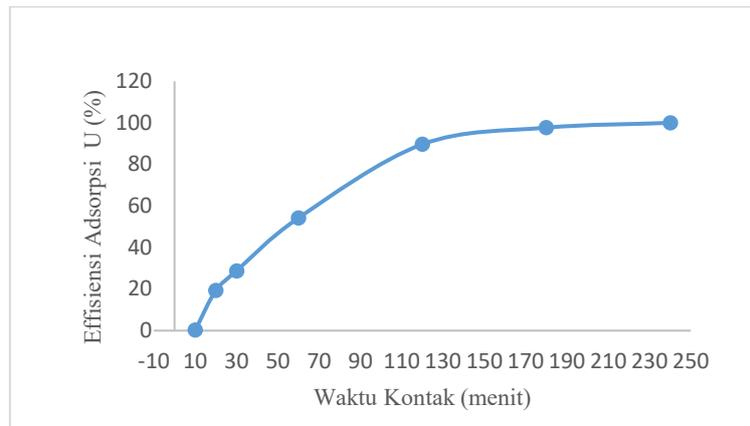


Gambar 4. Spesiasi uranium sulfat pada rentang pH 1-14[19]

Pada rentang pH 3 dan 4 mengalami kenaikan adsorpsi, hal ini dibuktikan pada spesiasi asam membentuk  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{2-}$  sehingga apabila dinaikkan pH dengan penambahan  $\text{OH}^-$  akan membentuk spesiasi  $[\text{UO}_2(\text{OH})_2]$  hingga  $[\text{UO}_2(\text{OH})_4]^{2-}$ . Kompleks dari  $\text{UO}_2\text{SO}_4$  pada pH 2 dan  $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{2-}$  pada pH 4 yang dominan spesies dengan efisiensi adsorpsi 83,6 %. Kompleks  $[\text{UO}_2(\text{OH})_2]$  mulai mendominasi pada pH mendekati 6 hingga 12. Kompleks  $\text{UO}_2(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  menjadi spesies utama [20], [21].

### 3. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi uranium

Parameter yang digunakan untuk menentukan waktu optimal berasal dari nilai optimal komposisi umpan dan pengaruh pH dan dapat dilihat pada Gambar 5.



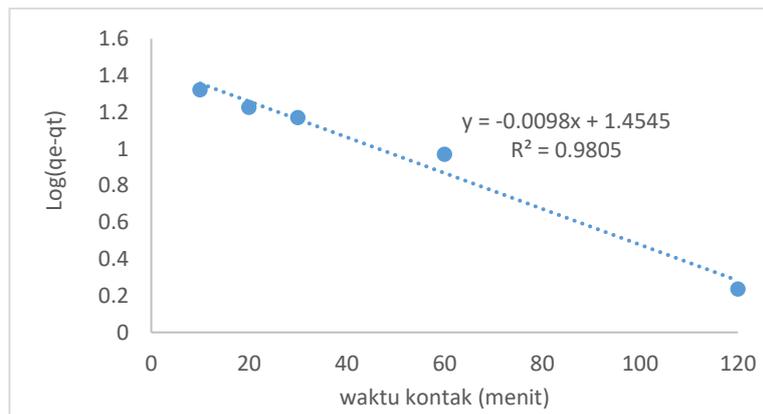
Gambar 5. Pengaruh adsorpsi uranium terhadap waktu kontak oleh amberlite IRA 400-Cl

Pada gambar tersebut bahwa kenaikan persen adsorpsi terjadi seiring dengan lamanya waktu kontak untuk mendapatkan kesetimbangan yang baik pada waktu 120 menit [22]. Setiap kenaikan waktu kontak memiliki deviasi yang kecil yang dibuktikan variabel waktu kontak dapat diterima. Kapasitas adsorpsi dapat diketahui yaitu 21,52 mg/g. Hasil dari kapasitas serap tersebut digunakan untuk menghitung kinetika adsorpsi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kinetika adsorpsi uranium oleh amberlite IRA 400-Cl

Parameter	Amberlit IRA 400 Cl	
	orde pseudo 1	orde pseudo 2
$q_{e \text{ exp}}$	21,52 mg/g	21,52 mg/g
$q_{e \text{ cal}}$	28,47 mg/g	35,33 mg/g
$k \text{ (g/mg min)}$	0,0225694	0,00021512
$R^2$	0,9805	0,9481

Pada tabel di atas diketahui bahwa kinetika adsorpsi terasumsi mengikuti orde pseudo 1 dikarenakan  $q_e$  yang merupakan kapasitas adsorpsi secara eksperimen sebesar 21,52 mg/g mendekati dengan  $q_e$  yang merupakan kapasitas adsorpsi secara perhitungan, yaitu 28,47 mg/g sehingga konstanta laju adsorpsi yang di dapat lebih besar. Nilai  $k_1$  dapat diperoleh dengan memplot  $t/q_t$  terhadap  $t$  untuk adsorpsi uranium oleh resin amberlite IRA-400 Cl ditunjukkan pada Gambar 6. Penelitian lain yang sama dan pernah dilakukan menggunakan resin anion amberlit IRA-402 Cl dengan pengkomplek karbonat diperoleh kapasitas serap sebesar 22,52 mg/g dengan mengikuti orde pseudo 2 [23]. Penelitian yang sama memodifikasi bentonit dalam bentuk Na-bentonit dan Zr-bentonit masing-masing adalah 23,40 mg/g dan 24,13 mg/g yang mengikuti orde pseudo 1 dan orde pseudo 2 [24] Kapasitas serap yang didapat masih mendekati dari adsorben resin anion amberlite IRA-400 Cl.



Gambar 6. Plot *pseudo* orde satu kinetika adsorpsi uranium oleh Amberlite IRA-400 Cl

Pada grafik di atas ditunjukkan koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang lebih besar yaitu 0,9805 dibanding dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) yaitu 0,9481. Hasil pemodelan kinetika membuktikan bahwa proses adsorpsi uranium oleh resin amberlite IRA 400-Cl merupakan reaksi kimia yang melibatkan proses pengelatan yang kuat[25].

## Kesimpulan

Pengolahan limbah uranium dengan pengkompleks  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dapat diadsorpsi oleh resin anion amberlite IRA – 400 Cl. Kapasitas adsorpsi uranium tersebut sebesar 21,52 mg/g dari berat resin 0,1 g, pH 4, suhu ruang, konsentrasi U awal = 53 mg/L, dan volume uranium cair 250 mL. Konstanta laju adsorpsi menunjukkan orde pseudo 1 dengan mencapai kesetimbangan pada waktu 120 menit dengan kecepatan adsorpsi melekat di permukaan adsorben sebesar 0,0225694 g/mg min. Penelitian ini dapat dilakukan sebagai aplikasi dalam pengolahan limbah yang mengandung aktinida dan hasil belah sehingga saat proses adsorpsi hanya terjadi pada unsur aktinida berupa uranium sedangkan unsur di hasil belah tidak mengalami proses adsorpsi dikarenakan tidak terjadi reaksi pertukaran ion.

## Daftar Pustaka

- [1] W. Czekala, J. Drozdowski, and P. Łabiak, “Modern Technologies for Waste Management: A Review,” Aug. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/app13158847.
- [2] A. Mushtaq, M. Iqbal, and A. Muhammad, “Management of radioactive waste from molybdenum-99 production using low enriched uranium foil target and modified CINTICHEM process,” *J Radioanal Nucl Chem*, vol. 281, no. 3, pp. 379–392, Sep. 2009, doi: 10.1007/s10967-009-0009-7.
- [3] Endang Susiantini, “Pemisahan Molibdenum dari Uranium dengan Cara Ekstraksi Kromatografi Menggunakan Kolom Silika-TBP,” *Jurnal Teknik Bahan Nuklir*, pp. 73–83, Nov. 2008.
- [4] S. Sulaiman, Y. Sugiharto, G. Setiawan, C. Chairuman, and A. H.G., “Influence of Contact Time on Loading  $^{99}\text{Mo}(n,\gamma)$  with Alumina Column in  $^{99}\text{Mo} / ^{99m}\text{Tc}$  Generator,” *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, vol. 4, no. 3, p. 189, Dec. 2019, doi: 10.20961/jkpk.v4i3.29840.
- [5] P. 61, “Peraturan Pemerintah No. 61/2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif,” 2013.
- [6] D. S. Wisnubroto, H. Zamroni, R. Sumarbagiono, and G. Nurliati, “Challenges of implementing the policy and strategy for management of radioactive waste and nuclear spent fuel in Indonesia,” *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 53, no. 2, pp. 549–561, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.net.2020.07.005.
- [7] A. Setyawan, D. Aji, P. Pusat, T. Limbah, R.-B. Tenaga, and N. Nasional, “Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kolom Penukar Ion,” vol. 13, no. 2, 2016.
- [8] International Atomic Energy Agency, “Technical Reports Series 402. Handling and Processing of Radioactive Waste from Nuclear Applications,” Vienna, 2001.
- [9] M. Solgy, M. Taghizadeh, and D. Ghoddocynejad, “Adsorption of uranium(VI) from sulphate solutions using Amberlite IRA-402 resin: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study,” *Ann Nucl Energy*, vol. 75, pp. 132–138, 2015, doi: 10.1016/j.anucene.2014.08.009.

- [10] G. Harichandran, S. David Amalraj, and P. Shanmugam, "Amberlite IRA-400 Cl resin catalyzed synthesis of secondary amines and transformation into N-((1H-indol-3-yl) (heteroaryl) methyl)-N-heteroaryl benzenamines and bis-indoles via multicomponent reaction," 2018. doi: 10.1016/j.jscs.2016.01.009.
- [11] I. Polowczyk, P. Cyganowski, B. F. Urbano, B. L. Rivas, M. Bryjak, and N. Kabay, "Amberlite IRA-400 and IRA-743 chelating resins for the sorption and recovery of molybdenum(VI) and vanadium(V): Equilibrium and kinetic studies," *Hydrometallurgy*, vol. 169, no. Vi, pp. 496–507, 2017, doi: 10.1016/j.hydromet.2017.02.017.
- [12] S. Anbazhagan, V. Thiruvengadam, and A. Sukeri, "An Amberlite IRA-400 Cl-ion-exchange resin modified with: Prosopis juliflora seeds as an efficient Pb<sup>2+</sup> adsorbent: Adsorption, kinetics, thermodynamics, and computational modeling studies by density functional theory," *RSC Adv*, vol. 11, no. 8, pp. 4478–4488, 2021, doi: 10.1039/d0ra10128a.
- [13] S. Mustafa, T. Ahmad, A. Naeem, K. H. Shah, and M. Waseem, "Kinetics of chromium ion removal from tannery wastes using Amberlite IRA-400 Cl- and its hybrids," *Water Air Soil Pollut*, vol. 210, no. 1–4, pp. 43–50, 2010, doi: 10.1007/s11270-009-0221-7.
- [14] S. Bachmaf, B. Planer-Friedrich, and B. J. Merkel, "Effect of sulfate, carbonate, and phosphate on the uranium(VI) sorption behavior onto bentonite," *Radiochim Acta*, vol. 96, no. 6, pp. 359–366, 2008, doi: 10.1524/ract.2008.1496.
- [15] A. Bauer *et al.*, "Uranium(VI) Complexes with a Calix[4]arene-Based 8-Hydroxyquinoline Ligand: Thermodynamic and Structural Characterization Based on Calorimetry, Spectroscopy, and Liquid–Liquid Extraction," *ChemistryOpen*, vol. 7, no. 6, pp. 467–474, Jun. 2018, doi: 10.1002/open.201800085.
- [16] Boybul, Angraini Dian, Br Ginting Aslina, Nugroho Arif, and Kriswarini Rosika, "Pengaruh Penambahan Ion Sulfat Terhadap Rekoveri Pemisahan Uranium Menggunakan Metode Kolom Penukar Anion," *Urania*, pp. 29–39, Oct. 2017.
- [17] L. B. de Paiva, A. R. Morales, and F. R. Valenzuela Díaz, "Organoclays: Properties, preparation and applications," *Appl Clay Sci*, vol. 42, no. 1–2, pp. 8–24, 2008, doi: 10.1016/j.clay.2008.02.006.
- [18] A. Amer, T.E., A. E. W. Abd El Wahab, G.M, and A. Abdellah, W.M., "Investigations onto the Recovery of Uranium and Rare Earth Elements from High Sulfate Concentrations Leach Liquor of Abu Hamata Sandy claystone ore material via Anion-Exchange Resin process," *Bulletin of Faculty of Science, Zagazig University*, vol. 2017, no. 2017, pp. 82–97, 2017, doi: 10.21608/bfszu.2017.31044.
- [19] M. Zaky, A. E. M. Hussein, M. M. Fawzy, and Kh. Elgendy, "Removal of Uranium From Liquid Waste By Natural Nile Mud," *Bulletin of Faculty of Science, Zagazig University*, vol. 2017, no. 2017, pp. 332–348, 2017, doi: 10.21608/bfszu.2017.31058.
- [20] M. A. Embaby, E. sayed A. Haggag, A. S. El-Sheikh, and D. A. Marrez, "Biosorption of Uranium from aqueous solution by green microalga *Chlorella sorokiniana*," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 38, pp. 58388–58404, 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19827-2.
- [21] J. Zhao *et al.*, "Highly Efficient Removal of Uranium from an Aqueous Solution by a Novel Phosphonic Acid-Functionalized Magnetic Microsphere Adsorbent," *Int J Mol Sci*, vol. 23, no. 24, 2022, doi: 10.3390/ijms232416227.
- [22] Y. M. Khawassek, A. M. Masoud, M. H. Taha, and A. E. M. Hussein, "Kinetics and thermodynamics of uranium ion adsorption from waste solution using Amberjet 1200 H as cation exchanger," *J Radioanal Nucl Chem*, vol. 315, no. 3, pp. 493–502, Mar. 2018, doi: 10.1007/s10967-017-5692-1.
- [23] Y. Purwanto, P. P. D. K. Wulan, J. Rachmadetin, and U. Sugiharto, "Effect of Carbonate Concentration on The Adsorption of Uranium (VI) onto Amberlite IRA-402 Resin," *AIP Conf Proc*, vol. 2967, no. 1, 2024, doi: 10.1063/5.0193016.
- [24] D. Luhur Ibnu Saputra *et al.*, "Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Adsorpsi Uranium Menggunakan Na Dan Zr-Montmorillonite," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, vol. 29, no. 2, pp. 105–114, 2023, doi: 10.17146/urania.2023.29.2.6979.
- [25] L. Lonappan, T. Rouissi, S. Kaur Brar, M. Verma, and R. Y. Surampalli, "An insight into the adsorption of diclofenac on different biochars: Mechanisms, surface chemistry, and thermodynamics," *Bioresour Technol*, vol. 249, pp. 386–394, 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2017.10.039.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Simulasi Efisiensi Kalibrasi *Stack Monitor* $^{18}\text{F}$ dengan PHITS

Rasito Tursinah<sup>1</sup>, Bunawas<sup>2</sup>, Rudi Fitriadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Pusat Riset Teknologi Analisis Berkas Nuklir ORTN – BRIN, KST B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia*

<sup>2</sup>*NuklindoLab-Koperasi JKRL, Plaza Ciputat Mas, Rempoa, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia*

<sup>3</sup>*Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir ORTN – BRIN, KST B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia*

Korespondensi penulis:  
e-mail: rasi002@brin.go.id

### Abstrak

Kalibrasi perlu dilakukan dalam pengukuran pelepasan  $^{18}\text{F}$  dari kegiatan produksi FDG menggunakan siklotron dengan menggunakan *stack monitor*. Metode kalibrasi *stack monitor*  $^{18}\text{F}$  sebagai bahan pelepasan dari kegiatan produksi  $^{18}\text{F}$ FDG telah dikembangkan. Sumber radiasi digunakan  $^{18}\text{F}$  dalam tabung reaksi yang ditempatkan di dalam *duckting* berbentuk kotak ukuran 30 cm x 30 cm x 200 cm. Detektor radiasi gamma jenis sintilasi NaI(Tl) ukuran kristal 2 in yang ditempatkan di permukaan *duckting*. Efisiensi detektor NaI(Tl) 2 in untuk energi gamma 511 keV dari sumber  $^{18}\text{F}$  disimulasi menggunakan program PHITS 3.17. Efisiensi detektor untuk energi 511 keV dengan distribusi homogen di dalam *ducting* diperoleh 1,07E-03 Bq/cps. Hasil pembagian volume *ducting* diperoleh faktor kalibrasi *Stack Monitor* menggunakan sumber  $^{18}\text{F}$  dan detektor NaI(Tl) 2 in adalah 0,0059 cps/Bq/m<sup>3</sup>.

**Kata kunci:** stack monitor, kalibrasi, PET, PHITS

### Abstract

*Calibration needs to be carried out in measuring  $^{18}\text{F}$  releases from FDG production activities using a cyclotron using a stack monitor. A method for calibrating the  $^{18}\text{F}$  monitor stack as a release material from  $^{18}\text{F}$ FDG production activities has been developed and validated using PHITS simulations. The radiation source used is  $^{18}\text{F}$  which is placed in a test tube. The  $^{18}\text{F}$  source is made to move inside the duckting which is in the form of a square pipe measuring 30 cm x 30 cm and 200 cm long. The gamma radiation detector uses a NaI(Tl) scintillation type with a crystal size of 2 in which is placed on the duckting surface. The efficiency of the 2 in NaI(Tl) detector for 511 keV gamma energy from an  $^{18}\text{F}$  source was determined by simulation using the PHITS 3.17 program. The simulation results of the 2 in NaI(Tl) detector efficiency for 511 keV energy distributed homogeneously in the ducting are 1.07E-03 Bq/cps. By dividing the ducting volume, the calibration factor for the stack monitor using an  $^{18}\text{F}$  source and a 2 in NaI(Tl) detector is 0.0059 cps/Bq/m<sup>3</sup>.*

**Keywords:** stack monitor, calibration, PET, PHITS

## Pendahuluan

Produksi  $^{18}\text{F}$  dalam siklotron adalah hasil mekanisme interaksi proton ( $^1_1p$ ) yang dipercepat hingga energi orde MeV dengan target  $^{18}\text{O}$  dalam bentuk  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ . Interaksi proton dengan  $^{18}\text{O}$  menghasilkan isotop  $^{18}\text{F}$  dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



dimana  $^1_0n$  adalah neutron dan nilai-Q adalah energi reaksi. Isotop  $^{18}\text{F}$  yang terbentuk akan segera meluruh menjadi  $^{18}\text{O}$  kembali dengan persamaan peluruhan;



Isotop  $^{18}\text{F}$  meluruh dengan waktu paruh 109,8 menit dengan memancarkan partikel positron ( $^0_{+1}e$ ) yang memiliki massa setara electron namun memiliki muatan positif [1]. Positron yang dipancarkan akan berinteraksi dengan electron di lingkungan dan menghasilkan reaksi anihilasi menghasilkan dua buah foton;



Pasangan foton gamma yang dihasilkan masing-masing berenergi 511 keV dengan arah pancaran yang berlawanan. Radiasi gamma yang dihasilkan dalam mekanisme peluruhan  $^{18}\text{F}$  ini menjadi perhatian dalam aspek proteksi radiasi. Dengan pancaran gamma ini pula menjadikan  $^{18}\text{F}$  dapat dideteksi secara mudah menggunakan teknik spektrometri gamma.

Saat ini telah dioperasikan siklotron oleh empat rumah sakit di Indonesia untuk kegiatan produksi  $^{18}\text{F}$  yang diubah menjadi  $^{18}\text{Fluoro Deoxy Glucose}$  ( $^{18}\text{FDG}$ ) untuk diagnosa menggunakan peralatan canggih *Positron Emission Tomography* (PET). Keempat Rumah Sakit tersebut adalah Rumah Sakit Kanker Dharmais, Rumah Sakit Gading Pluit, MRCCC Siloam, dan RSUD Abdul Wahab Sjahranie (AWS). Tiga rumah sakit ada di Jakarta, sedangkan rumah sakit keempat ada di Samarinda. Rencana di dua tahun ke depan akan menyusul Rumah Sakit Moewardi – Solo, Rumah Sakit Indriati – Solo dan Rumah Sakit Adi Husada – Surabaya. Pemerintah merencanakan mengoperasikan 12 siklotron plus PET-CT yang diharapkan akhir tahun 2025 sudah terpasang.

Dalam kegiatan produksi  $^{18}\text{F}$  dan mengubahnya menjadi radiofarmaka  $^{18}\text{FDG}$  akan dilepaskan sebagian  $^{18}\text{FDG}$  tersebut melalui *stack* (cerobong) ke lingkungan. Konsentrasi lepasan  $^{18}\text{F}$  bergantung pada aktivitas total yang diproduksi, dimana nilainya bergantung jumlah pasien yang mau diperiksa.

Tabel 1. Lepasannya  $^{18}\text{F}$  dari Cerobong di Beberapa Negara

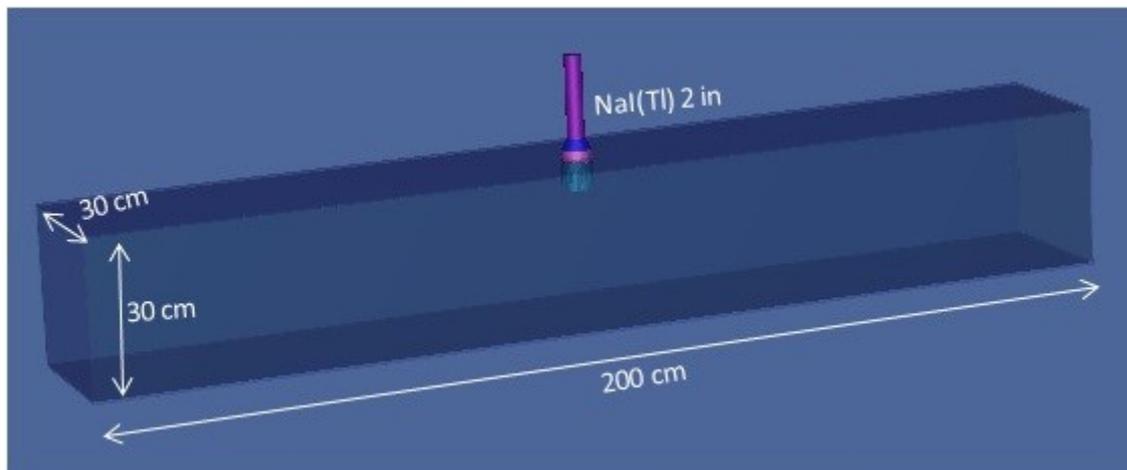
No.	Negara	Konsentrasi lepasan	Ref.
1.	Italia	1-1000 kBq/m <sup>3</sup>	[2]
2.	USA	4-144 kBq/m <sup>3</sup>	[3]
3.	Brazil	881 – 8151 MBq/proses	[4]
4.	Australia	0.2 – 700 MBq/proses	[5]

Catatan: Batas lepasannya  $^{18}\text{F}$  ke lingkungan 3700 Bq/m<sup>3</sup>

Dengan tingginya lepasannya  $^{18}\text{F}$  selama proses pembuatan  $^{18}\text{FDG}$  maka beberapa negara mengatur batas lepasannya ke lingkungan termasuk pemerintah Indonesia melalui Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2020. Di dalam perka tersebut tercantum pada pasal 33 ayat 1f yang berbunyi: “pemantauan radioaktivitas cerobong” [6]. Permasalahan yang dihadapi dalam pemantauan radioaktivitas  $^{18}\text{F}$  saat ini adalah bagaimana melakukan kalibrasi *stack monitor* yang sesuai ISO 16640:2021 [7]. Untuk itu tujuan penelitian ini adalah mendapatkan metode kalibrasi *stack monitor* menggunakan sumber  $^{18}\text{F}$  dan simulasi PHITS, agar hasil kalibrasi benar dan sesuai dengan ISO 16640:2021.

## Metode Penelitian

Untuk melakukan kalibrasi *stack monitor* lepasan  $^{18}\text{F}$  diperlukan alat dose kalibrator merk Capintec, spektrometer gamma portabel dengan detektor NaI(Tl) 2 inchi, dan sumber radioisotop  $^{18}\text{F}$ . Penyiapan sumber standar  $^{18}\text{F}$  dalam tabung reaksi dilakukan dengan memanfaatkan  $^{18}\text{F}$  di dalam tabung vial 10 ml yang sudah diketahui aktivitasnya. Terakhir adalah melakukan pengukuran aktivitas  $^{18}\text{F}$  dalam tabung reaksi menggunakan dose kalibrator dan melakukan penundaan beberapa jam hingga aktivitasnya meluruh menjadi sekitar 200 Bq. *Ducting* berukuran 30cm × 30cm × 200cm dengan detektor NaI(Tl) 2 in ditempatkan di permukaan *ducting*, dengan tampilan model geometri sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Ducting* dan posisi detektor NaI(Tl)

Efisiensi detektor NaI(Tl) dalam pengukuran  $^{18}\text{F}$  (energi gamma 511 keV) yang terdistribusi secara homogen di dalam *ducting* ditentukan secara simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan metode Monte Carlo dengan program *Particle and Heavy Ions Transport System* (PHITS). Dalam simulasi ini digunakan PHITS 3.17 dengan data nuklir JENDL-4. Untuk melakukan simulasi diperlukan data geometri *ducting*, posisi detektor, dan distribusi sumber.

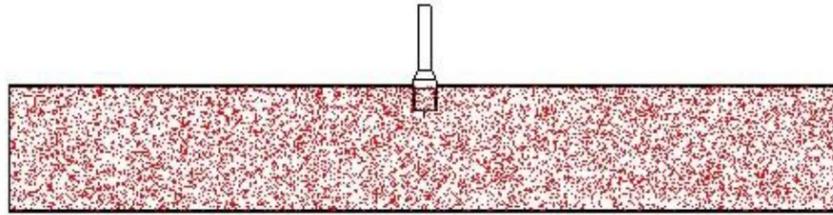
Efisiensi deteksi ( $\epsilon$ ) dihitung menggunakan persamaan:

$$\epsilon = \frac{\text{tally} - \text{deposit}/A}{V} \left( \frac{\text{cps/Bq}}{\text{m}^3} \right) \quad (4)$$

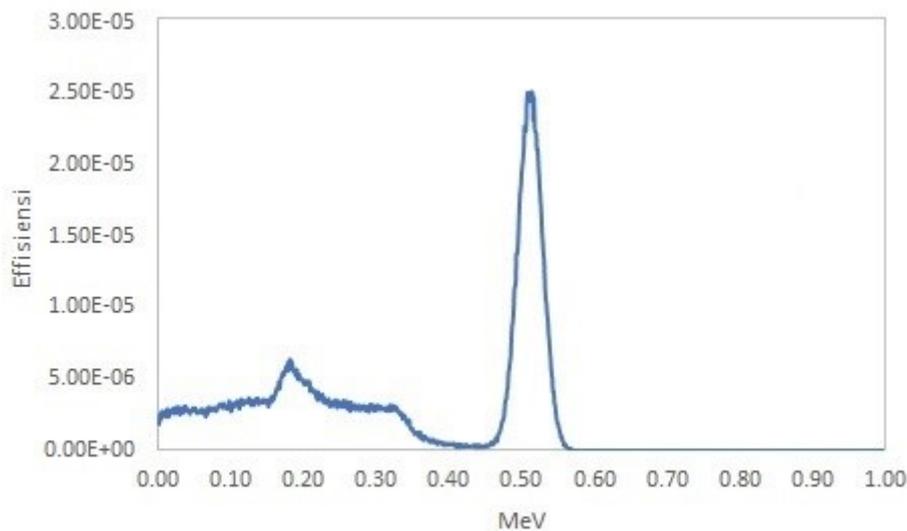
dengan *tally – deposit* adalah hasil simulasi PHITS (cps),  $V$  adalah volume *ducting* (m<sup>3</sup>),  $A$  adalah aktivitas standar (Bq), dan  $t$  adalah waktu cacah (s).

## Hasil dan Pembahasan

Model geometri detektor NaI(Tl) yang dipasang pada sisi *ducting* dibuat sebagai inputan PHITS. Model sumber dibuat dengan menempatkan material  $^{18}\text{F}$  secara homogen di dalam *ducting* dengan radiasi gamma energi 511 keV yang dihasilkan dalam arah berkas isotropik. Inputan PHITS dari model tersebut dijalankan dalam PC 12 core RAM 32 GB dengan sistem operasi Windows 10. Simulasi menggunakan PHITS dilakukan untuk menentukan interaksi radiasi gamma dengan material detektor NaI(Tl) menghasilkan pulsa. Efisiensi detektor ditentukan berdasarkan rasio jumlah pulsa yang terbentuk di detektor NaI(Tl) dengan jumlah radiasi gamma yang dihasilkan sumber  $^{18}\text{F}$  di dalam *ducting*. Sebagaimana dalam persamaan (2) dimana peluruhan  $^{18}\text{F}$  menghasilkan positron yang kemudian dihasilkan sepasang sinar gamma dengan arah berlawanan maka sinar gamma dengan energi 511 keV berinteraksi dengan detektor sintilasi NaI(Tl) menghasilkan kelipan cahaya. Cahaya yang dihasilkan diubah menjadi pulsa listrik oleh photomultiplier (PMT) yang kemudian diperkuat dengan amplifier. Distribusi  $^{18}\text{F}$  dalam *ducting* diperlihatkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Distribusi  $^{18}\text{F}$  dalam *ducting*

Sinar gamma 511 keV yang berasal dari setiap posisi di dalam ruang *ducting* hingga mengenai detektor disimulasikan menggunakan PHITS. Interaksi gamma dengan energi 511 keV dengan Kristal NaI(Tl) menghasilkan hamburan Compton dan efek fotolistrik. Interaksi gamma dengan detektor yang menghasilkan hamburan Compton membentuk spektrum kontinu dengan dua puncak. Interaksi gamma dengan detektor yang menghasilkan efek fotolistrik membentuk spektrum diskrit dengan puncak tunggal di energi 511 keV. Hasil simulasi PHITS dalam interaksi radiasi gamma  $^{18}\text{F}$  dari volume *ducting* menghasilkan spektrum gamma diperlihatkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Hasil simulasi spektrum gamma  $^{18}\text{F}$  detektor NaI(Tl) 2

Efisiensi detektor ditentukan berdasarkan jumlah radiasi yang menghasilkan efek fotolistrik. Jumlah radiasi ini selanjutnya dibagi dengan jumlah radiasi yang dihasilkan sumber  $^{18}\text{F}$  di dalam ruang volume *ducting* menghasilkan nilai efisiensi detektor. Dari hasil simulasi ini diperoleh efisiensi detektor NaI(Tl) 2 in pada energi gamma 511 keV untuk pengukuran  $^{18}\text{F}$  yang terdistribusi homogen di dalam *ducting* adalah 0,00107 cps/Bq dan dalam satuan ruang volume adalah 0,0059 cps/Bq/m<sup>3</sup>. Selain penggunaan  $^{18}\text{F}$  secara langsung sebagai sumber radiasi dapat pula digunakan  $^{68}\text{Ge}$  yang menghasilkan energi gamma yang sama. Meski kelimpahan gamma  $^{68}\text{Ge}$  (178%) lebih rendah dari  $^{18}\text{F}$  (198%), namun  $^{68}\text{Ge}$  memiliki waktu paruh jauh lebih panjang yaitu 271 hari dibandingkan  $^{18}\text{F}$  yang hanya 109,8 menit.

### Kesimpulan

Telah dilakukan simulasi PHITS untuk menentukan efisiensi kalibrasi *Stack Monitor*  $^{18}\text{F}$  dengan spektrometer gamma portabel detektor NaI(Tl). Dengan *ducting* berukuran 30cm × 30cm × 200cm dan detector NaI(Tl) 2 in diperoleh efisiensi  $^{18}\text{F}$  sebesar 0,0059 cps/Bq/m<sup>3</sup>. Untuk hasil yang lebih baik dapat menggunakan sumber standar  $^{68}\text{Ge}$  yang sifat fisisnya sama dengan  $^{18}\text{F}$  yaitu menghasilkan positron dan memancarkan gamma energi 511 keV namun memiliki waktu paruh yang lebih panjang.

### Daftar Pustaka

- [1] C. Jeong, D. Kim, H. Jang, G. Lee, in: Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, 2015, pp. 29–30.
- [2] M. Giardina, E. Tomarchio, D. Greco, Radiation Physics and Chemistry 116 (2015) 368–372.
- [3] J.. Kleck, S.. Benedict, J.. Cook, R.L. Birdsall, N. Satyamurthy, Health Physics 60 (1991) 657–660.
- [4] H.S. Videira, R.L. Santos, M.A. Vieira, E.F. Dias, M.K. Lenzi, D.. Uzueli, R. Abe, M.I.C. Guimaraes, U.S. Fonda, E.N. Itikawa, M.Y. Okamoto, C.A. Buchpigeuel, B.L. Fernandes, Brazilian Journal of Radiation Sciences 03 (2019) 1–14.
- [5] B. Mukherjee, in: Second International Conference on Isotopes Conference Proceedings, 2014, pp. 3–6.
- [6] Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Produksi Radioisotop Untuk Radiofarmaka (2020).
- [7] International Organization for Standardization, International Organization for Standardization, ISO 16640:2021 Monitoring Radioactive Gases In Effluents From Facilities Producing Positron Emitting Radionuclides And Radiopharmaceuticals, 2021.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Simulasi Efisiensi Spektrometer Gamma Portabel untuk Pengukuran Lepas Gas $^{131}\text{I}$

Rasito Tursinah<sup>1</sup>, Bunawas<sup>2</sup>, Rudi Fitriadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Teknologi Analisis Berkas Nuklir ORTN – BRIN, KST B.J. Habibie, Tangerang Selatan

<sup>2</sup>NuklindoLab-Koperasi JKRL, Plaza Ciputat Mas, Rempoa, Ciputat, Tangerang Selatan

<sup>3</sup>Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir ORTN – BRIN, KST B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan

Korespondensi penulis:  
e-mail: rasi002@brin.go.id

### Abstrak

Telah dilakukan penentuan efisiensi spektrometer gamma portabel untuk pengukuran lepasan gas  $^{131}\text{I}$  secara simulasi menggunakan MCNPX. Untuk melakukan simulasi digunakan pemodelan detektor dan sumber radiasi sebagai inputan program. Model detektor gamma digunakan tipe sintilasi kristal NaI(Tl) ukuran 2-in. Model sumber radiasi adalah gas  $^{131}\text{I}$  di dalam ruang berbentuk setengah-bola dengan radius yang divariasi dari 50 – 250 cm. Efisiensi dihitung berdasarkan jumlah pulsa cacah puncak gamma energy 364 keV yang terbentuk di detektor dibagi dengan aktivitas dan volume sumber. Berdasarkan simulasi diperoleh nilai efisiensi NaI(Tl) bergantung pada radius sumber radiasi, dimana efisiensi menurun dengan kenaikan radius sumber. Untuk sumber radiasi bentuk setengah-bola dengan radius 150 cm diperoleh efisiensi  $2,22\text{E}-05 \pm 1.2\% \text{ cps/Bq/m}^3$ .

**Kata kunci:** Lepas  $^{131}\text{I}$ , Spektrometer Gamma, Monte Carlo, MCNPX

### Abstract

*The efficiency of a portable gamma spectrometer for measuring  $^{131}\text{I}$  gas releases has been carried out by simulation using MCNPX simulation. To carry out the simulation, detector modelling and radiation sources are used as program input. The gamma detector model used is a 2-in NaI(Tl) crystal scintillation type. The radiation source model is  $^{131}\text{I}$  gas in a hemispherical space with a radius that varies from 50 – 250 cm. Efficiency is calculated based on the number of peak pulses of 364 keV gamma energy formed at the detector divided by the activity and volume of the source. The interaction of radiation with air and detector materials in this simulation uses ENDF7 nuclear data. Based on the simulation, it was found that the efficiency value of NaI(Tl) depends on the radius of the radiation source, where efficiency decreases with increasing source radius. For a hemispherical radiation source with a radius of 150 cm, an efficiency of  $2.22\text{E}-05 \pm 1.2\% \text{ cps/Bq/m}^3$  is obtained.*

**Keywords:**  $^{131}\text{I}$  release, Gamma Spectrometer, Monte Carlo, MCNPX

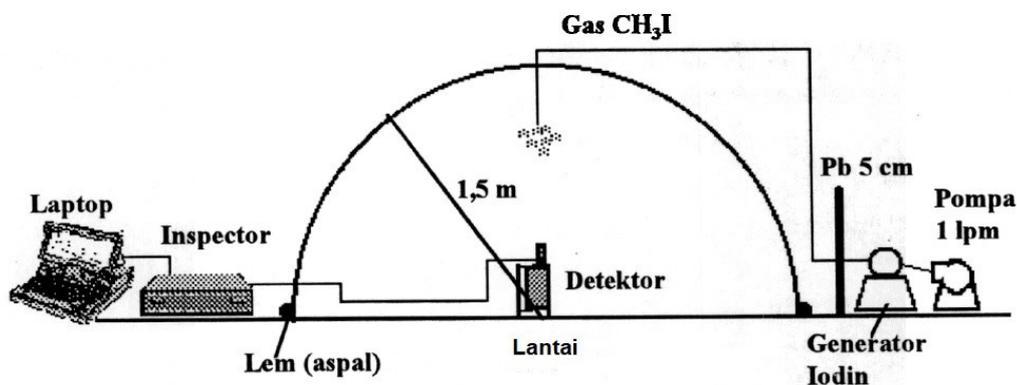
### Pendahuluan

Lepas radioisotop  $^{131}\text{I}$  dapat terjadi dalam kecelakaan nuklir, kegiatan produksi  $^{131}\text{I}$ , maupun penggunaan  $^{131}\text{I}$  untuk keperluan diagnosa dan terapi di kedokteran nuklir. Lepas gas  $^{131}\text{I}$  ke udara tempat kerja maupun lingkungan perlu mendapat perhatian serius, karena punya organ kritis tiroid yg peka terhadap radiasi. Isotop  $^{131}\text{I}$  adalah salah satu dari radionuklida yang perlu mendapat perhatian serius, karena dapat menimbulkan efek terhadap kesehatan berupa kanker tiroid. Isotop  $^{131}\text{I}$  dapat masuk

ke dalam tubuh melalui jalur pencernaan, inhalasi dan kulit yang terbuka [1]. Di udara, persenyawaan isotop  $^{131}\text{I}$  dapat berbentuk metyliodid (HOI) dan aerosol (partikulat).

Lepasan gas  $^{131}\text{I}$  dapat diukur dengan beberapa metode. Metode yang umum digunakan untuk pengukuran gas  $^{131}\text{I}$  adalah pencuplik Maypack yang terdiri dari tiga media penyerap yaitu filter, karbon aktif+KJ, dan DSM-11. Metode ini cukup mahal karena bahan harus sekali pakai [2]. Metode pengukuran lepasan gas  $^{131}\text{I}$  dengan filter banyak digunakan dengan beragam detektor gamma yang digunakan, diantaranya adalah menggunakan HPGe oleh Kitto dkk., [3] dan Zhao, dkk. [4] dan menggunakan detektor NaI(Tl) oleh Ogata dkk. [5].

Gogolak mengembangkan metode cepat pengukuran gas  $^{131}\text{I}$  di udara menggunakan spektrometer gamma portable secara in situ [6]. Bunawas, dkk. mengembangkan metode yang sama yaitu menggunakan spektrometer gamma portabel dan dikalibrasi dengan gas methyl iodida [ $(\text{CH}_3-^{131}\text{I})$ ]. Di dalam metode ini efisiensi pengukuran dilakukan secara eksperimental menggunakan gas  $^{131}\text{I}$  yang ditempatkan dalam ruang setengah-bola dengan diameter 300 cm, dengan desain sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode pengukuran lepasan  $^{131}\text{I}$  dengan spektrometer gamma portabel [7]

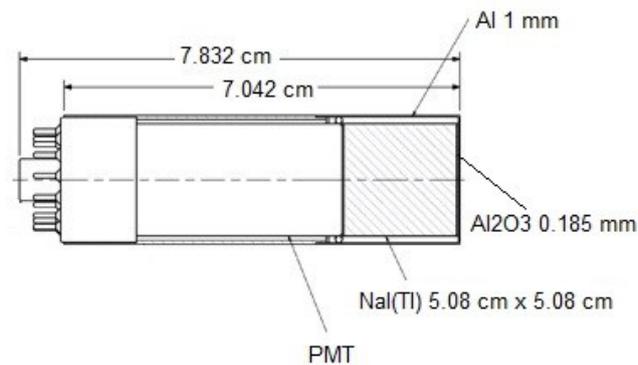
Penentuan efisiensi pengukuran yang dilakukan secara eksperimental dapat memberikan sejumlah resiko yaitu lepasnya gas  $^{131}\text{I}$  ke lingkungan dan paparan gas  $^{131}\text{I}$  ke personil. Dengan adanya potensi resiko tersebut maka perlu dikembangkan metode penentuan efisiensi pengukuran lepasan  $^{131}\text{I}$  secara perhitungan atau simulasi. Efisiensi detektor terhadap radiasi gamma yang dihasilkan  $^{131}\text{I}$  dapat disimulasikan menggunakan metode Monte Carlo dengan beberapa program komputer diantaranya adalah *Monte Carlo N-Particles eXtended* (MCNPX). Program MCNPX merupakan perangkat lunak berbasis metode Monte Carlo yang digunakan untuk mensimulasikan perjalanan partikel (neutron, foton, elektron, dll) dalam tiga dimensi [8]. Penggunaan MCNPX untuk mensimulasikan efisiensi detektor NaI(Tl) untuk energy gamma dari  $^{131}\text{I}$  di dalam organ pernah dilakukan oleh Vrba dan Fojtik (2014) [9]. Untuk itu dalam penelitian ini dikembangkan metode penentuan efisiensi pengukuran lepasan gas  $^{131}\text{I}$  menggunakan spektrometer gamma portabel dengan program MCNPX.

## Metode Penelitian

Untuk mensimulasikan efisiensi spektrometer gamma pada pengukuran lepasan gas  $^{131}\text{I}$  dilakukan melalui tiga tahapan, pertama memodelkan detektor gamma yang digunakan, kedua memodelkan sumber radiasi  $^{131}\text{I}$ , ketiga adalah penentuan efisiensi detektor.

### 1. Model Detektor Gamma

Detektor gamma yang digunakan adalah tipe sintilasi dengan bahan kristal NaI(Tl) ukuran 2-in, dengan desain sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2:

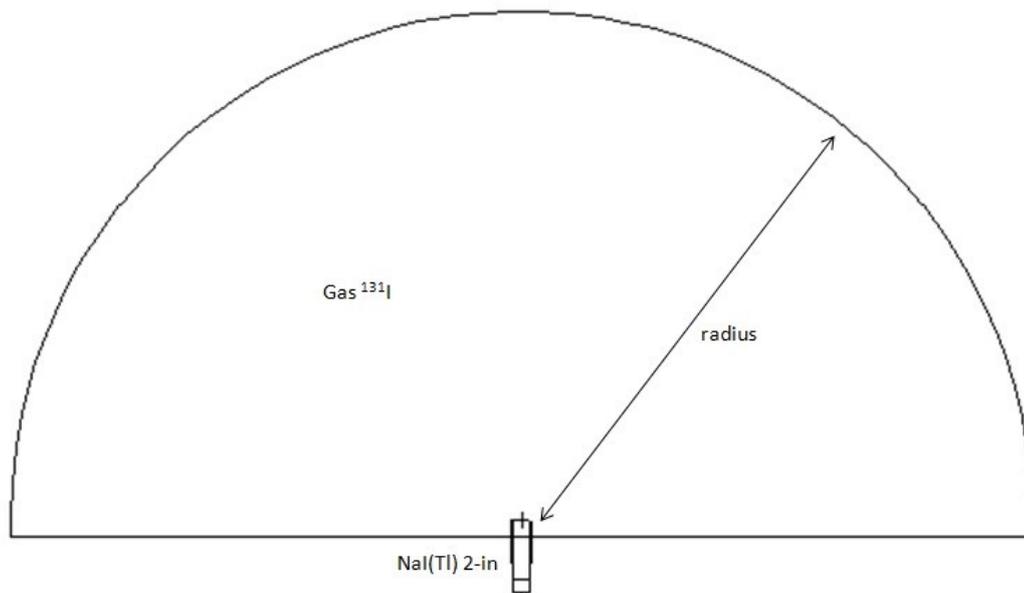


Gambar 2. Desain detektor NaI(Tl) 2-in

Kristal NaI(Tl) memiliki densitas  $3,67 \text{ g/cm}^3$  berbentuk silinder dengan diameter 5,08 cm (2 in) dan panjang 5,08 cm (2 in). Di depan dan samping kristal dipasang reflektor berbahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan ketebalan 0,185 mm. Di belakang kristal ditempatkan *Photomultiplier* (PMT) untuk mengubah cahaya menjadi elektron. Penutup berupa tabung aluminium dengan tebal 1 mm.

## 2. Model Sumber Radiasi

Sumber radiasi berupa sinar gamma yang dihasilkan  $^{131}\text{I}$  dengan energi 364 keV. Sumber radiasi diasumsikan berbentuk setengah-bola dengan radius tertentu, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Model sumber radiasi lepasan  $^{131}\text{I}$ 

Dalam simulasi ini sumber radiasi lepasan gas  $^{131}\text{I}$  dimodelkan berbentuk setengah-bola dengan radius yang divariasikan dari 50 cm hingga 250 cm.

## 3. Penentuan Efisiensi Pengukuran

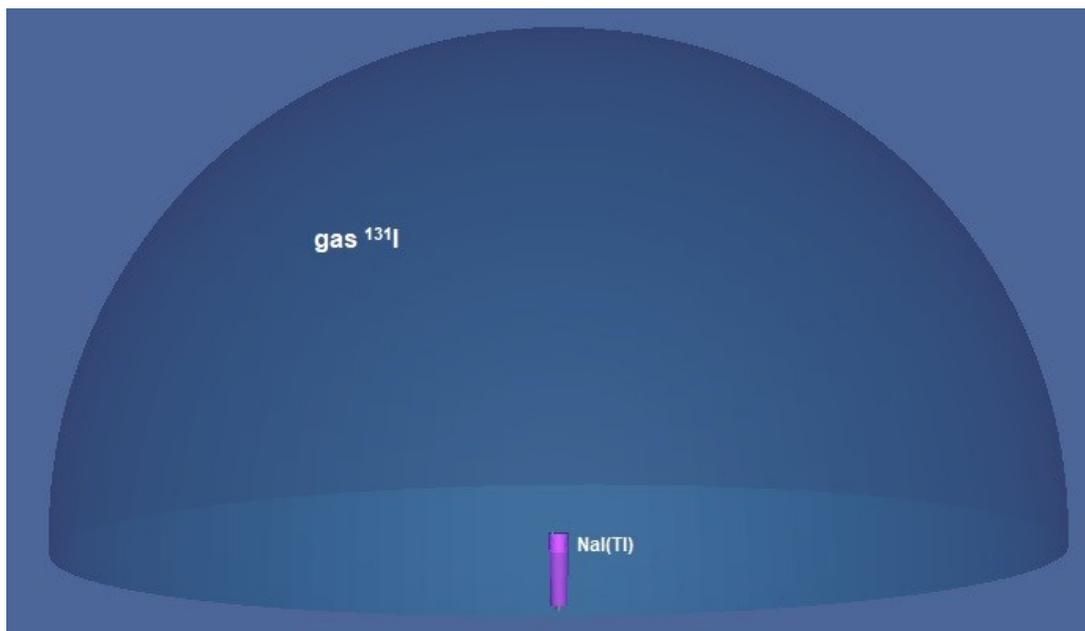
Penentuan efisiensi detektor secara simulasi dengan MCNPX 2.7 dilakukan menggunakan *tally* F8 yaitu menghitung pulsa yang terbentuk di dalam kristal NaI(Tl). Adapun efisiensi per satuan volume gas lepasan  $^{131}\text{I}$  ( $\epsilon$ ) dirumuskan dengan;

$$\varepsilon = \frac{F8}{\frac{2}{3} \pi r^3 I_{\gamma}} \left( \frac{cps}{Bq m^3} \right) \quad (1)$$

dimana  $\frac{2}{3} \pi r^3$  merupakan volume setengah-bola dengan  $r$  adalah radius bola, dan  $I_{\gamma}$  adalah intensitas gamma 364 keV isotop  $^{131}\text{I}$  yaitu 82 %.

## Hasil dan Pembahasan

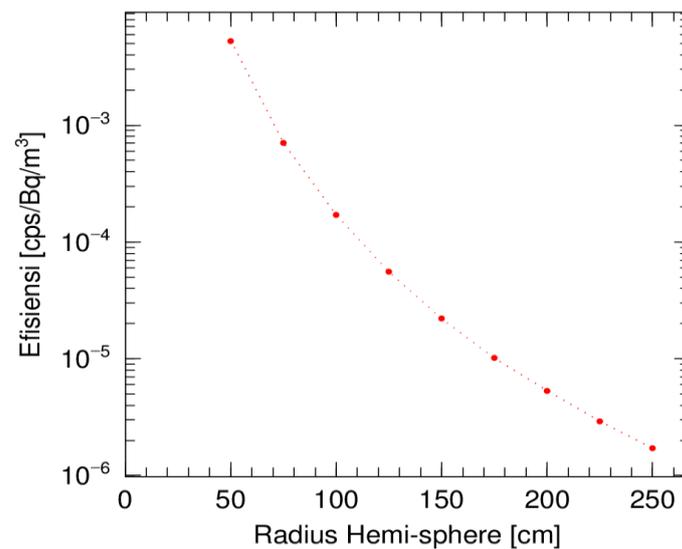
Pada Gambar 4 diperlihatkan pemodelan MCNPX dalam penentuan efisiensi pengukuran lepasan gas  $^{131}\text{I}$ . Sumber radiasi berupa gas  $^{131}\text{I}$  dimodelkan berbentuk setengah-bola dengan radius yang divariasikan dari 50 cm hingga 250 cm.



Gambar 4. Model MCNPX untuk simulasi efisiensi pengukuran lepasan  $^{131}\text{I}$

Semakin besar radius sumber maka semakin besar aktivitas  $^{131}\text{I}$  sehingga akan meningkatkan pembentukan pulsa di detektor. Namun demikian jarak antara sumber dengan detektor yang semakin besar maka cacahan yang terbentuk semakin kecil diakibatkan penurunan karena faktor jarak. Konsentrasi gas  $^{131}\text{I}$  dibuat tetap sehingga variasi radius tidak berpengaruh terhadap densitas. Di dalam model sumber setengah-bola juga terdapat unsur penyusun udara seperti gas nitrogen, oksigen, dan argon. Keberadaan gas  $^{131}\text{I}$  tidak signifikan mengubah densitas udara, sehingga densitas udara yang digunakan dalam simulasi dibuat tetap yaitu  $0.0012 \text{ g/cm}^3$ .

Input MCNPX hasil pemodelan tersebut selanjutnya dijalankan untuk menghasilkan keluaran efisiensi detektor menggunakan komputer 12 core dan RAM 32 GB dengan sistem operasi Windows 10. Untuk menghasilkan ketidakpastian statistik 1% maka setiap inputan dijalankan dengan *Number Particles Simulation* (NPS) senilai  $5 \times 10^7$ . Dengan nilai NPS tersebut dan spesifikasi komputer yang digunakan maka setiap input selesai dalam 98 menit. Berdasarkan simulasi efisiensi detektor terhadap lepasan gas  $^{131}\text{I}$  dengan sembilan variasi radius sumber setengah-bola dan perhitungan menggunakan Persamaan (1) diperoleh hasil sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5. Setiap nilai efisiensi yang dihasilkan memiliki ketidakpastian 0,4 – 2 % sehingga memiliki keberterimaan tinggi.



Gambar 5. Hasil simulasi efisiensi NaI(Tl) pada pengukuran lepasan gas <sup>131</sup>I

Berdasarkan hasil simulasi yang diperlihatkan pada Gambar 5 didapatkan beberapa hal dimana efisiensi radiasi yang diterima detektor menurun sebagai fungsi kenaikan radius sumber. Semakin besar radius sumber maka efisiensi radiasi yang diterima detektor dalam pengukuran lepasan <sup>131</sup>I semakin kecil, dimana kenaikan radius besar tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan pulsa cacahan di detektor. Hal kedua adalah bahwa serapan diri terhadap radiasi yang dihasilkan <sup>131</sup>I oleh unsur-unsur penyusun udara tidak signifikan yaitu hanya 4% untuk energi gamma 364 keV.

### Kesimpulan

Telah dilakukan simulasi MCNPX untuk penentuan efisiensi lepasan gas <sup>131</sup>I menggunakan spektrometer gamma detektor NaI(Tl) 2-in. Efisiensi NaI(Tl) 2-in untuk energi gamma 364 keV bergantung radius sumber radiasi. Untuk sumber radiasi bentuk setengah-bola dengan radius 150 cm diperoleh efisiensi  $2,22E-05 \pm 1,2\%$  cps/Bq/m<sup>3</sup>.

### Daftar Pustaka

- [1] Z. Alatas, Bunawas, Winduwati, in: Prosiding PKBNI, 1989.
- [2] Bunawas, M. A., in: Prosiding Seminar Teknologi Dan Keselamatan PLTN, 1996.
- [3] M.E. Kitto, E.M. Fielman, S.E. Fielman, E.A. Gillen, Journal of Environmental Radioactivity 83 (2005) 129–136.
- [4] C. Zhao, F. Tang, L. He, Y. Xu, X. Lu, Applied Radiation and Isotopes 109 (2016) 460–464.
- [5] Y. Ogata, T. Yamasaki, R. Hanafusa, Applied Radiation and Isotopes 81 (2013) 119–122.
- [6] C. V. Gogolak, Health Physics 46 (1984) 783–792.
- [7] Bunawas, D. Iskandar, Wahyudi, W. U, in: Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan VIII, 2000.
- [8] D.B. Pelowitz, (2011).
- [9] T. Vrba, P. Fojtik, Radiation Physics and Chemistry 104 (2014) 385–388.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Tinjauan Pengaruh *Safety Induction* dan *Tool Box Meeting* terhadap *Safety Awareness* dan Budaya Keselamatan

Adam Wibuana Anangadiva S. ST

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

Korespondensi penulis:  
a.diva@bapeten.go.id

### Abstrak

Makalah ini meninjau pentingnya penerapan *Safety Induction* dan *Tool Box Meeting* dalam meningkatkan budaya keselamatan dan kesadaran keselamatan (*safety awareness*) di tempat kerja, terutama di industri yang memiliki risiko tinggi seperti bahaya paparan radiasi. Pendahuluan menjelaskan latar belakang keselamatan kerja sebagai komponen krusial untuk melindungi kesehatan pekerja dari bahaya radiasi yang tidak terlihat langsung dan efek stokastik yang sulit diprediksi. Program *Safety Induction* bertujuan untuk memberikan orientasi awal kepada pekerja baru mengenai kebijakan, prosedur, dan praktik keselamatan yang berlaku di tempat kerja. Sedangkan *Tool Box Meeting* merupakan pertemuan rutin yang membahas topik-topik keselamatan terkait dengan identifikasi bahaya pada pekerjaan sehari-hari. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa *Safety Induction* dan *Tool Box Meeting* memainkan peran penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman. *Safety Induction* membantu pekerja baru memahami pentingnya keselamatan sejak hari pertama bekerja, melalui pengenalan terhadap potensi bahaya, prosedur penggunaan alat pelindung diri (APD), dan prosedur evakuasi darurat. Dengan demikian, pekerja lebih siap dan percaya diri dalam mengidentifikasi serta melaporkan potensi bahaya. *Tool Box Meeting* berfungsi sebagai forum diskusi yang memperkuat budaya keselamatan dengan memungkinkan pekerja untuk berpartisipasi aktif dalam proses keselamatan, mengidentifikasi bahaya, memahami prosedur keselamatan, dan memperkuat komunikasi tentang risiko. Pertemuan ini juga memberikan kesempatan untuk mengajukan pertanyaan dan membahas kekhawatiran terkait keselamatan kerja serta kendali akses di area radiasi. Kesimpulan dari makalah ini menunjukkan bahwa integrasi dan konsistensi pelaksanaan *Safety Induction* dan *Tool Box Meeting* adalah komponen penting untuk membangun dan mempertahankan budaya keselamatan dalam sebuah organisasi. Penerapan yang efektif dari kedua program ini dapat mengurangi risiko cedera dan kecelakaan kerja, menciptakan lingkungan yang lebih aman dan produktif. Lebih lanjut, kurangnya pelaksanaan *Safety Induction* yang memadai, terutama terkait dengan risiko radiasi, dapat berakibat fatal, meningkatkan risiko paparan radiasi dan menyebabkan ketidaksiapan dalam menghadapi darurat nuklir, serta mengakibatkan penanganan insiden radiasi yang tidak efektif.

**Kata Kunci:** *Safety Induction*, *Tool Box Meeting*, *Safety Awareness*, *Budaya Keselamatan*, Kesehatan dan Keselamatan Kerja

### Abstract

*This paper reviews the importance of implementing Safety Induction and Tool Box Meetings to enhance safety culture and safety awareness at the workplace, particularly in high-risk industries such as those involving radiation exposure. The introduction outlines occupational safety as a critical component to protect workers' health from unseen radiation hazards and unpredictable stochastic effects. Safety Induction aims to provide new employees with an initial orientation about the workplace's safety policies, procedures, and practices. Meanwhile, Tool Box Meetings are regular discussions that address daily work-related safety topics, including hazard identification. The findings indicate that Safety Induction and Tool Box Meetings play a vital role in creating a safe working environment. Safety Induction helps new employees understand the importance of safety from their*

*first day, introducing potential hazards, personal protective equipment (PPE) usage procedures, and emergency evacuation processes. Consequently, workers are better prepared and confident in identifying and reporting potential hazards. Tool Box Meetings serve as discussion forums that reinforce the safety culture, allowing workers to actively participate in the safety process, recognize hazards, comprehend safety procedures, and strengthen communication about risks. These meetings also provide opportunities to raise questions and discuss concerns related to occupational safety and access control in radiation areas. In conclusion, the consistent integration and implementation of Safety Induction and Tool Box Meetings are crucial components for developing and maintaining a strong safety culture within an organization. Effective application of these programs can reduce the risk of injuries and workplace accidents, creating a safer and more productive environment. Additionally, inadequate execution of Safety Induction, especially concerning radiation risks, can have severe consequences, increasing radiation exposure risks, unpreparedness in nuclear emergencies, and ineffective radiation incident management.*

**Keywords:** Safety Induction, Tool Box Meeting, Safety Awareness, Safety Culture, Occupational Health and Safety

## Pendahuluan

### 1. Latar Belakang

Keselamatan kerja merupakan komponen krusial dalam industri, khususnya bagi pekerja yang terlibat dalam aktivitas dengan risiko tinggi seperti paparan radiasi. Pentingnya kesehatan dan keselamatan kerja terletak pada kemampuannya dalam mengidentifikasi dan mengendalikan potensi bahaya di tempat kerja, dengan tujuan untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja [1]. Radiasi dapat menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan jika tidak ditangani dengan baik, sehingga penting bagi setiap perusahaan untuk memastikan bahwa pekerjanya memiliki kesadaran keselamatan (*safety awareness*) yang tinggi dan bekerja dalam lingkungan dengan budaya keselamatan yang kuat. Selain itu sifat radiasi yang tidak bisa dilihat secara wujud dan hanya bisa dilihat melalui alat ukur dengan sifat efek stokastiknya (efek yang tidak secara langsung dirasakan/terlihat) membuat pekerja menyepelekan hal tersebut.

Salah satu langkah awal dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman adalah melalui program *safety induction*. *Safety induction* adalah proses orientasi dan pengenalan awal yang diberikan kepada pekerja baru atau pihak yang mendatangi area kerja mengenai prosedur keselamatan, peraturan, potensi bahaya yang ada di tempat kerja dan pengenalan tanda bahaya serta alarm untuk kondisi tertentu. Program ini bertujuan untuk membekali pekerja atau tamu dengan pengetahuan dasar tentang keselamatan sehingga mereka dapat mengenali dan menghindari risiko yang ada. Keberhasilan *safety induction* yang efektif tidak hanya memastikan kesadaran keselamatan kerja (*safety awareness*) individu yang sedang menjalankan tugas atau peran pekerjaannya, tetapi juga menjamin keselamatan rekan kerja mereka [2].

Selain *safety induction*, pelaksanaan *tool box meeting* secara rutin juga merupakan upaya penting dalam meningkatkan keselamatan kerja. *Tool box meeting* adalah pertemuan singkat yang diadakan sebelum mulai bekerja, di mana pekerja dan pengawas mendiskusikan topik-topik keselamatan yang ada pada *Job Safety Analysis* (dokumen yang mendeskripsikan bahaya dan risiko dari suatu pekerjaan secara mendetail, langkah per-langkah). *Tool box meeting* dengan keterkaitan bahaya radiasi dan masyarakat biasanya melibatkan komponen kerja lain di sekitar daerah radiasi (daerah supervisi dan daerah pengendalian) agar pekerjaan radiasi dan non radiasi dapat berjalan secara harmonis dan efisien. Pertemuan ini bertujuan untuk mengingatkan kembali pentingnya keselamatan, berbagi informasi terkini mengenai potensi bahaya, serta mendorong komunikasi terbuka antara pekerja, komponen pekerja lainnya dan manajemen.

### 2. Rumusan Masalah

Bagaimana hubungan keterkaitan antara *safety induction*, *toolbox meeting*, *safety awareness* dan budaya keselamatan?

### 3. Tujuan

Tinjauan ini bertujuan untuk mengetahui hubungan keterkaitan antara *safety induction*, *toolbox meeting*, *safety awareness* dan budaya keselamatan

### 4. Manfaat

Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a) Bagi perusahaan, memberikan informasi bagaimana membentuk *safety awareness* dan budaya keselamatan dalam lingkungan perusahaan.
- b) Bagi pekerja, meningkatkan kesadaran akan pentingnya keselamatan dan membentuk budaya kerja yang lebih aman.
- c) Bagi industri, menyumbangkan pengetahuan ilmiah tentang efektivitas berbagai pendekatan pelatihan keselamatan dalam meningkatkan keselamatan kerja.

Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh *safety induction* dan *toolbox meeting*, diharapkan implementasi sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja lebih efektif dan meningkatnya *safety Awareness* dan budaya keselamatan secara *bottom-up* (dari komponen pekerja hingga manajemen) dan *top-bottom* (Manajemen ke Pekerja).

## Landasan Teori

### 1. Safety Induction

Menurut [3] *Safety induction* adalah proses orientasi awal yang diberikan kepada pekerja baru, pekerja yang pindah ke bagian baru di Perusahaan atau tamu (*Visitor*). Proses ini bertujuan untuk memperkenalkan mereka pada kebijakan, prosedur, dan praktik keselamatan yang berlaku di tempat kerja.

Tujuan utama dari *Safety Induction* adalah untuk memastikan bahwa pekerja baru dan tamu (*Visitor*) memiliki pemahaman yang baik tentang keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan mereka [4]. Beberapa tujuan spesifik meliputi:

- a) Mengidentifikasi Bahaya: Memberikan informasi kepada pekerja tentang potensi bahaya di tempat kerja dan bagaimana menghindarinya.
- b) Pengenalan Prosedur Keselamatan: Memastikan bahwa pekerja mengetahui prosedur keselamatan yang harus diikuti.
- c) Kepatuhan terhadap Regulasi: Memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan standar keselamatan yang berlaku.
- d) Meningkatkan Kesadaran: Meningkatkan kesadaran pekerja tentang pentingnya keselamatan kerja.
- e) Mengurangi Risiko Kecelakaan: Mengurangi risiko kecelakaan dan insiden di tempat kerja.

Menurut [5] dan [4] proses pelaksanaan *Safety Induction* umumnya meliputi beberapa Langkah yaitu:

- a) Penyambutan dan Pengantar Umum:  
Meliputi pengenalan perusahaan, budaya kerja, dan kebijakan keselamatan.
- b) Pengenalan Lokasi:  
Pengenalan lokasi kerja, pengenalan titik evakuasi, jalur evakuasi, sirine, dan lokasi alat keselamatan seperti pemadam kebakaran dan kotak P3K.
- c) Pelatihan Spesifik:  
Penjelasan rinci mengenai potensi bahaya yang spesifik di area kerja tertentu dan cara mengatasinya.
- d) Pengenalan Prosedur Darurat:
- e) Pengenalan Alat Pelindung Diri (APD):  
Pemeriksaan Pemahaman:
- f) Dokumentasi dan Sertifikasi:

Standar dan Aturan yang Relevan dengan Safety Induction di Indonesia:

- a) ISO 45001:2018 - *Occupational Health and Safety Management Systems* [6]  
ISO 45001 adalah standar internasional yang menetapkan persyaratan untuk sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Standar ini menggantikan OHSAS 18001 dan berfokus pada pengelolaan risiko serta peningkatan keselamatan dan kesehatan di tempat kerja. Poin Utama yang Relevan dengan Safety Induction:
  - Pasal 6.1.2 ("Identifikasi bahaya dan penilaian risiko")
  - Pasal 6.2.2 ("Pelatihan dan kesadaran").
- b) *International Labour Organisations - OSH Management at the Workplace: Addressing Young Workers' Needs (Improving OSH for Young Workers: A Self-Training Package)* [7]  
Standar ILO mengenai keselamatan dan kesehatan kerja menyediakan alat penting bagi pemerintah, pengusaha, dan pekerja untuk menerapkan praktik pencegahan, pelaporan dan inspeksi yang baik serta memberikan keselamatan maksimum di tempat kerja. Modul ini menjelaskan tentang pedoman untuk *safety induction* untuk pekerja baru.

Peraturan Nasional di Indonesia:

Selain standar internasional, ada juga peraturan nasional yang mengatur tentang safety induction di Indonesia.

- a) Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja [8]
  - Pasal 12 ayat (1) menyatakan bahwa pengusaha wajib memberikan safety induction kepada semua pekerja sebelum mereka mulai bekerja.
  - Pasal 14 menyatakan bahwa pengusaha wajib memberikan pelatihan dan edukasi tentang keselamatan dan kesehatan kerja kepada semua pekerja.
- b) Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 8 Tahun 2018 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja [9]
  - Pasal 13 ayat (2) menyatakan bahwa safety induction merupakan salah satu elemen dalam Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3MS).
  - Pasal 14 menyatakan bahwa pengusaha wajib menyusun dan menerapkan K3MS yang mencakup safety induction.

## 2. Toolbox Meeting

Menurut [10] *Toolbox meeting*, juga dikenal sebagai *safety briefing* atau *safety talk*, adalah pertemuan singkat yang diadakan sebelum memulai pekerjaan sehari-hari. Tujuan dari kegiatan ini untuk meningkatkan kesadaran akan keselamatan dan kesehatan kerja di tempat kerja, serta untuk memastikan bahwa semua pekerja memiliki pemahaman yang sama tentang praktik-praktik keselamatan yang diperlukan untuk melaksanakan tugas mereka dengan aman [11]. *Safety Talks* memiliki manfaat dalam meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang kesehatan dan keselamatan kerja (K3) di kalangan pekerja. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa melakukan Safety Talks secara rutin dapat membantu meningkatkan pemahaman dan kesadaran pekerja terhadap K3 [12]

Selain mengidentifikasi bahaya yang bisa terjadi pada hari itu, *tool box meeting* dapat membantu dalam hal-hal berikut [13]:

- a) Menumbuhkan *safety culture* positif dalam suatu organisasi
- b) Menjaga semua pekerja tetap waspada (*safety awareness*)
- c) Meningkatkan komunikasi dan produktivitas tim
- d) Mengingatkan pekerja dan pengusaha mengenai tugas dan tanggung jawabnya
- e) Menginformasikan pembaharuan catatan mengenai resiko kerja dan tindak lanjutnya

Dalam kegiatan *toolbox meeting/ safety talk/ toolbox talk* yang diadakan setiap sebelum dimulainya suatu pekerjaan hal yang disampaikan umumnya meliputi:

- a) Identifikasi Bahaya: Meliputi pertimbangan potensi risiko yang mungkin muncul pada saat pekerjaan dimulai. Hal ini melibatkan evaluasi risiko fisik, kimia, biologis, dan ergonomis, termasuk dampak paparan radiasi beserta efek stokastik dan non-stokastik yang terkait dengan

radiasi. Terkadang juga disertai dengan informasi terkait pengendalian akses ke area tertentu diperlukan untuk mengelola paparan radiasi yang direncanakan khususnya di lokasi atau fasilitas yang memiliki risiko radiasi.

- b) **Prosedur Keselamatan:** Penjelasan mengenai prosedur dan kebijakan keselamatan yang harus diikuti, termasuk penggunaan alat pelindung diri (APD) dan alat deteksi proteksi radiasi (ADPR), prosedur darurat, prosedur operasi dan protokol keselamatan spesifik lainnya seperti prosedur kedaruratan nuklir dan prosedur evakuasi kedaruratan.
- c) **Alat dan Peralatan:** Memastikan semua alat dan peralatan yang akan digunakan berada dalam kondisi baik dan aman. Hal ini meliputi pemeriksaan sebelum digunakan dan memberikan pelatihan tentang penggunaan yang tepat. Dalam aktivitas yang terkait dengan tenaga nuklir, juga termasuk pemeriksaan alat deteksi proteksi radiasi (ADPR) seperti masa kalibrasi dan pengecekan fungsi. Sesi ini juga dapat digunakan sebagai sarana bagi para pekerja untuk melaporkan kebutuhan alat kerja mereka.
- d) **Tugas dan Tanggung Jawab:** Penjelasan mengenai tugas dan tanggung jawab masing-masing anggota tim untuk memastikan semua orang tahu apa yang diharapkan dari mereka.
- e) **Pelaporan Insiden:** Penekanan pada pentingnya pelaporan segera dari insiden atau kondisi berbahaya yang terdeteksi untuk mencegah kecelakaan lebih lanjut.
- f) **Kesehatan dan Kesejahteraan:** Informasi tentang aspek kesehatan dan kesejahteraan yang relevan, seperti kebersihan, penanganan stres, dan pentingnya istirahat yang cukup.
- g) **Update Proyek:** Informasi terbaru tentang perkembangan proyek, perubahan jadwal, atau modifikasi prosedur kerja yang mungkin mempengaruhi keselamatan kerja.
- h) **Pertanyaan dan Diskusi:** Kesempatan bagi pekerja untuk bertanya atau mengemukakan kekhawatiran mereka mengenai keselamatan.

### 3. Safety Awareness

*Safety awareness* merupakan kerangka berpikir yang menentukan persepsi dan penilaian pekerja mengenai kemampuan pribadi dan tanggung jawab untuk menghindari risiko di tempat kerja [14]. *Safety awareness* sebagian besar diperoleh dan menjadi kebiasaan, dibentuk melalui pendidikan dan pelatihan tentang keselamatan [15]. *Safety Awareness* merupakan sesuatu yang vital untuk menjaga keselamatan individu dan mencegah atau melukai orang lain dari risiko akibat kerja [16].

Konsep dari *safety awareness* sendiri memiliki beberapa elemen kunci diantaranya [17]:

- a) **Persepsi Bahaya:** Memahami potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja.
- b) **Pengetahuan Prosedur Keselamatan:** Mengetahui dan memahami prosedur dan langkah-langkah keselamatan yang harus diikuti.
- c) **Evaluasi Risiko:** Menilai tingkat risiko yang terkait dengan bahaya tersebut.
- d) **Pengendalian Bahaya:** Mengimplementasikan tindakan untuk menghilangkan atau mengurangi risiko.
- e) **Partisipasi dan Komunikasi:** Mendorong partisipasi aktif dalam diskusi keselamatan dan komunikasi yang efektif tentang risiko yang ada

Pentingnya *safety awareness* di lingkungan kerja ini karena [18]:

- a) **Pengurangan Risiko Cedera:** Meningkatkan kesadaran tentang keselamatan membantu mengurangi risiko cedera dan penyakit akibat kerja, serta meminimalisir risiko paparan radiasi beserta dengan efek radiasinya.
- b) **Peningkatan Produktivitas:** Lingkungan kerja yang aman meningkatkan produktivitas karena karyawan merasa aman dan nyaman.
- c) **Kepatuhan terhadap Regulasi:** Membantu perusahaan mematuhi peraturan dan standar keselamatan yang berlaku.
- d) **Mengurangi Biaya:** Mengurangi biaya yang terkait dengan kecelakaan kerja, seperti biaya medis dan kompensasi pekerja

### 4. Budaya Keselamatan

Menurut [19] Budaya keselamatan adalah kemampuan organisasi untuk menerapkan peraturan keselamatan dalam praktik dan berhasil mengelolanya dalam semua aktivitas dan operasi. Maka dari

itu penelitian telah menunjukkan bahwa budaya keselamatan sebenarnya adalah subdimensi dan refleksi dari budaya organisasi.

Pada keselamatan radiasi menurut [20] budaya keselamatan adalah paduan karakter dan sikap organisasi dan individu dalam organisasi yang memberikan perhatian dan prioritas utama pada masalah keselamatan radiasi, diwujudkan dengan menerapkan sikap, tindakan, dan perilaku individu dalam organisasi yang mengutamakan pentingnya keselamatan. Budaya keselamatan di seluruh industri, dan iklim keselamatan serta kekompakan kru berkontribusi positif terhadap *Safety Communication* [21].

Menurut [22] faktor yang membentuk Budaya keselamatan dapat diklasifikasikan menjadi:

- a) Prioritas keselamatan kerja
- b) Komunikasi keselamatan (antara pekerja dan manajemen)
- c) Pelatihan keselamatan
- d) Partisipasi pekerja
- e) *Fatalism*
- f) *safety awareness*

## Pokok Bahasan

Berdasarkan landasan teori diatas dapat diketahui bahwa dalam upaya meningkatkan budaya keselamatan suatu organisasi dan *safety awareness* setiap individu, *Safety Induction* dan *Tool Box Meeting* menjadi langkah yang krusial. Keduanya bertujuan untuk memberikan edukasi, memfasilitasi diskusi, dan meningkatkan pemahaman akan risiko serta praktik kerja yang aman. *Safety Induction* diperlukan khususnya bagi pekerja baru dan tamu, sementara *Tool Box Meeting* merupakan pertemuan rutin sebelum dimulainya suatu pekerjaan. Kedua metode ini berperan dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat. Dengan penerapan yang konsisten, diharapkan dapat memberikan dampak positif pada kesejahteraan pekerja dan kualitas ekosistem kerja suatu organisasi atau perusahaan.

### 1. Hubungan antara Safety Induction dengan Safety Awareness

*Safety Induction* sebagai proses orientasi awal memberikan pengenalan awal tentang kebijakan keselamatan dan prosedur yang berlaku di tempat kerja. Ini memastikan bahwa pekerja baru segera menyadari pentingnya keselamatan sejak hari pertama mereka bekerja. Melalui tahap orientasi awal ini pekerja baru dan tamu diajarkan tindakan untuk menyikapi dan menghindari suatu resiko bahaya dan memahami setiap rambu atau tanda bahaya dari pekerjaannya termasuk bahaya fisik, kimia, ergonomis, paparan radiasi, serta bahaya efek stokastik dan non stokastik radiasi.

Selain itu, karyawan juga diajarkan prosedur keselamatan yang harus diikuti, seperti penggunaan alat pelindung diri (APD), prosedur evakuasi darurat, serta cara melaporkan insiden dan bahaya kerja yang belum ditangani. Di beberapa instalasi yang berhubungan dengan ketenaganukliran, *safety induction* tidak lagi dilakukan secara umum, tetapi sudah diarahkan khusus ke bahaya radiasi. Ini mencakup pemahaman tentang penggunaan alat deteksi proteksi radiasi (ADPR), prosedur evakuasi dan operasi kedaruratan nuklir, struktur organisasi penanganan darurat, kontak person, akses area tertentu, letak alat atau lokasi yang memiliki potensi bahaya radiasi serta sirine darurat. Pemahaman ini membantu karyawan menjadi lebih siap dan sadar akan langkah-langkah yang perlu diambil untuk menjaga keselamatan diri dan orang lain. Pekerja yang telah melalui *safety induction* biasanya mendapatkan sertifikasi dan bukti bahwa pekerja tersebut telah melalui langkah orientasi awal tersebut, diharapkan pekerja merasa lebih percaya diri karena mereka tahu apa yang harus dilakukan untuk menjaga keselamatan mereka. Kepercayaan diri ini membuat mereka lebih proaktif dalam mengidentifikasi dan melaporkan potensi bahaya, yang pada akhirnya meningkatkan keselamatan secara keseluruhan.

Jika *safety induction* untuk risiko radiasi tidak diberikan secara memadai, konsekuensinya bisa sangat serius. Pekerja mungkin tidak memahami cara menggunakan alat deteksi proteksi radiasi (ADPR) dengan benar atau tidak tahu bagaimana merespons dalam situasi darurat nuklir. Tanpa pemahaman yang tepat, mereka mungkin tidak mengenali tanda-tanda bahaya radiasi dan memasuki area berbahaya tanpa perlindungan yang memadai. Hal ini tidak hanya membahayakan keselamatan mereka sendiri tetapi juga dapat menimbulkan risiko bagi rekan kerja dan masyarakat sekitar. Selain itu, kurangnya

pengetahuan ini dapat menyebabkan penanganan insiden radiasi yang tidak tepat, yang pada akhirnya dapat memperburuk situasi darurat. Dengan demikian, *safety induction* memainkan peran krusial dalam meningkatkan *safety awareness* di tempat kerja.

## 2. Hubungan antara Tool Box Meeting dengan Safety Awareness

Kegiatan *Tool Box Meeting* yang diadakan sehari-hari sebelum dimulainya pekerjaan terdiri atas supervisor pekerjaan, pekerja, dan petugas keselamatan kerja (K3). Kegiatan ini menjadi wadah untuk mengetahui langkah-langkah keselamatan yang perlu diambil terkait bahaya yang sudah diidentifikasi di dalam dokumen *Job Safety Analysis (JSA)* dan *Hazard Identification and Risk Assessment plus Determinan Control (HIRADC)*. Melalui sesi ini, pekerja diberikan peluang untuk bertanya, memberikan masukan, dan memahami risiko-risiko yang mungkin muncul di tempat kerja. Sesi ini juga menjadi wadah untuk koordinasi antar unit aktivitas lain, agar tidak ada kesalahpahaman antar unit kerja dan setiap aktivitas dapat berjalan secara efektif, efisien dan harmonis.

Apabila pekerja lebih waspada dan paham tentang bahaya radiasi yang mungkin terjadi maka mereka akan bagaimana cara untuk meminimalisir atau mengeliminasi bahaya dan risiko tersebut. Kegiatan *Tool Box Meeting* yang berkelanjutan secara tidak langsung akan membangun dan meningkatkan *Safety Awareness* dari setiap pekerja.

## 3. Hubungan antara Safety Awareness dengan Budaya keselamatan

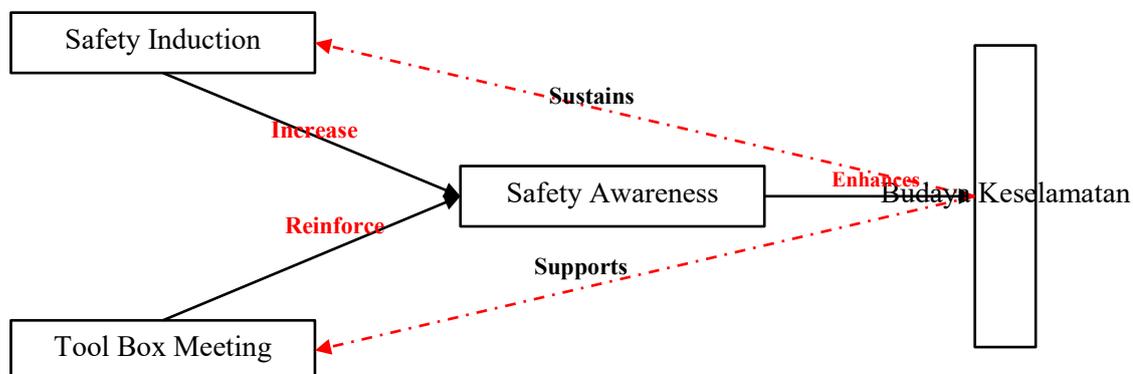
Peningkatan *Safety Awareness* dari setiap pekerja dapat berdampak signifikan dalam meningkatkan budaya keselamatan di suatu Perusahaan. Berikut tinjauannya menurut faktor kuncinya:

- a) **Prioritas Keselamatan Kerja:** *Safety Awareness* menekankan bahwa keselamatan adalah prioritas utama dalam semua kegiatan operasional. Ketika setiap pekerja memahami dan menghargai pentingnya keselamatan, mereka akan lebih mungkin memprioritaskan tindakan-tindakan yang mendukung keselamatan.
- b) **Komunikasi Keselamatan:** *Safety Awareness* penting untuk meningkatkan komunikasi keselamatan di antara pekerja dan manajemen. Pekerja yang sadar akan lebih proaktif dalam melaporkan bahaya, berpartisipasi dalam diskusi keselamatan, dan berbagi informasi untuk menciptakan lingkungan keselamatan yang terbuka dan berkelanjutan.
- c) **Pelatihan Keselamatan:** *Safety Awareness* mendorong pekerja untuk mengikuti dan memanfaatkan pelatihan keselamatan secara nyata dan aktual. Pekerja yang memahami pentingnya keselamatan akan lebih aktif terlibat dalam sesi pelatihan, berusaha memahami dan mengaplikasikan pengetahuan yang didapat dari pelatihan.
- d) **Partisipasi Pekerja:** *Safety Awareness* meningkatkan partisipasi pekerja dalam inisiatif keselamatan. Pekerja dengan *safety awareness* cenderung berpartisipasi dalam program perusahaan, memberi masukan konstruktif, dan merasa bertanggung jawab terhadap keselamatan diri dan rekan kerja.
- e) **Fatalism:** Fatalisme adalah sikap pasrah terhadap nasib atau percaya bahwa kecelakaan tidak bisa dihindari. Tingkat *safety awareness* yang tinggi dapat mengurangi sikap fatalisme di kalangan pekerja. Pekerja sadar keselamatan percaya kecelakaan dapat dicegah dengan tindakan tepat, termotivasi mematuhi prosedur keselamatan, dan menyebarkan optimisme bahwa lingkungan kerja aman dapat tercapai.
- f) **Safety Awareness:** *Safety Awareness* itu sendiri adalah pondasi dari budaya keselamatan yang kuat. Saat setiap pekerja memiliki *safety awareness* maka keselamatan menjadi nilai inti yang dipegang setiap orang di Perusahaan. Semua Tindakan yang berkaitan dengan K3 dilakukan secara sukarela dan konsisten sehingga terjadi peningkatan umum perilaku selamat dan resiko kecelakaan berkurang.

Secara keseluruhan, *Safety Awareness* dari setiap pekerja memperkuat budaya keselamatan perusahaan atau organisasi. Dengan memastikan bahwa keselamatan selalu diutamakan, dikomunikasikan dengan jelas, didukung oleh pelatihan yang tepat, melibatkan partisipasi aktif pekerja, dan menghilangkan sikap fatalisme. Kesadaran ini menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, di mana setiap orang merasa bertanggung jawab atas keselamatan bersama.

#### 4. Diagram Hubungan antara Safety Induction, Tool Box Meeting, Safety Awareness dan Budaya Keselamatan

Diagram yang ada pada Gambar 1. menggambarkan hubungan antara beberapa elemen dalam konteks keselamatan kerja: *Safety Induction*, *Tool Box Meeting*, *Safety Awareness*, dan Budaya Keselamatan. Berikut penjelasan dari diagram tersebut:



Gambar 1. Diagram hubung *Safety Induction*, *Tool Box Meetings*, *Safety Awareness* dan Budaya Keselamatan

Berdasarkan Gambar 1. *Safety Awareness* diantara pekerja ditingkatkan melalui *Safety Induction* melalui pemberian pengetahuan dan pemahaman awal tentang keselamatan kerja. Selain itu *safety awareness* juga diperkuat oleh *tool box meeting* melalui diskusi sebelum pekerjaan dimulai berikut dengan pencegahannya.

Hubungannya dengan budaya keselamatan, *safety awareness* yang tinggi akan mendukung dan memperkuat budaya keselamatan karena *safety awareness* dari setiap pekerja ini merupakan landasan bagi terciptanya budaya keselamatan pada suatu Perusahaan.

Hubungan antara budaya keselamatan dengan *safety induction* disini adalah budaya keselamatan yang kuat akan mempertahankan program *safety induction* yang dilaksanakan secara efektif. Dalam sebuah organisasi dengan budaya keselamatan yang mapan, pentingnya pengenalan keselamatan diakui dan diprioritaskan, sehingga mengarah pada sesi pelatihan yang teratur dan menyeluruh bagi karyawan baru dan mereka yang baru memasuki lokasi atau tugas tertentu.

Hubungan antara budaya keselamatan dengan *tool box meeting*, budaya keselamatan yang kuat akan mendorong *tool box meeting* diadakan secara teratur dan konsisten, karena pertemuan ini dipandang sebagai peluang berharga untuk membahas masalah keselamatan.

### Kesimpulan

Elemen-elemen dalam konteks keselamatan kerja seperti *Safety Induction*, *Tool Box Meeting*, *Safety Awareness*, dan budaya keselamatan memiliki hubungan yang saling berkaitan. Membangun *safety awareness* pekerja melalui program *safety induction* dan *tool box meeting* yang konsisten adalah langkah krusial untuk menciptakan budaya keselamatan yang kuat dalam perusahaan atau organisasi.

Melalui *safety induction* dan *tool box meeting* yang berkelanjutan. Diharapkan risiko cedera dan kecelakaan kerja dapat diminimalkan, serta tercipta lingkungan kerja yang aman dan produktif. Selain itu, jika *safety induction* untuk risiko radiasi tidak diberikan secara memadai, konsekuensinya bisa sangat serius, seperti peningkatan risiko paparan radiasi, ketidaksiapan dalam situasi darurat nuklir, dan potensi penanganan insiden radiasi yang tidak tepat.

## Daftar Pustaka

- [1] T Febrianti dan L F Syaiful (2022) *Sosialisasi Penerapan Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Dan Pengendalian Bahaya Di Smkn 2 Bengkulu Utara*. Buletin Ilmiah Nagari Membangun. No Vol 4 No 4. pp. 277-284
- [2] N Fawaid, A H Z Fasya dan G Dirgantara (2023) *Implementasi Safety Induction untuk Meningkatkan Kesadaran Keselamatan Kerja di Lingkungan ULP Gedangan Sidoarjo*. Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia (JKMI), p. 2, Sidoarjo
- [3] R L Brauer (2016) *Safety and Health for Engineers*. Hoboken: John Wiley & Sons
- [4] Z Alwan, P Jones dan P Holgate (2017) *The Importance of Safety Induction in Construction Site*. *Journal of Construction Engineering and Management*
- [5] A Singh dan S Kumar (2019) *Effectiveness of Safety Induction Training in the Manufacturing Industry*. Safety Science
- [6] International Standard Organization (2018) *ISO 45001:2018 - Occupational Health and Safety Management Systems*. ISO, Jenewa
- [7] International Labour Organization (2019) *OSH Management at the Workplace: Addressing Young Workers Needs*. International Labour Organization, Jenewa
- [8] Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (1970) *Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja*. Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia, Jakarta
- [9] Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia (2018) *Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 8 Tahun 2018 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Kementerian Tenaga Kerja, Jakarta
- [10] H M Phil dan F Ed (2020) *Introduction to Health and Safety at Work for Introduction to Health and Safety at Work*. Taylor & Francais, Landon
- [11] N A B Alias, M R R B M A Zainol dan F B Shahbudin (2019) *The Impact of Toolbox Meeting on Occupational Health and Safety (OHS) in the Construction Industry*. no. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences
- [12] A R Muslim dan F Harianto (2021) *Efek Safety Talk Terhadap Perilaku K3 Di Proyek Apartemen Grand Dharmahusada Lagoon Surabaya*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, no. Vol. 10 No. 1 (2021), p. 99–111
- [13] R Manawis (2024) *A Guide to Toolbox Talks & Toolbox Talk Topics*. Safety Culture Ltd., 19 04 2024. [Online]. Available: <https://safetyculture.com/topics/toolbox-topics/>. [Diakses 14 06 2024].
- [14] S Dursun *The impact on safety behaviour of occupational safety culture*. no. 3, pp. 61-75.
- [15] A Byung-Jon, S Ki-Seok dan R Jhong-Kuk (2019) *The Effect of Safety Culture on the Safety Awareness and Safety Behavior of Manufacturing Workers*
- [16] A H A Halim dan A H A Razak (2023) *Evaluation of Safety Awareness Among Workers Related to Physical Injury Accident in Manufacturing Industry*. no. Vol. 4 No. 1, p. 2
- [17] H Gluyas dan S J Harris (2015) *Understanding Situation Awareness and Its Importance In Patient Safety*. pp. 50-60
- [18] M K Ron C (2012) *Safety Management: Near Miss Identification, Recognition, and Investigation* CRC Press, Florida
- [19] A Glendon dan N Stanton (2000) *Perspectives on safety culture*. Safety Science, no. 34, pp. 193-214
- [20] Presiden Republik Indonesia (2023) *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 45 Tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif*. Lembaga Eksekutif Republik Indonesia, Jakarta, pp. 3-131.
- [21] A Hakim, W Hariyono dan S (2024) *Analysis of safety talks or safety communication in industry: a literature review*. Jurnal eduHealt, no. Volume 15 , Number 01, 2024, p. 4
- [22] H Gurbuz dan H Ibrakovic (2017) *Work Safety, Safety Performance and Safety Culture In Businesses,*” no. 4, pp. 442-469



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Factors that Caused Artifacts on Soft Copies Radiograph Result of Computed Radiography at RSA UGM Yogyakarta

Penina, Rohmawati Metaningrum<sup>1</sup>, Gloria Patricia

<sup>1</sup>*D-III Radiodagnostic Engineering and Radiotherapy Yogyakarta; ATR0 Yogyakarta; Jl. Magelang km.8; Sleman; Yogyakarta (Times New Roman 11)*

Korespondensi penulis:  
metaningrumrohma@gmail.com

### Abstract

Computed radiography is used as a new modality in making diagnoses by providing many advantages over conventional radiography. Computed radiography produces different artifacts from conventional radiography. Artifacts are generated from various models of computed radiography devices such as imaging plates, cassettes, electro-optic systems to develop images, while computer algorithms are used to process latent images and hard copy output devices. All of these components can be sources of artifacts. The purpose of this study was to determine the factors causing artifacts and the factors causing the largest artifacts in the results of radiographs (soft copy) computed radiography at the Radiology installation of RSA UGM Yogyakarta. The research method used is a case study with a survey approach. Data were obtained by observing, interviewing and documenting the factors causing artifacts in the results of softfile computed radiography at the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta. The results of the study explained that the factors causing artifacts in softfile computed radiography results were caused by two factors, namely foreign objects or dirt on the imaging plate and scratches and cracks on the imaging plate. While the biggest cause of artifacts is due to scratches and cracks on the imaging plate.

**Keywords:** Artifact, radiology softfile, computed radiology.

### Introduction

In service sector health, Installation of radiology play an important role as medical support. Diagnosis enforcement of a disease by utilizing radiation through creating impact radiographic images in radiology growing every decade. Technology in the field of radiology has developed greatly can be proven rapidly by increasingly sophisticated radiological modalities. Processing film as well as development others in creation tools are also getting better, effective and efficient. Starting with manual film processing, automatic film processing, Computed Radiography (CR) to Digital Radiography (DR).

Artifacts can be in the form of spots, scratches, jewelry and removable dentures The appearance of artifacts is due to dirty receptor images, lack of understanding of operators to remove jewelry before exposure and due to poor handling [1].

Artifacts in radiology mostly refer to something visible on the image that is not present in reality but appears due to the peculiarities of the modality itself. Artifacts are also used to describe findings caused by things outside the patient that can obscure or distort the image, e.g. clothing, external cardiac monitor leads, nurse body parts, etc. The most common artifact seen in radiology is image noise, which is inherent to every modality and technique, and can be reduced but never eliminated. [3].

All forms of radiographic artifacts in general according to [4] are:

- a) Motion artifacts caused by patient movement and resulting in distorted images. 2. Image composition (or double twin exposure) i.e. superimposition of two structures from different locations due to double exposure of the same film/plate.
- b) Grid Cut-Off is the unwanted absorption of X-rays through an X-ray grating, which is observed when the grating is used incorrectly, most commonly seen with parallel gratings. The term cutoff is derived from the phenomenon where the x-ray beam is 'cut off' by the grid, causing an overall decrease in optical density or a decrease in radiographic exposure (more blurring). The mechanism by which grid cutoff occurs varies based on the grid used.
- c) Radiopaque objects on the outside of the patient (e.g. jewelry (e.g. necklaces, piercings) clothing (e.g. buttons), hair (e.g. ponytails hair braids, etc).
- d) Debris caused by the collimator tube may cause a small trapezoidal area indicating lead shavings.

Computed radiography is a system or process for changing analog system on conventional radiography [5]. Computed radiography is used as a new modality in enforcement diagnose with lots give superiority compared to radiography conventional. On computed radiography can produce the good one image quality radiograph. Radiograph image quality can include density, contrast, detail, sharpness [6].

Computed radiography can give rise to the artifact can bother radiograph image quality and different that of conventional radiographs. An is artifact disturbance on appearance picture image radiography consequence various error. Artifact generated from various models of computed radiography devices such as imaging plates, electro-optical systems to develop image, computer algorithm for processing latent image and output devices hardcopy. All of these components can be sources of artifacts. These artifacts can interfere with reading the doctor's diagnosis results. So because of this, the author is interested in adopting it as research work scientific writing which entitled "Factors Causing Artifacts In Radiograph Results (Soft File) Computed Radiography at RSA UGM Yogyakarta".

This research aims to determine the factors that causes artifacts and what are the largest factors that cause artifacts on soft copies of radiograph results computed radiography at the Radiology Installation at RSA UGM Yogyakarta.

## **Method**

### **1. Type and Research Design**

The type of research conducted is a case study with a survey method at the Installation of radiology RSA UGM Yogyakarta.

### **2. Subjects and Objects of Research**

The subjects of this research are radiologists and radiographers. While the object of research is the factors that cause computed radiography artifacts.

### **3. Time and Location of Research**

This study was conducted in December-June 2022 and was conducted in the computed radiography room of the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta.

### **4. Instruments of Research**

- a) Transcript of observation
- b) Interview transcript
- c) Stationery
- d) Flashdisk
- e) Recordings
- f) Camera

## 5. Stages of Research

### 1) Data Collection Technique

#### a) Observation

The researcher observed the process of making radiographs with a computed radiography system at the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta.

#### b) Interview

Interview is a method of collecting data by conducting questions and answer related to the object under study, by conducting question and answer with one radiologist and two radiographers at the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta.

#### c) Documentation

Make soft file copies of radiographs computed radiography that exists artifacts.

### 2) Data Analysis

The data that has been generated from the results of interviews, questionnaires, and documentation is then made open coding (open close) of all respondents' answers and then from the coding is analyzed based on the group of factors causing artifacts, calculating the number and percentage of artifacts on softfile radiographs and then determining the factors that cause the largest artifacts in the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta

## Results and Discussion

### 1. Results

#### 1) Artifacts



Figure 1. Artifacts Caused By Cracks or Scratches on The Imaging Plate



Figure 2. Artifacts Caused By Dirt and Foreign Matter On The Imaging Plate

2) Calculation of the number of artifacts on soft copy radiographs

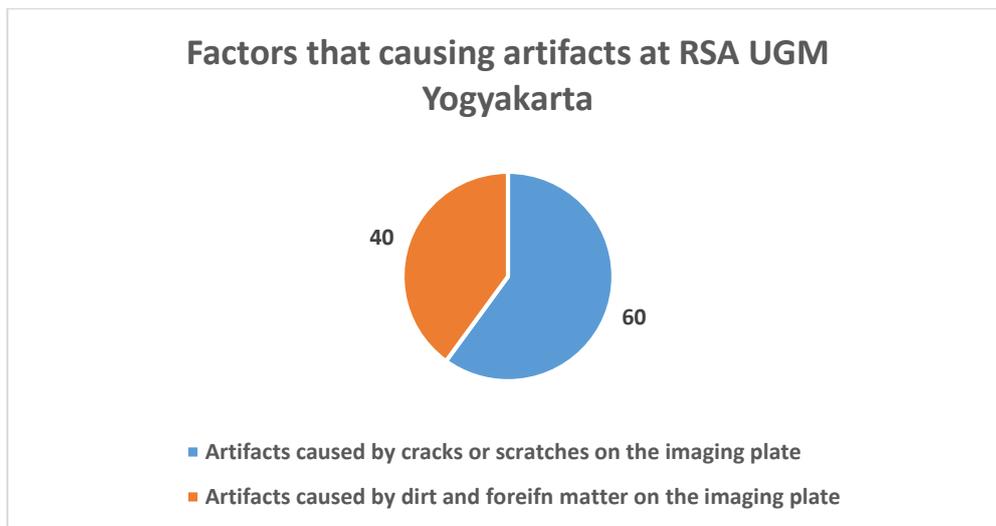


Figure 3. Factors that causing artifacts to imaging plate

During the period of December to June 2022, seen from the pie chart on Figure 3, it shows that the largest percentage of failures is due to cracks and scratches on the imaging plate which is 60% and the smallest percentage of failures is due to dirt and foreign matter on the imaging plate.

3) Description of artifacts based on factors causing

In this study, the authors collected data using the interview method. In the interview method, the authors conducted interviews with radiologists and radiographers at the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta.

a) Artifacts caused by cracks or scratches on the imaging plate

The factor that causes artifacts on radiographs (soft file) in computed radiography is the presence of scratches on the IP when the imaging plate passes through the plate reader, the IP must bend so this

can cause IP vulnerability to cracks and scratches. So, the cracks and scratches are due to the frequent passing of the imaging plate through the reader.

Based on the respondent's statement (R1) RSA UGM Yogyakarta is "There is little possibility of artifacts. Factors that can cause it are because the content of the film is not good and scratches on the IP, human error, you should be more careful."

Based on the respondent's statement (R4) RSA UGM Yogyakarta, namely "Very rarely for Fuji CR for certain kodak tapes often most cases are because the IP used her scratches due to the reader tool the most common case is scratches on the IP. Periodic checking and service of the reader tool must be carried out, so that when the IP enters the IP reader tool it is not scratched by the tool in the reader."

Based on the respondent's statement (R5) RSA UGM Yogyakarta, namely "Artifacts are very rare but can also be caused by scratches due to reader tools. The causative factor is that the scratches on the IP need to be checked and evaluated so that when the IP enters the reader, it is not scratched."

#### b) Artifacts caused by dirt and foreign matter on the imaging plate

On the imaging plate there are foreign objects or impurities that can interfere with the radiograph results because they can cause artifacts.

In accordance with the statement of the respondent (R2) radiographer RSA UGM Yogyakarta, namely "Rarely artifacts occur Sometimes what makes artifacts in CR soft files are dirty tapes. The causative factor is because the tapes used are dirty, they have not been cleaned either. More often clean the cassette, slice it every morning"

According to respondent (R3), radiographers of RSA UGM Yogyakarta artifacts can be caused by foreign body and dirt factors, for example, barium residue after contrast examination, namely "Only occurs on one or two tapes should not be used anymore because it can interfere with the radiograph results. It could be due to the screen factor and it could also be because the cassette is not clean (there is barium residue on the cassette) There is a possibility of the CR film screen.... The cause may be age and the number of exopsies that have been received. Always check the condition of the CR and if it has exceeded the limit of use, the CR screen film should be rejuvenated."

## 2. Discussion

The author conducted a scientific paper research entitled "Factors Causing Artifacts on Radiograph Results (Soft files) Computed radiography at RSA UGM Yogyakarta" based on this title the author has a background that computed radiography is a new modality in diagnosis with many advantages over conventional radiography. However, computed radiography can cause artifacts that can interfere with the quality of radiograph images. Artifacts are disturbances in the appearance of radiographic images due to various errors Artifacts are generated from various models of computed radiography devices. The purpose of this study is to determine the factors that cause artifacts and the biggest factor that can cause artifacts. This study was conducted.

In the Radiology Installation of UGM Hospital Yogyakarta, for the specification of the tools used, there are 2 CR brands, namely Kodak and Fuji Film. For CR Kodak, the installation was carried out in 2012 while for CR Fuji film was installed in 2021. The installation of the Fuji film CR was carried out for additional modalities because actually the Kodak CR could still be used. Over time CR Kodak began to experience a decrease in the quality of radiographs,

therefore it is rarely used, usually used when there is an increase in the number of patients so that services are faster by using both CR Fuji Film and Kodak Based on the results of interviews with sources regarding the factors that cause artifacts on the results of Soft File Computed Radiography radiographs at the Radiology Installation of RSA UGM Yogyakarta. The factors that cause artifacts.

### 1) Artifacts caused by cracks or scratches on the imaging plate.

Based on the results of interviews with 5 radiographers of RSA UGM Yogyakarta, 3 of them or a percentage of 60% stated that the factor causing artifacts on the results of Soft File radiographs on Computed Radiography is the presence of scratches on the IP, these scratches hit the phosphor layer contained in the IP. This happens because the IP passes through the reader causing the vulnerability of the IP to cracks or scratches. To minimize this, it is necessary to check regularly and replace the new imaging plate if there is a scratches or cracks. So that the resulting radiograph can be maximized.

### 2) Artifacts due to foreign matter or dirt

Based on the results of interviews with 5 radiographers of RSA UGM Yogyakarta, 2 radiographers or 40% stated that the factors that can cause artifacts to appear on radiographs (Soft Files) on Computed Radiography are because the imaging plate has dirt, for example, such as residual barium that is still attached so that it can interfere with radiograph results. To minimize this, it is necessary to do routine cleaning so that before use there is no dirt attached. For the IP example, the cleaning process has been carried out.

## Conclusion

Based on the results of interviews with respondents, namely 5 radiographers of RSA UGM Yogyakarta and 2 radiology doctors of RSA UGM Yogyakarta, the following conclusions can be drawn:

1. Factors causing artifacts on the results of radiographs (Soft File) Computed Radiography at RSA UGM Yogyakarta according to the statements of 5 respondents, namely 5 radiographers of RSA UGM Yogyakarta through interviews are types of imaging plate artifacts, namely the first artifact caused by cracks or scratches on the imaging plate and the second is artifacts caused by cracks or scratches on the imaging plate caused by dirt and foreign matter on the imaging plate.
2. The biggest contributing factors of artifacts in Computed Radiography soft files at RSA UGM Yogyakarta is a crack or scratch on the imaging plate.

## Daftar Pustaka

- [1] Noor, Vivi, Alfiyani (2019). Quality Assurance of Digital Panoramic Radiographs in Terms of Artifacts in Hospitals in Semarang City. Undergraduate Thesis Sultan Agung Islamic University
- [2] Sari, Ayu W., and Fadly. (2017). Factors Causing Artifacts on Radiograph Result (Soft Copy) in the Radiology Installation of Dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten Hospital, STIKES Guna Bangsa Yogyakarta
- [3] Bell, Dr Daniel J (2020). Radiological Image Artifact. American Journal of Roentgenology
- [4] Niknejad and Shetty (2020). X-ray artifacts. Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 12 Jul 2024) <https://doi.org/10.53347/rID-27307>
- [5] Maesaroh, Dewi and Ary Kurniawati. (2019). Analysis of Factors Causing Digital Image Repetition Using Computed Radiography (CR) in the Radiology Installation of Sunan Kalijaga Demak Hospital, KEMENKES POLTEKKES Semarang : Indonesia
- [6] Lampignano, J. P. (2018). Bontrager's Textbook of Radiographic Positioning and Related Anatomy, Ninth Edition. United States of America: Elsevier
- [7] Papp, Jeffrey. (2011). Quality Management In The Imaging Sciences, Fourth Edition. St.Louis: Missoururi.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Pengaruh Variasi Tegangan Tabung pada Pesawat Sinar-X di RS Islam Yogyakarta PDHI terhadap Kualitas Radiograf

Ardian Eka Nugraha, Rohmawati Metaningrum, Septiani

*Prodi D-III Teknik Radiodiagnostik Dan Radioterapi Citra Bangsa Yogyakarta ; ATRO Citra Bangsa Yogyakarta ; Jl. Magelang km.8 ; Sleman ; Yogyakarta*

Korespondensi penulis:  
Ardianekan07@gmail.com  
septianilyn@gmail.com

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian pengaruh faktor eksposi terhadap kualitas citra radiografi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan tabung pada pesawat sinar-x konvensional di RS Islam Yogyakarta PDHI terhadap kualitas radiograf. Penelitian ini menggunakan *phantom antebrachi*, dengan *focus film distance* (FFD) 100 cm dan luas lapangan penyinaran 15 cm × 15 cm. Kondisi penyinaran diberikan dengan faktor eksposi meliputi variasi tegangan tabung sebesar 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, 90 kV biasa disebut dengan teknik standar atau teknik tegangan rutin dan arus waktunya sebesar 8 mAs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas citra akan semakin menurun terhadap penggunaan arus dan waktu yang tinggi. Kualitas citra dapat dilihat pada histogram derajat keabuan menggunakan *software platform java Image-J Basics version 1.38* untuk mendapatkan nilai optimum dari faktor eksposi pada kualitas citra.

**Kata Kunci:** *Computed Radiography (CR), Kontras, Image-J, Histogram derajat keabuan.*

### Abstract

*The research on the influence of exposure factor on radiographic image quality has been conducted. The purpose of this research is to determine the effect of tube voltage variations on conventional x-ray at Yogyakarta PDHI Islamic Hospital on the quality of radiographs. This research uses phantom antebrachi, water in plastic container as human substitute with focus film distance (FFD) 100 cm and broad field of irradiation 15 cm × 15 cm. The exposure conditions are given by exposure factors including variations in tube voltages of 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, 90 kV called standard techniques or routine voltage techniques and the time flow is as big as 8 mAs. The results showed that the image quality will decrease with the use of current and time high. Image quality can be seen on gray-level histogram using java Image-J Basics version 1.38 software to get optimum value from exposure factor on image quality.*

**Keywords:** *Computed Radiography (CR), contrast, image-J, gray-level histogram.*

### Pendahuluan

Pemeriksaan radiologi merupakan pemeriksaan yang dilakukan dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk menunjang suatu penyakit melalui pemeriksaan organ tubuh tertentu. Dalam pemeriksaan radiologi kualitas radiografi sangat berpengaruh dalam penentuan ketepatan diagnosa suatu penyakit bidang radiodiagnostik [1]. Untuk dapat menghasilkan radiografi yang memberikan informasi maksimal diperlukan kualitas radiografi meliputi densitas, kontras, ketajaman dan distorsi

maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk menekan faktor-faktor yang dapat menurunkan kualitas radiograf. Penurunan kualitas citra radiograf disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah pengaruh jarak, pengaruh kilovolt, dan pengaruh arus.

Faktor lain yang menentukan kualitas radiografi yaitu faktor eksposi. Faktor eksposi adalah faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar-X yang diperlukan dalam pembuatan gambar radiografi [2]. Faktor eksposi terdiri dari tegangan tabung (KV), arus tabung (mA), dan waktu penyinaran (s) [3]. Pengaturan faktor eksposi yang tepat dapat menghasilkan kontras radiografi yang optimal yaitu mampu menunjukkan perbedaan derajat kehitaman yang jelas antar organ yang mempunyai kerapatan berbeda [1].

## Metode

### 1. Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pesawat mobile Sinar-X dengan merek pesawat siemen, seperangkat *Computed Radiography (CR)*, kaset CR, film dan densitometer. Bahan yang digunakan berupa *phantom antebrachi*.

### 2. Pengeksposan Objek

Pengeksposan objek dilakukan dengan persiapan alat dan bahan, menempatkan objek diatas pertengahan kaset CR yang telah diletakkan di atas meja pemeriksaan, lalu mengatur jarak objek dari tabung 100 cm dengan luas lapangan penyinaran pada kolimator 15cm×15cm [4]. Faktor eksposi diatur dengan variasi tegangan tabung 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, 90 kV dan arus waktunya sebesar 8 mAs.

### 3. Memproses Citra Radiografi

Kaset CR yang telah di eksposi akan membentuk bayangan laten dibaca perangkat *computed radiography* dengan *imaging plate reader*. Bayangan laten diubah menjadi cahaya tampak melalui *scanner* pada *imaging plate reader*. Cahaya ini kemudian diubah menjadi sinyal digital/listrik, selanjutnya dideteksi dan dikirim melalui *analog digital converter* ke komputer untuk diproses.

### 4. Analisis Data

Analisa yang dilakukan berdasarkan parameter-parameter visualisasi citra dan histogram derajat keabuan. Analisa dilakukan terhadap kontras (*contrast*) dan ketajaman citra (*sharpness*). Pada analisa histogram derajat keabuan akan diperoleh informasi tentang distribusi intensitas derajat keabuan citra berdasarkan distribusi *gray level* menggunakan *software platform java Image-J Basics version 1.38*.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Hasil Citra Radiograf secara Visual

Penulis melakukan penelitian karya tulis ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi Tegangan Tabung pada Pesawat Sinar-X di RS Islam Yogyakarta PDHI Terhadap Kualitas Radiograf” berdasarkan hal tersebut memiliki latar belakang yaitu pemeriksaan radiologi merupakan pemeriksaan yang dilakukan dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk menunjang suatu penyakit melalui pemeriksaan organ tubuh tertentu.

Dalam pemeriksaan radiologi kualitas radiografi sangat berpengaruh dalam penentuan ketepatan diagnosa suatu penyakit bidang radiodiagnostik [1]. Untuk dapat menghasilkan radiografi yang memberikan informasi maksimal diperlukan kualitas radiografi meliputi densitas, kontras, ketajaman dan distorsi maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk menekan faktor-faktor yang dapat menurunkan

kualitas radiograf. Penurunan kualitas citra radiograf disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah pengaruh jarak, pengaruh tegangan tabung, dan pengaruh arus tabung.

Pengaturan faktor eksposi yang tepat dapat menghasilkan kontras radiografi yang optimal yaitu mampu menunjukkan perbedaan derajat kehitaman yang jelas antar organ yang mempunyai kerapatan berbeda [1].

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis mendapatkan hasil berupa pengaruh variasi tegangan tabung pada pesawat sinar-x konvensional di RS Islam Yogyakarta PDHI terhadap kualitas radiograf. Penelitian menggunakan pesawat konvensional merek Toshiba tipe DRX-670 seri 4048 dilakukan di Lab ATRO dengan hasil yang tidak presisi, disebabkan dari kV/tegangan tabung mengalami naik atau turun setelah melakukan ekspose selanjutnya penelitian dilakukan di RS Islam Yogyakarta PDHI dengan spesifikasi alat konvensional merek Siemens.

Kualitas citra radiograf dapat dilihat dari pemilihan faktor eksposinya, dalam hal ini penulis tertarik mempelajari pengaruh dari tegangan tabung dengan menentukan variabel kontrol mAs yakni 8 mAs, FFD 100, variabel bebas hasil citra radiograf dan variabel terikat arus, tegangan tabung, dari penelitian tersebut didapatkan bahwa analisis kualitas citra dilakukan berdasarkan parameter visualisasi citra dan histogram derajat keabuan. Analisa dilakukan terhadap kontras (*contrast*) dan ketajaman citra (*sharpness*). Rata-rata ukuran citra radiograf yang diperoleh yaitu 2868 x 3460 piksel dengan resolusi 8\_bit ditampilkan dan disimpan dalam format JPEG image (.jpg). hasil dari setiap citra radiograf *phantom antebrachi* yang telah dilakukan pengeksposan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. *Phantom 1* 40 kV



Gambar 2. *Phantom 2* 50 kV



Gambar 3. *Phantom 3* 60 kV



Gambar 4. *Phantom 4* 70 kV



Gambar 5. *Phantom 5* 80 kV



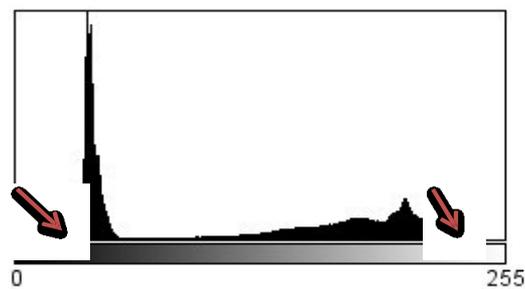
Gambar 6. *Phantom 6* 90 kV

Secara visual, citra *phantom antebraichi* dapat jelas terlihat ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2 dengan penggunaan faktor eksposi 40 kV dan 50 kV. Citra yang ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2 mempunyai kontras citra yang relatif cerah, hal ini dapat dilihat dari kemampuan citra *phantom* untuk dibedakan terhadap *background*.

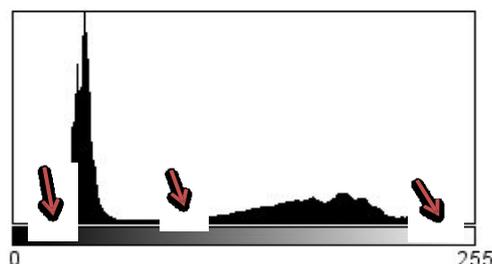
Ketajaman adalah kemampuan memperlihatkan batas yang tegas antara dua daerah yang memiliki kerapatan berbeda. Gambar 3 dan gambar 4 terlihat pada citra menunjukkan gradasi yang baik yaitu perbedaan putih terang hingga hitam keabuan yang sempurna dan perbedaan antara objek *phantom* dengan daerah sekitar objek. Kontras gambar 3 dan gambar 4 ini tergolong citra kontras bagus karena mampu membedakan *soft tissue* dan tulang dan memperlihatkan jangkauan nilai keabuan yang lebar tanpa ada suatu nilai keabuan yang mendominasi.

Terlihat pada citra radiografi gambar 3 dan gambar 4 objek tidak begitu jelas, tetapi ketajaman tepi objek dan bagian objek dapat dideteksi. Citra ini memiliki kontras yang rendah karena hasil citra cenderung gelap, sehingga cukup sulit untuk dapat dibedakan antara objek dan *background*.

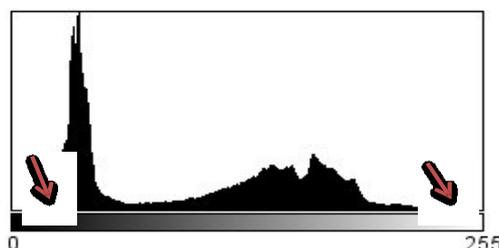
## 2. Analisis Histogram Derajat Keabuan Citra Radiograf



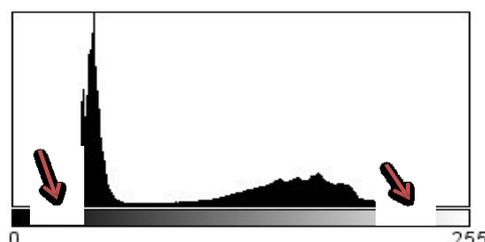
Gambar 7. Histogram 1 40 kV



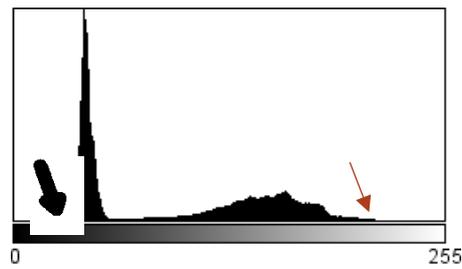
Gambar 8. Histogram 2 50 kV



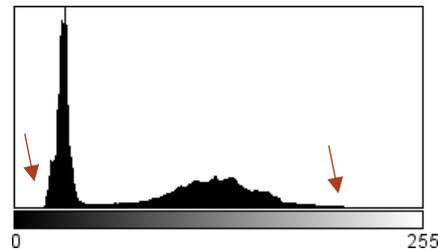
Gambar 9. Histogram 3 60 kV



Gambar 10. Histogram 4 70 kV



Gambar 11. Histogram 5 80 kV



Gambar 12. Histogram 6 90 kV

Analisis Histogram Derajat Keabuan Citra Radiograf. Dengan menggunakan *software* platform *java Image-J Basics version 1.38*. Histogram citra adalah grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas piksel dari suatu citra atau bagian tertentu di dalam citra. Histogram juga dapat menunjukkan banyak hal tentang kecerahan (*brightness*) dan kontras (*contrast*) dari sebuah gambar. Pada histogram 1 merupakan tampilan histogram *phantom* 1, seperti terlihat pada gambar 5 terdapat dua daerah bobot distribusi *gray level* yaitu dimulai dari posisi piksel 0 sampai 28 yang menunjukkan citra latar *background* hitam, serta posisi 29 sampai 231 merupakan area letak objek *phantom*. Pada histogram tersebut, *gray level* pada posisi 29 sampai 231 merupakan daerah dimana masih bisa dimungkinkan untuk memperoleh informasi tentang citra. Persebaran *gray level* histogram 1 mempunyai persebaran intensitas piksel mendekati area maksimum sehingga menghasilkan citra yang relatif cerah. Histogram 2 adalah histogram derajat keabuan *phantom* 2. Daerah bobot distribusi *gray level* pertama pada posisi 24 sampai 100, merupakan bagian *background* (citra latar) yang berwarna hitam. Daerah bobot distribusi derajat keabuan yang lain pada posisi 101 sampai 234 merupakan representasi citra objek *phantom* yang mempunyai *brightness* yang cukup tinggi.

Histogram 3 merupakan tampilan derajat keabuan *phantom* 3 yang memiliki distribusi *gray level* dari 24 sampai 234. Dari analisa memiliki kontras yang bagus karena memperlihatkan jangkauan nilai keabuan yang lebar. Citra radiografi dari *phantom* memiliki informasi radiografi lebih baik sehingga dapat direkomendasikan sebagai citra radiografi yang baik untuk nilai ekposisi yang optimum.

Distribusi *gray level* histogram 4 pada posisi 29 sampai 220 menunjukkan representasi citra objek *phantom* dan *background*. Tampilan histogram 4 merupakan derajat keabuan dari 70 kV dengan distribusi *gray level* cenderung ke kanan menuju daerah putih. Pada histogram tersebut, terlihat bahwa citra mempunyai tingkat kecerahan tinggi.

Histogram 5 memiliki distribusi *gray level* dengan posisi 29 sampai 114. Histogram ini adalah tampilan dari *phantom* 5. Tampilan histogram 5 terlihat di kanan yang memiliki gradasi warna hitam sehingga citra cukup terlihat gelap. Sama halnya dengan histogram 5, histogram 6 juga memiliki gradasi warna yang cukup hitam. Histogram 6 menunjukkan tampilan dari *phantom* 6, distribusi *gray level* yang dimilikinya 18 sampai 211. Oleh karena itu, histogram 5 dan histogram 6 kurang dapat dibedakan tingkat kontras citranya.

Pada hasil data pengukuran terhadap kriteria densitas dan kontras pada tegangan terendah (40 kV) dan Tegangan Tertinggi (90 kV) berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa kontras yang dihasilkan pada tegangan terendah 0,08 dan pada tegangan tertinggi 0,09. Pada rentan faktor ekposisi 40 kV sampai 90 kV dengan arus waktu 8 mAs mengalami kenaikan.

Tabel 1. Hasil Data Pengukuran Terhadap Kriteria Densitas dan Kontras Faktor Eksposi 90 kV dan 8 mAs

Faktor Eksposi		Densitas				Kontras ( $D_{II}-D_I$ )
KVp	mAs	D1	D2	D3	D	
90kVp	8mAs					
Antara Ulna dan Radius ( $D_I$ )		0,42	0,44	0,51	0,45	0,09
Ulna ( $D_{II}$ )		0,43	0,58	0,62	0,54	

## Kesimpulan dan Saran

### 1. Kesimpulan

- Berdasarkan penelitian pengaruh faktor eksposi pada 40 dan 50 kV mempunyai kontras citra yang relatif cerah, hal ini dapat dilihat dari kemampuan citra *phantom* untuk dibedakan terhadap *background*. Pada faktor eksposi 60 kV dan 70 kV tergolong citra kontras bagus karena memperlihatkan jangkauan nilai keabuan yang lebar tanpa ada suatu nilai keabuan yang mendominasi. Terlihat pada citra radiograf 80 kV dan 90 kV objek tidak begitu jelas tetapi ketajaman tepi objek dan bagian objek dapat dideteksi, citra ini memiliki kontras yang rendah karena hasil citra cenderung gelap sehingga cukup sulit untuk dapat dibedakan antara objek dan *background*.
- Dalam penelitian ini faktor eksposi yang paling optimum diberikan terhadap kualitas citra radiografi pada tegangan tabung 60 kV waktu arus 8 mAs karena citra radiografi dapat dibaca dan sudah memenuhi kualitas citra yang baik.

### 2. Saran

Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut pemeriksaan *phantom antebrachi* mengenai pengaruh variasi mAs.

## Daftar Pustaka

- [1] Dhahryan, 2009. *Pengaruh teknik Tegangan Tinggi Entrasce Skin Exposure (ESE) dan laju Paparan Radiasi Hambur*.
- [2] Sartinah, 2008. *Variasi Nilai Eksposi Aturan 15% pada Radiografi menggunakan Imaging Plate untuk mendapatkan Kontras Tertinggi*. Jurnal Berkala Fisika. ISSN: 1410-9662 Vol. 11, No. 2.
- [3] Rasad, 2005. *Radiologi Diagnostik*. Edisi kedua. Badan penerbit FKUI. Jakarta
- [4] Sparzinanda, eif, Nehru, N., & nurhidayah, nurhidayah. (2018). Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Kualitas Citra Radiografi. Journal Online Of Physics, 3(1), 14-22. <https://doi.org/10.22437/jop.v3i1.4428>



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Development of Nuclear Security Detection Architecture Program Implementation in Indonesia

E.H. Riyadi, Decky Dendy D., Lilis Susanti S., Petit Wiringgali

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

Author correspondence:  
dr.riyad.mti@gmail.com  
e.riyadi@bapeten.go.id

### Abstract

The territory of Indonesia is a vast maritime country with more than 17.000 islands and the second longest coastline in the world, covering 1.241 seaports and 237 airports. It is not very easy for the government of the Republic of Indonesia to supervise in and out of the border area. In addition, it opens a gap of vulnerability for entry and exit at the border from and to Indonesian territory. In this case, it requires good coordination and cooperation between BAPETEN as a nuclear energy supervisory agency in Indonesia, and related agencies, such as the Directorate General of Customs and other affiliated agencies, to supervise goods in and out containing radiation and avoid smuggling goods containing radiation. The paper will introduce a method for the proposed determination of RPM (Radiation Portal Monitor) needs analysis that will be installed at every seaport and airport throughout Indonesia. This proposed designation requires a threat assessment analysis that can assist in determining the number of RPMs to be installed based on the priority of threat assessment, considering that each seaport and airport in Indonesia has a different threat value. The threat assessment results set the categories of seaports and airports into three classes. Class 1 is a list of ten seaports and airports that have the highest threat score. Class 2 is a list of ports and airports comprising the second top ten with the highest threat score after class 1. Class 3 lists the remaining ports and airports with the highest threat score after class 2. The results of the paper set out the proposed policy as follows. Class 1 category, there are seaports and airports that most need RPM, so one RPM unit and three PRD (Personal Radiation Detector) units will be installed. Class 2 category, 3 PRD units will be provided, while the class 3 category here requires threat detection information from intelligence.

**Keywords:** NSDA, RPM, smuggling.

### Introduction

BAPETEN is the Indonesian Nuclear Energy Regulatory Agency responsible for ensuring nuclear energy utilization's safety, security, and safeguards [1]. Its vision is to become a world-class agency by fulfilling all concepts of national regulation harmonization, and adapting and adopting applicable international regulations. To achieve this vision, BAPETEN is conducting a series of activities to develop the Nuclear Security Detection Architecture (NSDA) as part of national policy and strategy [2]. This includes a comprehensive risk assessment, focusing on threat assessment as one of the critical elements.

As part of the threat assessment process, BAPETEN is mapping out the locations where radiation portal monitoring (RPM) for containers and pedestrians needs to be installed. Based on existing threat assessments, this analysis will enable BAPETEN to determine the RPM requirements for each type of installation at the designated vulnerable points. This effort is critical to ensure that nuclear energy

utilization is safe, secure, and compliant with national and international regulations. By fulfilling its mandate, BAPETEN contributes to protecting public health, safety, and the environment.

The Nuclear Security Detection Architecture is built based on threat assessment and needs assessment for nuclear security detection at the national level. The threat assessment was carried out in several stages to see if there were potential threats at each seaport and airport that were a point of concern. Several parameters and factors to be noted for this assessment are described as follows:

- a) The amount and type of radioactive substances (ZRA) have been grouped according to the type and danger of radiation (based on the half-life and exposure value of the ZRA radiation in question);
- b) Type of seaport or airport;
- c) Distance from each ZRA storage location to the seaport or airport location; and
- d) Information and data related to permits for ZRA transportation that have been issued by BAPETEN to relevant permit holders.

Meanwhile, the need assessment for nuclear security detection is carried out through:

- a) Evaluation of the results of the assessment of nuclear security threats outside supervisory control in the form of smuggling and misuse of radioactive substances and nuclear materials;
- b) Develop a nuclear security detection strategy and design;
- c) Develop priorities for developing nuclear security detection capabilities; and
- d) Develop a roadmap for developing nuclear security detection capabilities.

So, this paper aims to supervise goods in and out containing radiation and avoid smuggling goods containing radiation.

### **Legal & Regulatory Basis**

The technical recommendations for the Nuclear Security Detection Architecture in Indonesia are based on a range of legal and regulatory frameworks that the Government of Indonesia is fully committed to upholding. These include Law Number 9 of 1997 concerning the Ratification of the Treaty on the South East Asia Nuclear Weapon Free Zone (SEANWFZ) [3], Law Number 10 of 1997 concerning Nuclear Power [1], and several other laws such as Law Number 10 of 2014 concerning the Ratification of the International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism (ICSANT) [4], Presidential Regulation Number 46 of 2009 concerning the Ratification of Amendments to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material [5], Government Regulation Number 33 of 2007 concerning Safety of Ionizing Radiation and Safety of Radioactive Sources [6], Government Regulation Number 54 of 2012 concerning Safety and Security of Nuclear Installations [7], and Government Regulation Number 58 of 2015 concerning Radiation Safety and Security in the Transport of Radioactive Substances [8].

To ensure the safety and well-being of the people, the national nuclear security program in Indonesia is implemented based on various international agreements related to the prevention of illicit trade in radioactive substances. These agreements include:

- UN General Assembly Resolution 51/210 [9],
- UN Security Council Resolution 1373 [10],
- UNSC Resolution 1540 [11],
- Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT) [12],
- Convention on the Physical Protection of Nuclear Materials (CPPNM) and its amendments [13; 14],
- Safeguards Agreement and Additional Protocol to Safeguards Agreement [15; 16], and
- The Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources [17].

The Government of Indonesia understands the importance of fulfilling international commitments and domestic legal rules, and is constantly strengthening the National Nuclear Security Regime. This includes developing nuclear information security infrastructure:

- Development of nuclear information security infrastructure;
- Strengthening radioactive source security systems and physical protection,

- Development monitoring and response efforts,
- Strengthening safeguards, nuclear security management,
- Development supervisory coordination mechanisms; and
- Development of a nuclear security threat assessment document.

### Methods: Calculation of data on threat assessment

Data processing carried out to obtain a threat assessment ranking, including the vulnerability of a port which is influenced by several factors:

- a) The existence of ZRA utilization around the port
  - a. ZRA Categories  
The more dangerous the ZRA, the higher the contribution of that ZRA to the calculated vulnerability level.
  - b. Multiple ZRAs  
On this calculation, if other factors are ignored, two ZRAs are considered twice as dangerous as one ZRA.
- b) Likelihood of ZRA to enter the port
  - a. Weighting factor
    - i. Port type  
Port type is considered to have an effect on vulnerability.
    - ii. Security architecture unavailability  
Tight security systems are considered to prevent smuggling, so the vulnerability of a port depends on this factor. In this calculation, if a port has a strict security system, then the adversary tends to choose another port even though it is farther away.
  - b. The existence of other ports around the port  
The existence of other ports will affect the vulnerability of a port, because the danger will spread to more than one port.
  - c. Distance from ZRA utilization location to port  
This calculation assumes that the adversary will give priority to the nearest port of ZRA utilization, if it ignores security tightness. If there is more than one port near the ZRA and one port is closer than the other, then the influence of the ZRA on the vulnerability of the nearest port will be greater than the influence on the other ports. But if there is only one port around ZRA, then distance has no effect.

## 1. Port Vulnerability

Many uses of ZRA around ports directly affect the vulnerability of the port, so the vulnerability of a port ( $v_p$ ) can be defined in Equation (1).

$$v_p = \sum_{z \in Z} \kappa_z \rho_{z,p} \quad (1)$$

- $v_p$  = Port vulnerability  $P$   
 $\kappa_z$  = ZRA hazard level  $z$  by ZRA category  
 $\rho_{z,p}$  = ZRA  $z$  propensity to enter port  $P$   
 $Z$  = set of all ZRAs around the port

The equation above shows that the more ZRA around port  $P$ , the more members of  $Z$  will be, so that  $v_p$  will increase.

## 2. ZRA Categorization

The calculation assumes a category 1 ZRA is five times more dangerous than category 5, a category 2 is four times more dangerous than a category 5, and so on, so the hazard level of ZRA  $z$  based on category ZRA ( $\kappa_z$ ) is defined in Equation (2).

$$\kappa_z = f_K(k_z) = \begin{cases} 1 \rightarrow 5 \\ 2 \rightarrow 4 \\ 3 \rightarrow 3 \\ 4 \rightarrow 2 \\ 5 \rightarrow 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$= 6 - k_z$$

$\kappa_z$  = ZRA hazard level  $z$  by ZRA category

$f_K$  = function of influence of ZRA category on vulnerability

$k_z$  = ZRA  $z$  category

### 3. ZRA's tendency to Enter the Port

This calculation uses certain weighting factors, distance, and the presence of other ports to calculate the tendency of ZRA  $z$  to enter port  $P$  ( $\rho_{z,P}$ ).

#### 1) Influence of Distance

The farther the distance between ZRA  $z$  and port  $P$ , the smaller the tendency of ZRA  $z$  to enter port  $P$ , so that the distance, annotated  $d_{z,P}$  is compared upside down with  $\rho_{z,P}$ . Because the location of utilization is not necessarily in the middle of the city, it could be on the outskirts. Therefore, adjustments were made to the distance used in this calculating  $\rho_{z,P}$ . Then it is necessary to specify a certain value as the minimum distance, so that if the distance obtained is less than that value,  $d_{z,P}$  used is that value, or formally can be defined in equation (3).

$$d_{z,P} = \begin{cases} d_{min}, & \text{for } d_{z,P}^0 \leq d_{min} \\ d_{z,P}^0, & \text{for } d_{z,P}^0 > d_{min} \end{cases} \quad (3)$$

where  $d_{z,P}^0$  is the actual distance obtained by the haversine formula, and  $d_{min}$  is the minimum distance value taken.

#### 2) Effect of Weighting Factor

Port weighting factor  $P$ , denoted ( $W_P$ ) is influenced by port type and security architecture/system vulnerabilities. At this calculation, the port type as defined in equation (4).

$$W_P = 0.4 w_{jenis}(P) + 0.6 w_{scan}(P) \quad (4)$$

$w_{jenis}$  is a risk related to the type of port (national or international). Greater value means more risk. In this calculation, the value of  $w_{jenis}$ . The international port is 1 while the national is 0.1.

$w_{scan}$  is a risk associated with insufficient detection systems at ports. Greater value means more risk. In this calculation, the value of  $w_{scan}$  obtained by considering scanning rate and success rate and the scale used is 0–1.0.

#### 3) The Influence of the Existence of Other Ports

Based on the discussion in the previous two sections, the tendency of ZRA  $z$  to enter port  $P$  ( $\rho_{z,P}$ ) can be defined in equation (5).

$$\rho_{z,P} = \frac{W_P}{d_{z,P}} c_z \quad (5)$$

where  $c_z$  is a constant that is influenced by the presence of ports around ZRA  $z$ . The constant  $c_z$  is used to ensure the tendency of ZRA to enter each port when added up is a certain value.

### Discussion: RPM Needs Analysis

Given the vast territory of Indonesia, consisting of more than 17.000 islands spread throughout Indonesia, covering 1.241 seaports, 237 airports, and has the second longest coastline in the world, which is about 95.000 km. It should be realized that every seaport and airport in Indonesian territory does not have the same risk of smuggling goods. Therefore, it requires a threat assessment analysis that can help determine the number of RPM to be installed based on the priority of threat assessment, given the limited RPM provision budget. This threat assessment analysis will be what will assist decision making in determining the evaluation of RPM needs. In this case, cooperation and sharing of information and experience between BAPETEN and other agencies related to monitoring radiation detection potential are needed.

From the results of the evaluation of RPM needs in all seaports and airports in Indonesian territory, results were obtained which were divided into three categories, i.e.:

- Class 1 seaports and airports, which is a list of ports and airports consisting of the top ten that have the highest threat score.
- Class 2 seaports and airports, which is a list of ports and airports consisting of the second top ten that has the highest threat score after class 1.
- Class 3 seaports and airports, which is a list of ports and airports consisting of the third top ten that has the highest threat score after class 2.

Table 1 displays the results of the threat assessment analysis and RPM & PRD need at class 1 ports and airports. Here there are 10 seaports and airports that have the highest threat score values based on the results of threat assessment calculations. To maintain the safety of traffic in and out of Indonesian territory against smuggling radioactive sources, one RPM and three PRDs are needed for each entrance and exit at seaports and airports.

Table 2 displays the results of the analysis of PRD threat & need assessment at class 2 ports and airports. Here there are 10 seaports and airports that have the second highest threat score based on the results of threat assessment calculations. To maintain the safety of traffic in and out of Indonesian territory against smuggling radioactive sources, three PRDs are needed for each entrance and exit at seaports and airports. For the category of ports and class 2 airports, RPM installation is not planned or has not been planned considering the limited budget from the government.

Table 1. Threat assessment analysis and RPM & PRD needs at Class 1 Seaports (SP) and Airports (AP)

No.	Ports (SP/AP)	Threat Score	Built-in RPM	Vehicle RPM & (PRD) need*	Pedestrian RPM* need	Total RPM & (PRD)
1	A Seaport	1.000	0	2 (6)	0	2 (6)
2	B Seaport	0.934	1	8 (24)	0	8 (24)
3	C Airport	0.900	0	1 (3)	1	2 (3)
4	D Seaport	0.376	0	1 (3)	1	2 (3)
5	E Seaport	0.261	0	1 (3)	1	2 (3)
6	F Seaport	0.250	0	2 (6)	0	2 (6)
7	G Seaport	0.250	0	2 (6)	0	2 (6)
8	H Seaport	0.234	1	2 (6)	0	2 (6)
9	I Seaport	0.225	0	1 (3)	1	2 (3)
10	J Airport	0.176	0	1 (3)	1	2 (3)
<b>Total</b>				<b>21 (63)</b>	<b>5</b>	<b>26 (63)</b>

Table 2. Threat assessment analysis and PRD needs at Class 2 Seaports (SP) and Airports (AP)

No.	Ports (SP/AP)	Threat Score	Built-in RPM	Vehicle PRD Need	Pedestrian PRD Need	Total PRD
11	K Airport	0.175	0	3	1	4
12	L Seaport	0.161	0	6	0	6
13	M Airport	0.159	0	3	1	4
14	N Airport	0.136	0	3	1	4
15	O Airport	0.131	0	3	1	4
16	P Seaport	0.131	0	6	0	6
17	Q Seaport	0.091	0	6	0	6
18	R Seaport	0.081	0	6	0	6
19	S Seaport	0.080	0	6	0	6
20	T Airport	0.076	0	3	1	4
<b>Total</b>				<b>45</b>	<b>5</b>	<b>50</b>

Table 3. Threat assessment analysis at Class 3 Seaports and Airports

No.	Ports (SP/AP)	Threat Score	Vehicle PRD Need	Pedestrian PRD Need	Information
21	U Seaport	0.072	0	0	<b>Detection from Intelligence Information</b>
22	V Seaport	0.070	0	0	
23	W Seaport	0.064	0	0	
24	X Seaport	0.063	0	0	
25	Y Airport	0.063	0	0	
26	Z Airport	0.063	0	0	
27	AA Airport	0.062	0	0	
...	...	...	...	...	
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	

Meanwhile, Table 3 displays the results of threat assessment analysis at class 3 ports and airports. Here there are seaports and airports that have the next highest threat score after the second highest (from class 2) based on the results of threat assessment calculations. To maintain the safety of traffic in and out of and into Indonesian territory against smuggling radioactive sources, detection information from intelligence is needed here.

Table 1, Table 2 and Table 3, show the number of RPM and PRD needs for all classes of seaports and airports throughout Indonesia is 26 RPM and 113 PRD. To be able to provide all the RPM and PRD devices needed, a large budget is needed and considering budget constraints, a plan to procure RPM and PRD devices for the next six years is made starting from 2025. The results of RPM and PRD procurement planning for all seaports and airports are shown in Table 4 and Table 5.

Table 4. RPM and PRD Procurement Planning for Class 1 Seaports and Airports until 2030

No.	Ports (SP/AP)	Vehicle RPM & (PRD) need	Pedestrian RPM need	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total RPM & (PRD)
1	A Seaport	2 (6)	0	1(3)		1(3)				2(6)
2	B Seaport	8 (24)	0	2(6)			2(6)	2(6)	2(6)	8(24)
3	C Airport	1 (3)	1	1(3)			1			2(3)
4	D Seaport	1 (3)	1		1(3)		1			2(3)
5	E Seaport	1 (3)	1		1(3)			1		2(3)
6	F Seaport	2 (6)	0		1(3)			1(3)		2(6)
7	G Seaport	2 (6)	0		1(3)			1(3)		2(6)
8	H Seaport	2 (6)	0			1(3)			1(3)	2(6)
9	I Seaport	1 (3)	1			1(3)			1	2(3)
10	J Airport	1 (3)	1			1(3)			1	2(3)
	<b>Total</b>	<b>21 (63)</b>	<b>5</b>	<b>4(12)</b>	<b>4(12)</b>	<b>4(12)</b>	<b>4(6)</b>	<b>5(12)</b>	<b>5(9)</b>	<b>26 (63)</b>

Table 5. PRD Procurement Planning for Class 2 Seaports and Airports until 2030

No.	Ports (SP/AP)	PRD Vehicle need	PRD pedestrian need	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total PRD
11	K Airport	3	1	2		2				4
12	L Seaport	6	0	2		2		2		6
13	M Airport	3	1	2			2			4
14	N Airport	3	1	2			2			4
15	O Airport	3	1		2		2			4
16	P Seaport	6	0		2		2		2	6
17	Q Seaport	6	0		2			2	2	6
18	R Seaport	6	0		2			2	2	6
19	S Seaport	6	0			2		2	2	6
20	T Airport	3	1			2		1	1	4
	<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>50</b>

From Table 4 and 5, it is known that the procurement each year is almost the same, i.e. four RPM units and 20 PRD units for the first four years, i.e. from 2025 to 2028. While the remaining two years, i.e. 2029 and 2030, the procurement of RPM and PRD respectively amounted to 5 RPM units and 21 PRD units.

## Conclusion

1. Nuclear security threats are real, given the large potential for radioactive substances and nuclear materials to be smuggled, lost or illegally expropriated.
2. Although the probability of misuse and smuggling of radioactive substances is relatively low, the effects are remarkable.

3. Nuclear Security Detection Architecture is an important element in the management of national nuclear security. The use of RPM is one of the most important parts of nuclear security.
4. The installation of RPM in nuclear areas, in customs areas, in border regions of countries and regions and other strategic activities will enhance nuclear security so that all radioactive material in the region remains under supervisory control.
5. The results of the study provide technical recommendations taking into account future NSDA development prospects related to threat assessment analysis, and RPM and PRD needs assessment analysis, as well as planning the procurement of RPM and PRD equipment needed by seaports and airports throughout Indonesia in order to develop a Nuclear Security Detection Architecture in Indonesia.
6. Synergy and collaboration among stakeholders are needed in supporting national nuclear security.

### Acknowledgment

We want to express our gratitude to the BAPETEN assessment team for their valuable assistance in this NSDA study activity. Additionally, I extend my thanks to the ministries, institutions, and other agencies for their crucial support of this research program.

### References

- [1] Government of the Republic of Indonesia, "Law of the Republic of Indonesia No. 10 of 1997 concerning Nuclear Power," Law of the Republic of Indonesia No. 10 of 1997, no. 1, 1997.
- [2] Government of the Republic of Indonesia, "Presidential Regulation of the Republic of Indonesia Number 60 of 2019 concerning National Nuclear and Radiation Safety Policies and Strategies," pp. 1–5, 2019.
- [3] Government of the Republic of Indonesia, "Law of the Republic of Indonesia No.9 of 1997 concerning the Ratification of the Treaty on Nuclear-Weapon-Free Areas in Southeast Asia.," Government Regulation of the Republic of Indonesia. No. 9 of 1997, no. 1, pp. 1–5, 2004.
- [4] Government of the Republic of Indonesia, "Law of the Republic of Indonesia Number 10 of 2014 concerning the Ratification of the International Convention For The Suppression Of Acts Of Nuclear Terrorism," Law of the Republic of Indonesia No. 10 of 2014, p. 139, 2014.
- [5] BAPPENAS RI, "Presidential Regulation of the Republic of Indonesia Number 46 of 2009 concerning the Ratification of Amendment to The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material," Demogr. Res., pp. 4–7, 2020.
- [6] Government of the Republic of Indonesia, "Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 33 of 2007 concerning Safety of Ionizing Radiation and Security of Radioactive Sources," GR RI Number 33 of 2007, vol. 1999, no. December, pp. 1–6, 2007.
- [7] BAPETEN, "Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 54 of 2012 concerning Safety and Security of Nuclear Installations," PP RI No. 54 of 2012, 2012.
- [8] Government of the Republic of Indonesia, "Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 58 of 2015 concerning Radiation Safety and Security in the Transport of Radioactive Substances," 2015.
- [9] United Nations General Assembly, "Measures to Eliminate International Terrorism (A/RES/51/210)," pp. 1–7, 1997.
- [10] United Nations Security Council, "Resolution 1373," pp. 1–4, 2021.
- [11] United Nations Security Council, "Resolution 1540," pp. 1–4, 2004, doi: 10.18356/2fb0c048-en.
- [12] "Treaty on the non-proliferation of Nuclear Weapons," pp. 1–14, 1979.
- [13] Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, no. 12. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1982.
- [14] Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, no. 2. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2006. [Online].
- [15] International Atomic Energy Agency, "INFCIRC/283 - The Text of the Agreement of 14 July 1980 between Indonesia and the Agency for the Application of Safeguards in Connection with

- the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons,” no. July, 1980, [Online]. Available: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc283.pdf>.
- [16] International Atomic Energy Agency, “INFCIRC/283/Add.1 - Protocol Additional to the Agreement Between the Republic of Indonesia and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguard in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons,” no. October, 1999, [Online].
- [17] Available: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc283a1.pdf>
- [18] Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2004. [Online]. Available: <https://www.iaea.org/publications/6956/code-of-conduct-on-the-safety-and-security-of-radioactive-sources>.



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Optimisme Potensi Pemanfaatan Tenaga Nuklir dalam Mendukung Target Nol Emisi Karbon (*Net Zero Emission/NZE*)

Hermawan Puji Yuwana

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

Korespondensi penulis:  
h.puji@bapeten.go.id

### Abstrak

Gas rumah kaca (GRK) memicu terjadinya pemanasan global yang berdampak pada perubahan iklim. Emisi GRK harus dikurangi dengan berbagai aksi mitigasi. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target nol emisi karbon (*Net Zero Emission/ NZE*) pada tahun 2060 atau lebih cepat. Pemerintah telah menetapkan aksi mitigasi pada beberapa sektor menjadi prioritas penurunan emisi GRK yaitu sektor pemanfaatan sumber energi (transportasi, domestik dan industri), pengelolaan limbah, kehutanan, pertanian, dan proses industri (IPPU). Terkait dengan nuklir sering dipersepsikan sebagai sumber energi bersih yang minim emisi karbon. Penulisan makalah ini bertujuan untuk mengulas optimisme potensi pemanfaatan tenaga nuklir dalam mendukung target nol emisi karbon (*Net Zero Emission/ NZE*) tersebut. Makalah ditulis berdasarkan pada studi literatur dari aspek peraturan, panduan internasional, dan/atau penelitian terkait. Potensi pemanfaatan nuklir dalam pengurangan emisi GRK dan mendukung target nol emisi karbon (NZE) dapat berkontribusi secara langsung dan tidak langsung. Dari kemungkinan kontribusi tersebut perlu dinilai secara jelas kontribusinya sehingga akan mengarah pada besaran keyakinan atau optimisme bahwa program pemanfaatan tenaga nuklir memang dapat mendukung target nol emisi karbon (NZE). Pemanfaatan tenaga nuklir yang secara langsung dapat berpengaruh ketika tenaga nuklir digunakan sebagai sumber energi pembangkitan listrik (PLTN). Banyak tantangan yang harus dihadapi untuk mendukung program PLTN. Hanya saja potensi pemanfaatan tenaga nuklir tersebut belum dapat dikuantifikasikan secara pasti, seperti belum adanya kepastian dalam jumlah atau kapasitas terbangun dari PLTN dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan. Begitu halnya kontribusi tidak langsung ketika pemanfaatan nuklir digunakan dalam mendukung sektor pengelolaan limbah terutama pengolahan sampah plastik melalui teknik iradiasi dengan tujuan depolimerisasi material. Potensi teknik iradiasi dalam pengolahan sampah plastik juga besar. Hanya saja pengurangan emisi GRK juga belum dapat dikuantifikasikan secara pasti. Terlebih iradiasi pengolahan sampah plastik juga masih dalam skala penelitian dan pengembangan. Potensi pemanfaatan tenaga nuklir untuk mendukung target nol emisi karbon (NZE) ada, tetapi belum dapat dihitung besarnya dan dampak pengurangan emisi GRK.

**Kata Kunci:** emisi, gas rumah kaca, nuklir, pemanfaatan, nol emisi karbon

### Abstract

*Greenhouse gases (GHG) trigger global warming which has an impact on climate change. GHGs can originate naturally or from human activities (anthropogenic). GHG emissions must be reduced with various mitigation actions. The Indonesian government has set a target of reaching Net Zero Emission (NZE) by 2060 or sooner. The government has designated mitigation actions in several sectors as priorities for reducing GHG emissions, namely energy (transportation, domestic, and industrial), waste management, forestry, agriculture, and industrial processes and production use (IPPU). Regarding nuclear, it is often perceived as a clean energy source with minimal carbon emissions. This paper aims to review the optimism about the potential for using nuclear power to support the NZE target. The research method used is a literature study from regulatory aspects, international guidelines, and related research. The potential use of nuclear in reducing GHG emissions and supporting NZE*

*targets can contribute directly and indirectly. The possible contribution needs to be assessed to lead to a level of confidence or optimism that the nuclear energy utilization program can indeed support the zero emissions (NZE) target. The use of nuclear power can have a direct effect when nuclear power is used as an energy source for generating electricity (nuclear power plant). Many challenges must be faced to support the NPP program. However, the potential use of nuclear energy cannot be quantified with certainty, as there is no certainty regarding the number or capacity built from NPP in the next few years. Likewise, there is an indirect contribution when nuclear utilization is used to support the waste management sector, especially the processing of plastic waste through irradiation techniques with the aim of material depolymerization. The potential for irradiation techniques in processing plastic waste is also large. However, the reduction in GHG emissions cannot be quantified with certainty. Moreover, irradiation processing of plastic waste is still on a research and development scale. The potential for using nuclear power to support the NZE target exists, but the magnitude and impact of reducing GHG emissions cannot yet be calculated.*

**Keywords:** *emissions, greenhouse gases, nuclear, utilization, net zero emission*

## Pendahuluan

Pemanfaatan tenaga nuklir sering dihubungkan dengan mitigasi pemanasan global saat ini. Penggunaan istilah dari pemanasan global dengan efek gas rumah kaca (GRK) terkait satu sama lain. Berdasarkan sumber/asalnya, GRK terbagi menjadi 2 yaitu alami dan sebagai akibat aktivitas tangan manusia (antropogenik) [1]. Perubahan iklim yang terjadi di dunia saat ini menjadi akibat dari pemanasan global tersebut. Mengacu data dan laporan *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*, temperatur telah mengalami kenaikan sebesar  $0,5^{\circ}\text{C}$  dan diprediksikan akan mengalami peningkatan sebesar  $1,5 - 5,8^{\circ}\text{C}$  pada tahun 2100 [2]. Rata-rata peningkatan suhu permukaan global tahunan sebesar  $0,08^{\circ}\text{C}$  per dekade sejak tahun 1880 [3].

Mengacu pada definisi yang tertuang pada salah satu peraturan, GRK merupakan kondisi gas dalam atmosfer yang memancarkan dan menyerap kembali radiasi inframerah [1]. Peristiwa lepasnya GRK dari sumber ke atmosfer pada area/wilayah dan jangka waktu tertentu dikenal dengan istilah emisi GRK [4]. Kecenderungan emisi GRK yang terjadi pada atmosfer mengalami peningkatan dari waktu ke waktu [5]. Sehingga diperlukan adanya upaya yang nyata dalam mengontrol dan mengurangi emisi GRK ini.

Pemerintah Indonesia telah menargetkan satu tujuan terkait upaya pengurangan dan penurunan emisi GRK. Besaran nilai yang menjadi target tersebut adalah penurunan emisi GRK sebesar 29% (834 juta ton  $\text{CO}_2\text{-eq}$ ) pada tahun 2030 dari kondisi *Business as Usual (BaU)*. Terlebih target pencapaian nol emisi karbon (*Net Zero Emission/ NZE*) pada tahun 2060 atau lebih cepat juga menjadi tujuan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia [6].

Beberapa sektor yang menjadi target utama dan prioritas dalam upaya penurunan emisi GRK adalah pemanfaatan sumber energi (transportasi, domestik dan industri), kehutanan, pertanian, proses industry (IPPU), dan pengelolaan limbah [7]. Upaya tersebut sebagaimana tertuang dalam Perpres No, 61 Tahun 2011. Misalnya target yang telah ditetapkan untuk sektor energi sebesar 314 juta ton  $\text{CO}_2\text{-eq}$  [8]. Pada sektor pengelolaan limbah akan terbagi menjadi berbagai macam sub sektor yaitu sampah padat dan cair. Sampah padat sendiri salah satunya adalah sampah padat domestik yang terdiri dari sisa-sisa makanan, kayu, kain/tekstil, kertas/karton, plastik, karet-kulit, logam, kaca dan lain-lain [9].

Terhadap emisi GRK dan khususnya terhadap dengan target nol emisi karbon (NZE), pemanfaatan tenaga nuklir kerap dibicarakan dan dilebihkan manfaatnya. Secara umum, banyaknya anggapan bahwa pemanfaatan tenaga nuklir sebagai sumber energi bersifat ramah lingkungan dan rendah emisi karbon. Persepsi dan sudut pandang dalam pemanfaatan tenaga nuklir ini akan berbeda dan beragam satu sama lain. Pemanfaatan tenaga nuklir dapat digunakan pada berbagai aspek, tidak hanya digunakan sebagai sumber energi. Berdasarkan definisi dari pemanfaatan nuklir yang tertuang dalam peraturan, makna pemanfaatan sendiri mencakup aspek yang luas mulai dari penelitian dan pengembangan, produksi, pengangkutan, penggunaan, hingga pengolahan limbah radioaktif [10].

Tantangan yang muncul adalah upaya dalam mengkuantifikasikan sejauh mana pemanfaatan nuklir dalam upaya penurunan emisi GRK. Makalah ini bertujuan meninjau secara umum optimisme potensi

dari pemanfaatan tenaga nuklir dalam mendukung target nol emisi karbon (NZE). Terlebih dalam satu contoh pemanfaatan tenaga nuklir sebagai sumber energi masih menjadi opsi terakhir, meskipun nuklir juga dimasukkan dalam bagian kecil dukungan yang akan diimplementasikan dalam mendukung target tersebut. Metodologi yang digunakan dalam penulisan makalah ini berdasarkan studi literatur dari beberapa acuan seperti terhadap peraturan, panduan internasional, dan penelitian terkait.

## Landasan Teori

Gas rumah kaca (GRK) dapat diartikan sebagai gas dalam atmosfer berdasarkan asalnya alami atau buatan (sebab manusia). GRK memiliki sifat dapat menyerap dan memantulkan radiasi inframerah. Beberapa gas terklasifikasi sebagai GRK diantaranya adalah metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sulfurheksafluorida ( $\text{SF}_6$ ), dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorokarbon (HFCs), dan perfluorokarbon (PFCs) [11]. Emisi GRK dari beberapa jenis sumber inilah yang harus dikendalikan dan dikurangi. Protokol Kyoto menjadi awal kebijakan dan kesepakatan dari berbagai negara dalam upaya pengurangan emisi GRK yang berdampak pada pemanasan global.

Pemerintah Indonesia memiliki beberapa aturan pada level Undang-Undang dan Peraturan Presiden yang memiliki lingkup dalam implementasi penurunan emisi GRK. Terdapat Undang-Undang No. 17 Tahun 2004 yang merupakan bentuk ratifikasi terhadap Protokol Kyoto. Kemudian dalam tataran Peraturan Presiden terdapat Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011. Berdasarkan pada Perpres No. 61 Tahun 2011, tertuang upaya penurunan emisi GRK terbagi dalam beberapa sektor pemanfaatan sumber energi (transportasi, domestik dan industri), kehutanan, pertanian, proses industri (IPPU), dan pengelolaan limbah [7].

Selain undang-undang dan perpres tersebut di atas, tertuang juga dalam Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Penyelenggaraan inventarisasi GRK secara nasional wajib dilakukan oleh semua pemangku kepentingan terkait dari level pusat sampai dengan daerah. Salah satu tujuan dari inventarisasi ini adalah untuk memberikan informasi secara periodik terkait dengan emisi GRK dan upaya pengurangannya. Setiap pemangku kepentingan terkait tersebut melakukan inventarisasi sesuai lingkup dan kewenangannya [12].

Dalam inventarisasi GRK diperlukan suatu ukuran atau satuan untuk menentukan besaran dari emisi setiap jenis GRK. Dalam beberapa peraturan yang ada dikenal istilah emisi dan faktor emisi. Emisi GRK diartikan sebagai proses terlepasnya GRK ke atmosfer pada area dan periode waktu tertentu [4]. Faktor emisi didefinisikan sebagai jumlah emisi GRK ke atmosfer per unit aktivitas tertentu. Faktor emisi bersifat spesifik untuk setiap produk, bahan tertentu, dan/atau proses. Besaran lainnya selain emisi dan faktor emisi adalah emisi karbon yaitu perhitungan emisi GRK yang didekati dengan ekuivalen dari karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Sehingga nantinya perhitungan emisi GRK akan dinyatakan dalam ekuivalen karbon dioksida ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ). Besaran lainnya yang juga umum digunakan adalah *Global Warming Potential (GWP)*. GWP diartikan sebagai potensi pemanasan global pada periode waktu tertentu yang dibandingkan/disetarakan dengan potensi dari  $\text{CO}_2$  [13]. Setiap gas GRK akan memiliki kesebandingan dengan nilai  $\text{CO}_2$ , seperti metana ( $\text{CH}_4$ ) memiliki nilai GWP sebesar 25 dan dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) memiliki nilai GWP sebesar 298 [14] [15]. Nilai faktor emisi yang detail/rinci dari suatu lokasi, jika memungkinkan diambil dari hasil perhitungan dan pengukuran spesifik di lokasi yang spesifik tersebut. Akan tetapi, IPCC dalam panduannya di IPCC 2006 telah memberikan nilai dari faktor emisi *default*. Panduan IPCC 2006 memberikan 3 tingkatan ketelitian (*tier*) dari faktor emisi yaitu *tier 1*, *tier 2*, dan *tier 3* [16] [17] [18] [19].

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) telah membangun aplikasi SIGN-SMART. Sistem ini bertujuan untuk menyediakan data dan informasi mengenai emisi dan estimasi GRK pada tingkat nasional, provinsi, dan kabupaten/kota [20]. Secara umum sektor energi dan sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya menjadi penyumbang terbanyak pada total emisi nasional. Pada sektor kehutanan dan penggunaan lainnya, berdasarkan laporan tahun 2020, 2021, dan 2022 berturut-turut menyumbang emisi sebesar 19%, 23%, dan 18%. Sedangkan sektor energi berdasarkan laporan tahun 2020, 2021, dan 2022 berturut-turut menyumbang emisi sebesar 54%, 52%, dan 59%. Dengan demikian, pada tahun 2022 terjadi peningkatan kontribusi emisi sektor energi dan pengurangan emisi

pada sektor kehutanan yang cukup signifikan. Lain halnya untuk sektor limbah, berdasarkan laporan tahun 2020, 2021, dan 2022, berturut-turut menyumbang emisi sebesar 12%, 11%, dan 11% [21].

Ketergantungan pemanfaatan energi fosil yang sangat tinggi saat ini menjadi tantangan dalam upaya pengurangan emisi GRK. Untuk meminimalkan penggunaan energi fosil, maka diperlukan peningkatan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) sebagaimana telah diperinci juga dalam Perpres No. 22 Tahun 2017 [22] [23]. Terlebih adanya target sebesar 23% pada tahun 2025 untuk bauran energi pengembangan dan pemanfaatan EBT. Pemerintah masih berpendapat tetap optimis terhadap target tersebut sehingga dapat dicapai pada tahun 2025. Capaian bauran EBT pada tahun 2023 sebesar 13,09% [24] [25], cukup meningkat dibandingkan pada akhir tahun 2021 yang mencapai 11,5% [26].

Pemanfaatan tenaga nuklir dapat berperan secara langsung dan tidak langsung dalam mengurangi emisi GRK yang ada. Kontribusi langsung terjadi ketika energi nuklir digunakan sebagai pembangkit listrik. Sedangkan kontribusi tidak langsung ketika nuklir digunakan sebagai pendukung proses kegiatan tertentu dalam upaya pengurangan emisi GRK [27] [28]. Pembangkit listrik berbasis tenaga nuklir (PLTN) berkontribusi terhadap nilai emisi yang rendah dibandingkan dengan beberapa jenis sumber pembangkitan listrik [29]. Nilai faktor emisi dari PLTN sebesar 15 – 20 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh. Lebih rendah dengan PLTU berbasis batubara, dimana didapatkan faktor emisi sebesar 800 – 900an gCO<sub>2</sub>-eq/kWh.

PLTN dapat berperan dalam diversifikasi penggunaan energi. Akan tetapi, berdasarkan pada Perpres No. 22 Tahun 2017, tenaga nuklir menjadi opsi terakhir. Namun di lain sisi PLTN memiliki peran untuk menyeimbangkan bauran energi menuju target nol emisi karbon (NZE) pada tahun 2060 [30]. Penggunaan 2 istilah yang berbeda yaitu “opsi terakhir“ dan “penyeimbang“ dengan kata hubung “namun“, menentang kalimat pertama dengan kalimat kedua. Pemaknaan ini perlu diperjelas makna konkritnya. Sehingga memang dapat diketahui secara bersama posisi dari PLTN ini.

Selain sektor energi, terdapat sektor pengelolaan limbah turut memberikan kontribusi pada emisi GRK. Pengelolaan sampah padat domestik menjadi bagian dari sektor pengelolaan limbah ini. Komposisi sampah domestik dapat dibedakan mulai dari sampah organik, kayu, kain/tekstil, kertas/karton, plasti, karet/kulit, logam, kaca dan lain-lain [9]. Dari sekian banyak komposisi sampah, sampah plastik cukup menjadi perhatian publik akhir-akhir ini. Terlebih jumlah timbulan sampah plastik menjadi yang kedua setelah sampah organik. Bahkan dampak dari sampah plastik ini seperti maraknya pemberitaan di media massa/cetak/elektronik tentang “darurat” sampah plastik. Mengacu pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) KLHK, persentase jumlah timbulan sampah plastik sebanyak 23,57% (setara dengan 72.586,58 ton/hari) [31]. Persentase timbulan sampah plastik tersebut belum menggambarkan secara spesifik jenis dari timbulan sampah tersebut.

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam hal ini memanfaatkan prinsip iradiasi berpotensi digunakan dalam pengelolaan sampah plastik [29]. Teknologi iradiasi dapat digunakan untuk tujuan depolimerasi. Dengan depolimerisasi, material plastik secara kimiawi akan terurai menjadi bagian terkecil sehingga diharapkan dapat mengurangi periode waktu terurainya plastik. Depolimerisasi akan berpengaruh terhadap rantai polimer ukuran kecil, monomer dengan berat molekul lebih rendah, dan sifat material yang lebih rendah [32].

## Hasil dan Pembahasan

Definisi dari pemanfaatan tenaga nuklir berdasarkan pada aturan yang ada saat ini dapat diartikan cukup luas dari hulu ke hilir. Sehingga perlu ditetapkan pada kondisi tertentu sehingga pemanfaatan tenaga nuklir tersebut memang berpotensi dapat mendukung upaya pengurangan GRK dan upaya dalam target nol emisi karbon (NZE).

### 1. Tenaga Nuklir dalam Mendukung Target Nol Emisi Karbon (NZE) Sektor Energi

Makna pemanfaatan tenaga nuklir memang sangat luas sehingga perlu didekati dengan ketentuan yang tertuang dalam definisi pemanfaatan tenaga nuklir di undang-undang ketenaganukliran. Nuklir dapat dimanfaatkan dalam banyak aspek, termasuk penelitian, produksi, transportasi, penggunaan, ekspor, impor, dan pembuangan limbah radioaktif [10]. Ketentuan penggunaan dalam bagian sebuah

pemanfaatan dapat diaplikasikan diantaranya sebagai sumber energi dalam pembangkitan listrik dan iradiasi.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) memiliki tugas dan fungsi dalam pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran. BAPETEN telah memiliki berbagai macam instrumen pengawasan ketenaganukliran melalui penyusunan peraturan, proses perizinan, dan pelaksanaan inspeksi. Dalam mendukung program pemerintah melalui target nol emisi karbon (NZE) dari sisi kebijakan, BAPETEN telah menerbitkan Surat Keputusan terkait dengan Peta Jalan Pengawasan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Tahun 2022 – 2035. Peta jalan ini disusun sebagai bentuk persiapan pemantauan infrastruktur pengawasan PLTN, jika opsi tenaga nuklir telah mendapatkan persetujuan untuk *go public*.

Mengacu pada IPCC *Guidelines* 2006, berdasarkan sumbernya, emisi sektor energi terbagi menjadi beberapa sub sektor yaitu pembakaran bahan bakar, emisi fugitif dari produksi bahan bakar, dan kegiatan terkait dengan pengangkutan dan penyimpanan CO<sub>2</sub> (*Carbon Capture Storage-CCS*) [33]. Dari masing-masing sub sektor ini didetailkan kembali seperti pada sub sektor pembakaran bahan bakar terdiri dari industri energi, industri manufaktur, industri pengangkutan, dll. Sedangkan pada sub sektor emisi fugitif dan produksi bahan bakar akan mencakup berbagai emisi yang dihasilkan pada saat bahan bakar tertentu di produksi seperti pada produksi migas (hulu), penyulingan, proses, dan distribusi. Emisi GRK pada industri energi (seperti pembangkitan listrik) berkontribusi hingga 42,3%, diikuti industri manufaktur sebesar 28,6%, industri pengangkutan sebesar 21,9%, dan sisanya sebagian kecil dari kegiatan lainnya [21].

Oleh karena itu, strategi yang jelas untuk mengurangi emisi GRK sebanyak mungkin adalah dengan menerapkan rencana aksi dan pengurangan emisi di sektor energi. Terlebih dengan target yang telah ditetapkan sebesar 29% untuk upaya menurunkan emisi GRK tahun 2030. Persentase total pengaruh sektor energi pada keseluruhan emisi GRK lebih dari 59% yang kemudian dapat dirinci bahwa pembangkit listrik menyumbang 40,7% penghasil emisi GRK terbesar pada penghasil emisi GRK sektor energi. Kemudian dari nilai persentase 40,7% tersebut, pembakaran dari penggunaan bahan bakar fosil berkontribusi sampai dengan 78%. Dari data ini menunjukkan, bahwa pembakaran bahan fosil memberikan pengaruh dominan terhadap emisi GRK sektor energi. Sejumlah aksi mitigasi telah dilaksanakan untuk mengurangi peningkatan emisi GRK dari sektor energi, seperti: pengoperasian pembangkit energi baru terbarukan, pemanfaatan *co-firing*, biodiesel, program konversi minyak tanah ke LPG, penggunaan teknologi bersih (*Clean Coal Technology* pada PLTU Batubara, PLTG baru, dll), penggunaan bahan bakar alternatif, dll. Pada laporan yang dirilis oleh KLHK, terbukti dengan beberapa aksi mitigasi tersebut, capaian pengurangan emisi GRK pada sektor energi tahun 2022 lebih dari 123,22 juta ton CO<sub>2</sub>-eq.

Aksi mitigasi dalam sektor energi diantaranya pengembangan dan pemanfaatan terhadap berbagai macam EBT yang ada. Kondisi eksisting yang masih berada pada kisaran 13% dibandingkan dengan target bauran sebesar 25% pada tahun 2025 menjadi tantangan dalam pencapaiannya. Diperlukan berbagai kebijakan yang jelas dan transparan dalam hal ini. Pada level peraturan yang ada saat ini, juga telah terlingkupi dalam UU No. 30 Tahun 2007 dan PP No. 79 Tahun 2014. Pada UU No. 30 Tahun 2007 juga telah memperkenalkan tenaga nuklir sebagai bagian dari sumber energi baru. Hanya saja memang peraturan spesifik terkait dengan tenaga nuklir tertuang dalam UU No. 10 Tahun 1997 dan peraturan turunannya.

Dengan mempertimbangkan berbagai aspek, seperti keseimbangan keekonomian energi, keamanan pasokan energi, dan pelestarian fungsi lingkungan hidup, pengembangan energi sangat penting. Cukup menarik jika berbicara kesetimbangan ekonomi energi dimana juga harus mempertimbangkan beberapa hal seperti memaksimalkan energi baru dan energi terbarukan dan meminimalkan bahan bakar fosil. Tenaga nuklir sebagai opsi terakhir, tetapi dapat digunakan jika memenuhi beberapa persyaratan, seperti pemenuhan kebutuhan energi yang semakin meningkat, penyediaan energi nasional dalam skala besar, pengurangan emisi karbon, atau kebutuhan nasional yang mendesak. Semua ini dapat dicapai jika telah dilakukan penelitian menyeluruh untuk memenuhi unsur keselamatan, keamanan, dan lingkungan hidup. DPR saat ini sedang melakukan pembahasan terhadap Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBET). Substansi yang diatur dalam RUU EBET tersebut juga tetap memasukkan energi nuklir sebagai sumber energi baru. Selain itu juga diatur mengenai penggunaannya sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir. Di lain sisi, saat ini juga sedang berlangsung proses revisi UU

No. 10 Tahun 1997 yang juga tahapan harmonisasi. Beberapa konsep baru turut diperkenalkan dalam revisi ini. Nuansa yang akan dibangun untuk meningkatkan pertumbuhan dan iklim investasi pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia dengan tetap memastikan aspek keselamatan, keamanan, dan perlindungan.

Saat ini telah ramai pemberitaan melalui media cetak atau elektronik mengenai rencana dari salah satu pelaku usaha yang akan membangun PLTN. Berdasarkan informasi, kapasitas terpasang dari PLTN tersebut adalah 500 MW. Berdasarkan informasi tersebut dan didekati secara konservatif dengan nilai faktor emisi dari PLTN, maka dapat didapatkan informasi umum potensi emisi yang dihasilkan. Sebagai contoh misalnya nilai faktor emisi dari PLTN sebesar 15 – 20 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh [29] dan asumsi pengoperasian 1 tahun tanpa henti, maka potensi emisi GRK yang dihasilkan berkisar pada 43.200 ton CO<sub>2</sub>-eq. Nilai ini hanya bersifat gambaran terhadap potensi PLTN dan emisinya. Kemudian jika merujuk pada faktor emisi sistem ketenagalistrikan untuk grid Jawa, Madura, dan Bali (JAMALI) sebesar 0,87 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

## 2. Tenaga Nuklir dalam Mendukung Target Nol Emisi Karbon (NZE) selain Sektor Energi

Dari beberapa sektor prioritas yang menjadi target pengurangan emisi GRK, pemanfaatan tenaga nuklir dapat terlibat atau berperan pada sektor pengelolaan limbah. Salah satu subsektor dari Sektor pengelolaan limbah adalah pengelolaan limbah padat domestik. Dari beberapa jenis/komposisi sampah, sampah jenis plastik menjadi salah satu yang menjadi perhatian bersama karena berbagai isu yang ditimbulkannya. Sampah plastik menyebabkan masalah lingkungan seperti akumulasi dan timbunan sampah plastik yang cepat dan besar, degradasi material plastik yang lambat, pemilahan yang masih kurang, jenis plastik yang rumit, dan kurangnya kesadaran pengguna [34]. Secara konvensional, prinsip pengelolaan sampah melalui 3R (*reduce, reuse, dan recycle*), yaitu pengurangan jumlah sampah yang dihasilkan dari sumbernya, penggunaan kembali sampah, dan pembuatan produk baru dari sampah.

Secara langsung, keterlibatan pemanfaatan tenaga nuklir dalam isu pengurangan emisi GKR akan berbeda dengan kondisi keterlibatan dalam sektor energi sebelumnya. Jika dihubungkan secara langsung dengan masalah penurunan emisi GRK, pemanfaatan nuklir dalam sektor pengelolaan limbah ini tampaknya kurang terkait. Tenaga nuklir dapat dimanfaatkan sebagai pendukung proses yang artinya akan berkontribusi secara tidak langsung melalui teknik iradiasi.

Teknik iradiasi dalam pengelolaan sampah plastik bertujuan dalam konsep depolimerisasi yaitu mengurai material plastik menjadi bagian terkecil. Pada prinsipnya pemberian paparan radiasi dengan dosis tertentu, maka energi radiasi akan menyebabkan ketidakstabilan pada polimer plastik tersebut. Proses depolimerisasi merupakan kebalikan dari polimerisasi, yaitu memutus atau memotong rantai/degradasi rantai polimer menjadi ukuran kecil/pendek. Dosis radiasi yang digunakan akan bergantung pada jenis plastik (termoplastik atau termoset) dan bahan baku plastik. Bahan baku plastik dapat berasal dari sumber terbarukan (pati, tebu, minyak nabati, dll.), fosil (gas, minyak mentah, dll.), atau basa mineral (garam) [35].

Teknik iradiasi ini menggunakan sebuah peralatan yang membangkitkan atau memancarkan radiasi, yang dikenal dengan nama iradiator. Kondisi yang dapat ditemui saat ini, iradiator dapat digunakan secara komersial untuk 3 hal yaitu polimerisasi, pengawetan, dan sterilisasi. Dari segi implementasi iradiator, terdapat beberapa pelaku usaha yang juga menggunakan iradiator untuk satu atau beberapa tujuan tersebut. Hal ini juga dipengaruhi oleh iradiator yang bersifat multiguna. Hanya saja memang untuk tujuan seperti depolimerisasi terhadap sampah plastik, memang belum dikenal dengan baik.

Pengawasan terhadap peralatan iraditor ini juga sudah dilakukan dengan baik melalui beberapa peraturan yang ada baik dari aspek administrasi perizinan dan aspek keselamatan dan keamanan. Aspek perizinan tertuang dalam Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2021 [36], aspek keselamatan radiasi tertuang dalam Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2020 [37], dan aspek keamanan tertuang dalam Peraturan BAPETEN No. 6 Tahun 2015. Secara internasional juga tertuang dalam *SSG 8 (Specific Safety Guide on Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities)* [38].

Potensi secara umum menunjukkan bahwa teknik iradiasi dengan iradiator dapat terbukti dapat digunakan dalam mengolah sampah plastik, meskipun rata-rata semuanya masih dalam tahap penelitian dan belum dioperasikan secara komersil. Akan tetapi dari beberapa penelitian terkait telah menguji pengaruh besaran radiasi terhadap beberapa jenis sampah plastik. Untuk depolimerisasi plastik, teknik iradiasi biasanya terbagi menjadi dua metode yaitu langsung dan tidak langsung. Metode langsung dan tidak langsung menggunakan sifat dan interaksi radiasi dengan plastik, seperti eksitasi dan ionisasi molekul organik. Metode iradiasi langsung, maka radiasi dikenakan langsung pada sampah plastik yang menjadi objeknya. Sedangkan metode iradiasi tidak langsung, sampah plastik disubstitusikan dalam pembuatan material lain seperti beton serat/*fiber reinforced concrete*). Beton serat (FRC) diberikan radiasi dengan dosis tertentu untuk mendapatkan peningkatan sifat mekaniknya seperti kuat tekan atau kuat tarik. Perhitungan detail terhadap besaran emisi GRK yang dihasilkan dan besaran penurunan emisi GRK memang masih perlu dianalisis lebih lanjut. Mengingat banyak asumsi yang berpengaruh terhadap hal ini. Adanya peran iradiasi akan menawarkan nilai tambah terhadap pada proses daur ulang yang lebih bersih dan turut mengurangi emisi GRK yang mungkin timbul. Dengan demikian baik melalui iradiasi secara langsung atau tidak langsung akan memberikan manfaat diantaranya pengurangan bahan mentah dalam pembuatan plastik, kebutuhan energi, menaikkan nilai tambah, serta berpengaruh terhadap emisi GRK yang dihasilkan.

Dari uraian di atas, pemanfaatan tenaga nuklir sangat berpotensi dalam mendukung terhadap target nol emisi karbon (NZE). Hanya saja kondisi saat ini, pemanfaatan tenaga nuklir yang secara langsung dapat berpengaruh ketika tenaga nuklir digunakan sebagai sumber energi pembangkitan listrik (PLTN). Banyak tantangan yang harus dihadapi untuk mendukung program PLTN. Aspek keekonomian, keunggulan/ unjuk kerja, aspek keselamatan, keamanan, dan lingkungan hidup, politik, bahkan penerimaan sosial dan budaya turut menjadi hal yang mempengaruhi keputusan untuk membangun PLTN. Mengingat kebutuhan energi yang terus meningkat, penggunaan PLTN dapat dipertimbangkan untuk mendukung ketersediaan energi nasional dalam skala/jumlah besar. Sehingga dengan terbangunnya PLTN, turut mendukung diversifikasi energi dan meningkatkan persentase penggunaan EBT meskipun dengan persentase yang sangat kecil, dan akan berujung pada turut sertanya dalam pengurangan emisi GRK sehingga tercapainya target nol emisi karbon (NZE).

Potensi pemanfaatan tenaga nuklir tersebut belum dapat dikuantifikasikan secara pasti. Sebagai contoh belum ada kepastian dalam jumlah atau kapasitas terbangun dari PLTN dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan. Jika kita merujuk pada pengalaman sebelumnya, isu pembangunan PLTN sudah terjadi dari beberapa dekade ke belakang. Dengan berbagai lokasi yang sudah terkonfirmasi akan menjadi tapak dari PLTN tersebut. Meskipun kondisi sekarang mungkin relatif sudah banyak kebijakan yang mendukung pembangunan PLTN. Terlebih sudah ada pelaku usaha (swasta) yang sudah memulai rencana program pengembangan dan pengoperasian PLTN. Dalam beberapa media elektronik juga sudah disampaikan terkait dengan istilah *pre-licensing*. Kebijakan *pre-licensing* diberikan kepada pelaku usaha untuk melakukan konsultasi dengan BAPETEN terkait aspek keselamatan, keamanan, dan garda aman sebelum pelaku usaha tersebut mengajukan permohonan izin ke BAPETEN.

Contoh lainnya adalah potensi penggunaan iradiator untuk iradiasi sampah plastik yang juga terbuka lebar. Sampah plastik merupakan jenis/komposisi sampah terbesar setelah sampah organik. Data tahun 2022 menunjukkan persentase sampah plastik sebesar 23,57% (sebanding dengan 72.586,58 ton/hari) [31]. Persentase sebesar 23,57% mewakili keseluruhan timbulan sampah plastik tercampur dan belum didapatkan komponen spesifik dari jenis plastik yang seperti apa. Dengan total timbulan sampah plastik sebesar ini, jika berbicara potensi, maka pemanfaatan tenaga nuklir melalui teknik iradiasi ini dapat berperan juga di dalamnya. Tanpa harus dipaksakan dengan harus menggunakan teknik iradiasi, tetapi juga bersinergi dengan metode konvensional saat ini seperti pengolahan sampah plastik melalui sektor informal. Sektor informal ini juga turut memegang peranan penting dalam proses *reuse* dan *recycle*. Sama halnya dengan ulasan pada sektor energi, dimana potensi pemanfaatan tenaga nuklir dalam pengurangan emisi GRK pada sektor pengelolaan limbah ini juga belum dapat dikuantifikasikan secara pasti.

## Kesimpulan

Salah satu dampak pemanasan global yang dipicu oleh gas rumah kaca (GRK) adalah perubahan iklim. GRK yang berasal dari aktivitas manusia menjadi perhatian utama dalam aksi mitigasi pengurangan emisi GRK. Pemerintah Indonesia telah menetapkan tujuan untuk mencapai target nol emisi karbon (*Net Zero Emission/ NZE*) tahun 2060 atau lebih cepat. Potensi pemanfaatan nuklir dalam pengurangan emisi GRK dan mendukung target nol emisi karbon (NZE) dapat berkontribusi langsung dan tidak langsung. Pemanfaatan tenaga nuklir yang secara langsung dapat berpengaruh ketika tenaga nuklir digunakan sebagai sumber energi pembangkitan listrik (PLTN). Banyak tantangan yang harus dihadapi untuk mendukung program PLTN. Aspek keekonomian, keunggulan/ unjuk kerja, aspek keselamatan, keamanan, dan lingkungan hidup, politik, bahkan penerimaan sosial dan budaya. Potensi pemanfaatan tenaga nuklir tersebut belum dapat dikuantifikasikan secara pasti, seperti belum adanya kepastian dalam jumlah atau kapasitas terbangun dari PLTN dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan. Dengan demikian belum dapat dihitung besarnya dampak pengurangan emisi GRK dalam mendukung target nol emisi karbon (NZE). Kontribusi tidak langsung dari pemanfaatan nuklir sektor pengelolaan limbah, khususnya pengolahan sampah plastik melalui teknik iradiasi. Proses iradiasi bertujuan untuk depolimerisasi material yaitu memutus atau memotong rantai/degradasi rantai polimer menjadi ukuran kecil/pendek. Potensi teknik iradiasi dalam pengolahan sampah plastik juga besar. Hanya saja pengurangan emisi GRK juga belum dapat dikuantifikasikan secara pasti.

## Daftar Pustaka

- [1] Kementerian ESDM (2019) Peraturan Menteri ESDM Nomor 22 Tahun 2019 tentang Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi. Jakarta
- [2] Adhinata & Arif (2022) Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Penggunaan Lahan di Kota Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* 7:49-64
- [3] National Center For Environment Information (NCEI) National Climatic Data Center (NOAA) "<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>," State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2021, January 2022. [Online]. Available: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202113>. [Accessed 16 April 2022].
- [4] Republik Indonesia (2011) Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK). Jakarta
- [5] W. Purwanta (2017) Bunga Rampai Inovasi Teknologi Pengukuran dan Estimasi Emisi Karbon Indonesia pada Bab 1: Perubahan Iklim dan Emisi Gas Rumah Kaca: A Point of View. BPPT Press: 1-7
- [6] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2021) Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (Indonesia LTS-LCRR 2050). Jakarta
- [7] Presiden Republik Indonesia (2011) Perpres No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Jakarta
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2020) Inventarisasi Emisi GRK Sektor Energi 2020. Jakarta
- [9] Badan Standarisasi Nasional (BSN) (1994) SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan. Jakarta
- [10] Republik Indonesia (1997) Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Jakarta
- [11] BAPPENAS (2014) Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pengolahan Limbah. Jakarta
- [12] Presiden Republik Indonesia (2011) Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Jakarta
- [13] V. Nindita (2019) Estimasi Emisi (N<sub>2</sub>O) Dari Timbulan Sampah Di Kampus 3 UPGRI Semarang. *Bangun Rekaprima* 5:1-8
- [14] Ioannis Bakas et.al. (2011) ETC/SCP working paper 4/2011 on Projections of Municipal Waste Management and Greenhouse Gases. European Environment Agency, Copenhagen
- [15] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2: Energy Chapter 3: Mobile Combustion

- [16] Kementerian Lingkungan Hidup (2012) Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi," Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta
- [17] T. Kustiasih et.al. (2014) Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman* 9:78-90
- [18] Elsa Try Julita, Alifa Intan Safithri, Maria Prihandrijanti (2021) Estimasi Mitigasi Gas Rumah Kaca dengan Penerapan Daur Ulang Sampah Kasus: Universitas Agung Podomoro. *Architecture Innovation* 5:25-42
- [19] Mochammad Chaerul, Arri Febrianto, Haryo Satriyo Tomo (2020) Peningkatan Kualitas Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pengelolaan Sampah dengan Metode IPCC 2006 (Studi Kasus Kota Cilacap). *Jurnal Ilmu Lingkungan* 18:153-161
- [20] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), "<https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/frontend/about>," [Online]. [Accessed Juni 2024].
- [21] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2024) Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2023. Jakarta
- [22] Republik Indonesia (2014) Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Jakarta
- [23] Presiden Republik Indonesia (2017) Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Jakarta
- [24] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2024) Siaran Pers: Pemerintah Kejar Target Tingkatkan Bauran EBT. Jakarta
- [25] Rastri Paramita dan Indah Pranchiska (2024) Target Bauran Energi Indonesia Tahun 2023 Kembali Melesat. *Buletin APBN* IX:3-7
- [26] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2021) Perlu Upaya Konkrit dan Terencana Capai Target Bauran 23% Di Tahun 2025. Jakarta
- [27] Indah Annisa & Hermawan Puji Yuwana (2022) Peran Pemanfaatan Nuklir Dalam Mendukung Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca: Tinjauan Literatur. *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir* 392-398
- [28] Hermawan Puji Yuwana (2022) Tinjauan Literatur Pemanfaatan Nuklir dalam Pengurangan Sampah Plastik. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir* 2:28-35
- [29] World Nuclear Association WNA) (2011) Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources. London
- [30] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2024) Sekjen DEN: Pembangunan Pembangkit Nuklir Jadi Penyeimbang Bauran Energi. Jakarta
- [31] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), "<http://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>," 07 2022. [Online].
- [32] Jamdar, V. et.al. (2015) Effect of  $\gamma$ -irradiation on glycolysis of PET waste and preparation of ecofriendly coatings using bio-based and recycled materials. *Polym Eng Sci* 55:2653-2660
- [33] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chapter 1 Introduction to the 2006 Guidelines
- [34] Yu Miao, Annette von Jouanne, and Alexandre Yokochi (2021) Current Technologies in Depolymerization Process and the Road Ahead. *Polymers* 13:1-17
- [35] Plastics Europe (Association of Plastics Manufacturers) (2019) Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data
- [36] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) (2021) Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No 3 Tahun 2021 Tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran. Jakarta
- [37] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) (2020) Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator untuk Iradiasi. Jakarta
- [38] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2010) Specific Safety Guide 8 (SSG-8) Radiation Safety of Gamma , Electron and X Ray Irradiation Facilities. Vienna



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Tinjauan Terhadap Proses Penyempurnaan Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia 2020 dalam Mendukung Pengawasan Sektor Ketenaganukliran

Hermawan Puji Yuwana

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

Korespondensi penulis:  
h.puji@bapeten.go.id

### Abstrak

Pemerintah Indonesia berkomitmen dalam memberikan kemudahan berusaha melalui reformasi sistem perizinan dalam bentuk perizinan berusaha. Penyelenggaraan perizinan berusaha dilakukan dengan pendekatan berbasis risiko. Dalam perizinan berusaha, Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) memegang peranan yang sangat penting. KBLI merupakan klasifikasi rujukan yang digunakan untuk mengklasifikasikan aktivitas/ kegiatan ekonomi ke dalam beberapa lapangan usaha/bidang usaha. KBLI yang berlaku saat ini adalah KBLI 2020 berdasarkan pada Peraturan Badan Pusat Statistik No. 2 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia. Makalah ini bertujuan untuk memberikan gambaran pentingnya penyempurnaan KBLI 2020 sektor ketenaganukliran yang erat kaitannya dengan penyelenggaraan perizinan berusaha berbasis risiko. Tinjauan ini dilakukan dengan metodologi kajian literatur dengan acuan terhadap berbagai macam sumber seperti peraturan ketenaganukliran, identifikasi peraturan terkait, atau standar internasional terkait. Dalam penyempurnaan KBLI 2020 dapat dilakukan dengan beberapa hal seperti identifikasi kembali KBLI 2020 yang didalamnya terdapat berbagai macam penjelasan terkait dengan sektor ketenaganukliran, identifikasi kembali KBLI 2020 yang saat ini masuk ke dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko, dan identifikasi kembali semua KBLI 2020 yang dimungkinkan masuk dalam rencana usulan revisi PP No. 5 Tahun 2021. Skenario penyempurnaan KBLI 2020 dapat berupa perbaikan deskripsi, penambahan kode baru baik pada level digit ke-4 atau ke-5, perubahan judul, pemindahan kode, dan/atau pengkodean kembali (*recoding*). Hasil identifikasi secara umum menunjukkan bahwa kegiatan usaha sektor ketenaganukliran tetap masuk pada kategori C, E, F, G, H, M, N, P, dan Q. Pada proses identifikasi KBLI 2020 ini akan terlihat implementasi, permasalahan/kendala, dibandingkan dengan uraian yang ada di dalam KBLI 2020. Terlebih dengan KBLI pada perizinan berusaha untuk menunjang kegiatan usaha (UMKU) yang teridentifikasi banyak KBLI terkait dan harus dicek kembali dengan deskripsi yang ada di KBLI 2020.

**Kata Kunci:** sektor ketenaganukliran, risiko, KBLI, penyempurnaan

### Abstract

*The Indonesian government is committed to providing ease of doing business through licensing reform. Licensing is carried out using a risk-based approach (RBA). In business licensing, the Standard Classification of Indonesian Business Fields (KBLI) plays a critical role. KBLI is a reference classification used to classify economic activities/activities into several business fields/sectors of business. The KBLI currently in use is the KBLI 2020 based on Central Statistics Agency Regulation No. 2 Year 2020 concerning Standard Classification of Indonesian Business Fields. This paper provides an overview of the importance of improving the KBLI 2020 in the nuclear energy sector which is closely related to implementing business licensing by risk-based approach (RBA). This review was carried out using a literature review methodology concerning various sources such as nuclear energy regulations, identification of related regulations, or related international standards. Several things can be done to improve the KBLI 2020, such as re-identifying the KBLI 2020 which contains various explanations related to*

*the nuclear energy sector; re-identifying the KBLI 2020 which is currently included in Government Regulation No. 5 Year 2021 concerning Implementation of risk-based business licensee, and re-identify all KBLI 2020 that may be included in the proposed revision of GR No. 5 Year 2021. Scenarios for improving the 2020 KBLI may include improving descriptions, adding new codes at either the 4th or 5th digit level, changing titles, moving codes, and/or recoding. The identification results generally show that nuclear energy sector business activities remain in categories C, E, F, G, H, M, N, P, and Q. In the KBLI 2020 identification process, implementation, problems/constraints will be seen, compared with the description which is in the KBLI 2020. Moreover, with the KBLI on business licensing to support business activities (UMKU), many related KBLI have been identified and must be rechecked with the description in the KBLI 2020.*

**Keywords:** nuclear energy sector, risk, KBLI, improvements

## Pendahuluan

Telah terjadi transformasi sistem perizinan secara menyeluruh Indonesia dalam kurun waktu beberapa tahun ini. Instruksi Presiden No. 7 Tahun 2019 tentang Percepatan Kemudahan Berusaha telah terbit dan bertujuan untuk mendorong investasi, penyediaan lapangan kerja, dan pertumbuhan ekonomi secara cepat [1]. Mengacu pada Kamus Besar Bahasa Indonesia, makna “berusaha” adalah melakukan suatu usaha. Sedangkan berdasarkan beberapa peraturan perundangan makna “berusaha” adalah memulai dan menjalankan usaha dan atau kegiatan [2]. Indikator percepatan kemudahan berusaha harus dapat terkuantifikasi dalam sebuah indeks kemudahan berusaha (*Ease of Doing Business/EoDB*). Data Bank Dunia menyebutkan bahwa peringkat kemudahan berusaha di Indonesia pada tahun 2019, mengalami penurunan peringkat ke- 73, dimana pada tahun 2018 Indonesia sempat menempati peringkat ke 72 [3].

Dari sisi peraturan perundangan, UU No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja telah dicabut dan diganti dengan UU No. 6 Tahun 2023. UU No. 6 Tahun 2023 menjadi dasar dalam penyederhanaan perizinan berusaha melalui penerapan perizinan berusaha berbasis risiko (*Risk Based Approach/ RBA*). PP No. 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko merupakan peraturan pelaksana dari UU No. 6 Tahun 2023 menjadi rangkaian dari proses transformasi percepatan berusaha. Metode perizinan berbasis risiko menganalisis tingkat risiko suatu bisnis untuk menentukan jenis perizinan berusaha [2] [4]. Sektor ketenaganukliran adalah salah satu sektor yang masuk dalam penyelenggaraan perizinan berusaha berbasis risiko.

Dengan telah terbitnya beberapa peraturan mengenai perizinan berusaha baik pada level peraturan pemerintah maupun peraturan menteri atau lembaga masih belum memberikan dampak positif dalam kemudahan berinvestasi di Indonesia. Salah satu hambatan dan permasalahan dalam proses implementasi dari peraturan tersebut terkait dengan Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia yang selanjutnya disebut KBLI. KBLI menjadi salah satu kunci penting dalam perizinan berusaha. Ketika pelaku usaha ingin melakukan kegiatan berusaha, KBLI diartikan sebagai kode bidang usaha untuk semua jenis kegiatan berusaha yang dijalankan. Setiap KBLI memiliki ketentuan perizinan berusaha yang berbeda. Sehingga jika pelaku usaha menentukan KBLI yang kurang sesuai, akan berakibat atau berdampak negatif pada kegiatan usaha yang dijalkannya. Terkait sektor ketenaganukliran, maka setiap perizinan berusaha yang ada di sektor ketenaganukliran harus ditautkan dalam KBLI yang ada. KBLI yang berlaku saat ini adalah KBLI 2020 sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan BPS No. 2 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Baku Lapangan Indonesia [5]. Sejak KBLI 2015, KBLI 2017, hingga KBLI 2020 sama-sama telah menggunakan tingkatan level 5 digit berdasarkan *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) Rev. 4* [6].

Permasalahan lainnya adalah penggunaan KBLI telah mengalami pergeseran makna. KBLI pertama kali dibuat untuk memenuhi kebutuhan analisis ekonomi, pengambilan keputusan, dan pembuatan kebijakan, menjadi sebuah “primary key/ kunci primer” dalam Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko melalui Sistem *Online Single Submission (OSS)*. Dalam praktik dan penerapan perizinan berusaha berbasis risiko saat ini, perizinan berusaha KBLI dan perizinan berusaha UMKU (Untuk Menunjang Kegiatan Usaha) digunakan. Kegiatan usaha yang mencapai tahap operasional dan/atau komersial membutuhkan perizinan berusaha UMKU (Untuk Menunjang Kegiatan Usaha). Mengacu pada PP No. 5 Tahun 2021, sektor ketenaganukliran terbagi menjadi 4 subsektor yaitu pemanfaatan sumber radiasi pengion, instalasi dan bahan nuklir, pertambangan bahan galian nuklir, dan pendukung sektor ketenaganukliran. Keempat sub sektor ini telah teridentifikasi berbagai macam jenis

KBLI baik yang sifatnya PB KBLI ataupun PB UMKU. Baik PB KBLI maupun PB UMKU pada dasarnya akan tetap mengacu pada KBLI 2020. Istilah ini hanya untuk membedakan pengampu utama dan jenis perizinannya saja. Kondisi saat ini sektor ketenaganukliran memiliki 11 PB KBLI yang pengampu utamanya Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Pada sektor ketenaganukliran sendiri muncul beberapa permasalahan seperti kesesuaian kegiatan dari sektor ketenaganukliran dengan deskripsi pada KBLI, kesesuaian kegiatan usaha pada KBLI yang ada, ataupun isu pengampu utama KBLI.

Dengan demikian perlu untuk melakukan reviu dan penyempurnaan terhadap KBLI 2020 yang ada. Sebagaimana halnya pada penyempurnaan KBLI 2017 yang saat ini terbit dalam KBLI 2020, pada prinsipnya proses penyempurnaan tidaklah berbeda. Implementasi, proyeksi kegiatan usaha kedepan, dan perkembangan rekomendasi internasional turut menjadi poin-poin yang perlu dipertimbangkan dalam penyempurnaan. Pertimbangan implementasi perizinan berusaha sektor ketenaganukliran dan terbitnya acuan baru *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) Rev. 5* menjadi pertimbangan dalam usulan penyempurnaan KBLI 2020. Dengan adanya penyempurnaan ini diharapkan dapat memberikan kemudahan dan keyakinan dari lembaga (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) dalam mengimplementasikan kegiatan usaha sesuai dengan KBLI. Terlebih KBLI nantinya juga akan erat kaitannya dengan kegiatan usaha yang menjadi lingkup pembinaannya. Makalah ini disusun dengan menggunakan metodologi kajian literatur berdasarkan peraturan nasional dan standar internasional terkait.

### **Pokok Bahasan**

Metodologi pembahasan didasarkan dengan menggunakan metode kajian literatur berdasarkan peraturan nasional dan standar internasional terkait. Selain itu perlu melihat proyeksi kegiatan usaha dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan (5 tahun). Mengingat bahwa pola pelaksanaan reviu KBLI dilakukan secara berkala pada kurun waktu tertentu seperti 5 tahun sekali.

Dalam pokok bahasan ini akan diuraikan mengenai beberapa peraturan yang menjadi dasar dalam perizinan. Perkembangan perizinan berusaha dari waktu ke waktu mengalami perubahan hingga konsep perizinan berusaha berbasis pendekatan risiko yang dikenal saat ini. Dalam perkembangannya terdapat satu kesamaan yaitu pentingnya penggunaan KBLI dalam proses perizinan.

Dasar hukum dalam pelaksanaan perizinan pemanfaatan tenaga nuklir tertuang dalam 2 Peraturan Pemerintah (PP) yaitu PP No. 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir dan PP No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Konsep perizinan yang ada melalui 2 peraturan pemerintah ini belum mengaitkan dengan KBLI yang berlaku.

Hingga dimulai pada tahun 2018, Pemerintah Republik Indonesia telah menetapkan konsep percepatan dan peningkatan penanaman modal dan berusaha, melalui pelayanan perizinan berusaha terintegrasi secara elektronik. Terbitnya PP No. 24 Tahun 2018 tentang Pelayanan Perizinan Berusaha Terintegrasi Secara Elektronik didasarkan pada keinginan pemerintah dalam mengintegrasikan perizinan. Berbagai perizinan terkait berusaha dapat menjadi pendukung dan bukan sebaliknya menjadi hambatan perkembangan usaha dan/atau kegiatan. Pada PP No. 24 Tahun 2018 inilah mulai dikenal pentingnya penggunaan KBLI dalam melaksanakan kegiatan berusaha.

Pelayanan perizinan berusaha terintegrasi secara elektronik selanjutnya disebut sebagai *Online Single Submission (OSS)*. Tujuan dari peraturan pemerintah ini adalah untuk menata kembali regulasi dan sistem pelayanan karena pertumbuhan bisnis, kemajuan teknologi, dan persaingan global [7]. Penataan kembali regulasi dan usaha diperlukan untuk memberikan dasar hukum bagi penerbitan perizinan berusaha secara terintegrasi dan elektronik, serta penataan kembali persyaratan dan izin lainnya bagi pelaku usaha yang tersebar di seluruh peraturan perundang-undangan. Pada tahun 2021, PP No. 24 Tahun 2018 kemudian diganti dengan PP No. 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [2]. Berdasarkan pada PP No. 24 Tahun 2018, setiap kegiatan berusaha harus memiliki izin usaha, izin komersial, atau izin operasional sebelum dapat beroperasi. Selain itu, PP ini tidak membedakan seberapa besar atau kecil skala kegiatan usaha yang diperlukan untuk memperoleh

izin usaha. Sebaliknya, PP No. 5 Tahun 2021 membuat prosedur pemberian izin usaha lebih mudah bagi pelaku usaha, berdasarkan analisis risiko dan penetapan skala kegiatan usaha.

Dengan telah terbitnya beberapa peraturan mengenai perizinan berusaha baik pada level peraturan pemerintah maupun peraturan menteri atau lembaga masih belum memberikan dampak positif dalam kemudahan berinvestasi di Indonesia. Hambatan dan permasalahan dalam proses implementasi dari peraturan tersebut masih mengalami berbagai macam tantangan dan kendala. Salah satu tantangan dan kendala yang dihadapi adalah terkait dengan Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI). Sejak PP No. 24 Tahun 2018 terbit, hubungan antara KBLI dan perizinan berusaha sangat berkaitan. Salah satu syarat pendaftaran untuk mendapatkan akses ke sistem OSS adalah mengisi data bidang usaha. Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) mengatur bidang usaha yang dimaksud.

KBLI adalah salah satu klasifikasi baku yang dibuat dan diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) berdasarkan aspek ekonomi untuk tujuan aktivitas ekonomi dan pembuatan kebijakan. Klasifikasi ini digunakan untuk mengklasifikasikan aktivitas ekonomi Indonesia ke dalam berbagai lapangan usaha atau bidang usaha berdasarkan jenis kegiatan ekonomi yang menghasilkan produk atau output, baik barang maupun jasa [5].

Didasarkan pada konsep, definisi, prinsip, dan prosedur pengklasifikasian yang disepakati secara internasional, KBLI terdiri dari struktur pengklasifikasian kegiatan ekonomi yang saling berhubungan. Kode KBLI terdiri dari kegiatan yang memiliki proses dan teknologi produksi yang sama. KBLI 2020, penyempurnaan dari KBLI 2017, mengacu pada Peraturan Kepala Badan Pusat Statistik Nomor 2 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia [5]. Namun, Peraturan Kepala Badan Pusat Statistik Nomor 19 Tahun 2017, yang merupakan Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Pusat Statistik Nomor 95 Tahun 2015, mengacu pada KBLI 2017. KBLI 2020 dan KBLI 2017 keduanya menggunakan tingkatan level 5 digit. Jenis kategori, golongan pokok, golongan, subgolongan, dan kelompok adalah struktur pengkodean yang digunakan dalam KBLI dari digit ke-1 hingga ke-5. KBLI dibuat dengan merujuk pada *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) Rev. 4* hingga tingkatan digit ke-4. Namun, pada tingkatan digit ke-5, KBLI disesuaikan dengan kondisi bisnis ekonomi di Indonesia. Saat ini *ISIC Rev. 4* sedang dalam proses perubahan menjadi *ISIC Rev. 5* oleh *United Nations Statistic Division (UNSD)* [8].

## Hasil dan Pembahasan

Dengan mempertimbangkan input, proses produksi, teknologi, dan karakteristik output, serta penggunaan output, KBLI dibangun berdasarkan kerangka kerja ekonomi yang sebanding. Dalam beberapa perkembangan penyempurnaan KBLI, terdapat beberapa skenario penyempurnaan seperti perbaikan deskripsi, penambahan kode baru baik pada level digit ke-4 atau ke-5, perubahan judul, pemindahan kode, dan/atau pengkodean kembali (*recoding*). Dalam mengusulkan penyempurnaan biasanya disertai dengan alasan dan penjelasan yang logis terutama kesesuaian antara yang dimaksud oleh pengusul dalam hal ini BAPETEN dengan konsep pengkodean dari KBLI yang didasarkan pada kesamaan input, proses, dan output tersebut.

Dalam beberapa KBLI yang telah terbit Indonesia seperti KBLI 2015, KBLI 2017, dan KBLI 2020, menggunakan acuan dari *ISIC Rev. 4*. Terbitnya draft *ISIC Rev. 5* dapat digunakan juga untuk memperoleh gambaran bidang usaha baru yang telah teridentifikasi di kancah internasional. Dengan prinsip penyempurnaan yang juga perlu melihat perkembangan bidang usaha dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan, tidak ada salahnya dalam penyempurnaan KBLI 2020 juga melihat draft *ISIC Rev. 5*. Berdasarkan pada hasil pengamatan terhadap draft *ISIC Rev. 5*, muatan terkait dengan sektor ketenaganukliran dalam draft tersebut masih relatif sama dengan yang ada di dalam *ISIC Rev. 4*.

### 1. Identifikasi kembali KBLI 2020 sektor ketenaganukliran

Hal ini dilakukan sebagai langkah awal untuk mempermudah pada saat proses penyempurnaan. Dengan melihat secara menyeluruh dari semua KBLI yang diurutkan sesuai dengan pengkodean yang ada dari kategori A sampai dengan kategori U. Selain itu secara umum, penyempurnaan KBLI sektor

ketenaganukliran juga tidak akan banyak mengalami perubahan dari kondisi eksisting saat ini. Identifikasi kemungkinan kegiatan sektor ketenaganukliran tertuang pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Secara Umum Kemungkinan KBLI Sektor Ketenaganukliran

No.	Kategori	Kegiatan Sektor Ketenaganukliran
	C - Industri Pengolahan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produksi: radioisotop dan radiofarmaka, pembangkit radiasi pengion, peralatan yang menggunakan zat radioaktif</li> <li>- Penggunaan iradiator</li> <li>- Fabrikasi elemen bakar nuklir</li> <li>- Reaktor nuklir</li> </ul>
	E - Pengelolaan Air, Pengelolaan Air Limbah, Pengelolaan dan Daur Ulang Sampah, dan Aktivitas Remediasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengelolaan limbah radioaktif</li> </ul>
	F – Konstruksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruksi: instalasi nuklir dan fasilitas sumber radiasi pengion</li> </ul>
	G - Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi dan Perawatan Mobil dan Sepeda Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ekspor, impor, dan pengalihan baik untuk sumber radiasi pengion dan bahan nuklir</li> </ul>
	H – Pengangkutan dan Pergudangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengangkutan zat radioaktif</li> </ul>
	M – Aktivitas Profesional, Ilmiah dan Teknis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penggunaan: uji tak rusak, gauging, perunut, penanda, dll</li> <li>- Kalibrasi dan metrologi</li> <li>- Penelitian dan pengembangan</li> </ul>
	N – Aktivitas Penyewaan dan Sewa Guna Usaha Tanpa Hak Opsi, Ketenagakerjaan, Agen Perjalanan dan Penunjang Usaha Lainnya	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penggunaan sumber radiasi pengion untuk pemindaian bagasi/kargo/peti kemas</li> </ul>
	P – Pendidikan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lembaga pelatihan</li> </ul>
	Q – Aktivitas Kesehatan Manusia dan Aktivitas Sosial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiologi diagnostik dan intervensional,</li> <li>- Kedokteran nuklir</li> <li>- Radioterapi</li> </ul>

## 2. Identifikasi kembali KBLI 2020 dan kaitannya dengan PP No. 5 Tahun 2021

Pada Tabel 2 merupakan gambaran dari kondisi PB KBLI sektor ketenaganukliran. PB KBLI sesuai KBLI 2020 dalam usulan penyempurnaan berdasarkan kondisi kegiatan usaha, masih bisa dipertahankan atau dengan perbaikan minor terhadap deskripsi yang ada. Akan tetapi juga dapat dipertimbangkan untuk penambahan kode baru dalam rangka kejelasan dari kegiatan yang homogen. Berikut merupakan contoh usulan penyempurnaan dari beberapa KBLI yang saat ini masuk dalam PB KBLI sektor ketenaganukliran yaitu

### a) KBLI 26601

Pada kode tersebut terdapat berbagai macam kegiatan atau komoditas yang sangat beragam. Awalnya (pada KBLI 2017) terdapat perbaikan deskripsi untuk memasukan beberapa kegiatan usaha sektor ketenaganukliran. Pada digit ke-4 (sub kelompok) 26601 merupakan industri peralatan iradiasi, elektromedika, dan elektro terapi. Sedangkan pada digit ke-5 terdapat kegiatan usaha penggunaan iradiator, *gauging*, *well logging*, dll. Dengan kegiatan atau komoditas yang diatur cukup beragam, sehingga perlu dipilah kembali kegiatan yang memiliki kehomogenan proses atau produk. Sebagai contoh kesebandingan pesawat sinar-X dengan peralatan sterilisasi ultra violet. Prinsip dari 2 hal tersebut cukup berbeda dari aspek ionisasinya yang membedakan radiasi pengion dan non pengion. Dengan demikian adanya perubahan/perbaikan/penyempurnaan dengan mengeluarkan kegiatan/komoditas/produk

tertentu, maka kegiatan/komoditas/produk yang dikeluarkan tersebut juga harus dipikirkan akan ditaruh (sementara) pada kode yang sesuai.

b) KBLI 43293

Kelompok ini mencakup kegiatan instalasi terhadap fasilitas sumber radiasi pengion. Latar belakang kode 43293 ini diusulkan pada penyempurnaan KBLI 2017 adalah adanya kebutuhan izin konstruksi pada perizinan berusaha sub sektor pemanfaatan sumber radiasi pengion. Praktik ini juga perlu dilihat kembali dengan kondisi sekarang, dimana untuk perizinan bertahap, akan melekat pada kegiatan usahanya tersebut. Izin konstruksi dengan KBLI tersendiri yang terpisah sudah tidak relevan dan tidak diperlukan. Dengan demikian muatan atau substansi dari deskripsi 43293, perlu dimutakhirkan. Keputusan pemutakhiran memang harus didiskusikan perlu atau tidaknya, urgensi, dan proyeksi kode tersebut akan dipakai oleh pelaku usaha dimasa yang akan datang.

c) KBLI 52107

Judul dari kode ini adalah Penyimpanan yang Termasuk dalam *Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)*. dengan terbitnya PP No. 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir, telah mengenalkan definisi baru yaitu mineral ikutan radioaktif (MIR).

Tabel 2. Beberapa Contoh PB KBLI Sektor Ketenaganukliran

No.	Kode KBLI	Judul KBLI
	07210	Pertambangan Bijih Uranium dan Torium
	24206	Industri Pengolahan Uranium dan Bijih Uranium
	26601	Industri Peralatan Iradiasi/Sinar X, Perlengkapan, dan Sejenisnya
	32906	Industri Produksi Radioisotop
	43293	Instalasi Fasilitas Sumber Radiasi Pengion
	43294	Instalasi Nuklir
	46642	Perdagangan Besar Mineral Radioaktif
	46643	Perdagangan Besar Zat Radioaktif dan Pembangkit Radiasi Pengion
	52107	Penyimpanan yang Termasuk dalam <i>Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)</i>
	72107	Penelitian dan Pengembangan Ketenaganukliran

### 3. Identifikasi kembali KBLI 2020 dalam Rencana Usulan PB UMKU

Dalam beberapa tahun terakhir, rencana revisi PP No. 5 Tahun 2021 juga telah berlangsung. Hal ini juga dapat dijadikan sebagai inputan dalam proses penyempurnaan KBLI 2020. Sehingga perlu dilakukan identifikasi KBLI 2020 dalam rencana usulan PB UMKU dalam revisi PP No. 5 Tahun 2021. Terlebih perizinan berusaha dan KBLI sangat bersinggungan. Pada Tabel 3 merupakan contoh dari gambaran dari kondisi usulan PB UMKU. Berikut merupakan contoh usulan penyempurnaan dari beberapa KBLI yang saat ini masuk dalam PB UMKU yaitu

- a) Salah satu kegiatan yang belum masuk seperti kegiatan usaha produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif. Beberapa komoditas barang konsumen sebagaimana tertuang dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam

Kegiatan Impor, Ekspor, dan Pengalihan Barang Konsumen dan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2016 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Barang Konsumen. Dengan demikian beberapa KBLI yang berpotensi seperti KBLI 26520, 27401, 27409, dan 32111 untuk dapat digunakan dan melingkupi beberapa produk barang konsumen tersebut.

- b) Kegiatan usaha pemanfaatan sumber radiasi pengion untuk tujuan pendidikan dan/atau penelitian yang diusulkan masuk PB UMKU dengan KBLI 78419, 78429, 85311, 85312, 85321, dan 85322. Pada KBLI 2020 kode untuk kegiatan usaha ini belum terdapat penjelasan dalam deskripsinya.
- c) Fasilitas pengelolaan limbah radioaktif dengan kode KBLI 38220. Saat ini KBLI tersebut diampu oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Adanya rencana kedepan bahwa pengelolaan limbah radioaktif akan dibuka untuk pelaku usaha sebagaimana tertuang dalam RUU Ketenaganukliran saat ini. Dengan demikian, perlu mengusulkan kembali kode baru untuk mengeluarkan limbah radioaktif dari kode 38220. Terlebih pada sub kelompok 3822 juga masih memiliki slot untuk digit ke-5 dari 1-9. Dengan kode yang lebih spesifik maka juga akan memudahkan pengawasan. Terlebih jika bisa memasukkan dan mengusulkan sebagai pengampu KBLI.

Tabel 3. Beberapa Contoh PB UMKU Sektor Ketenaganukliran

No	Nomenklatur PB-UMKU	KBLI terkait	Keterangan
	Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka	86101 86103	Deskripsi pada 4 digit
1.	Produksi Radiofarmaka	86101 86103	Deskripsi pada 4 digit
2.	Fasilitas Pengelolaan Radioaktif	Limbah 38220	Perlu diusulkan dalam 38221
3.	Produksi Barang Konsumen yang Mengandung Zat Radioaktif	26520, 27401, 27409, 32111	Perlu diusulkan perbaikan deskripsi pada setiap kode tersebut
4.	Fasilitas Kalibrasi yang Menggunakan Sumber Radiasi Pengion	71205, 71209	Sesuai
5.	Fasilitas Kedokteran Nuklir Terapi	86101, 86103	Deskripsi pada 4 digit
6.	Kedokteran Nuklir Diagnostik Vivo	In 86101, 86103	Deskripsi pada 4 digit
7.	Fasilitas Radioterapi	86101, 86103	Deskripsi pada 4 digit
8.	Fasilitas Iradiator Menggunakan Sumber Radioaktif	Kategori II Semua KBLI	
9.	Fasilitas Iradiator Menggunakan Pembangkit Radiasi Pengion	Kategori II Semua KBLI	
10.	Fasilitas Iradiator Menggunakan Sumber Radioaktif	Kategori III Semua KBLI	
11.	Fasilitas Pemeriksaan dan/atau Peti Kemas Menggunakan Sumber Radiasi Pengion	Kargo 52221, 52222, 52223, 52231, 80200	Yang belum masuk, 77399 77399 Aktivitas Penyewaan Dan Sewa Guna Usaha Tanpa Hak Opsi Mesin, Peralatan Dan Barang Berwujud Lainnya Ytdl

Tabel 3. (Lanjutan)

No	Nomenklatur PB-UMKU	KBLI terkait	Keterangan
12	Pemanfaatan Sumber Radiasi untuk tujuan Pendidikan dan/atau Penelitian	78419, 78429, 85311, 85312, 85321, 85322	Semua belum masuk 78419 - Pelatihan Kerja Pemerintah Lainnya 78429 - Pelatihan Kerja Swasta Lainnya 85311 - Pendidikan Tinggi Akademik Pemerintah 85312 Pendidikan Tinggi Vokasi dan Profesi Pemerintah 85321 - Pendidikan Tinggi Akademik Swasta 85322 - Pendidikan Tinggi Vokasi dan Profesi Swasta
13	Fasilitas Iradiator Kategori I Menggunakan Sumber Radioaktif	10130, 10219, 22111, 27320	Yang belum masuk 22111 dan 27320 22111 industri ban luar dan ban dalam 27320 industri kabel listrik dan elektronik lainnya
14	Fasilitas Iradiator Kategori I Menggunakan Pembangkit Radiasi Pengion	10130, 10219, 22111, 27320	Yang belum masuk 22111 dan 27320 22111 industri ban luar dan ban dalam 27320 industri kabel listrik dan elektronik lainnya
15	Pengalihan Barang Konsumen yang Mengandung Zat Radioaktif	Semua KBLI	Sesuai
16	Radiologi Diagnostik dan/atau Intervensial	75000, 86101, 86102, 86103, 86104, 86105	Yang belum masuk 75000 75000 Aktivitas Kesehatan Hewan
17	Uji Tak Rusak Menggunakan Sumber Radiasi Pengion Tetap	Semua KBLI	Sesuai
18	Uji Tak Rusak Menggunakan Sumber Radiasi Pengion Mobile Atau Portable	Semua KBLI	Sesuai
19	Perekaman Data Dalam Pengeboran (Well Logging)	Semua KBLI	Sesuai
20	Penanda dan/atau Perunut	09100, 71209	Yang belum masuk 09100 09100 Aktivitas Penunjang Pertambangan Minyak Bumi Dan Gas Alam
21	Pengukuran (Gauging)	Semua KBLI	Sesuai
22	Pemeriksaan Nonmedik pada Manusia dengan Pembangkit Radiasi Pengion	52221, 52222, 52223, 52231, 80200, 77399	Sesuai
23	Radiologi Diagnostik untuk Pengukuran Densitas Tulang dan/atau Pesawat Gigi Intra Oral	86101, 86102, 86103, 86104, 86105	Sesuai
24	Kedokteran Nuklir Diagnostik In Vitro	86101, 86103, 86105	Sesuai
25	Pemeriksaan Unjuk Kerja Peralatan dengan Zat Radioaktif	Semua KBLI	Sesuai
26	Analisis Menggunakan Sumber Radiasi Pengion	Semua KBLI	Sesuai
27	Pemindai Bagasi menggunakan Pembangkit Radiasi Pengion	80200, 77399	
28	Fasilitas Penyimpanan Sumber Radioaktif	Semua KBLI	Sesuai
29	Penyimpanan Sementara Zat Radioaktif	Semua KBLI	Sesuai
30	Penyimpanan Sementara Pembangkit Radiasi Pengion	Semua KBLI	Sesuai
31	Penyimpanan Radioaktif Mineral Ikutan	06100, 06201, 07291, 07292, 07293, 07294, 07295, 07296, 08912, 11051, 23990, 36001	Semua belum masuk
32	Kegiatan lembaga dan laboratorium uji ketenaganukliran	71202	Sesuai
33	Kegiatan Lembaga Pelatihan Ketenaganukliran	78429	Sesuai

Hasil identifikasi yang tertuang dalam Tabel 3 masih perlu dilakukan pengecekan terhadap kondisi eksisting pada KBLI 2020. Penjelasan atau uraian pada deskripsi yang ada memungkinkan untuk dimutakhirkan dari aspek deskripsi atau tidak. Sebagai contoh pada penyimpanan mineral ikutan radioaktif yang mana PB UMKU dapat tersebar dalam berbagai kegiatan usaha. Akan tetapi bisa jadi pada uraian deskripsi kode yang ada, tidak memungkinkan untuk dilakukan pemutakhiran deskripsi.

Beberapa langkah dari 1 – 3 merupakan bagian yang perlu dilakukan oleh BAPETEN dalam rangka untuk penyempurnaan KBLI 2020. Berbagai macam skenario pengusulan perbaikan deskripsi atau penambahan kode harus dipertimbangkan dan didukung dengan berbagai data dan penjelasan yang sesuai. Komunikasi dan kolaborasi dengan Badan Pusat Statistik (BPS) dalam pemakaian setiap kode berdasarkan kesamaan aktivitas (input, proses, dan output) juga harus dilakukan. Selain itu jika dibutuhkan maka perlu berkoordinasi dengan Kementerian/Lembaga pengampu atau pendukung dari KBLI tersebut.

## Kesimpulan

Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) menjadi salah satu kunci penting dalam perizinan berusaha berbasis pendekatan risiko salah satunya sektor ketenaganukliran. KBLI merupakan klasifikasi rujukan yang digunakan untuk mengklasifikasikan aktivitas/ kegiatan ekonomi ke dalam beberapa lapangan usaha/bidang usaha. KBLI yang berlaku saat ini adalah KBLI 2020 berdasarkan pada Peraturan Badan Pusat Statistik No. 2 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia. Pada sektor ketenaganukliran sendiri muncul beberapa permasalahan seperti kesesuaian kegiatan dari sektor ketenaganukliran dengan deskripsi pada KBLI, kesesuaian kegiatan usaha pada KBLI yang ada, ataupun isu pengampu utama KBLI. Rumusan terhadap alternatif penyempurnaan KBLI 2020 sektor ketenaganukliran dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah pertama mengidentifikasi kembali KBLI 2020 yang didalamnya terdapat berbagai macam penjelasan terkait dengan sektor ketenaganukliran. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa kegiatan usaha sektor ketenaganukliran tidak akan jauh berbeda dan tidak banyak mengalami perubahan dari kondisi eksisting saat ini. Kegiatan usaha sektor ketenaganukliran akan masuk pada kategori C, E, F, G, H, M, N, P, dan Q. Langkah kedua mengidentifikasi kembali KBLI 2020 (baik PB KBLI dan PB UMKU) yang saat ini masuk ke dalam PP No. 5 Tahun 2021. Proses identifikasi tahap kedua akan didapatkan hasil KBLI yang mengalami kendala dalam proses implementasi perizinan berusahanya. Langkah ketiga adalah identifikasi kembali semua KBLI 2020 yang masuk dalam rencana usulan PB UMKU dalam revisi PP No. 5 Tahun 2021. Pada tahapan ketiga ini teridentifikasi banyak KBLI terkait yang harus di konfirmasi kembali dengan deskripsi yang ada di KBLI 2020.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk membawakan topik ini dalam bentuk makalah.

## Daftar Pustaka

- [1] Presiden Republik Indonesia (2019) *Inpres No. 7 Tahun 2019 tentang Percepatan Kemudahan Berusaha*. Jakarta
- [2] Republik Indonesia (2021) *Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*. Jakarta
- [3] The World Bank, "<https://data.worldbank.org/indicator/IC.BUS.EASE.XQ>," 28 02 2024. [Online].
- [4] Republik Indonesia (2023) *Undang-Undang No. 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang*. Jakarta
- [5] Badan Pusat Statistik (2020) *Peraturan BPS No. 2 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia*. Jakarta

- [6] United Nation Statistics Divisions (UNSD) (2008) *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities* (ISIC) Rev. 4.
- [7] Republik Indonesia (2018) *Peraturan Pemerintah No. 24 Tahun 2018 tentang Pelayanan Perizinan Berusaha Terintegrasi secara Elektronik*. Jakarta
- [8] The United Nations Statistics Division (UNSD) (2023) *Explanatory Notes of the Standard Industrial Classification of All Economic Activities, Revision 5* (ISIC Rev.5)



# PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2024



## Pengembangan Sistem Pembacaan dan Perekaman Data Radiasi Berbasis *Internet of Things (IoT)* dan Teknologi OCR pada IT-09 Data Panel

Simon Prananta Barus<sup>1</sup>, Robi Dany Riupassa<sup>2</sup>, Ary Budi Warsito<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>*Program Studi Teknik Informatika, Universitas Matana, Tangerang, Indonesia*

<sup>2</sup>*Program Studi Fisika, Universitas Matana, Tangerang, Indonesia*

Korespondensi penulis:

simon.barus@matanauniversity.ac.id

robi.riupassa@matanauniversity.ac.id

ary@matanauniversity.ac.id

### Abstrak

Salah satu perangkat untuk mengukur radiasi adalah *IT-09 Data Panel*. Banyak pemantauan radiasi yang menggunakan *IT-09 Data Panel* secara konvensional, yaitu dengan mencatat manual secara berkala. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatisasi pembacaan dan perekaman data dosis radiasi yang ditampilkan pada *IT-09 Data Panel* menggunakan teknologi *Internet of Thing (IoT)* dan *Optical Character Recognition (OCR)*. Penelitian terdiri dari beberapa proses, yaitu pengambilan foto (citra digital) untuk dikirim ke *server*, menjalankan pra-pemrosesan citra digital, mentransformasikan citra digital ke teks, dan menyimpan data terkait transformasi ke *database*. Pengambilan foto menggunakan kamera *smartphone*, hasilnya (citra digital) dikirimkan melalui *Internet* dengan *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* ke *web server*, di mana aplikasi *web* berada. Selanjutnya, sisi *server* menyimpannya ke dalam *folder*, mentransformasikan citra digital tersebut ke teks dan kemudian menyimpannya ke dalam *MySQL (database management system)*. Di bagian mesin (*engine*) transformasi terdiri dari dua bagian, yaitu pra-pemrosesan dan proses transformasi citra digital ke teks. Bagian pra-pemrosesan terdapat beberapa proses, seperti mengubah citra digital tersebut menjadi *grayscale*, binerisasi dengan metode *Thresholding Otsu*, inversi warna, mengurangi gangguan (*noise*) dengan median kekaburan (*blur*), serta meningkatkan kontras. Bagian transformasi terdapat beberapa proses, seperti memanfaatkan teknologi OCR dengan konfigurasi khusus *Pytesseract* untuk mengoptimalkan hasil pengenalan karakter. Hasil penelitian menunjukkan sistem yang dikembangkan mampu mencatat dan merekam data radiasi secara otomatis sehingga dapat dipantau kapan dan dari mana saja (selama terhubung ke *Internet*). Sistem ini diharapkan dapat diterapkan dalam berbagai fasilitas yang memerlukan pemantauan radiasi dengan penyesuaian lebih lanjut untuk mengatasi keterbatasan yang ada.

**Kata Kunci:** Aplikasi *web*, *Internet of Things (IoT)*, *Optical Character Recognition (OCR)*, *Pytesseract*, *IT-09 Data Panel*

### Abstract

*One device for measuring radiation is the IT-09 Data Panel. Many radiation monitors use the IT-09 Data Panel conventionally, namely by periodically manually recording it. This research aims to develop an automated system for reading and recording radiation dose data displayed on the IT-09 Data Panel using Internet of Things (IoT) and Optical Character Recognition (OCR) technology. The research consists of several processes, namely taking photos (digital images) to be sent to the server, carrying out digital image pre-processing, transforming digital images into text, and saving data related to the transformation in a database. Taking photos using a smartphone camera, the results (digital images) are sent via the Internet using the Hypertext Transfer Protocol (HTTP) to the web server, where the web application is located. Next, the server-side saves it into a folder, transforms the digital*

*image into text and then saves it into MySQL (database management system). In the engine section, the transformation consists of two parts, namely pre-processing and the process of transforming digital images into text. In the pre-processing section, there are several processes, such as changing the digital image to grayscale, binarization using the Otsu Thresholding method, color inversion, reducing noise with median blur, and increasing contrast. In the transformation section, there are several processes, such as utilizing OCR technology with a special Pytesseract configuration to optimize character recognition results. The research results show that the system developed is capable of automatically recording and recording radiation data so that it can be monitored anytime and from anywhere (as long as it is connected to the Internet). This system is expected to be applied in various facilities that require radiation monitoring with further adjustments to overcome existing limitations.*

**Keywords:** *Web application, Internet of Things (IoT), Optical Character Recognition (OCR), Pytesseract, IT-09 Data Panel*

## Pendahuluan

Radiasi pengion merupakan energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik yang mampu mengionisasi atom atau molekul. Dosis radiasi adalah ukuran yang menunjukkan jumlah radiasi yang diserap oleh materi, khususnya jaringan hidup. Dosis ini dinyatakan dalam satuan Gray (Gy) untuk dosis serap dan Sievert (Sv) untuk dosis ekuivalen, yang mempertimbangkan efek biologis radiasi. Pemahaman tentang dosis radiasi sangat penting dalam berbagai aplikasi medis seperti radiologi diagnostik, onkologi radiasi, dan kedokteran nuklir, karena paparan radiasi yang tidak terkontrol dapat menyebabkan efek deterministik dan stokastik pada kesehatan. Pengukuran dosis radiasi dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat paparan radiasi berada dalam batas aman yang ditetapkan oleh regulasi. Alat ukur radiasi, seperti surveimeter dan dosimeter, digunakan untuk mengukur dosis radiasi dalam berbagai kondisi. Surveimeter digunakan untuk mengukur tingkat radiasi lingkungan secara umum, sedangkan dosimeter pribadi digunakan untuk memonitor dosis radiasi yang diterima oleh individu yang bekerja di lingkungan radiasi [1]. Pengukuran dosis radiasi yang akurat dan konsisten sangat penting untuk meminimalkan risiko kesehatan dan memastikan keselamatan dalam penggunaan radiasi di bidang medis. Berbagai penelitian telah menunjukkan pentingnya pengukuran dosis radiasi yang tepat dalam lingkungan medis. ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) menyoroti pentingnya pemantauan dosis radiasi untuk memastikan perlindungan optimal bagi pasien dan tenaga medis. Alat ukur dosis radiasi yang akurat dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik terkait dengan protokol proteksi radiasi.

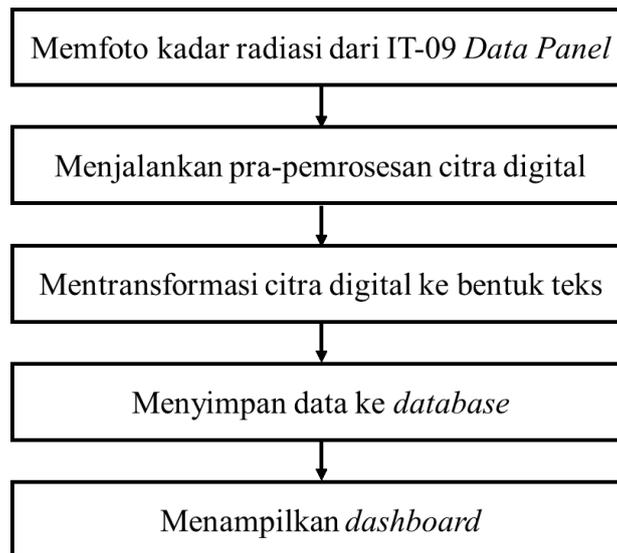
*IT-09 Data Panel* adalah alat yang dirancang untuk menampilkan hasil pengukuran laju dosis ekuivalen (*Dose Equivalent Rate/DER*) radiasi gamma yang diperoleh dari unit deteksi BDBG-09. Panel ini dilengkapi dengan alarm audio dan visual yang akan aktif jika tingkat DER melebihi batas yang telah ditetapkan. Panel ini juga menyediakan catu daya untuk unit deteksi BDBG-09 dan dirancang untuk digunakan di lokasi yang memerlukan pemantauan radiasi terus-menerus, seperti fasilitas pertahanan sipil, situs berbahaya radiasi, dan tempat umum [2]. Spesifikasi teknis panel ini mencakup rentang tampilan nilai radiasi, waktu pengaturan mode operasi, dan konsumsi arus yang rendah, menjadikannya alat yang andal untuk pengukuran radiasi. Hasil pengukuran dari *IT-09 Data Panel* dicatat secara konvensional, mencatat manual secara berkala. Otomatisasi pembacaan dan perekaman data radiasi sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi pemantauan radiasi. Teknologi *Optical Character Recognition* (OCR) memungkinkan konversi gambar teks menjadi data teks yang dapat diolah lebih lanjut oleh sistem komputer. OCR telah diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pembacaan meter listrik, pengolahan dokumen historis, dan pengenalan tulisan tangan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan OCR dapat mengurangi kesalahan manusia, meningkatkan kecepatan pemrosesan data, dan memungkinkan integrasi data yang lebih baik dalam sistem manajemen informasi. Misalnya, dalam penelitian yang membahas sistem OCR untuk dokumen historis, penggunaan *convolutional recurrent neural networks* (CRNN) terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja transformasi fitur [3]. Selain itu, studi lain menyoroti penggunaan teknik pra-pemrosesan seperti *deskewing* dan binarisasi untuk meningkatkan akurasi OCR dalam berbagai kondisi citra [4]. Implementasi OCR dalam aplikasi pembacaan meteran listrik juga telah menunjukkan hasil yang positif, di mana sistem ini menggabungkan aplikasi Android dengan teknik OCR untuk

mengonversi gambar meteran menjadi teks digital yang kemudian disimpan di *server* untuk perhitungan lebih lanjut [5]. Penelitian komprehensif lainnya mengkaji berbagai metode dan teknik OCR untuk pengenalan karakter tulisan tangan, yang menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat secara signifikan meningkatkan akurasi dan efisiensi proses pengenalan teks [6]. Studi mengenai penggunaan OCR untuk pengenalan teks dari gambar dalam skenario berbagai teks bentuk bebas menunjukkan bahwa jaringan saraf *end-to-end* dapat memberikan hasil yang sangat baik dalam berbagai *benchmark* [7]. Selain itu, model hibrida untuk pengenalan karakter Cina yang menggabungkan *Tesseract-OCR* dengan teknik pembelajaran mesin lainnya juga berhasil meningkatkan akurasi pengenalan karakter dalam berbagai kondisi citra [8]. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa OCR dapat digunakan untuk mengotomatisasi proses pemasukan data dalam berbagai industri, mengurangi kesalahan manusia, dan meningkatkan efisiensi [9]. Selain itu, jaringan saraf yang dapat dilatih secara *end-to-end* untuk pengenalan urutan berbasis gambar juga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi OCR [10]. Teknik deteksi teks berbasis adegan yang efisien dan akurat, seperti EAST, telah digunakan untuk pengenalan teks dalam gambar yang kompleks, meningkatkan akurasi dan efisiensi [11]. Penggunaan kombinasi CRNN untuk pengenalan teks menunjukkan kinerja unggul dalam berbagai tugas OCR, sementara metode binarisasi yang dapat dibedakan untuk deteksi teks dalam adegan secara *real-time* telah meningkatkan akurasi OCR pada gambar dengan orientasi teks yang beragam [12, 13]. Penelitian tentang mendeteksi perbedaan signifikan dalam artikel *review* menggunakan teknik OCR dan analisis teks juga menunjukkan bahwa teknologi ini dapat digunakan untuk analisis teks yang lebih kompleks [14]. Terakhir, jaringan ekspansi skala progresif untuk deteksi teks yang tangguh terhadap bentuk menunjukkan relevansi yang tinggi untuk aplikasi OCR dalam lingkungan yang dinamis [15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatisasi pembacaan dan perekaman data dosis radiasi yang ditampilkan pada *IT-09 Data Panel* menggunakan teknologi *Internet of Thing* (IoT) dan Optical Character Recognition (OCR). Pada penelitian ini, dikembangkan sistem pembacaan dan perekaman data dosis radiasi hasil pengukuran pada *IT-09 Data Panel* yang akan disimpan ke dalam *database*. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan radiasi, serta memudahkan proses pengelolaan data radiasi di berbagai fasilitas yang memerlukan pemantauan radiasi secara kontinu.

### Metode Penelitian

Proses pembacaan dan perekaman data dosis radiasi yang ditampilkan pada *IT-09 Data Panel* melibatkan beberapa langkah utama yang mencakup memfoto perangkat *IT-09 Data Panel*, menjalankan pra-pemrosesan citra digital, mentransformasi citra digital ke dalam bentuk teks dengan *Optical Character Recognition* (OCR), menyimpan data terkait transformasi ke dalam *database*, dan menampilkan *dashboard* pemantauan radiasi hasil dari OCR, Gambar 1. Kamera *smartphone* digunakan untuk memfoto kadar radiasi dari perangkat *IT-09 Data Panel*. Kamera diatur sedemikian rupa menghadap ke perangkat *IT-09 Data Panel* untuk memfoto secara otomatis (berdasarkan pengatur waktu (*timer*)) kadar radiasi yang dihasilkan.



Gambar 1. Proses dalam penelitian

### 1. Memfoto kadar radiasi dari IT-09 Data Panel

Gambar dosis radiasi diperoleh dari perangkat *IT-09 Data Panel* dengan kamera *smartphone*. Sebuah simulasi dibuat menampilkan secara acak (*random*) (1 sampai 10 untuk mewakili dosis radiasi dalam  $\mu\text{Sv/h}$ ) hasil dosis radiasi dari perangkat *IT-09 Data Panel*. Gambar 2 menunjukkan salah satu contoh hasil simulasi dosis radiasi.



Gambar 2. Contoh hasil simulasi

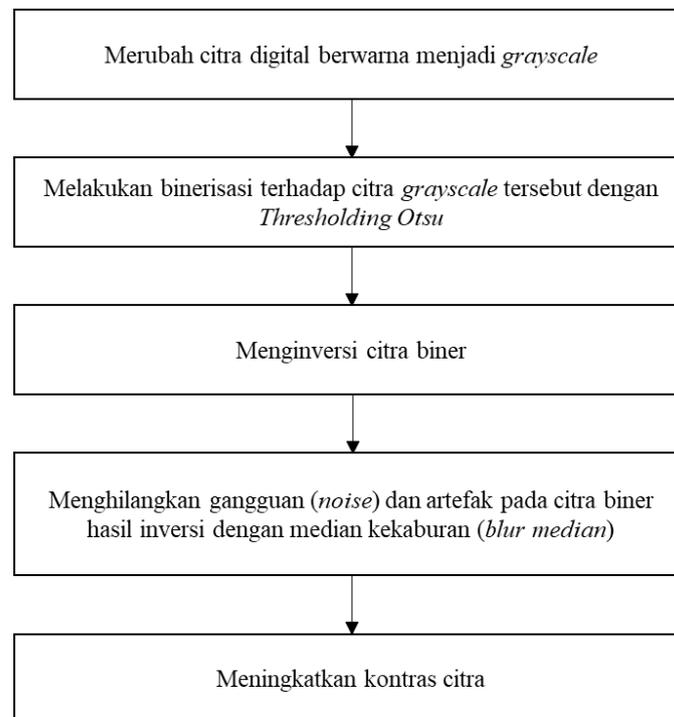
Sebelum mengambil foto, *smartphone* terlebih dulu mengakses ke aplikasi *web* untuk pengambilan gambar yang berada di *web server*, Apache. Pada aplikasi *web* tersebut perlu memasukkan durasi pengatur waktu untuk mengambil foto ke perangkat *IT-09 Data Panel*. Perlu dipastikan terlebih dahulu bahwa kamera terpasang tepat membaca angka yang tertera pada perangkat tersebut. Gambar 3, memperlihatkan arsitektur sistem pembacaan dan perekaman data radiasi berbasis IoT dan OCR pada *IT-09 Data Panel*. Foto yang diambil berbentuk citra digital, disimpan dalam sebuah *folder* di *web server*.



Gambar 3. Arsitektur sistem pembacaan dan perekaman data radiasi berbasis IoT dan OCR pada *IT-09 Data Panel*

## 2. Menjalankan pra-pemrosesan citra digital

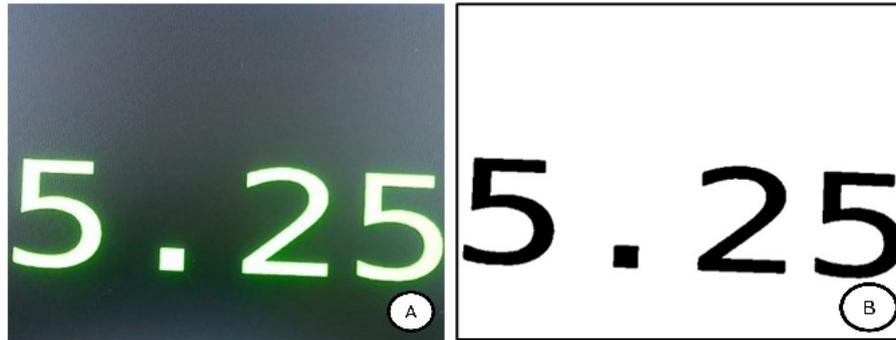
Pra-pemrosesan citra digital adalah langkah penting untuk meningkatkan akurasi OCR. Pra-pemrosesan ini dilakukan untuk memastikan bahwa citra digital yang dihasilkan memiliki kualitas optimal untuk transformasi ke teks menggunakan OCR. Aktivitas-aktivitas yang dilakukan dalam pra-pemrosesan, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Aktivitas-aktivitas dalam pra-pemrosesan

Berikut ini deskripsi singkat dari Gambar 4 tersebut. Citra digital asli diubah menjadi keabuan (*grayscale*) menggunakan pustaka OpenCV, yang membantu mengurangi kompleksitas data dengan menghilangkan informasi warna yang tidak diperlukan. Setelah itu, binerisasi terhadap citra digital keabuan tersebut dengan metode *Thresholding Otsu*, secara otomatis menentukan ambang batas optimal untuk memisahkan piksel citra digital menjadi dua kelas, yaitu latar depan (teks) dan latar belakang. Proses ini bertujuan untuk mengisolasi teks dari latar belakang dengan lebih jelas. Berikutnya, dilakukan inversi warna pada citra digital biner tersebut. Inversi ini mengubah teks putih pada latar belakang hitam menjadi teks hitam pada latar belakang putih, karena sebagian besar algoritma OCR bekerja lebih baik dengan teks hitam pada latar belakang putih, seperti Gambar 5. Untuk mengurangi gangguan (*noise*) dan artefak yang tidak diinginkan pada citra digital biner tersebut, diterapkan median keaburan (*blur median*). Teknik ini membantu dalam menghaluskan citra digital dan menghilangkan

gangguan yang mengganggu proses transformasi ke teks. Langkah terakhir dalam pra-pemrosesan adalah meningkatkan kontras citra digital. Dengan meningkatkan kontras, perbedaan antara teks dan latar belakang menjadi lebih jelas, sehingga memudahkan algoritma OCR untuk mengenali karakter teks dengan akurasi yang lebih tinggi.



Gambar 5. Hasil foto (A) dan hasil pra-pemrosesan (B)

### 3. Mentransformasi citra digital ke bentuk teks

Transformasi ke teks adalah langkah penting berikutnya setelah pra-pemrosesan citra digital. Dalam penelitian ini, pustaka *Pytesseract* digunakan sebagai antarmuka untuk mesin (*engine*) OCR *Tesseract*, yang merupakan salah satu mesin OCR paling populer dan kuat. *Pytesseract* memfasilitasi konversi citra digital menjadi teks yang dapat dibaca dan diproses lebih lanjut oleh komputer. Setelah citra digital dipra-proses, citra digital tersebut dikonversi menjadi objek citra digital dalam format yang dapat diolah oleh *Pytesseract*. Citra digital ini kemudian diberikan ke *Pytesseract* dengan konfigurasi khusus untuk mengoptimalkan hasil pengenalan karakter. Konfigurasi yang digunakan adalah `--oem 3 --psm 6`, di mana `--oem 3` mengatur *Tesseract* untuk menggunakan mesin OCR terbaik yang tersedia (termasuk model berbasis LSTM), dan `--psm 6` menginstruksikan *Tesseract* untuk mengasumsikan bahwa citra digital berisi satu blok teks yang seragam. *Pytesseract* kemudian memproses citra digital yang telah dipra-pemroses dan mengonversi konten visual menjadi teks. Teks yang ditransformasi ini berisi informasi dosis radiasi yang ditampilkan pada *IT-09 Data Panel*. Transformasi ke teks ini memerlukan ketelitian dalam konfigurasi dan pra-pemrosesan citra digital untuk memastikan bahwa teks yang dihasilkan akurat dan dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut.

### 4. Menyimpan data ke *database*

Data terkait transformasi citra digital ke teks disimpan ke dalam *database*. Data yang disimpan yaitu, tanggal dan jam ambil foto, citra digital (hasil foto yang diambil), dan hasil OCR. *Database management system* (DBMS) yang digunakan adalah MySQL. Data yang tersimpan dalam DBMS lebih mudah dikelola daripada tanpa menggunakannya.

### 5. Menampilkan *dashboard*

*Dashboard* dibuat untuk menginformasikan hasil pembacaan dan perekaman data dari perangkat *TI-09 Data Panel*. Sisi kiri menampilkan grafik, dan sisi kanan menampilkan detail dari data yang disimpan. *Dashboard* akan menampilkan warna merah pada hasil OCR yang terdeteksi kurang dari 1 atau lebih dari 10.

## Hasil dan Pembahasan

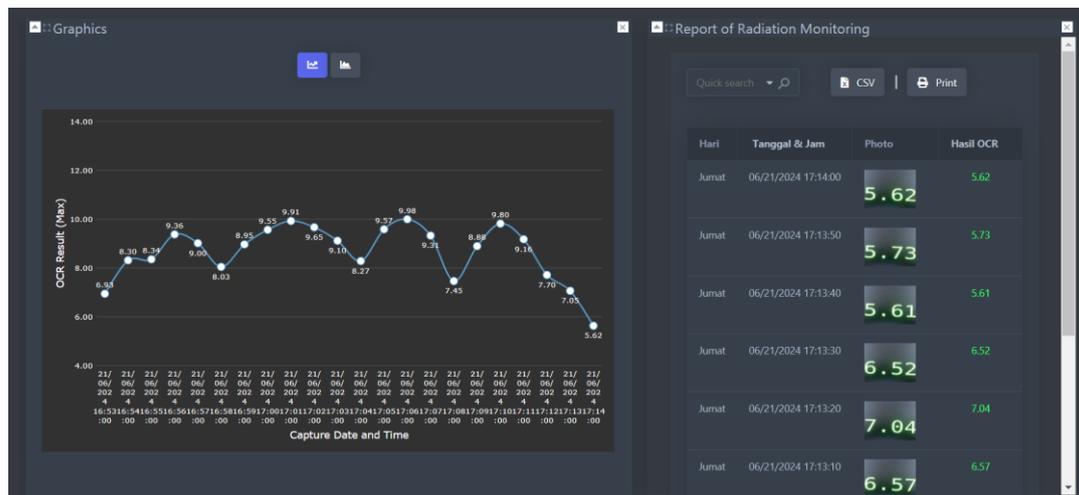
Sistem pembacaan dan perekaman data radiasi berbasis IoT dan teknologi OCR pada *IT-09 Data Panel* sudah dapat dibuat. Arsitektur sistem ini seperti pada Gambar 3. Data uji coba sistem ini diperoleh dari hasil simulasi, belum langsung diperoleh dari perangkat *IT-09 Data Panel*. Data uji tersebut direkam atau disimpan dalam MySQL (DBMS), Gambar 6. Pemantauan dapat dilakukan melalui *dashboard* pada aplikasi *web*, seperti Gambar 7. *Dashboard* tersebut menampilkan data hasil transformasi yang

tersimpan dalam MySQL. Saat ini, *dashboard* tersebut diseti setiap 1 menit akan memuat ulang (*refresh*), mengambil data baru ke *server*.

	id	1	hari	created_at	photo	ocr_result		
<input type="checkbox"/>				162	Jumat	2024-06-21 17:14:00	[BLOB - 78.8 KiB]	5.62
<input type="checkbox"/>				161	Jumat	2024-06-21 17:13:50	[BLOB - 76.8 KiB]	5.73
<input type="checkbox"/>				160	Jumat	2024-06-21 17:13:40	[BLOB - 77.6 KiB]	5.61
<input type="checkbox"/>				159	Jumat	2024-06-21 17:13:30	[BLOB - 78.6 KiB]	6.52
<input type="checkbox"/>				158	Jumat	2024-06-21 17:13:20	[BLOB - 77.8 KiB]	7.04
<input type="checkbox"/>				157	Jumat	2024-06-21 17:13:10	[BLOB - 77.4 KiB]	6.57

Gambar 6. Hasil data yang direkam atau disimpan dalam MySQL

Sistem yang dibangun sudah dapat membaca dan merekam data dari *IT-09 Data Panel* dengan menggunakan teknologi IoT dan OCR. Dengan demikian, sistem ini dapat memberikan kemudahan, efisiensi dan efektivitas pemantauan yang sebelumnya secara manual dicatat oleh petugas dapat digantikan oleh sistem pemantauan otomatis. Namun, ada beberapa yang perlu diperhatikan yang dapat menjadi kendala, yaitu koneksi Internet bermasalah, perangkat terdapat banyak data selain angka pengukuran, bila ada serangga yang lewat pada waktu pemfotoan, listrik padam, *server* tidak respon (*hang* atau mati).



Gambar 7. Dashboard pemantauan radiasi

## Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem pembacaan dan perekaman data dosis radiasi yang ditampilkan oleh *IT-09 Data Panel* secara otomatis. Penerapan IoT dan OCR berhasil dalam sistem ini. Dengan menggunakan IoT, data hasil foto oleh kamera dapat dikirimkan secara langsung ke sistem untuk diproses lebih lanjut atau untuk tujuan pemantauan. Dengan menggunakan OCR, citra digital yang berisi angka atau huruf dapat segera dikenali. Pra-pemrosesan berperan penting menghasilkan data yang mudah dikenali oleh OCR, meningkatkan akurasi hasil pengenalannya. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan dosis radiasi di berbagai fasilitas yang memerlukan pemantauan radiasi secara kontinu. Sistem ini juga menunjukkan potensi untuk diimplementasikan dalam skala yang lebih luas, dengan penyesuaian lebih lanjut dan pengembangan tambahan untuk mengatasi keterbatasan yang ada, seperti kondisi pencahayaan selama pengambilan gambar dan peningkatan kemampuan OCR dalam mengenali teks dari citra digital dengan gangguan tinggi. Penelitian ini juga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam meningkatkan teknik pra-pemrosesan dan algoritma OCR yang lebih canggih, serta eksplorasi penggunaan teknologi *machine learning* untuk lebih meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi secara signifikan pada bidang

pemantauan radiasi dan aplikasi OCR, memberikan solusi praktis yang dapat diterapkan dalam industri kesehatan dan keselamatan radiasi.

### Daftar Pustaka

- [1] Eri Hiswara (2023) Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit. BRIN, Jakarta
- [2] PE "SPPE "Sparing-Vist Center" (2022) IT-09 Operating Manual
- [3] Martínek J, Lenc L, Král P (2020) Building an efficient OCR system for historical documents with little training data. *Neural Comput & Applic* 32:17209-17227. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04910-x>
- [4] Ranjan A, Behera VNJ, Reza M (2021) OCR Using Computer Vision and Machine Learning. In: Das S, Das S, Dey N, Hassanien AE (eds) *Machine Learning Algorithms for Industrial Applications. Studies in Computational Intelligence*, vol 907. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50641-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50641-4_6)
- [5] Sultana U, Bilal S, Naqvi SHA, Iqbal R (2022) Smart OCR Application for Meter Reading. *Engineering Proceedings* 20(1):25. <https://doi.org/10.3390/engproc2022020025>
- [6] Memon J, Sami M, Khan RA, Uddin M (2020) Handwritten Optical Character Recognition (OCR): A Comprehensive Systematic Literature Review (SLR). *IEEE Access* 8:142642-142668. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012542
- [7] Patel A, Joshi R (2018) *Optical Character Recognition (OCR). Papers With Code*
- [8] Wang B, Ma Y-W, Hu H-T (2020) Hybrid model for Chinese character recognition based on Tesseract-OCR. *Int J Internet Protoc Technol* 13(2):102-108. <https://doi.org/10.1504/ijipt.2020.106316>
- [9] Campos TE, Babu BR, Varma M (2009) Character Recognition in Natural Images. *International Conference on Computer Vision Theory and Applications*
- [10] Bieniecki W, Grabowski S, Rozenberg W (2007) Image Preprocessing for Improving OCR Accuracy. 2007 *International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*, Lviv, Ukraine, pp. 75-80. doi: 10.1109/MEMSTECH.2007.4283429
- [11] Raj AR, Sharma S, Singh J, Singh A (2001) Application of OCR in Automating Data Entry Processes. *ResearchGate*
- [12] Shi B, Bai X, Yao C (2017) An End-to-End Trainable Neural Network for Image-Based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 39(11):2298-2304. doi: 10.1109/TPAMI.2016.2646371
- [13] Zhou X, Yao C, Wen H, Wang Y, Zhou S, He W, Liang J (2017) EAST: An Efficient and Accurate Scene Text Detector. *ArXiv. /abs/1704.03155*
- [14] Liu Y, Wang Y, Shi H (2023) A Convolutional Recurrent Neural-Network-Based Machine Learning for Scene Text Recognition Application. *Symmetry* 15(4):849. <https://doi.org/10.3390/sym15040849>
- [15] Liao M, Zou Z, Wan Z, Yao C, Bai X (2023) Real-Time Scene Text Detection With Differentiable Binarization and Adaptive Scale Fusion. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 45(1):919-931. doi: 10.1109/TPAMI.2022.3155612



## **Alamat Redaksi**

**Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan  
Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN)  
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)  
Gedung B Lantai 5  
Jl. Gajah Mada No.8 Jakarta 10120**