



**BRIN**  
BADAN RISET  
DAN INOVASI NASIONAL



Editor:  
Anhar R. Antariksawan

# Memperkuat Keamanan Nuklir untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir

Buku ini tidak diperjualbelikan



Editor:  
Anhar R. Antariksawan

# **Memperkuat Keamanan Nuklir untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir**

Buku ini tidak diperjualbelikan

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC-BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Editor:  
Anhar R. Antariksawan

# Memperkuat Keamanan Nuklir untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan

© 2024 Editor & Penulis

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir/Anhar R. Antariksawan (Ed.)—Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

xvii + 403 hlm.; 14,8 x 21 cm.

ISBN 978-623-8372-75-1 (*e-book*)

- |                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| 1. Nuklir                   | 2. Keamanan Nuklir     |
| 3. Pemanfaatan Iptek Nuklir | 4. Forensik Nuklir     |
| 5. Sistem Manajemen Nuklir  | 6. Ancaman Orang Dalam |

621.48

Editor Akuisisi	: Wijananto
Copy editor	: Rina Kamila
Proofreader	: Emsa Ayudia Putri
Penata isi	: Dyah Arum Kusumastuti
Desainer Sampul	: Dyah Arum Kusumastuti

Edisi Pertama : Agustus 2024



Diterbitkan oleh:  
Penerbit BRIN, anggota Ikapi  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: +62 811-1064-6770  
e-mail: [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)  
website: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)

 Penerbit BRIN  
 @penerbit\_brin  
 penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan

# DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
PENGANTAR PENERBIT.....	xiii
PRAKATA .....	xv
BAB I      Keamanan nuklir: Pilar Iptek nuklir multifaset .....	1
<i>Anhar R. Antariksawan</i>	
BAGIAN I. KERANGKA HUKUM DAN SISTEM PENGAMANAN	
NUKLIR .....	13
BAB II      Kerangka legal keamanan nuklir.....	15
<i>Yaziz Hasan</i>	
BAB III     Sistem proteksi fisik .....	55
<i>Khairul &amp; Teguh Asmoro</i>	
BAB IV     Perjalanan organisasi pengamanan nuklir di BATAN .....	77
<i>Usup Sudiawan</i>	

BAB V	Peran forensik nuklir dalam keamanan nuklir .....	99
	<i>Jan Setiawan, Dwi Agus Wrihatno, &amp; Agus Sumaryanto</i>	
BAB VI	Sistem pemantauan radiasi untuk keamanan nuklir.....	123
	<i>Kristedjo Kurnianto</i>	
BAB VII	Keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif .....	149
	<i>Moch Romli</i>	
BAB VIII	Keamanan informasi nuklir .....	173
	<i>Intan Savitri &amp; Wenseslaus Roland</i>	
BAGIAN II. ASPEK MANUSIA DAN SISTEM MANAJEMEN.....		211
BAB IX	Ancaman orang dalam .....	213
	<i>Alim Mardhi</i>	
BAB X	Penerapan program keandalan manusia untuk keamanan nuklir di BATAN .....	245
	<i>Fatmuanis Basuki</i>	
BAB XI	Budaya Keamanan Nuklir .....	277
	<i>Anhar R. Antariksawan &amp; Khairul</i>	
BAB XII	Sistem manajemen keamanan nuklir: Untuk menjaga konsistensi, kinerja dan keberlanjutan sistem proteksi fisik .....	305
	<i>A. Bayu Purnomo</i>	
BAB XIII	Standar penilaian risiko keamanan nuklir .....	329
	<i>Sugiyarto</i>	
BAB XIV	Memperkuat keamanan nuklir .....	351
	<i>Anhar R. Antariksawan</i>	
DAFTAR SINGKATAN .....		365
GLOSARIUM .....		369
TENTANG EDITOR.....		377
TENTANG PENULIS.....		379
INDEKS .....		397

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hierarki seri keamanan nuklir IAEA (NSS) .....	36
Gambar 3.1 Fungsi SPF .....	57
Gambar 3.2 Hierarki NSS yang disusun oleh IAEA .....	64
Gambar 3.3 Penghalang fisik yang digunakan di BATAN, Puspiptek....	70
Gambar 3.4 Alternatif skema pembagian daerah proteksi fisik di KNS .....	71
Gambar 4.1 Struktur organisasi gugus keamanan nuklir BATAN.....	82
Gambar 4.2 Koordinasi keamanan nuklir antara BATAN, TNI, dan Polri .....	83
Gambar 4.3 CAS di kawasan nuklir Serpong.....	87
Gambar 4.4 CAS di kawasan nuklir Pasar Jumat .....	88
Gambar 4.5 Peserta pelatihan di depan Gedung NSSC, Training Laboratory BATAN.....	93
Gambar 4.6 Ilustrasi gladi kedaruratan nuklir .....	94
Gambar 5.1 Model rencana aksi forensik nuklir .....	107
Gambar 6.1 Blok diagram sistem deteksi dan pengukuran radiasi .....	130
Gambar 6.2 Beberapa contoh penggunaan detektor <i>portable</i> dan UAS .....	131
Gambar 6.3 Konfigurasi portal monitor radiasi .....	134

Gambar 6.4	Contoh detektor radiasi yang digunakan di Kawasan Nuklir Serpong dan Kawasan Nuklir Pasar Jumat .....	135
Gambar 6.5	Ilustrasi langkah deteksi, lokasi, dan identifikasi sumber radiasi .....	136
Gambar 6.6	Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merespons alarm yang muncul dari sistem deteksi dan pengukuran radiasi .....	139
Gambar 6.7	Ilustrasi penggunaan aplikasi TRACE pada telepon genggam .....	140
Gambar 6.8	Info grafis kegiatan prioritas riset nasional SPRKK .....	143
Gambar 6.9	Proses pengujian radiologi dan non-radiologi yang sudah dilakukan di berbagai laboratorium di BATAN (BRIN) .	143
Gambar 7.1	Jumlah KTUN persetujuan pengiriman zat radioaktif yang diterbitkan oleh BAPETEN periode 2015–2018 ....	151
Gambar 7.2	Ilustrasi empat fungsi keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif .....	153
Gambar 7.3	Kerangka kerja dan pemangku kepentingan I-CoNSEP..	156
Gambar 7.4	Tindakan keamanan pengangkutan sumber radioaktif ..	161
Gambar 7.5	Pemeriksaan kontainer dan pengangkutan setelah proses pemuatan BBNB ke kendaraan .....	164
Gambar 8.1	Informasi dan sistem berbasis komputer pada rezim keamanan nuklir .....	178
Gambar 8.2	Triad CIA .....	180
Gambar 8.3	Penerapan kontrol administratif, fisik, dan teknis pada pendekatan bertingkat .....	195
Gambar 8.4	Pertahan berlapis sistem berbasis komputer .....	198
Gambar 8.5	Pihak yang bertanggung jawab dalam keamanan komputer .....	201
Gambar 8.6	Peluncuran BATAN-CSIRT bersama BSSN .....	206
Gambar 9.1	Model hubungan kepribadian tiga sifat gelap dan faktor pencetus ancaman orang dalam .....	228
Gambar 9.2	Skema penelitian pembuatan instrumen program kepercayaan .....	241
Gambar 10.1	Pengelolaan Program Keandalan Manusia .....	258
Gambar 10.2	Organisasi PKM BATAN .....	260
Gambar 10.3	Proses pelaksanaan PKM .....	261
Gambar 10.4	Proses Evaluasi PKM .....	266
Gambar 11.1	Model Budaya Keamanan Nuklir .....	281
Gambar 11.2	Peran Pilar Utama Keamanan Nuklir .....	287

Gambar 11.3 Pernyataan Kebijakan Keamanan Nuklir BATAN .....	290
Gambar 11.4 Tahapan dan Metode Kaji Diri .....	295
Gambar 11.5 Hasil survei kaji diri penerapan budaya keamanan nuklir kedua di BATAN .....	298
Gambar 12.1 Kerangka kerja peningkatan berkelanjutan dengan siklus PDCA .....	309
Gambar 12.2 Manual SMB edisi 2018 yang telah mengintegrasikan ISO 9001, OHSAS 18001, dan ISO 14001.....	317
Gambar 12.3 Model Budaya Keamanan Nuklir IAEA .....	321
Gambar 13.1 Halaman muka SB 009.1 BATAN: 2016.....	335
Gambar 13.2 Tahapan Penilaian Risiko Keamanan Nuklir.....	336
Gambar 13.3 Metode kualitatif penentuan tingkat ancaman.....	339
Gambar 13.4 Halaman muka laporan penilaian risiko keamanan nuklir kawasan nuklir Yogyakarta .....	343



# DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Instrumen internasional keamanan nuklir .....	19
Tabel 3.1 Dua belas prinsip dasar proteksi fisik .....	61
Tabel 3.2 Penggolongan Bahan Nuklir.....	68
Tabel 4.1 Pelatihan khusus yang harus diikuti penanggung jawab dan pelaksana.....	84
Tabel 4.2 Nama pelatihan pengamanan nuklir.....	84
Tabel 5.1 Contoh bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya .....	102
Tabel 5.2 Karakteristik deposit geologi .....	113
Tabel 6.1 Fitur berbagai sistem deteksi radasi dan pemanfaatannya ....	135
Tabel 6.2 Daftar standar untuk berbagai instrumen deteksi penyelundupan.....	140
Tabel 7.1 Panduan penentuan kategori sumber radioaktif .....	158
Tabel 8.1 Ancaman orang dalam .....	185
Tabel 8.2 Ancaman dari luar .....	187
Tabel 8.3 Perbandingan lingkungan IT dan lingkungan OT .....	190
Tabel 8.4 Contoh penerapan tingkat dan zona keamanan komputer .....	196
Tabel 9.1 Dimensi dan indikator kejujuran .....	238
Tabel 9.2 Hasil validasi reliabilitas instrumen .....	240

Tabel 10.1 Rekomendasi program keandalan manusia .....	250
Tabel 11.1 Karakteristik dan contoh elemen budaya keamanan nuklir .....	282
Tabel 11.2 Contoh Institusi di Indonesia yang terkait keamanan nuklir	288
Tabel 11.3 Ringkasan Kaji Diri Penerapan Budaya Keamanan Nuklir di BATAN .....	296
Tabel 13.1 Skala konsekuensi .....	337
Tabel 13.2 Tingkat dan skala ancaman.....	339
Tabel 13.3 Tingkat kerentanan .....	341
Tabel 13.4 Penentuan tingkat risiko keamanan.....	342
Tabel 13.5 Format tabel hasil penilaian risiko.....	345
Tabel 13.6 Daftar pengendalian risiko .....	345
Tabel 13.7 Jenis-jenis pengendalian sesuai tingkat risiko.....	345
Tabel 13.8 Peta pengendalian risiko .....	347

# PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Mendengar kata nuklir, bagi sebagian orang akan membayangkan hal-hal yang sangat membahayakan. Masih banyak masyarakat yang belum memahami bagaimana teknologi nuklir dapat bermanfaat bagi kehidupan dan bagaimana menanganinya terutama tiga hal yaitu *safety*, *security*, dan *safeguards* (keamanan, keselamatan, dan garda aman).

Mengingat iptek nuklir merupakan teknologi yang strategis maka aspek keselamatan dan keamanan menjadi penting untuk diketahui. Pemanfaatan iptek nuklir serta berbagai aspek penerapannya termasuk forensik nuklir, sistem manajemen nuklir dan ancaman orang dalam dibahas secara lengkap di buku ini. Belum banyak buku yang

membahas secara spesifik mengenai penerapan keamanan teknologi nuklir, khususnya di fasilitas nuklir di Indonesia.

Buku ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber referensi bagi peneliti atau akademisi untuk pembelajaran terkait berbagai aspek keamanan nuklir.

Kami berharap hadirnya buku ini dapat menjadi referensi bacaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi seluruh pembaca. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

# PRAKATA

Puji dan syukur ke hadirat Allah Swt., Tuhan Yang Maha Kuasa, atas karunia-Nya buku *Memperkuat Keamanan Nuklir untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* dapat selesai dan dipublikasikan. Buku ini disusun, salah satunya karena masih banyaknya masyarakat Indonesia yang belum mengenal ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) nuklir ataupun mengenalnya, tetapi sebagai teknologi yang identik dengan bahaya, baik dalam bentuk ledakan maupun radiasi. Di sisi lain, terdapat pula masyarakat yang telah mengenal iptek nuklir, bahkan bekerja terkait dengan fasilitas dan bahan nuklir atau zat radioaktif, tetapi tidak mengenal dengan baik apa itu keamanan nuklir. Sebagian bahkan hanya memandang identik dengan kegiatan yang cukup dilakukan oleh satuan pengamanan saja, padahal keamanan nuklir adalah disiplin yang multifaset dan multidisiplin ilmu. Oleh karena itu, buku ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang keamanan nuklir, berbagai bidang atau aspek yang dicakupnya, serta menunjukkan bahwa berbagai kegiatan terkait iptek nuklir, baik dalam riset maupun pemanfaatannya, khususnya di Indonesia, telah dilakukan

Buku ini tidak diperjualbelikan

dengan saksama dan sangat memperhatikan aspek keselamatan dan keamanannya, terutama untuk pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Selain itu, melalui buku ini juga diharapkan dapat mengenalkan apa itu keamanan nuklir, apa saja aspek dari keamanan nuklir, dan bagaimana penerapannya di Indonesia sejauh ini, khususnya yang diimplementasikan di fasilitas nuklir, bahan nuklir, dan zat radioaktif di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), terutama sebelum berintegrasi ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pada tahun 2021. Sebagai catatan, fasilitas nuklir dan bahan nuklir di Indonesia mungkin hanya terdapat di BATAN (saat ini BRIN), tetapi fasilitas yang menggunakan zat radioaktif dalam berbagai bentuk telah banyak dipakai di industri dan rumah sakit.

Buku ini ditujukan bagi pembaca seperti mahasiswa juga masyarakat umum yang telah mengenal sepintas tentang iptek nuklir, zat radioaktif, dan radiasi, tetapi belum banyak mengetahui tentang keamanan nuklir. Oleh karena itu, buku ini lebih banyak memberikan pengenalan melalui pengertian dan pengetahuan dasar berbagai aspek dalam keamanan nuklir, tetapi tidak mendetail dalam setiap aspek yang dibahas. Uraian tentang penerapannya ditambahkan hampir di semua aspek untuk memberikan gambaran yang lebih nyata. Mengingat cakupan keamanan nuklir yang sangat luas, buku ini dibatasi pada pembahasan keamanan nuklir yang terkait dengan penggunaan iptek nuklir untuk maksud damai di tingkat fasilitas.

Dari sisi penerapan berbagai aspek pada keamanan nuklir, buku ini lebih fokus mengemukakan apa yang telah diterapkan di BATAN, sebagai badan pelaksana ketenaganukliran hingga tahun 2021, sesuai dengan latar belakang masing-masing Penulis. Uraian itu sekaligus menunjukkan akumulasi pengetahuan dan pengalaman yang telah membentuk kompetensi keamanan nuklir di BATAN dan diharapkan dapat digunakan sebagai rujukan institusi lain. Oleh karena itu, beberapa nomenklatur organisasi juga masih banyak merujuk pada organisasi BATAN. Selain itu, di setiap aspek keamanan nuklir yang dibahas, diberikan perspektif ringkas apa yang perlu dilanjutkan dan

ditingkatkan di BRIN sebagai badan pelaksana ketenaganukliran saat ini.

Buku ini—berdasarkan pengetahuan kami—merupakan buku pertama di Indonesia yang menguraikan tentang keamanan nuklir. Semoga buku ini dapat menambah literasi di Indonesia tentang iptek nuklir yang masih terbatas. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan dan penerbitan buku ini, khususnya kontribusi Penulis yang bergelut dalam bidang yang ditulis di buku ini.

Jakarta, 2023

Editor,  
Anhar R. Antariksawan

Buku ini tidak diperjualbelikan



## BAB 1

# Keamanan Nuklir: Pilar Iptek Nuklir Multifaset

Anhar R. Antariksawan

---

Sebagian besar orang mengingat awal berkembangnya teknologi nuklir dengan jatuhnya bom atom di Hiroshima dan Nagasaki, Jepang, pada 6 dan 9 Agustus 1945 saat Perang Dunia II (Britannica, 2023). Semenjak itu, perkembangan pembuatan bom atom meluas di beberapa negara. Pada 1953, Presiden Amerika Serikat (AS), Dwight D. Eisenhower, di depan PBB menyampaikan pidato yang dikenal dengan *Atom for Peace*. Hal tersebut menjadi dasar pembentukan Badan Tenaga Atom Internasional (International Atomic Energy Agency, IAEA) pada tahun 1957 (IAEA, t.t.). Pada dasarnya ada dua misi utama IAEA, yaitu mempromosikan penggunaan tenaga atom (atau tenaga nuklir) untuk maksud damai, sekaligus mengawasi agar tenaga nuklir tidak digunakan untuk selain maksud damai, seperti senjata. Di sisi lain, untuk melarang penyebaran senjata nuklir yang

---

Anhar R. Antariksawan\*

\*Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), e-mail: anha001@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Antariksawan, A. R. (2024). Keamanan nuklir: Pilar iptek nuklir multifaset. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (1–11). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c989 ,E-ISBN: 978-623-8372-75-1

Buku ini tidak diperjualbelikan

marak dikembangkan oleh beberapa negara setelah Perang Dunia II, pada tahun 1970, traktat pelarangan penyebaran (nonproliferasi) senjata nuklir atau yang dikenal sebagai Non-Proliferation Treaty (NPT) diberlakukan. Traktat tersebut melarang semua negara anggota, kecuali Inggris, Tiongkok, Prancis, Rusia, dan AS (yang telah memiliki senjata nuklir saat traktat ini diberlakukan), memiliki senjata berhulu ledak nuklir (Bunn, t.t.). Hingga tahun 2020, tercatat 191 negara telah menandatangani traktat tersebut, meski pada 2003, Korea Utara menyatakan menarik diri dari NPT (Kymbal, t.t.).

NPT memiliki 3 dimensi, yaitu nonproliferasi (*non-proliferation*), pelucutan senjata (*disarmement*), dan penggunaan nuklir untuk maksud damai (*peaceful uses*) (Evans, 2009). Dimensi pertama nonproliferasi sudah disinggung di atas, yaitu terkait upaya dunia menghindari penggunaan dan penyebaran bahan nuklir untuk senjata pemusnah masal. Terkait pelucutan senjata, dimensi tersebut terkait dengan upaya pengurangan hingga penghapusan senjata nuklir yang telah ada. Pada pertengahan tahun 1980-an, menurut laporan Evans (2009), masih terdapat 70.000 hulu ledak nuklir di dunia, meskipun sebenarnya sejak muncul kesepakatan *Strategic Arms Reduction Treaty* (START) pada 1991, telah terjadi pengurangan jumlah hulu ledak secara signifikan. Di sisi lain, pada tahun 1993 berlangsung kesepakatan antara AS dan Rusia untuk melakukan pengurangan jumlah uranium dengan pengayaan tinggi (*high-enriched uranium*, HEU) yang bersumber dari hulu ledak nuklir. Dalam kesepakatan yang berlaku selama 20 tahun tersebut, Rusia mengolah HEU yang berasal dari hulu ledak nuklirnya menjadi uranium diperkaya rendah (*low-enriched uranium*, LEU) yang akan dibeli oleh AS untuk keperluan bahan bakar pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di AS. Hingga 2013, tidak kurang dari 20.000 hulu ledak nuklir milik Rusia telah dikonversi ke LEU dan menjadi bahan bakar PLTN milik AS sehingga perjanjian tersebut dikenal sebagai “Megatons to Megawatts” (Parker, 2013). Dimensi nonproliferasi dan pelucutan senjata sering menjadi perdebatan politik internasional karena ada negara-negara tertentu yang diduga tidak menjalankan NPT dengan benar dan di sisi lain ada negara yang tidak setuju menjadi negara pihak NPT.

Dimensi penggunaan bahan nuklir untuk maksud damai, seperti penggunaan di PLTN atau di bidang kesehatan, industri, dan pertanian juga menjadi perhatian NPT karena masih ada kemungkinan penyelewengan penggunaan fasilitas dan bahan nuklir tidak digunakan untuk keperluan damai yang dideklarasikan, tetapi justru mengarah pada keperluan persenjataan. Oleh karena itu, negara anggota IAEA mengamanatkan pada IAEA untuk secara rutin melakukan verifikasi terhadap semua fasilitas nuklir di dunia. Indonesia sebagai negara anggota IAEA dan salah satu negara pihak NPT—tidak terkecuali—secara rutin menerima inspektur IAEA untuk memverifikasi penggunaan fasilitas dan bahan nuklir seperti yang ada di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), yang saat ini terintegrasi ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Apa hubungan ketiga dimensi NPT tersebut dengan keamanan nuklir? Ketiga dimensi tersebut menurut Bowen dan van Dasen (2014), memiliki dasar pengikat yang sama, yaitu membahas bahan nuklir yang harus dikelola dengan baik sehingga tidak jatuh ke tangan yang tidak berhak atau dengan kata lain, perlu penerapan sistem keamanan nuklir terhadap fasilitas dan bahan nuklir. Keamanan nuklir menjadi perhatian hampir seluruh negara di dunia, terlebih setelah kejadian yang dikenal sebagai peristiwa 9/11 di AS tahun 2001. Beberapa tahun kemudian, atas inisiatif Presiden AS, Barack Obama, pada tahun 2010 diadakan Nuclear Security Summit (NSS) dengan partisipasi sejumlah negara, termasuk Indonesia. Setelah NSS pertama tahun 2010, pertemuan dilanjutkan pada tahun 2012, 2014 dan 2016 (NSS, t.t.). Meskipun penekanan pertemuan ini terkait dengan ancaman terorisme pada fasilitas dan bahan nuklir, berbagai aspek lain dalam pemanfaatan bahan nuklir juga dibahas, seperti pengurangan jumlah HEU di dunia (termasuk untuk bahan produksi radioisotop yang diperlukan di kedokteran), penguatan regulasi keamanan nuklir, dan *upgrade* sistem keamanan nuklir untuk antisipasi perubahan ancaman.

Dalam pemanfaatan teknologi nuklir untuk maksud damai, keamanan nuklir merupakan salah satu pilar dari tiga pilar penting yang dikenal sebagai 3S, yaitu keselamatan (*safety*), keamanan

(*security*), dan garda aman atau seifgard (*safeguard*). Ketiga pilar tersebut memiliki tujuan akhir yang sama, yaitu melindungi masyarakat dan lingkungan dari bahaya yang diakibatkan oleh bahan nuklir dan zat radioaktif, tetapi dalam aspek teknis yang berbeda. Pengertian masing-masing pilar tersebut ialah sebagai berikut.

- 1) Keselamatan (*safety*): Pencapaian kondisi operasi yang tepat, pencegahan kecelakaan, dan mitigasi konsekuensi kecelakaan suatu fasilitas nuklir atau aktivitas yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif sehingga memberikan perlindungan pada pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari risiko radiasi yang tidak semestinya (IAEA, 2018).
- 2) Keamanan (*security*): Pencegahan, deteksi, dan respons terhadap pencurian, sabotase, akses tidak sah, pengangkutan ilegal, atau tindakan jahat lainnya yang melibatkan bahan nuklir, zat radioaktif, atau fasilitas yang berhubungan dengan bahan nuklir dan zat radioaktif (IAEA, 2018).
- 3) Garda aman (*safeguard*): Sekumpulan tindakan teknis yang diterapkan pada material dan aktivitas nuklir untuk memverifikasi (secara independen) bahwa fasilitas nuklir tidak disalahgunakan dan bahan nuklir tidak dialihkan dari penggunaan untuk maksud damai (Nuclear Security & Safeguards, 2018).

Berdasarkan ketiga pengertian tersebut, secara ringkas dapat diartikan bahwa keselamatan nuklir adalah upaya untuk menjaga fasilitas nuklir tetap beroperasi dengan baik sehingga tidak menyebarkan bahan nuklir dan zat radioaktif ke lingkungan. Hal ini secara teknis dapat dilakukan, salah satunya, dengan penerapan sistem keselamatan pada fasilitas tersebut. Sementara itu, keamanan nuklir adalah upaya untuk menjaga agar tidak ada pihak yang tidak berwenang atau tidak memiliki akses secara sah untuk menguasai fasilitas dan bahan nuklir sehingga membahayakan masyarakat melalui tindakan sabotase terhadap fasilitas atau penggunaan bahan nuklir untuk maksud jahat, seperti bom kotor (*dirty bomb*). Seperti halnya dengan keselamatan, untuk mengimplementasikan tujuan

keamanan, secara teknis dapat disediakan sistem pengamanan pada fasilitas dan bahan nuklir yang fungsinya membatasi kemungkinan akses ilegal atau sabotase. Sistem pengamanan tersebut dikenal juga dengan sistem proteksi fisik (*physical protection system*). Sementara itu, garda aman adalah upaya mengendalikan semua bahan nuklir tetap dalam kendali, tidak ada yang tidak diketahui keberadaannya atau diselewengkan untuk penggunaan di luar maksud damai. Secara teknis, pengendalian dilakukan dengan cara menerapkan teknik akuntansi terhadap persediaan bahan nuklir sehingga penambahan dan pengurangan bahan nuklir senantiasa tertelusur. Pada umumnya, keselamatan mendapat perhatian yang lebih, termasuk pada saat perancangan fasilitas nuklir, setelah itu keamanan dan garda aman. Namun, kinerja sistem fasilitas nuklir keseluruhan dipengaruhi oleh interaksi ketiganya. Bahkan, kerawanan pada satu pilar dapat membuka peluang kegagalan kedua pilar lainnya (Renda, 2022). Mengingat pentingnya ketiga pilar tersebut di tingkat nasional dan negara yang bertanggung jawab, negara anggota Association of South East Asia Nations (ASEAN) membentuk ASEAN Network of Regulatory Bodies on Atomic Energy (ASEANTOM) yang salah satu prioritas kegiatannya ialah berbagai pengalaman dan praktik terbaik (*best practices*) dalam mengatur penerapan ketiga pilar tersebut (ASEAN, t.t.). Di Indonesia, pada tingkat nasional, yang bertanggung jawab untuk memastikan bahwa fasilitas nuklir dioperasikan dan bahan nuklir dipergunakan secara selamat dan aman sesuai peraturan perundang-undangan ialah Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) melalui regulasi, perizinan, dan inspeksi.

Dalam kaitannya dengan pengelolaan fasilitas dan kegiatan yang berhubungan dengan bahan nuklir, keamanan nuklir beserta keselamatan nuklir dan garda aman merupakan salah satu persyaratan yang wajib dipenuhi oleh pemegang izin (PI) fasilitas atau bahan nuklir (PP No. 54, 2012). Salah satu kewajiban keamanan nuklir adalah melakukan tindakan pengamanan fasilitas dan bahan nuklir, terutama bertumpu pada apa yang dikenal sebagai tindakan proteksi fisik, yaitu tindakan menggunakan bantuan gabungan peralatan, prosedur, dan

personel untuk menjaga agar tidak ada akses tidak sah ke fasilitas nuklir atau pemindahan ilegal bahan nuklir. Walaupun demikian, keamanan nuklir adalah bidang multifaset atau berbidang banyak. Tindakan proteksi fisik ialah salah satu bidang. Selain proteksi fisik, keamanan nuklir memiliki berbagai aspek dan bidang tinjauan yang terkait dengan peralatan, prosedur, dan personel. Oleh karena itu, keamanan nuklir juga menjadi bidang multidisiplin ilmu.

Pada bab-bab selanjutnya, di buku ini akan diuraikan pengertian secara umum berbagai aspek dan bidang keamanan nuklir yang terkait dengan peralatan, prosedur dan personel (manusia). Setelah pengenalan tentang keamanan nuklir dalam konteks kegiatan nuklir pada umumnya dan memperkenalkan posisi keamanan nuklir sebagai salah satu pilar 3S kegiatan yang berhubungan dengan fasilitas dan bahan nuklir pada Bab 1, pada Bab 2 akan diulas mengenai kerangka legal dari keamanan nuklir, baik pada tingkat nasional maupun internasional yang melandasi semua aktivitas dan tindakan keamanan nuklir. Informasi dan pemahaman mengenai kerangka legal ini penting karena menjadi dasar penerapan keamanan nuklir pada fasilitas nuklir dan bahan nuklir, baik pada saat disimpan, digunakan, ataupun dalam pengangkutan, baik di tingkat negara, termasuk antarnegara, maupun di tingkat fasilitas. Selanjutnya, pada Bab 3 akan dibahas tentang sistem proteksi fisik (dalam buku ini disebut pula dengan sinonim sistem pengamanan nuklir) pada bahan dan fasilitas nuklir. Pembahasan dalam bab ini menyangkut pengertian, persyaratan, dan rekomendasi baik dari IAEA maupun BAPETEN yang merupakan badan regulasi nasional di Indonesia. Pengalaman penerapan sistem proteksi fisik di BATAN akan diuraikan untuk memberikan gambaran pengalaman dan tantangan di masa mendatang. Sebagai pengelola sistem proteksi fisik, satuan organisasi dan personel pengamanan nuklir memegang peranan penting dalam upaya menerapkan keamanan nuklir yang efektif dan tangguh serta dapat menjadi bagian dari pertahanan berlapis di dalam sistem proteksi fisik. Sejarah terbentuknya satuan pengamanan nuklir di BATAN dan perkembangan dari masa ke masa akan diulas dalam Bab 4.

Dalam keamanan nuklir, sering kali harus dilakukan upaya untuk memastikan apakah pada suatu bukti kejahatan mengandung bahan nuklir dan/atau zat radioaktif atau tidak. Jika ada, perlu dilakukan tindakan identifikasi jenis, kuantitas, karakteristik, dan asal usulnya dengan berbagai teknik pengujian dan analisis. Ini merupakan salah satu bidang keamanan nuklir yang disebut forensik nuklir yang akan diuraikan di dalam Bab 5. Seperti telah disinggung sebelumnya, keamanan nuklir juga berhubungan dengan peralatan. Oleh karena itu, pada Bab 6 dipaparkan terkait alat deteksi dan pemantau radiasi untuk tujuan keamanan nuklir, sekaligus sebagai alat bantu untuk memastikan keselamatan fasilitas dan masyarakat. Selain pengenalan sebagian dari peralatan keamanan nuklir, bab ini juga menguraikan upaya pengembangan dan rekayasa peralatan yang telah dilakukan di BATAN dan tengah dilanjutkan di BRIN.

Bidang tinjauan lain dari keamanan nuklir yang penting adalah keamanan pengangkutan bahan nuklir, yaitu tindakan untuk memberikan pengamanan yang tepat dan memadai selama memindahkan bahan nuklir dan zat radioaktif dari satu tempat ke tempat yang lain. Hal tersebut akan dibahas di Bab 7. Keamanan nuklir tidak hanya menyangkut fasilitas, tetapi juga informasi yang penting tentang keselamatan masyarakat dan lingkungan sehingga informasi tersebut harus dijaga keamanannya. Terlebih, beberapa tahun terakhir kejahatan siber meningkat seiring dengan peningkatan pemanfaatan teknologi informasi di berbagai bidang kegiatan, termasuk nuklir. Pembahasan tentang keamanan informasi nuklir akan diberikan pada Bab 8.

Aspek manusia merupakan hal penting dalam keamanan nuklir. Ancaman terhadap fasilitas dan bahan nuklir dapat datang dari dalam atau luar fasilitas. Dari beberapa kejadian yang telah terjadi di berbagai fasilitas, faktor ancaman yang datang dari personel di dalam fasilitas (orang dalam) atau personel yang berkolusi dengan pihak di luar fasilitas merupakan hal yang krusial. Aspek ancaman dari orang dalam (*insider threat*) ini diulas dalam Bab 9. Untuk memastikan bahwa semua personel penting dalam keamanan nuklir memiliki

sifat dapat dipercaya (trustworthiness), perlu upaya pengamatan dan evaluasi. Salah satu metode yang saat ini terus dikembangkan, dalam keamanan nuklir dikenal sebagai Program Keandalan Manusia (Human Reliability Program). Terkait dengan hal ini akan dibahas di Bab 10. Aspek manusia sangat dipengaruhi dengan pola pikir, sikap, dan perilaku yang secara kolektif pada akhirnya menyangkut budaya yang tumbuh dalam organisasi. Dalam hal keamanan nuklir, budaya tersebut akan tumbuh jika terdapat keyakinan bersama bahwa ancaman itu nyata. Konsep dasar ini akan diterangkan pada tinjauan tentang budaya keamanan nuklir di Bab 11. Dalam bab ini juga akan disinggung kegiatan kaji diri penerapan budaya keamanan nuklir di fasilitas nuklir untuk riset, di BATAN.

Faset lain dari keamanan nuklir ialah prosedur. Untuk itu, dalam Bab 12 akan diuraikan tentang sistem manajemen keamanan. Selain sebagai pemenuhan persyaratan, sistem manajemen keamanan menunjukkan komitmen organisasi dalam keamanan nuklir. Sistem manajemen keamanan akan memandu semua aktivitas terkait fasilitas dan bahan nuklir agar tetap dijalankan di dalam koridor keamanan nuklir yang akan melindungi semua pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Salah satu bagian terpenting dalam sistem manajemen keamanan adalah penilaian risiko ancaman terhadap keamanan nuklir. Metode penilaian risiko keamanan dan contoh penerapannya diulas dalam Bab 13.

Buku ini berakhir di Bab 14 yang berisi tentang hal-hal yang dapat dipelajari dari pengalaman penerapan keamanan nuklir selama ini serta tantangan dan upaya apa yang dapat dilakukan di masa mendatang sehingga keamanan nuklir di Indonesia—pada umumnya—dan di BRIN—pada khususnya—dapat berkelanjutan dengan kualitas yang makin meningkat. Dengan demikian, aplikasi ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir di berbagai bidang di Indonesia dapat dilakukan dengan dukungan dan kepercayaan dari masyarakat karena keyakinan akan keselamatan dan keamanannya. Hal tersebut pada akhirnya akan memperkuat pengembangan dan pemanfaatan iptek nuklir di Indonesia.

Negara bertanggung jawab atas keamanan nuklir di seluruh yurisdiksinya dengan menetapkan tata kelola keamanan nuklir (*nuclear security regime*) yang dilaksanakan oleh berbagai institusi yang diberi kewenangan oleh negara. Pada dasarnya, dalam suatu negara, hal dan pihak yang penting dalam kaitan rezim keamanan nuklir dapat dibedakan sebagai berikut (IAEA, 2018).

- 1) Tingkat nasional: Pemerintah menetapkan kerangka hukum dan regulasi serta otoritas kompeten (*competent authority*) yang diberi otorisasi untuk melakukan pengawasan diterapkannya kerangka hukum keamanan nuklir, seperti badan regulasi nuklir dan bea cukai.
- 2) Tingkat operasional (tingkat fasilitas): tanggung jawab terletak pada pengelola bahan dan fasilitas nuklir serta zat radioaktif, termasuk pihak yang terkait dengan transportasi bahan nuklir dan material radioaktif.

Ruang lingkup pembahasan buku ini difokuskan pada uraian keamanan nuklir di tingkat operasional/tingkat fasilitas, lebih khusus lagi di fasilitas yang menjadi milik BATAN yang hingga tahun 2021 merupakan badan pelaksana ketenaganukliran, seperti diamanatkan oleh Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, dan selama ini telah menerapkan serta mengembangkan berbagai bidang keamanan nuklir. Keamanan nuklir di tingkat nasional hanya dibahas dari aspek kerangka regulasi (Bab 1). Di sisi lain, buku ini hanya akan membahas keamanan nuklir dari dimensi penggunaan nuklir untuk maksud damai, tidak membahas dimensi NPT dan pelucutan senjata. Keamanan nuklir yang di luar kendali regulasi (*out of regulatory control*) juga tidak menjadi topik bahasan dalam buku ini.

Uraian dalam buku ini, terutama berbagai contoh pengalaman penerapan keamanan nuklir di tingkat fasilitas BATAN, diharapkan dapat menjadi informasi dan pemahaman masyarakat tentang komitmen pemerintah terhadap keamanan nuklir yang berjalan bersama dengan upaya peningkatan pengembangan iptek nuklir di

Indonesia. Selain itu, rekaman pengalaman tersebut dapat dijadikan dasar pengembangan keamanan nuklir di organisasi badan pelaksana ketenganukliran yang baru, yaitu BRIN ataupun di fasilitas di luar BRIN yang berhubungan dengan bahan nuklir dan zat radioaktif, seperti rumah sakit dan berbagai bidang industri.

## Daftar Referensi

- Association of South East Asia Nations. (t.t.). *Nuclear safety, security, and safeguards*. Diakses pada 6 Juni 2022, dari <https://asean.org/our-communities/asean-political-security-community/peaceful-secure-and-stable-region/nuclear-safety-security-and-safeguards/>
- Bowen, W., & van Dasen, L. (2014). Nuclear security and the three pillars of the NPT: Identifying a lasting relationship. Dalam *International Conference on Nuclear Security: Enhancing Global Efforts. Proceedings of the Interational Conference*. IAEA. [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:45045550](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45045550)
- Bunn, G. (t.t.). The nuclear nonproliferation treaty: History and current problems. *The Arms Control Association*. Diakses pada 2 Juni 2022, dari [www.armscontrol.org/act/2003\\_12/Bunn](http://www.armscontrol.org/act/2003_12/Bunn)
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (2023, 7 Desember). Atomic bombings of Hiroshima and Nagasaki. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/event/atomic-bombings-of-Hiroshima-and-Nagasaki>
- International Atomic Energy Agency. (t.t.). *History*. Diakses pada 2 Juni 2022, dari <https://www.iaea.org/about/overview/history>
- International Atomic Energy Agency. (2018). Physical protection of nuclear materials and nuclear facilities (Implementation of INFCIRC/225/ Revision 5). *Nuclear Security Series No. 27-G*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1760\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1760_web.pdf)
- Evans, G., & Kawaguchi, Y. (Ed.). (2009). *Eliminating nuclear threats: A practical agenda for global policy makers*. International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmement.
- Kymbal, D. (t.t.). The nuclear Non-Proliferation Treaty (NPT) at a glance. *The Arms Control Association*. Diakses pada 2 Juni 2022, dari <https://www.armscontrol.org/factsheets/nptfact>

- Nuclear Security & Safeguards Education Portal. (2018, 22 Maret). 1 - *Introduction to Nuclear Safeguards & Security: Definitions* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=H2kCxCod5Qs>
- Nuclear Security Summit. (t.t.). *History*. Diakses pada 2 Juni 2022, dari <http://www.nss2016.org/about-nss/history>
- Parker, A. (2013). A transparent success: “Megatons to Megawatts” program. *Lawrence Livermore National Laboratory*, S&TR April/May 2013. <https://str.llnl.gov/content/pages/april-2013/pdf/4.13.3.pdf>
- Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>
- Renda, G. (2022). *Enhancing interaction between safety, security and safeguards in SMR* [Presentasi]. IAEA Technical Meeting on Safety, Security and Safeguards by Design for Small Modular Reactor, Wina, Austria.



# **BAGIAN I. KERANGKA HUKUM DAN SISTEM PENGAMANAN NUKLIR**

Buku ini tidak diperjualbelikan



## BAB II

# Kerangka Legal Keamanan Nuklir

Yaziz Hasan

---

### A. Pendahuluan

Program pemanfaatan tenaga nuklir, baik untuk pembangkitan daya (yaitu pembangkit listrik tenaga nuklir, PLTN) maupun untuk aplikasi non daya (misalnya reaktor riset), mensyaratkan pemenuhan beberapa perangkat infrastruktur, seperti infrastruktur keselamatan dan keamanan. Selain itu, program pemanfaatan tenaga nuklir harus didasarkan pada komitmen hanya untuk tujuan damai, dengan cara penerapan yang aman dan selamat. Komitmen ini mengharuskan adanya infrastruktur nasional yang berkelanjutan yang melibatkan aspek-aspek pemerintahan, peraturan perundang-undangan, manajerial, teknologi, sumber daya manusia, dan dunia industri sepanjang siklus program nuklir dimaksud, termasuk infrastruktur yang terkait dengan penanganan bahan nuklir, yang memerlukan per-

---

Yaziz Hasan\*

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), e-mail: yazi001@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Hasan, Y. (2024). Kerangka legal keamanan nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (15–53). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c990, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

Buku ini tidak diperjualbelikan

hatian sungguh-sungguh dalam hal keselamatan (*safety*), keamanan (*security*) dan garda aman (*safeguards*) (IAEA, 2015).

Panduan yang diperlukan dalam pengembangan infrastruktur yang dimaksud, antara lain, dinyatakan dalam instrumen hukum nasional dan internasional, berupa instrumen hukum nuklir (*nuclear law*) yang mencakup keselamatan, keamanan, garda aman, dan pertanggungjawaban kerugian nuklir. Tujuan utama hukum nuklir adalah memberikan suatu kerangka legal dalam rangka melaksanakan kegiatan-kegiatan (aktivitas) yang berhubungan dengan tenaga nuklir dan radiasi pengion dalam suatu cara yang memberikan perlindungan memadai terhadap individu, harta benda, dan lingkungan. Hukum nuklir berlandaskan pada sebelas prinsip sebagai berikut.

- 1) keselamatan,
- 2) keamanan,
- 3) tanggungjawab,
- 4) perizinan,
- 5) pengawasan berkelanjutan,
- 6) kompensasi,
- 7) pembangunan berkelanjutan,
- 8) kepatuhan,
- 9) kemandirian,
- 10) transparansi, dan
- 11) kerja sama internasional.

Kesebelas prinsip ini membedakan hukum nuklir dari hukum lainnya, yang dalam penerapannya harus dipatuhi secara sungguh-sungguh (Stoiber et.al., 2003).

Unjuk kepatuhan terhadap instrumen hukum internasional, standar keselamatan nuklir yang diterima secara internasional, panduan keamanan nuklir, dan persyaratan garda aman sangat penting dalam membangun program nuklir yang bertanggung jawab. Selain keselamatan nuklir, isu penting lainnya adalah yang terkait dengan pengendalian (pengawasan) bahan nuklir, baik untuk menjamin keamanan bahan maupun untuk memastikan bahwa semua kegiatan tidak mengandung risiko proliferasi senjata nuklir dan bahwa semua

bahan dapat dipertanggungjawabkan dan diawasi. Ini memerlukan pengembangan budaya, sistem, dan praktik yang memastikan bahwa semua pihak mengetahui tanggung jawab dan tindakan apa yang harus dilakukan. Mengenai keamanan nuklir, tujuan utamanya adalah untuk melindungi orang, masyarakat, harta benda, dan lingkungan dari efek berbahaya karena peristiwa keamanan nuklir. Seperti halnya keselamatan, rezim keamanan nuklir yang komprehensif perlu dikembangkan dan dijaga untuk mencegah, mendeteksi, dan merespons setiap peristiwa yang terkait dengan keamanan nuklir (IAEA, 2015).

Tanggung jawab keamanan nuklir di suatu negara sepenuhnya berada di tangan negara tersebut. Namun, dalam prakteknya, kerja sama regional dan internasional menjadi suatu kebutuhan nyata karena makin disadarinya kemampuan mencegah, mendeteksi, dan merespons ancaman terhadap keamanan nuklir di dalam satu negara. Selain itu, hal tersebut juga dipengaruhi oleh kecukupan dan efektivitas langkah-langkah keamanan nuklir yang diambil oleh negara lain, terutama ketika bahan nuklir diangkut melintasi perbatasan antarnegara. Dalam hal ini, keamanan nuklir bermakna sebagai suatu tindakan pencegahan, deteksi, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tidak sah, transfer ilegal, atau tindakan kriminal lainnya yang melibatkan bahan nuklir, zat radioaktif lain, atau fasilitas terkait (IAEA, 2011a).

Isu-isu keamanan nuklir mencakup ancaman terhadap keamanan bahan nuklir, terorisme nuklir, serangan terhadap fasilitas nuklir, dan pencurian zat radioaktif. Dilatarbelakangi runtuhnya salah satu negara adidaya nuklir, muncul kekhawatiran bahwa kelompok sub-nasional tertentu dapat memiliki senjata nuklir atau radiologis. Kekhawatiran tersebut karena banyaknya bahan nuklir yang ditimbun selama perang dingin; kemungkinan tersebarnya kemampuan pengolahan bahan bakar nuklir untuk pengembangan senjata nuklir; serta perubahan sosial, politik, dan ekonomi yang cepat yang dapat menempatkan bahan dan kemampuan tersebut berisiko pada keamanan internasional. Kekhawatiran ancaman penggunaan senjata nuklir dan radiologis mengambil tiga bentuk, antara lain.

- 1) kekhawatiran bahwa kelompok aktor non negara, seperti kelompok teroris, memperoleh dan menggunakan senjata yang hilang atau dicuri dari persediaan senjata era perang dingin atau dari kekuatan nuklir yang baru muncul;
- 2) kekhawatiran bahwa kelompok teroris yang termotivasi dan canggih dapat memperoleh bahan nuklir khusus yang cukup untuk membuat senjata mereka sendiri, dalam bentuk perangkat nuklir improvisasi (*improvised nuclear device*, IND); dan
- 3) kekhawatiran bahwa kelompok tertentu dapat memperoleh bahan radioaktif aktivitas tinggi, yang kemudian dapat didispersikan melalui bahan peledak kimia konvensional dalam bentuk perangkat dispersi radiologis (*radiological dispersion device*, RDD) atau variannya yang berupa perangkat pemapar radiasi (*radiation exposure device*, RED), pada kawasan berpenduduk padat dalam upaya menimbulkan kematian, cedera, dan kontaminasi, ataupun sekadar teror yang terkait dengan dosis radiasi yang sangat tinggi (Nacht et.al., 2021).

Kekhawatiran terhadap ancaman keamanan tersebut menjadi tantangan yang harus ditangani secara sungguh-sungguh melalui penguatan dan penerapan rezim keamanan nuklir global. Bab ini akan menjelaskan rezim keamanan nuklir global berupa instrumen legal internasional dan nasional, dalam keamanan nuklir sebagai salah satu mekanisme dan/atau langkah dalam mencegah, mendeteksi, dan meresponss pencurian, sabotase, akses tidak sah, transfer ilegal, dan tindakan kriminal lainnya yang melibatkan bahan nuklir dan radioaktif.

## **B. Instrumen Internasional Rezim Keamanan nuklir**

Tidak seperti keselamatan nuklir yang memiliki Konvensi Keselamatan Nuklir (*Convention on Nuclear Safety*, CNS), tidak ada konvensi internasional tunggal yang dikhususkan untuk rezim keamanan nuklir. Dengan kata lain, tidak ada instrumen internasional tunggal yang mengatur keamanan nuklir secara komprehensif. Sebaliknya, terdapat

beberapa instrumen internasional yang membentuk rezim global keamanan nuklir. Beberapa instrumen tersebut mengatur langkah-langkah keamanan penggunaan, penyimpanan, dan pengangkutan zat radioaktif dan fasilitas terkait dengan bahan dan zat tersebut dari segala bentuk tindakan kriminal.

Berdasarkan sifat keterikatan, terdapat instrumen internasional keamanan nuklir yang mengikat dan tidak mengikat secara hukum. Sementara itu, berdasarkan organisasi yang menaunginya, ada instrumen internasional keamanan nuklir yang berada di bawah naungan IAEA, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) (United Nations, UN), dan Organisasi Maritim Internasional (International Maritime Organization, IMO). Tabel 2.1 merangkum instrumen internasional yang terkait dengan keamanan nuklir.

**Tabel 2.1** Instrumen Internasional Keamanan Nuklir

<b>1. Instrumen internasional yang mengikat secara hukum</b>		
Di bawah IAEA	Di bawah PBB	Di bawah IMO
1) Konvensi Proteksi Fisik Bahan Nuklir (The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, CPPNM) dan Amendemennya.	1) Konvensi Internasional Pemberantasan Pemboman Teroris (International Convention for the Suppression of Terrorist Bombings, ICSTB) atau Konvensi Pemboman Teroris (Terrorist Bombings Convention).	1) Konvensi Pemberantasan Tindakan Melawan Hukum terhadap Keselamatan Navigasi Maritim (The Convention for the Suppression of Unlawful Acts against the Safety of Maritime Navigation) atau Konvensi SUA 1988 (1988 SUA Convention).

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <p>2 ) Konvensi Pemberitahuan Dini Kecelakaan Nuklir (The Convention on Early Notification of a Nuclear Accident) atau Konvensi Pemberitahuan Dini.</p> <p>3 ) Konvensi Bantuan dalam Kasus Kecelakaan Nuklir atau Kedaruratan Radiologis (The Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency) atau Konvensi Bantuan.</p> | <p>2 ) Konvensi Pemberantasan Tindakan Terorisme Nuklir (International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism, ICSANT) atau Konvensi Terorisme Nuklir (Nuclear Terrorism Convention).</p> <p>3 ) Resolusi Dewan Keamanan (DK)-PBB 1373 (2001).</p> <p>4 ) Resolusi DK-PBB 1540 (2004).</p> | <p>2 ) Protokol Pemberantasan Tindakan Melawan Hukum terhadap Keselamatan Anjungan Tetap yang berada di Landas Kontinen (The Protocol for the Suppression of Unlawful Acts against the Safety of Fixed Platforms located on the Continental Shelf) atau Protokol Anjungan Tetap 1988 (1988 Fixed Platforms Protocol).</p> <p>3 ) Protokol 2005 Konvensi SUA 1988 (The 2005 Protocol to the 1988 SUA Convention).</p> <p>4 ) Protokol 2005 Protokol Anjungan Tetap 1988 (The 2005 Protocol to the 1988 Fixed Platforms Protocol).</p> |
|---|---|--|

**2. Instrumen internasional yang tidak mengikat secara hukum**

Di bawah IAEA	Di bawah PBB
<p>1 ) Rekomendasi Keamanan Nuklir tentang Proteksi Fisik Bahan Nuklir dan Fasilitas Nuklir (Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities) (INFCIRC/225/Revisi 5).</p> <p>2 ) Kode Etik Keselamatan dan Keamanan Sumber Radioaktif (The Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources) atau Kode Etik.</p>	<p>1 ) Strategi Kontra-Terorisme Global Perserikatan Bangsa-Bangsa (The United Nations Global Counter-Terrorism Strategy (UNGCTS), (A/RES/60/288)).</p>

Buku ini tidak diperjualbelikan

- 
- 3) Pedoman Tambahan tentang Impor dan Ekspor Sumber Radioaktif (The Supplementary Guidance on the Import and Export of Radioactive Sources) atau Pedoman Tambahan.
- 

Hampir semua instrumen internasional ditujukan untuk mengatur langkah-langkah keamanan terhadap bahan radioaktif, kecuali CPPNM dan amendemennya yang hanya mengatur bahan nuklir dan fasilitas nuklir, serta kode etik dan pedoman tambahannya yang hanya mengatur sumber radioaktif dan fasilitas terkait.

### **1. Instrumen Internasional Mengikat secara Hukum**

Beberapa instrumen internasional terkait keamanan nuklir yang mengikat secara hukum diuraikan sebagai berikut.

#### **a. Konvensi Proteksi Fisik Bahan Nuklir (The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, CPPNM)**

CPPNM memiliki beberapa tujuan, antara lain

- 1) mencapai dan melaksanakan proteksi fisik yang efektif terhadap bahan nuklir yang digunakan untuk tujuan damai di seluruh dunia;
- 2) mencegah dan menangani pelanggaran yang berkaitan dengan bahan tersebut; dan
- 3) memfasilitasi kerja sama di antara negara pihak untuk mencapai tujuan tersebut.

CPPNM secara tegas mengakui hak dan kepentingan semua negara untuk mengembangkan dan menerapkan tenaga nuklir serta memanfaatkan potensi tenaga nuklir untuk tujuan damai (IAEA, 2011a).

CPPNM terdiri dari dua komponen utama. Pertama, mengenai penerapan pengaturan proteksi fisik bahan nuklir dalam pengangkutan internasional. Kedua, mengenai pencegahan, deteksi, dan pidana terhadap pelanggaran internasional yang berkaitan dengan bahan nuklir. Lebih khusus, isi CPPNM ditujukan untuk

- 1) mengatur tingkat proteksi (pengamanan) yang harus diberikan oleh negara pihak terhadap berbagai kategori bahan nuklir selama pengangkutan dalam wilayah internasional, baik selama ekspor, impor, maupun transit bahan nuklir tersebut ketika melalui wilayah masing-masing negara pihak;
- 2) mensyaratkan negara pihak untuk menetapkan badan berwenang dan narahubung dengan tanggung jawab proteksi fisik dan mengoordinasikan operasi pemulihan dan responss jika terjadi pencurian, kehilangan, pemindahan tidak sah, penggunaan tidak sah atau ancaman terhadap bahan nuklir;
- 3) mengatur tindak pidana tertentu yang berkaitan dengan, antara lain, pencurian dan tindakan melanggar hukum lainnya terhadap bahan nuklir; dan
- 4) memfasilitasi kerja sama antarnegara pihak untuk mencapai tujuan proteksi fisik.

CPPNM menetapkan tingkat (*level*) proteksi bahan nuklir selama pengangkutan di wilayah internasional sesuai kategorinya, yaitu Kategori I, II, dan III. Kategori I mensyaratkan tingkat proteksi tertinggi, sementara Kategori III mensyaratkan tingkat proteksi paling rendah. CPPNM diadopsi pada 26 Oktober 1979 dan dibuka untuk ditandatangani pada 3 Maret 1980. Sejak mulai berlaku pada 8 Februari 1987, CPPNM kini memiliki 164 negara pihak, termasuk Indonesia. Pemerintah Indonesia meratifikasi CPPNM melalui Keputusan Presiden Nomor 49 Tahun 1986 tentang Pengesahan *Convention on the Physical Protection of Nuclear Material* pada 24 September 1986. Sebagai catatan, CPPNM tidak berlaku untuk bahan nuklir tujuan militer atau sumber radioaktif (Findlay, 2010).

#### b. Amendemen CPPNM 2005

Jika kewajiban di bawah CPPNM hanya mencakup proteksi fisik bahan nuklir selama pengangkutan internasional, Amendemen memperluas cakupan CPPNM untuk juga mencakup proteksi fasilitas nuklir dan bahan nuklir yang sedang dalam penggunaan, penyimpanan, dan pengangkutan domestik yang digunakan untuk tujuan damai. Ruang lingkup Amendemen terbatas pada bahan nuklir dan fasilitas nuklir dan tidak mencakup sumber radioaktif dan fasilitas terkait. Amendemen juga tidak mencakup bahan nuklir dan fasilitas nuklir untuk militer (IAEA, 2011a).

Dengan demikian, CPPNM dan Amendemennya, secara bersama-sama, mewajibkan negara pihak untuk

- 1) menetapkan, menerapkan, dan memelihara rezim proteksi fisik yang sesuai yang berlaku untuk bahan nuklir dan fasilitas nuklir di bawah yurisdiksinya, dengan tujuan melindungi terhadap pencurian, memastikan langkah-langkah yang tepat untuk mencari bahan nuklir yang hilang atau yang dicuri, melindungi bahan nuklir dan fasilitas nuklir dari sabotase, dan memitigasi setiap dampak radiologis karena sabotase;
- 2) membangun kerangka legal (hukum) dan peraturan untuk mengatur proteksi fisik dan mempersyaratkan penerapan tingkat proteksi fisik tertentu.
- 3) menerapkan seperangkat Prinsip Dasar Proteksi Fisik Bahan Nuklir dan Fasilitas Nuklir (*Fundamental Principles of Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities*);
- 4) tidak mengekspor atau mengimpor bahan nuklir atau mengizinkan transit melalui wilayahnya bahan-bahan tersebut, kecuali telah menerima jaminan bahwa bahan-bahan ini akan diproteksi selama pengangkutan internasional sesuai dengan tingkat proteksi yang ditentukan oleh CPPNM;
- 5) mengkriminalisasi tindakan tertentu, termasuk kepemilikan tidak sah atau pengangkutan bahan nuklir tidak sah, pencurian, menggunakan atau mengancam menggunakan bahan nuklir untuk menyebabkan kerusakan, dan mengganggu operasi fasilitas

nuklir dengan maksud untuk menyebabkan kerusakan. Setiap negara pihak harus menetapkan yurisdiksi atas pelanggaran ini.

Sesuai dengan Amendemen CPPNM, setiap negara pihak harus merancang dan menetapkan instrumen hukum di tingkat nasional. Hal tersebut ditujukan untuk membangun rezim keamanan nuklir nasional yang tangguh dalam mencegah pencurian, membangun kemampuan responss yang cepat untuk menemukan dan mengembalikan bahan nuklir yang hilang atau dicuri, melakukan proteksi terhadap sabotase bahan nuklir atau fasilitas nuklir, dan mengurangi konsekuensi setiap sabotase yang terjadi.

Amendemen menetapkan 12 prinsip dasar proteksi fisik, antara lain, Prinsip dasar A, yang menyatakan bahwa tanggung jawab pembentukan, pelaksanaan, dan pemeliharaan rezim proteksi fisik dalam suatu negara berada sepenuhnya pada negara tersebut dan Prinsip dasar G, yang menetapkan bahwa proteksi fisik negara harus berdasarkan evaluasi ancaman negara terkini. Prinsip dasar lainnya berkaitan dengan pengembangan dan penerapan budaya keamanan, penerapan konsep pertahanan berlapis, program jaminan mutu, serta rencana kedaruratan dan kerahasiaan (IAEA, 2006).

Amendemen CPPNM diadopsi pada 8 Juli 2005 dan mulai berlaku pada 8 Mei 2016. Saat ini, terdapat 129 negara pihak pada Amendemen CPPNM, termasuk Indonesia. Indonesia menjadi pihak pada Amendemen CPPNM melalui Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2009 tentang Pengesahan *Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material* (Perubahan Konvensi Proteksi Fisik Bahan Nuklir) tanggal 29 Oktober 2009.

#### c. Konvensi Internasional Pemberantasan Tindakan Terorisme Nuklir (ICSANT)

ICSANT merupakan instrumen hukum pidana internasional yang mendefinisikan tindakan tertentu sebagai tindak pidana dan mewajibkan negara pihak untuk menetapkan yurisdiksinya atas pelanggaran tersebut, yang bertujuan agar pelanggar dihukum berdasarkan hukum domestiknya dan melakukan ekstradisi atau penuntutan terhadap

orang yang diduga melakukan pelanggaran berdasarkan asas mengekstradisi atau menuntut pelaku (*aut dedere aut judicare*) (IAEA, 2011a). ICSANT, yang memiliki lingkup lebih luas daripada CPPNM dan Amendemennya, bertujuan untuk mencegah dan mengkriminalisasi tindakan terorisme nuklir. Konvensi ini mengkriminalisasi tindakan yang melibatkan zat radioaktif, di mana tidak hanya mencakup bahan nuklir, tetapi juga zat radioaktif lainnya, sebagaimana didefinisikan di dalam konvensi ini. ICSANT juga memasukkan dalam ruang lingkungannya, bahan dan fasilitas nuklir yang digunakan untuk tujuan militer, yang secara eksplisit dikecualikan dari ruang lingkup CPPNM dan Amendemennya (IAEA, 2011a).

ICSANT menetapkan berbagai bentuk pelanggaran terkait terorisme nuklir, antara lain, disebutkan bahwa merupakan suatu pelanggaran bagi setiap orang yang memiliki zat radioaktif dengan maksud untuk menyebabkan kematian, cedera, atau kerusakan harta-benda atau lingkungan, atau menggunakan bahan radioaktif sedemikian rupa sehingga berisiko menimbulkan akibat seperti dimaksud. Masing-masing negara pihak berkewajiban menetapkan pelanggaran dalam hukum pidana domestiknya, serta memastikan bahwa hukuman tersebut memperhatikan sifat berat terorisme nuklir. ICSANT juga mewajibkan para pihak untuk bekerja sama dalam mencegah tindakan terorisme nuklir dengan cara saling bertukar informasi. Setiap negara pihak harus menetapkan yurisdiksi atas setiap pelanggaran jika dilakukan di wilayahnya, di atas kapal atau pesawat terbang yang terdaftar olehnya, atau ketika pelaku adalah salah satu warga negaranya.

ICSANT diadopsi oleh Majelis Umum (MU) PBB pada April 2005, dibuka untuk ditandatangani pada September 2005, dan mulai berlaku pada 7 Juli 2007. Saat ini, terdapat 118 negara pihak pada ICSANT, termasuk Indonesia. Indonesia menjadi pihak pada ICSANT setelah proses ratifikasi melalui UU Nomor 10 Tahun 2014 tentang Pengesahan International Convention for the Suppression of Act of Nuclear Terrorism tanggal 19 Maret 2014.

#### d. Resolusi 1373 dan Resolusi 1540

Resolusi 1373 bertujuan untuk mencegah dan memberantas pendanaan dan persiapan setiap tindakan terorisme. Berdasarkan resolusi ini, semua negara berkewajiban untuk

- 1) mencegah dan memberantas pendanaan terorisme, kriminalisasi pendanaan terorisme, membekukan dana dan aset keuangan individu yang terlibat dalam aksi terorisme, dan melarang menyediakan dana untuk kepentingan orang-orang yang melakukan tindakan terorisme;
- 2) tidak memberikan dukungan dalam segala bentuk kepada terorisme, mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mencegah tindakan terorisme, tidak memberi tempat berlindung yang aman bagi teroris atau penyandang dana terorisme, mencegah teroris menggunakan wilayah mereka untuk melawan negara lain, membawa teroris dan mereka yang mendanai terorisme ke pengadilan dengan hukuman yang sesuai, membantu dalam penyelidikan dan proses pidana, dan mencegah gerakan teroris melalui kontrol perbatasan dan pengawasan surat-surat identitas.

DK membentuk dan membuat komite operasional untuk memantau pelaksanaan Resolusi 1373 dan negara-negara diminta untuk melaporkan langkah-langkah yang telah dilakukan dalam melaksanakan resolusi tersebut.

Sementara itu, Resolusi 1540 mewajibkan semua negara untuk tidak memberikan dukungan atau bantuan kepada aktor non negara yang berusaha memperoleh apa yang disebut senjata pemusnah massal (*weapon of mass destruction*, WMD), yaitu senjata nuklir dan radiologis, serta senjata kimia dan senjata biologi (*weapon of mass destruction-chemical, biology, radiological and nuclear* WMD-CBRN). Resolusi ini juga mensyaratkan negara untuk mengadopsi dan menegakkan hukum yang tepat dan efektif guna mencegah aktor non negara memperoleh WMD atau bahan dan teknologi terkait.

Terhadap bahan nuklir, Resolusi 1540 mengharuskan semua negara untuk mengembangkan dan melaksanakan: langkah-langkah untuk memperhatikan dan mengamankan barang-barang tersebut, langkah proteksi fisik yang tepat dan efektif, kontrol perbatasan dan lembaga penegak hukum yang tepat dan efektif, serta kontrol ekspor dan pengiriman internasional. Semua negara anggota PBB diwajibkan untuk melaporkan kepada DK tentang kepatuhan mereka terhadap resolusi tersebut.

Untuk memastikan implementasi dan memfasilitasi kepatuhan, resolusi tersebut membentuk Komite 1540 yang terdiri dari anggota DK. Sejauh ini, peran komite adalah untuk mendesak negara-negara agar memberikan laporan, meninjaunya, dan memanggil negara-negara yang belum menjawab pertanyaan secara memadai atau belum menyerahkan laporan untuk melakukannya. Dengan demikian, implementasi Resolusi 1540 fokus pada pemenuhan persyaratan oleh negara pihak untuk menyerahkan laporan, daripada implementasi langkah-langkah substantif yang semestinya (Findlay, 2010).

e. Konvensi Pemberitahuan Dini Kecelakaan Nuklir dan Konvensi Bantuan dalam Kasus Kecelakaan Nuklir atau Kedaruratan Radiologis

Konvensi Pemberitahuan Dini dan Konvensi Bantuan diadopsi tidak lama setelah kecelakaan Chernobyl pada 1986. Konferensi umum IAEA mengadopsi kedua konvensi pada sesi khusus, 26 September 1986. Konvensi Pemberitahuan Dini mulai berlaku pada 27 Oktober 1986 dan Konvensi Bantuan mulai berlaku pada 26 Februari 1987. Saat ini, masing-masing memiliki lebih dari 100 negara pihak. Meskipun dipahami dan diadopsi sebagai instrumen internasional untuk keselamatan nuklir, Konvensi Pemberitahuan Dini dan Konvensi Bantuan juga bertujuan untuk memperkuat rencana tanggap darurat internasional terhadap kecelakaan nuklir atau keadaan darurat radiologis, termasuk karena terorisme atau tindakan kriminal lainnya. Masing-masing konvensi menyediakan mekanisme pertukaran informasi yang cepat dan mekanisme untuk saling membantu dengan tujuan meminimalkan konsekuensi dari kecelakaan atau keadaan

darurat tersebut dan melindungi jiwa, harta benda, dan lingkungan terhadap efek lepasan radioaktif (IAEA, 2011a).

f. Konvensi Internasional Pemberantasan Pemboman Teroris (International Convention for the Suppression of Terrorist Bombings, ICSTB)

ICSTB mulai berlaku pada 23 Mei 2001. ICSTB bertujuan untuk menciptakan rezim yurisdiksi universal atas penggunaan bahan peledak dan perangkat mematikan lainnya yang melanggar hukum dan disengaja terhadap berbagai tempat umum tertentu dengan maksud membunuh; menyebabkan kerusakan serius, cedera tubuh; atau menyebabkan kehancuran yang luas di tempat umum, melalui pelepasan, penyebaran, atau dampak bahan kimia beracun, agen biologis atau racun atau zat serupa, atau radiasi atau bahan radioaktif (IAEA, 2011a).

Sebagai kembaran ICSTB dan ICSANT, konvensi lain terkait terorisme adalah Konvensi Pendanaan Terorisme (*International Convention for the Suppression of the Financing of Terrorism* (ICSFT)), mulai berlaku pada 10 April 2002, yang bertujuan untuk mengkriminalisasi tindakan pendanaan terorisme dan berusaha untuk mempromosikan kerja sama polisi dan peradilan untuk mencegah, menyelidiki, dan menghukum pendanaan tindakan tersebut.

g. Konvensi-Konvensi di Bawah IMO

Instrumen internasional lain terkait keamanan nuklir adalah konvensi dan protokol yang berada di bawah naungan IMO, yaitu The Convention for the Suppression of Unlawful Acts against the Safety of Maritime Navigation (selanjutnya disebut Konvensi SUA 1988), Protokol Anjungan Tetap 1988, dan masing-masing protokol 2005-nya: Protokol 2005 Konvensi SUA 1988 dan Protokol 2005 terhadap Protokol Anjungan Tetap 1988.

Tujuan utama Konvensi SUA dan protokolnya adalah memberantas tindakan ilegal terhadap kapal dan anjungan tetap serta memastikan bahwa tindakan yang tepat diambil terhadap pelaku yang tertuduh. Kedua Protokol 2005 mengatur bahan nuklir dan secara jelas mengacu pada Non-Proliferation Treaty (NPT) dan CPPNM.

Di bawah instrumen IMO 1988, negara pihak berkewajiban untuk memasukkan pelanggaran tertentu ke dalam Undang-Undang (UU) domestik mereka, menetapkan yurisdiksi yang sesuai, dan melakukan penuntutan atau ekstradisi terhadap orang yang diduga melakukan pelanggaran.

Berdasarkan Protokol 2005, negara pihak berkewajiban untuk mengkriminalisasi pelanggaran pengangkutan bahan nuklir secara ilegal di atas kapal, khususnya alat peledak jenis apa pun; senjata nuklir; setiap bahan sumber atau bahan fisi khusus yang diketahui bahwa bahan tersebut dimaksudkan untuk digunakan dalam kegiatan ledakan nuklir atau dalam kegiatan nuklir lainnya yang tidak berada di bawah garda aman sesuai dengan perjanjian garda aman komprehensif IAEA; atau peralatan, bahan, atau perangkat lunak apa pun atau teknologi terkait yang secara signifikan berkontribusi pada desain, pembuatan, atau pengiriman senjata (nuklir), dengan maksud agar senjata itu digunakan untuk tujuan tersebut (IAEA, 2011a).

## **2. Instrumen Internasional Tidak Mengikat secara Hukum**

Meski instrumen internasional yang diuraikan pada subsubbab ini tidak mengikat secara hukum, tetapi sangat mendukung konvensi-konvensi yang diuraikan pada subsubbab sebelumnya. Oleh karena itu jika beberapa instrumen internasional ini diterapkan, akan sangat membantu untuk memperkuat keamanan nuklir. Beberapa instrumen internasional tidak mengikat secara hukum akan diuraikan sebagai berikut.

### **a. Rekomendasi Keamanan Nuklir tentang Proteksi Fisik Bahan Nuklir dan Fasilitas Nuklir (INFCIRC/225/Revisi 5)**

Sejak 1972, IAEA telah mengeluarkan rekomendasi dalam dokumen yang dikenal sebagai INFCIRC/225. Rekomendasi ini tidak mengikat, tetapi otoritatif tentang proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir. Rekomendasi ini diperbarui secara berkala, terakhir pada 2010 sebagai INFCIRC/225/Revisi 5 (IAEA, 2011b) yang menjelaskan, antara lain,

- 1) elemen sistem proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir untuk suatu negara;
- 2) persyaratan proteksi fisik terhadap pemindahan bahan nuklir yang tidak sah dalam penggunaan dan penyimpanan;
- 3) persyaratan proteksi fisik terhadap sabotase fasilitas nuklir dan terhadap sabotase yang melibatkan bahan nuklir selama penggunaan, penyimpanan, dan pengangkutan; dan
- 4) persyaratan proteksi fisik bahan nuklir selama pengangkutan.

INFCIRC/225/Revisi 5 mencerminkan rekomendasi para ahli untuk membantu negara dalam menerapkan rezim proteksi fisik yang komprehensif terhadap fasilitas nuklir dan bahan nuklir, termasuk semua kewajiban yang mungkin mereka miliki berdasarkan perjanjian internasional, seperti Amendemen CPPNM 2005. Meskipun rekomendasi-rekomendasi yang terdapat dalam INFCIRC/225/Revisi 5 tidak bersifat mengikat, tetapi rekomendasi-rekomendasi tersebut menjadi bersifat mengikat ketika dimasukkan sebagai kewajiban dalam hukum nasional atau perjanjian internasional, seperti dalam perjanjian proyek dan pasokan (dan revisinya) pemberian bantuan teknis IAEA (Herbach, 2014).

Rekomendasi dalam INFCIRC/225/Revisi 5 berkaitan dengan tujuan rezim proteksi fisik suatu negara, unsur-unsur rezim proteksi fisik suatu negara untuk bahan nuklir dan fasilitas nuklir, persyaratan untuk tindakan terhadap pemindahan bahan nuklir yang tidak sah dalam penggunaan dan penyimpanan, persyaratan untuk tindakan terhadap sabotase fasilitas nuklir dan bahan nuklir yang digunakan dan disimpan, serta persyaratan untuk tindakan terhadap pemindahan dan sabotase bahan nuklir tanpa izin selama pengangkutan (Findlay, 2010).

b. Kode Etik Keselamatan dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Pedoman Tambahan tentang Impor dan Ekspor Sumber Radioaktif

Upaya memastikan keselamatan dan keamanan dalam penggunaan sumber radioaktif dan fasilitas terkait adalah yang paling penting untuk perlindungan manusia dan lingkungan dari risiko radiasi akibat penggunaan sumber radioaktif tersebut. Kode Etik Keselamatan dan Keamanan Sumber Radioaktif (Kode Etik) (IAEA, 2004) berfungsi sebagai pedoman yang tidak mengikat secara hukum bagi negara untuk mengembangkan dan mengharmonisasi kebijakan, UU, dan peraturan tentang keselamatan dan keamanan sumber radioaktif. Mengingat bahwa sumber radioaktif tidak hanya menimbulkan risiko pada saat penggunaan, tetapi juga saat pengangkutan dan pemindahan maka IAEA menyusun juga Kode Etik dan Pedoman tentang Impor dan Ekspor Sumber Radioaktif (Pedoman Tambahan) (IAEA, 2005) bersama dengan standar keselamatan IAEA, memberikan persyaratan dan rekomendasi internasional untuk sistem peraturan yang sesuai dan berkelanjutan dalam pengendalian sumber.

Tujuan Kode Etik dan Pedoman Tambahan, yang akan dicapai melalui pengembangan, harmonisasi, dan implementasi kebijakan nasional, peraturan perundangan, dan pembinaan kerjasama internasional, adalah untuk

- 1) mencapai dan memelihara tingkat keselamatan dan keamanan sumber radioaktif yang tinggi;
- 2) mencegah akses tidak sah, kerusakan, kehilangan, pencurian, atau transfer tidak sah sumber-sumber tersebut guna mengurangi kemungkinan paparan berbahaya yang tidak disengaja dari sumber-sumber tersebut atau penggunaan berbahaya sumber-sumber tersebut yang menyebabkan kerugian bagi individu, masyarakat, atau lingkungan; dan
- 3) mengurangi atau meminimalkan konsekuensi radiologis dari kecelakaan atau tindakan kriminal yang melibatkan sumber radioaktif.

Kode etik berlaku untuk semua sumber radioaktif yang diklasifikasi dalam kategori 1, 2, dan 3, yang dapat menimbulkan risiko signifikan bagi individu, masyarakat, dan lingkungan. Ketiga kategori tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Sumber kategori 1, jika tidak ditangani atau dilindungi dengan baik, kemungkinan besar dapat menyebabkan cedera permanen pada orang yang menangani atau yang melakukan kontak dengannya selama lebih dari beberapa menit. Bahkan dapat berakibat fatal jika berada dekat bahan tanpa pelindung tersebut selama beberapa menit hingga satu jam. Sumber kategori 1 biasanya digunakan untuk generator radiotermal, iradiator, dan teleterapi radiasi.
- 2) Sumber kategori 2, jika tidak ditangani atau dilindungi dengan baik, dapat menyebabkan cedera permanen pada orang yang menangani atau yang melakukan kontak dengannya selama waktu yang singkat (menit hingga jam). Mungkin dapat berakibat fatal jika berada dekat bahan tanpa pelindung tersebut selama beberapa jam hingga beberapa hari. Sumber kategori 2 biasanya digunakan untuk radiografi gamma industri serta brakiterapi dosis tinggi dan menengah.
- 3) Sumber kategori 3, jika tidak ditangani atau dilindungi dengan baik, dapat menyebabkan cedera permanen pada orang yang menangani atau yang melakukan kontak dengannya selama beberapa jam. Meskipun sangat kecil kemungkinannya, dapat berakibat fatal jika berada dekat bahan tanpa pelindung tersebut selama beberapa hari hingga beberapa minggu. Sumber kategori 3 biasanya digunakan untuk pengukur industri yang melibatkan sumber aktivitas tinggi.
- 4) Kode Etik tidak berlaku untuk bahan nuklir sebagaimana didefinisikan dalam CPPNM, kecuali untuk sumber yang memadukan plutonium-239. Kode Etik juga tidak berlaku untuk sumber radioaktif dalam program militer atau pertahanan.

Pedoman Tambahan berlaku untuk sumber kategori 1 dan 2 yang ada dalam lingkup Kode Etik. Kode Etik memberikan rekomendasi tentang impor dan ekspor sumber radioaktif, sebagaimana yang dilengkapi di dalam pedoman tambahannya.

c. Strategi Kontra-Terrorisme Global PBB (The United Nations Global Counter-Terrorism Strategy, UNGCTS)

UNGCTS bertujuan memerangi terorisme serta memperkuat kapasitas negara dan peran sistem PBB dalam mencegah dan memerangi terorisme, sambil menghormati hak asasi manusia dan supremasi hukum (IAEA, 2011a).

Langkah-langkah keamanan nuklir yang diatur dalam UNGCTS adalah menuntut atau mengekstradisi pelaku aksi teroris; bekerja sama dan berkoordinasi dalam pemberantasan penyelundupan nuklir; memperbaiki pengawasan perbatasan dan bea cukai; mengoordinasikan respons terhadap serangan teroris; memperbaiki keamanan dan proteksi sasaran yang rentan; mendorong kontribusi sukarela untuk bantuan teknis; berbagi praktik terbaik dalam pembangunan kapasitas kontra-terorisme; serta reformasi dan modernisasi sistem pengelolaan perbatasan.

## C. PERAN IAEA DAN DOKUMEN KEAMANAN NUKLIR

Sebagai bagian dari tanggung jawabnya untuk memberikan panduan kepada negara-negara anggota dalam upaya menerapkan instrumen keamanan nuklir internasional (seperti CPPNM dan Amendemennya serta ICSANT) dan untuk membantu mereka dalam membangun infrastruktur keamanan nuklir yang koheren, pada 2006, IAEA mulai menyusun dokumen panduan dalam bentuk Seri Keamanan Nuklir (*Nuclear Security Series*, NSS). Penyusunan dokumen ini terus berlangsung dan terdiri dari beberapa kategori dokumen dalam strata hierarkis. Kategori tersebut ialah sebagai berikut.

- 1) Fundamental keamanan nuklir (*nuclear security fundamentals*) yang memuat tujuan, konsep, dan prinsip keamanan nuklir, yang menetapkan tujuan fundamental dan elemen penting dari rezim keamanan nuklir nasional suatu negara serta dasar dari rekomen-

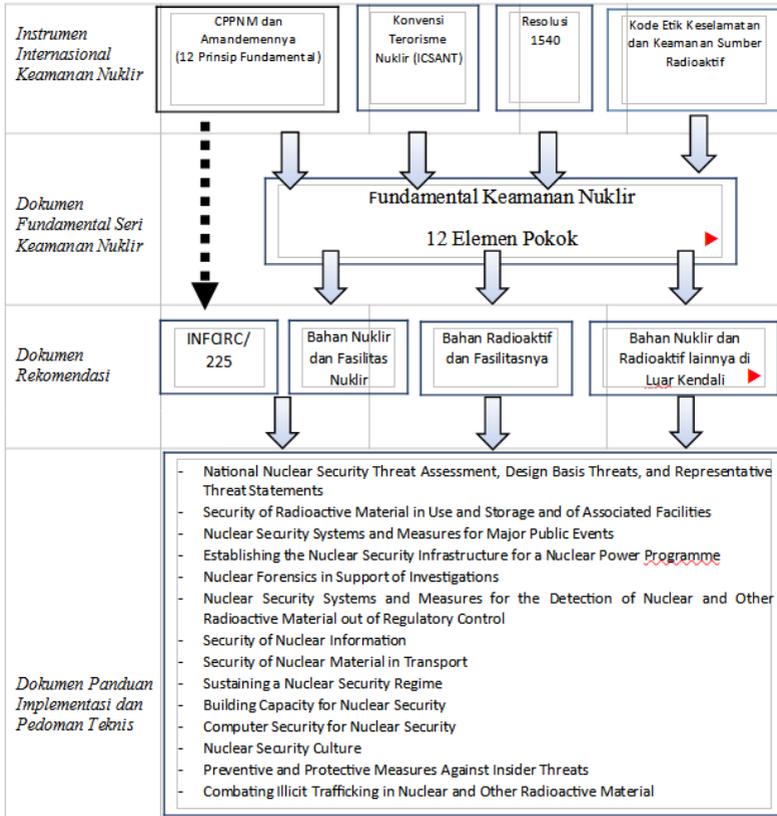
dasi keamanan nuklir (IAEA, 2013). Dua belas elemen pokok dalam dokumen ini bukan sebagai hubungan satu-satu secara persis dengan dua belas prinsip fundamental dalam Amendemen CPPNM, tetapi sebagai gabungan semua prinsip fundamental tersebut dengan konsep dari instrumen keamanan nuklir lainnya.

- 2) Rekomendasi keamanan nuklir (*nuclear security recommendations*) menyajikan praktik terbaik untuk diadopsi dalam penerapan fundamental, yang menetapkan langkah-langkah yang harus diambil untuk mencapai dan mempertahankan rezim yang efektif. Terdapat tiga dokumen rekomendasi keamanan: (1) bahan nuklir dan fasilitas nuklir (INFCIRC/225/Revisi 5) (IAEA, 2011b); (2) bahan radioaktif dan fasilitas terkait (IAEA, 2011c), sebagai acuan penerapan rezim keamanan nuklir yang komprehensif, termasuk kewajiban dan komitmen yang mungkin ada sehubungan dengan instrumen internasional terkait dengan keamanan bahan radioaktif, fasilitas, dan kegiatan terkait, seperti ICSANT dan Kode Etik serta Pedoman Tambahannya; dan (3) bahan di luar kendali regulasi (*material out of regulatory control, MORC*) (IAEA, 2011d), memberikan rekomendasi keamanan bahan nuklir dan radioaktif lainnya yang berada di luar kendali pengawasan karena pencurian, kelalaian, atau pelimbahan yang tidak tepat, yang berisiko digunakan dalam perangkat penyebar atau pemapar radiologi atau perangkat nuklir improvisasi, serta paparan radiasi yang tidak disengaja, yang dapat membahayakan publik dan lingkungan.
- 3) Panduan pelaksanaan (*implementing guidelines*) yang memberikan panduan tentang bagaimana mengimplementasikan rekomendasi.
- 4) Pedoman teknis (*technical guidance*) yang memberikan panduan lebih rinci tentang metodologi dan teknik khusus untuk menerapkan langkah-langkah keamanan yang relevan dengan rekomendasi.

Struktur ini digambarkan dalam Gambar 2.1. Struktur ini disusun dengan cara yang sama seperti dokumen-dokumen keselamatan nuklir, dengan skema tiga tingkat yang serupa, kemungkinan dalam upaya mendorong negara-negara agar memperlakukannya dengan cara yang sama (Everton et al., 2010).

Untuk membangun rezim keamanan nuklir nasional yang komprehensif, rekomendasi yang terkandung dalam ketiga dokumen dimaksud haruslah dilaksanakan, termasuk penerapan panduan dan pedoman yang ada dalam panduan implementasi/pedoman Teknis yang jumlahnya terus bertambah dan diproduksi sesuai perkembangan kebutuhan. Saat ini, telah dihasilkan empat puluh lima panduan/pedoman.

NSS IAEA memberikan panduan konsensus internasional tentang semua aspek keamanan nuklir untuk mendukung negara-negara dalam memenuhi tanggung jawab mereka terhadap implementasi keamanan nuklir. IAEA menetapkan dan mengembangkan seri panduan sebagai bagian dari peran sentralnya dalam memberikan dukungan dan koordinasi internasional terkait keamanan nuklir.



Sumber: Everton et.al. (2010)

**Gambar 2.1.** Hierarki Seri Keamanan Nuklir IAEA (NSS)

## D. REGULASI NASIONAL KEAMANAN NUKLIR

Kerangka instrumen perjanjian internasional, seperti yang diuraikan sebelumnya, menjadi pedoman dan rujukan dalam penyusunan kerangka peraturan perundang-undangan pada tingkat nasional sebagai infrastruktur penting pada program pemanfaatan tenaga nuklir tujuan damai. Kerangka peraturan perundang-undangan menetapkan tugas dan tanggung jawab dari berbagai organisasi dan lembaga yang diperlukan dalam program pemanfaatan tenaga nuklir. Peraturan perundang-undangan nasional diperlukan agar sesuai dengan usaha

nonproliferasi, di mana tanggung jawab keselamatan, keamanan, dan garda aman harus ditetapkan secara jelas, termasuk tanggung jawab dan pertanggungjawaban yang jelas dalam pengoperasian fasilitas nuklir dan penanganan bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya.

Penyusunan peraturan sistem proteksi fisik (keamanan nuklir) di tingkat nasional perlu memperhatikan unsur-unsur kunci berikut, yaitu penilaian ancaman, organisasi pelaksana proteksi fisik, pemberian kewenangan, persyaratan proteksi fisik, petugas yang berwenang, inspeksi dan jaminan mutu, penegakan, sistem akuntansi dan pengendalian bahan nuklir, serta rencana kontingensi dan kerahasiaan (Stoiber et.al., 2010).

Dalam rangka mempersiapkan infrastruktur legislatif dan peraturan untuk program pemanfaatan tenaga nuklir, pemerintah Indonesia telah melakukan berbagai penataan, baik dalam hal kelembagaan maupun dalam penyusunan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Revisi terhadap UU RI 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom dengan UU RI Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mencerminkan usaha-usaha tersebut.

Pemerintah Indonesia, melalui Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) bersama dengan kementerian/lembaga terkait juga telah—dan akan terus—melakukan tahapan proses harmonisasi dan transformasi standar-standar internasional ke dalam peraturan perundang-undangan nasional mengenai keamanan nuklir sesuai prinsip-prinsip yang diuraikan sebelumnya. Hal ini dapat dilihat dari sejumlah peraturan yang telah dikeluarkan, yaitu

- 1) Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif (PP 58/2015),
- 2) PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir (PP 2/2014),
- 3) PP Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif (PP 61/2013),
- 4) PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir (PP 54/2012),

- 5) PP Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir (PP 29/2008), dan
- 6) Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif (PP 33/2007).
- 7) PP 29/2008 dan PP 33/2007 mengadopsi IAEA GSR (General Safety Requirements) Part 3 (IAEA, 2014) dan Kode Etik.

PP 58/2015 bertujuan mengatur penatalaksanaan pengangkutan zat radioaktif sesuai persyaratan keselamatan radiasi dan keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif. PP 58/2015 mengatur tentang jenis zat radioaktif, teknis keselamatan radiasi dalam pengangkutan zat radioaktif, teknis keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif, manajemen keselamatan radiasi dalam pengangkutan zat radioaktif dan keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif, sistem kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan dalam pengangkutan zat radioaktif, penatalaksanaan pengangkutan zat radioaktif, dan sanksi administratif.

Menurut PP tersebut, keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif merupakan tindakan yang dilakukan untuk mencegah upaya pencurian, sabotase, pemindahan secara tidak sah, dan perbuatan melawan hukum lainnya terhadap zat radioaktif selama pengangkutan zat radioaktif. Pengangkutan zat radioaktif ialah pemindahan zat radioaktif yang memenuhi ketentuan teknis keselamatan radiasi dan teknis keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif, dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan lalu lintas umum, menggunakan sarana angkutan darat, air, atau udara.

PP 2/2014 mengatur mengenai perizinan instalasi nuklir dan pemanfaatan bahan nuklir yang akan memberikan kepastian dalam perusahaan pemanfaatan tenaga nuklir dan berdampak pada peningkatan kesejahteraan rakyat. Menurut PP ini, instalasi nuklir harus didesain, dibangun, dan dioperasikan sesuai kaidah keselamatan dan keamanan instalasi nuklir sehingga pemanfaatan tenaga nuklir selamat dan aman. Salah satu persyaratan teknis untuk memperoleh izin konstruksi, komisioning, dan operasi instalasi nuklir serta pe-

manfaat bahan nuklir adalah menyampaikan dokumen rencana proteksi fisik.

Dokumen rencana proteksi fisik antara lain memuat

- 1) ancaman dasar desain,
- 2) organisasi dan personel sistem proteksi fisik,
- 3) penggolongan bahan nuklir,
- 4) prosedur terkait proteksi fisik,
- 5) desain dan pembagian daerah proteksi fisik,
- 6) sistem deteksi,
- 7) sistem penghalang fisik,
- 8) sistem akses yang diperlukan,
- 9) sistem komunikasi,
- 10) perawatan dan surveilan,
- 11) rencana kontingensi, dan
- 12) dokumentasi.

PP 61/2013 mengatur secara komprehensif mengenai pengelolaan limbah radioaktif yang berasal dari pemanfaatan tenaga nuklir, yang jika tidak dikelola secara tepat guna dan berhasil guna dengan cara dan metode yang akurat serta sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, berpotensi membahayakan keselamatan, keamanan, dan kesehatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. Menurut PP ini, persyaratan dan tata cara untuk memperoleh persetujuan pengiriman dan pengangkutan limbah radioaktif harus dilaksanakan sesuai dengan peraturan perundang-undangan mengenai keselamatan dan keamanan pengangkutan zat radioaktif.

PP 54/2012 mengatur keselamatan dan keamanan instalasi nuklir, meliputi peraturan tentang teknis keselamatan instalasi nuklir, teknis keamanan instalasi nuklir, manajemen keselamatan dan keamanan instalasi nuklir, serta kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir. Menurut PP tersebut, keamanan instalasi nuklir ditujukan untuk mencegah penyimpangan terhadap pemanfaatan bahan nuklir dari tujuan damai juga mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan merespons tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan

sabotase instalasi dan bahan nuklir. Dalam PP diatur tentang teknis keamanan instalasi nuklir yang meliputi garda aman dan proteksi fisik.

Beberapa ketentuan terkait teknis keamanan instalasi nuklir yang penting diuraikan sebagai berikut.

- 1) Garda aman dan proteksi fisik dilaksanakan selama
  - a) pemantauan tapak sebelum desain dan konstruksi,
  - b) desain dan konstruksi,
  - c) komisioning dan operasi,
  - d) perubahan *safeguards* dan sistem proteksi fisik,
  - e) evaluasi keamanan, dan
  - f) dekomisioning.
- 2) Penyusunan dan penetapan ancaman dasar desain (ADD) nasional dilakukan sesuai dengan peraturan perundang-undangan.
- 3) Pemegang izin, dalam menetapkan dan melaksanakan rencana proteksi fisik harus
  - a) mengklasifikasikan bahan nuklir yang digunakan, disimpan, dan diangkut;
  - b) mengacu pada ancaman dasar desain lokal sesuai dengan klasifikasi dan lokasi bahan nuklir; dan
  - c) menerapkan konsep pertahanan berlapis untuk tindakan pencegahan dan perlindungan.
- 4) Pemegang izin wajib menerapkan dan merawat sistem proteksi fisik instalasi nuklir sejak konstruksi dimulai sampai dengan dekomisioning.
- 5) Dalam menerapkan dan merawat sistem proteksi fisik, pemegang izin menetapkan dan melaksanakan prosedur untuk memastikan terkendalinya keamanan dalam segala kondisi ancaman.
- 6) Pemegang izin wajib menyampaikan laporan pelaksanaan sistem proteksi fisik kepada Kepala BAPETEN secara berkala.
- 7) Pemegang izin wajib melaksanakan pelatihan dan/atau gladi sistem proteksi fisik secara berkala selama komisioning, operasi, dan dekomisioning.

- 8) Pemegang izin dapat melaksanakan perubahan sistem proteksi fisik yang meliputi
  - a) ancaman dasar desain,
  - b) organisasi dan personel sistem proteksi fisik,
  - c) klasifikasi bahan nuklir,
  - d) prosedur terkait proteksi fisik,
  - e) desain dan pembagian daerah proteksi fisik,
  - f) sistem deteksi,
  - g) sistem penghalang fisik,
  - h) sistem akses yang diperlukan,
  - i) sistem komunikasi,
  - j) perawatan dan surveilans,
  - k) rencana kontingensi, dan
  - l) dokumentasi dan wajib melaporkan kepada Kepala BAP-ETEN.
- 9) Pemegang izin wajib melaksanakan evaluasi ancaman dasar desain, sistem proteksi fisik, dan sistem *safeguards* secara berkala, yang hasilnya wajib dilaporkan kepada Kepala BAPETEN.
- 10) Pemegang izin wajib menetapkan dan menerapkan sistem manajemen keselamatan dan keamanan instalasi nuklir. Sistem manajemen paling sedikit memuat
  - a) budaya keselamatan dan keamanan,
  - b) pemeringkatan dan dokumentasi,
  - c) tanggung jawab manajemen,
  - d) manajemen sumber daya,
  - e) pelaksanaan proses, dan
  - f) pengukuran efektivitas, penilaian, dan peluang perbaikan.
- 11) Pemegang izin dalam menjamin faktor manusia wajib melaksanakan: (a) analisis keandalan manusia; dan (b) program pendidikan dan pelatihan.

PP 29/2008 mengatur tentang perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir untuk menjamin keselamatan pekerja, anggota masyarakat, dan perlindungan terhadap lingkungan

hidup. Beberapa ketentuan dalam PP ini telah dicabut dan dinyatakan tidak berlaku, khususnya untuk ketentuan mengenai perizinan pemanfaatan bahan nuklir, dengan keluarnya PP 2/2014, sedangkan untuk ketentuan lainnya tetap berlaku.

Perizinan menurut PP ini harus memenuhi persyaratan teknis, di antaranya yang terkait dengan keamanan, yaitu tersedianya

- 1) perlengkapan proteksi radiasi dan/atau peralatan keamanan sumber radioaktif;
- 2) program proteksi dan keselamatan radiasi dan/atau program keamanan sumber radioaktif;
- 3) laporan verifikasi keselamatan radiasi dan/atau keamanan sumber radioaktif; dan
- 4) data kualifikasi personel, yang meliputi
  - a) petugas proteksi radiasi dan personel lain yang memiliki kompetensi,
  - b) personel yang menangani sumber radiasi pengion, dan/atau
  - c) petugas keamanan sumber radioaktif atau bahan nuklir.

Khusus untuk bahan nuklir juga berlaku persyaratan teknis lain yang meliputi

- 1) sistem garda aman
- 2) sistem keamanan bahan nuklir, dan/atau
- 3) pernyataan pemohon izin bahwa kegiatan ekspor dan impor bahan nuklir dilakukan dengan mitra dari negara yang menjadi pihak pada NPT dan mempunyai perjanjian garda aman dengan IAEA.

PP 33/2007 mengatur keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup, keamanan sumber radioaktif, serta inspeksi dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Keamanan sumber radioaktif yang dimaksud tidak meliputi keamanan bahan nuklir. Hal ini diatur dalam PP tersendiri, yaitu PP 2/2014. Menurut PP tersebut,

setiap orang atau badan yang mengimpor, mengekspor, menggunakan, menyimpan, dan/atau mengangkut sumber radioaktif wajib menerapkan keamanan sumber radioaktif. BAPETEN menerapkan keamanan sumber radioaktif terhadap sumber radioaktif yang tidak diketahui pemiliknya (*orphan source*). Sumber radioaktif dikategorisasikan dalam kategori 1, 2, 3, 4, dan 5.

Beberapa ketentuan dalam PP 33/2007 ini, khususnya yang terkait dengan keamanan sumber radioaktif adalah sebagai berikut.

- 1) Pelaksanaan impor dan ekspor sumber radioaktif ke dan dari negara Republik Indonesia hanya dapat dilakukan setelah mendapat persetujuan dari BAPETEN.
- 2) Dalam hal sumber radioaktif tidak dapat langsung dikirim ke tempat tujuan, importir atau eksportir wajib menyediakan tempat penyimpanan khusus sumber radioaktif yang memenuhi persyaratan keamanan sumber radioaktif.
- 3) Dalam hal pelaksanaan pengangkutan sumber radioaktif, pengirim wajib mendapat persetujuan pengiriman dari BAPETEN.
- 4) Pengangkut menjamin keamanan sumber radioaktif, baik selama dalam pengangkutan maupun penyimpanan pada saat transit sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.
- 5) Pemegang Izin, untuk menjamin keamanan sumber radioaktif, bertanggung jawab untuk
  - a) memelihara fasilitas sesuai dengan persyaratan keamanan sumber radioaktif;
  - b) mempunyai tenaga yang cakap dan terlatih sesuai dengan persyaratan keamanan sumber radioaktif;
  - c) mempunyai peralatan sesuai dengan persyaratan keamanan sumber radioaktif;
  - d) mempunyai program keamanan sumber radioaktif sesuai dengan persyaratan keamanan sumber radioaktif baik, dalam kondisi normal maupun abnormal, termasuk kehilangan sumber radioaktif;

- e) membentuk dan memelihara organisasi keamanan sumber radioaktif yang dapat merupakan bagian dari pengelola keselamatan radiasi;
  - f) melaporkan segera jika terjadi penyimpangan keamanan sumber radioaktif, termasuk kehilangan sumber radioaktif kepada BAPETEN;
  - g) menetapkan personel yang dapat dipercaya untuk menangani sumber radioaktif; dan
  - h) menjamin kerahasiaan informasi yang berhubungan dengan sumber radioaktif.
- 6) Pemegang Izin wajib melakukan tindakan pengamanan terhadap sumber radioaktif jika terjadi keadaan darurat.
  - 7) BAPETEN melakukan pengamanan terhadap sumber radioaktif yang tidak diketahui pemiliknya.
  - 8) Limbah radioaktif wajib disimpan dan dikelola oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sesuai dengan persyaratan keamanan sumber radioaktif.
  - 9) Untuk memastikan dipatuhinya persyaratan keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif, BAPETEN melakukan inspeksi terhadap fasilitas atau instalasi yang memanfaatkan tenaga nuklir.

Sejalan dengan yang diamanatkan oleh PP 54/2012 tersebut, selanjutnya dijabarkan oleh BAPETEN dalam bentuk peraturan Kepala BAPETEN yang diuraikan sebagai berikut.

- 1) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir Peraturan ini mengatur sistem proteksi fisik untuk instalasi nuklir, termasuk instalasi radiometalurgi dan bahan nuklir selama penggunaan, penyimpanan, dan pengangkutan. Sistem proteksi fisik memiliki fungsi untuk menangkal, mendeteksi, menilai, menunda, dan merespons terhadap segala ancaman dan gangguan (pencurian, pemindahan tidak sah dan sabotase, serta tindakan terorisme) pada bahan nuklir dan fasilitas nuklir.

- 2) Peraturan Kepala BAPETEN No 4 Tahun 2011 tentang Sistem Seifgard (Garda Aman).

Peraturan ini memberikan ketentuan bagi pemohon izin dalam menyusun sistem garda aman yang merupakan salah satu persyaratan izin pemanfaatan tenaga nuklir, sebagaimana diatur dalam PP 29/2008 dan PP 2/2014.

- 3) Peraturan Kepala BAPETEN No 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif.

Peraturan ini mengatur ketentuan mengenai kategori sumber radioaktif dan tingkat keamanan sumber radioaktif; persyaratan izin dan persyaratan persetujuan; upaya keamanan sumber radioaktif; dan rekaman dan laporan. Pelaksanaan keamanan sumber radioaktif dilakukan dengan pendekatan langkah-langkah pencegahan tingkat fasilitas berupa pembentukan dan pengoperasian organisasi keamanan sumber radioaktif, pelatihan, pemeriksaan latar belakang, sistem keamanan informasi, dan kontrol/kendali akses; langkah-langkah deteksi berupa penggunaan alat sistem deteksi, sesuai dengan tingkatan keamanan; langkah-langkah tindakan penundaan, berupa fasilitas sumber yang memiliki integritas yang cukup dan tidak mudah dihancurkan, kontrol kunci, dan peralatan penundaan seperti kunci, baik elektronik maupun manual; dan langkah-langkah jika sistem deteksi menunjukkan tantangan terhadap sistem keamanan, dalam waktu yang wajar skema responss yang terdefinisi dengan baik harus dilakukan.

- 4) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang.

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 mengatur tentang kegiatan prapengolahan, pengolahan, pascapengolahan, perekaman, dan pelaporan limbah radioaktif tingkat rendah dan tingkat sedang yang dilakukan oleh penghasil limbah radioaktif dan BATAN. Dalam peraturan ini, diatur tentang perlunya rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan zat radioaktif bentuk khusus dan zat radioaktif daya sebar rendah

atau rencana proteksi fisik untuk pengangkutan bahan fisil dan uranium heksafluorida (UF<sub>6</sub>), serta perlunya penentuan kategori sumber radioaktif dalam pengangkutan yang dilaksanakan sesuai peraturan BAPETEN mengenai keamanan sumber radioaktif.

- 5) Peraturan BAPETEN Nomor 7 Tahun 2020 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif  
Peraturan ini mengatur tentang persyaratan pengangkutan yang harus dilengkapi dengan dokumen pengiriman yang berisi, salah satunya, tentang rencana keamanan sumber radioaktif atau rencana proteksi fisik bergantung pada bahan radioaktif yang diangkut.

Sementara itu, peraturan perundang-undangan nasional yang terkait dengan penanggulangan tindakan terorisme, meskipun tidak terkait langsung dengan terorisme nuklir, tetapi sebagai bagian dari upaya mencapai tujuan keamanan nuklir, antara lain, UU Nomor 15 Tahun 2003 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti UU Nomor 1 Tahun 2002 tentang Pemberantasan Tindak Pidana Terorisme menjadi Undang-Undang, UU Nomor 17 Tahun 2011 tentang Intelijen Negara, UU Nomor 9 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Tindak Pidana Pendanaan Terorisme dan UU Nomor 5 Tahun 2018 tentang Perubahan atas UU Nomor 15 Tahun 2003 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti UU Nomor 1 Tahun 2002 tentang Pemberantasan Tindak Pidana Terorisme menjadi Undang-Undang.

Upaya pencegahan pendanaan proliferasi senjata pemusnah massal, yang merupakan tanggung jawab negara dan tujuan nasional Indonesia dalam menjaga keamanan dan perdamaian dunia, dilakukan melalui pelaksanaan Resolusi DK PBB. Upaya ini berkenaan dengan pencegahan proliferasi senjata pemusnah massal yang mewajibkan untuk melakukan pemblokiran secara serta merta atas dana yang dimiliki atau dikuasai oleh orang atau korporasi yang identitasnya tercantum dalam daftar pendanaan proliferasi senjata pemusnah massal. Di sisi lain, dalam rangka memenuhi perkembangan konvensi internasional atau rekomendasi internasional di bidang pencegahan

dan pemberantasan tindak pidana pencucian uang dan pendanaan terorisme, maka sesuai UU Nomor 9/2013, telah ditetapkan suatu Peraturan Bersama Menteri Luar Negeri Republik Indonesia, Kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia, Kepala Pusat Pelaporan dan Analisis Transaksi Keuangan, dan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4, 1, 9, dan 5 Tahun 2017 tentang Pencantuman Identitas Orang dan Korporasi dalam Daftar Pendanaan Proliferasi Senjata Pemusnah Massal dan Pemblokiran Secara Serta Merta Atas Dana Milik Orang atau Korporasi yang Tercantum Dalam Daftar Pendanaan Proliferasi Senjata Pemusnah Massal.

## **E. Implementasi dan Penguatan Sistem Keamanan Nuklir**

Keamanan dan proteksi fisik bertujuan untuk mencegah tindakan berbahaya dari pihak-pihak yang tidak bertanggungjawab di dalam atau di luar fasilitas dan tapak yang dapat membahayakan publik atau lingkungan. Program keamanan dan proteksi fisik untuk fasilitas nuklir (reaktor, pengelola daur bahan, dan limbah nuklir) dan fasilitas lainnya, serta bahan nuklir, bahan bakar, pengangkutan limbah radioaktif, dan penyimpanan harus tersedia dan selalu siap siaga setiap saat (IAEA, 2015). Selama pengoperasian suatu fasilitas nuklir, sistem keamanan nuklir yang efektif dan berkelanjutan harus selalu dipertahankan. Unsur-unsur keamanan nuklir yang ada dalam rencana keamanan nuklir, harus dipastikan berjalan dengan baik. Rencana keamanan nuklir harus menjadi dasar pengawasan oleh badan yang berwenang dan merupakan bagian dari syarat perizinan fasilitas. Setiap modifikasi besar terhadap langkah-langkah keamanan nuklir fasilitas harus ditinjau dan disetujui oleh badan yang berwenang (IAEA, 2019).

Penerapan sistem keamanan nuklir di fasilitas nuklir perlu memperhatikan kewajiban yang dinyatakan dalam instrumen internasional keamanan nuklir seperti CPPNM dan Amendemennya. Amendemen CPPNM menekankan kewajiban kepada negara pihak atau badan pengawasnya, yang pada gilirannya mengenakan kewajiban tersebut

langsung kepada pemegang izin. Untuk menerapkan Amendemen CPPNM, pemegang izin (operator fasilitas nuklir, pengirim bahan nuklir) bertanggung jawab untuk melaksanakan proteksi fisik bahan nuklir atau fasilitas nuklir. Dalam rangka memenuhi tanggung jawab utama ini secara lebih luas, Pemegang Izin harus

- 1) mempertimbangkan kembali desain, pemeliharaan, dan perbaikan sistem proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir, di mana jika dipandang perlu, bekerja sama dengan badan pengawas, IAEA, dan organisasi internasional lainnya yang relevan;
- 2) mempertimbangkan kembali pertahanan berlapis proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir guna memastikan adanya lapis-lapis proteksi dan metode proteksi yang harus dipilih;
- 3) mempertimbangkan kembali dan jika perlu, merevisi atau mengembangkan suatu program dan kebijakan jaminan mutu yang terkait proteksi fisik;
- 4) mempertimbangkan kembali, dan jika perlu merevisi atau mengembangkan, prosedur dan pengaturan kedaruratan. Secara khusus, pemegang izin harus merencanakan kontingensi terhadap peristiwa pemindahan tidak sah bahan nuklir atau sabotase fasilitas nuklir atau bahan nuklir, dan upaya atau ancaman terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir. Hal ini membutuhkan kerja sama erat dengan lembaga terkait lainnya;
- 5) mempertimbangkan kembali, dan jika perlu merevisi atau mengembangkan suatu kebijakan budaya keamanan nuklir bersifat kelembagaan dalam organisasi pemegang izin;
- 6) mempertimbangkan kembali, dan jika perlu merevisi atau mengembangkan suatu kebijakan kerahasiaan informasi, untuk mencegah pengungkapan tidak sah informasi yang dapat membahayakan proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir; dan
- 7) bekerja dengan badan pengawas untuk memastikan bahwa pengaturan pemegang izin memenuhi persyaratan CPPNM yang relevan.

Untuk organisasi lain yang bukan Pemegang Izin, Amendemen CPPNM juga menekankan konsep dan standar perlunya perhatian yang sama, terutama bagi kontraktor dan subkontraktor yang berurusan dengan pemegang izin.

## F. Penutup

Dalam rangka pencapaian tujuan perlindungan pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup, Indonesia senantiasa telah menerapkan secara konsisten prinsip-prinsip fundamental yang diberikan oleh instrumen-instrumen internasional yang berhubungan dengan keamanan nuklir, juga dengan aturan-aturan terkait keselamatan dan garda aman. Penerapannya berlaku terhadap seluruh fasilitas nuklir yang ada, melalui penerapan dan pengembangan sistem proteksi fisik dan pengelolaan bahan radioaktif sesuai standar internasional serta dilakukan inspeksi, reviu, dan evaluasi pelaksanaannya oleh badan pengawas.

Instrumen-instrumen internasional tersebut telah menjadi rujukan dalam penyusunan peraturan perundang-undangan nasional. Proses harmonisasi regulasi pada tingkat nasional dengan rezim internasional merupakan kebutuhan yang harus dipenuhi, guna menyesuaikan praktek dan standar bersama secara global dalam mencapai tujuan keamanan nuklir agar terpeliharanya perdamaian dan keamanan internasional. Proses harmonisasi dan adopsi ke dalam peraturan perundang-undangan nasional telah dilakukan dengan baik. Namun, masih terdapat ruang pengaturan yang memerlukan pengembangan lebih lanjut yang berkenaan dengan penerapan Amendemen CPPNM, ICSANT, Resolusi 1373 dan 1540 dalam sistem peraturan perundang-perundangan. Sebagai negara pihak, Indonesia melalui para pemangku kepentingan nasional perlu menyesuaikan praktik yang ada dengan aturan-aturan sebagaimana dimaksud di dalam instrumen-instrumen internasional tersebut, khususnya pada Amendemen CPPNM dan ICSANT.

Mengenai non proliferasi bahan kimia, biologi, radioaktif, dan nuklir (CBRN) yang menjadi pokok Resolusi 1540, tampaknya telah

diatur dengan baik dalam UU Nomor 5 Tahun 2018 yang memasukkan penyalahgunaan bahan CBRN sebagai tindak pidana terorisme. Namun, hal ini masih perlu pengembangan lebih lanjut, khususnya mengenai pengaturan lalu lintas bahan CBRN yang memerlukan langkah koordinasi intensif dari seluruh pemangku kepentingan nasional untuk menjamin keamanan bahan CBRN dari pihak-pihak yang tidak berwenang.

Tantangan di bidang keamanan nuklir makin kompleks, melibatkan berbagai faktor sosial, politik, ekonomi, dan perkembangan teknologi, memerlukan perhatian sungguh-sungguh, khususnya dalam hal pengaturan dan penegakannya. Kemajuan di bidang teknologi informasi, misalnya, menghadirkan tantangan terkait perlunya pengaturan dan penanganan secara ketat terhadap keamanan dan kerahasiaan informasi agar tidak dapat diakses oleh pihak-pihak tidak berwenang.

Tantangan lain yang perlu mendapat perhatian adalah perlunya pengembangan pengaturan yang komprehensif, baik dalam pencegahan dan deteksi maupun pengendalian dalam rantai pasokan, terhadap penggunaan barang-barang palsu, tiruan, dan mencurigakan pada peralatan sistem keamanan nuklir yang dapat berakibat pada keandalan dan efektivitas sistem keamanan nuklir yang diterapkan.

Kemampuan sumber daya manusia dalam hukum nuklir, termasuk di BATAN (saat ini telah terintegrasi menjadi Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN) juga menjadi bagian penting agar dapat ditingkatkan. Hal ini mengingat bahwa hukum nuklir di tingkat internasional juga berkembang sesuai dengan perubahan ancaman keamanan nuklir. Kemampuan dan kepakaran dalam hukum nuklir di BRIN menjadi hal penting untuk mengantisipasi pembahasan aspek hukum dalam pemanfaatan bahan nuklir dan keamanannya bersama negara lain di tingkat internasional maupun bersama pemangku kepentingan nasional, khususnya dari perspektif Pemegang Izin dan lembaga riset.

Kerangka legal internasional dan nasional keamanan nuklir—yang terdiri dari instrumen hukum dan prinsip-prinsip yang

dirancang untuk mencegah, mendeteksi, dan merespons tindakan kriminal dan tindakan tidak sah lainnya yang melibatkan, atau yang ditujukan pada, bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya, serta fasilitas atau kegiatan terkait—bagaimanapun merupakan salah satu aspek penting dalam menjamin keberlangsungan dan kepercayaan masyarakat terhadap pemanfaatan tenaga nuklir tujuan damai.

## Daftar Referensi

- Everton, C., Bayer, S., & Carlson, J. (2010, 11–15 Juli 2010). *Developments in the IAEA's nuclear security series and physical protection guidance document INFCIRC/225* [Presentasi makalah]. Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management, Baltimore, Maryland. <https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/developments-in-the-iaea-INFCIRC225.pdf>
- Findlay, T. (2010). *The future of nuclear energy to 2030 and its implications for safety, security and nonproliferation, Part 3-Nuclear Security*. The Centre for International Governance Innovation (CIGI). [https://www.cigionline.org/static/documents/part\\_3.pdf](https://www.cigionline.org/static/documents/part_3.pdf)
- Herbach, J. D. (2014). Strengthening the international legal framework for nuclear security: Means and methods to facilitate compliance and enhance transparency. *International Conference on Nuclear Security: Enhancing Global Efforts. Proceedings of the International Conference*. IAEA. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/22224552>
- International Atomic Energy Agency. (2004). Code of conduct on the safety and security of radioactive sources. *Non-serial Publications IAEA/CODEOC/2004*. <https://www.iaea.org/publications/6956/code-of-conduct-on-the-safety-and-security-of-radioactive-sources>
- International Atomic Energy Agency. (2005). Guidance on the import and export of radioactive sources. *Non-serial Publications IAEA/CODEOC/IMP-EXP/2005*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Imp-Exp\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Imp-Exp_web.pdf)
- International Atomic Energy Agency. (2006). Amendment to the convention on the physical protection of nuclear material. *IAEA International Law Series No. 2*. <https://www.iaea.org/publications/7598/amendment-to-the-convention-on-the-physical-protection-of-nuclear-material>
- International Atomic Energy Agency. (2011a). The international legal framework for nuclear security. *IAEA International Law Series No.*

4. <https://www.iaea.org/publications/8565/the-international-legal-framework-for-nuclear-security>
- International Atomic Energy Agency. (2011b). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc225revision-5>
- International Atomic Energy Agency. (2011c). Nuclear security recommendations on radioactive material and associated facilities. *IAEA Nuclear Security Series No. 14*. <https://www.iaea.org/publications/8616/nuclear-security-recommendations-on-radioactive-material-and-associated-facilities>
- International Atomic Energy Agency. (2011d). Nuclear security recommendations on nuclear and other radioactive material out of regulatory control. *IAEA Nuclear Security Series No 15*. <https://www.iaea.org/publications/8622/nuclear-security-recommendations-on-nuclear-and-other-radioactive-material-out-of-regulatory-control>
- International Atomic Energy Agency. (2013). Objective and essential elements of a state's nuclear security regime. *IAEA Nuclear Security Series No. 20*. <https://www.iaea.org/publications/10353/objective-and-essential-elements-of-a-states-nuclear-security-regime>
- International Atomic Energy Agency. (2014). Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. *IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3*. <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>
- International Atomic Energy Agency. (2015). Milestones in the development of a national infrastructure for nuclear power. *IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1 (rev. 1)*. <https://www.iaea.org/publications/10873/milestones-in-the-development-of-a-national-infrastructure-for-nuclear-power>
- International Atomic Energy Agency. (2019). Security during the lifetime of a nuclear facility. *IAEA Nuclear Security Series No. 35-G*. <https://www.iaea.org/publications/12363/security-during-the-lifetime-of-a-nuclear-facility>
- Nacht, M., Frank, M., & Prussin, S. (2021). *Nuclear security: The nexus among science, technology and policy*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-75085-5>

- Stoiber, C., Baer, A., Pelzer, N., & Tonhauser, W. (2003). *Handbook on nuclear law*. IAEA. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1160\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1160_web.pdf)
- Stoiber, C., Cherf, A., Tonhauser, W., & Carmona, M. (2010). *Handbook on nuclear law: Implementing legislation*. IAEA. <https://www.iaea.org/publications/8374/handbook-on-nuclear-law-implementing-legislation>



## BAB III

# Sistem Proteksi Fisik

Khairul & Teguh Asmoro

---

### A. Pendahuluan

International Atomic Energy Agency (IAEA) adalah badan dunia yang dibentuk oleh anggota Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) dengan misi utama mendorong penggunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir untuk maksud damai dan kesejahteraan. IAEA memiliki tiga pilar utama dalam menjalankan misi tersebut, yaitu teknologi dan aplikasi nuklir (*nuclear technology and application*), garda aman dan verifikasi (*safeguard and verification*), dan keselamatan dan keamanan (*safety and security*). Ketiga pilar IAEA tersebut juga ditetapkan dalam rangka mendukung serta memperkuat rezim pelarangan senjata nuklir dan penyebarannya, atau lebih dikenal dengan rezim *non-proliferation*.

IAEA memiliki peran kunci dalam memastikan bahwa pengembangan tenaga nuklir di setiap negara anggota harus berlangsung secara efisien, selamat, aman dan bertanggungjawab,

---

Khairul & Teguh Asmoro\*

Purnabakti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), e-mail: khairulk63@gmail.com

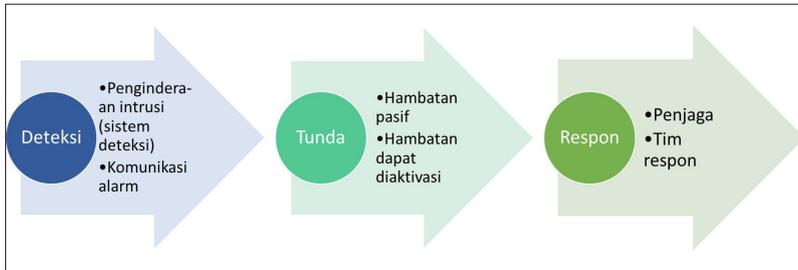
© 2023 Editor dan Penulis

Khairul & Asmoro. T. (2024). Sistem proteksi fisik. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (55–76). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c991, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

serta berkelanjutan. Oleh karena itu, secara rutin IAEA melakukan pengawasan dan verifikasi ke setiap negara anggota IAEA. Selain itu, sebagai upaya IAEA dalam menjamin perlindungan terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir yang terdapat di seluruh dunia, diperoleh kesepakatan bersama dari negara anggotanya untuk menyusun instrumen hukum internasional berupa Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (CPPNM) yang telah diadopsi pada 26 Oktober 1979. CPPNM adalah instrumen hukum keamanan nuklir internasional yang mewajibkan setiap pemegang izin pengoperasian fasilitas nuklir, baik reaktor riset nuklir maupun reaktor daya (pembangkit listrik tenaga nuklir, PLTN) agar menerapkan sistem pengamanan nuklir atau lebih dikenal sebagai sistem proteksi fisik.

Sistem proteksi fisik (SPF) adalah seluruh tindakan yang dilakukan untuk melindungi instalasi dan bahan nuklir dari pemindahan secara tidak sah, sabotase, atau tindakan kejahatan lainnya. Dari keseluruhan tindakan tersebut, SPF terdiri atas tiga elemen, yaitu peralatan (*machine*), prosedur (*method*), dan manusia (*man*). SPF merupakan bagian utama dari keamanan nuklir, sedangkan keamanan nuklir lebih luas cakupannya dari SPF. Secara umum, fungsi utama SPF dapat dilihat pada Gambar 3.1.

- 1) Deteksi (*detection*), yaitu salah satu proses dalam SPF yang diawali dengan penginderaan potensi kejahatan atau tindakan tidak sah lainnya, baik oleh penjaga ataupun sistem elektronik hingga berfungsinya sistem alarm.
- 2) Penundaan (*delay*), yaitu salah satu proses dalam SPF yang ditujukan untuk memperlama waktu penetrasi penyusup atau pengganggu untuk masuk ke dalam dan/atau ke luar dari instalasi nuklir atau pengangkutan bahan nuklir. Di sisi lain, proses ini memberikan waktu bagi tim respons menghentikan musuh/ penyusup.
- 3) Respons (*responsse*), yaitu salah satu proses dalam SPF yang ditujukan untuk menghentikan (*interruption*) dan melumpuhkan (*neutralization*) musuh atau melawan upaya pemindahan bahan nuklir secara tidak sah atau tindakan sabotase.



**Gambar 3.1** Fungsi SPF

Seperti terlihat pada Gambar 3.1, fungsi SPF memiliki beberapa tahapan. Tahap awal sebelum ketiga tahapan tersebut ialah 1) upaya penangkalan (*deterrence*), seperti menempatkan petugas proteksi fisik yang gagah dan profesional di pos penjagaan serta pencahayaan yang cukup pada malam hari sehingga mengurangi potensi adanya kejahatan; dan upaya pencegahan (*prevention*) yang dapat dilakukan melalui pembentukan organisasi pengamanan, pelatihan petugas dan pengendalian akses, serta penerbitan pedoman-pedoman dan prosedur keamanan.

Upaya pencegahan tentu saja belum cukup. Untuk mengantisipasi kegagalan upaya pencegahan, fungsi deteksi harus disiapkan. Pada prinsipnya, deteksi dapat dilakukan menggunakan peralatan deteksi, sistem alarm, dan petugas pengamanan. Namun, terdapat kelemahan pada pemanfaatan faktor manusia, misalnya kelelahan. Ketika penyusup dapat menghindari deteksi, SPF harus disiapkan untuk menjalankan fungsi penundaan yang akan memperlambat langkah musuh setelah terdeteksi. Fungsi penundaan ini dapat dilakukan dengan memasang penghalang, baik pasif maupun aktif. Penundaan bersifat pasif dapat berupa sistem pemagaran, pos penjagaan, tembok bangunan, dan *vehicle barrier* yang berfungsi menahan serangan bom mobil. Penundaan aktif dapat berupa peralatan yang menggunakan elektronik dan akan bereaksi setelah mendeteksi musuh. Penundaan aktif ditempatkan dekat dengan target (lem, asap, busa). Tahap akhir dari fungsi SPF ialah respons oleh penjaga (*guards*) dan tim respons (*responsse force*) yang disiapkan khusus jika diperlukan. Penjaga, selain bertugas menjaga pintu akses juga memberikan respons

pertama terhadap adanya penyusup, di antaranya melalui komunikasi dengan pusat pengendali keamanan. Sementara itu, tim responss harus bergerak cepat untuk melumpuhkan penyusup atau penjahat yang memasuki kawasan keamanan nuklir. Baik penjaga maupun tim responss harus memiliki kualifikasi dan dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menjalankan tugas (IAEA, 2021).

Sesuai dengan semua fungsi tersebut, SPF pada hakikatnya adalah kumpulan dari peralatan, instalasi, personel, dan prosedur yang secara bersama-sama memberikan fungsi proteksi fisik seperti yang dijelaskan sebelumnya. Perlindungan terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir harus dilakukan, baik pada saat bahan nuklir tersebut dalam penggunaan, pengangkutan, maupun saat penyimpanan akhir (berlaku istilah “*From the Cradle to the Grave*” atau dari awal produksi bahan nuklir sampai penyimpanan akhir). Bahkan, pertimbangan keamanan terhadap bahan dan fasilitas nuklir harus sudah diberikan sejak tahap desain suatu fasilitas atau kegiatan yang berkaitan dengan bahan nuklir. Hal ini dilakukan dengan mengkaji aspek ancaman yang mungkin timbul sehingga dapat diimplementasikan SPF yang tepat.

Indonesia menjadi negara anggota sejak didirikannya IAEA, yaitu tahun 1958, ditandai dengan diberlakukannya Undang-Undang Nomor 25 Tahun 1957 (UU No. 25, 1957). Sejalan dengan misi IAEA, pemanfaatan bahan nuklir dan secara umum ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) nuklir di Indonesia hanya dimaksudkan untuk tujuan damai dan kesejahteraan masyarakat. Untuk menegaskan komitmen tersebut, pemerintah Indonesia telah meratifikasi traktat internasional yang dikenal sebagai Non-Proliferation Treaty (NPT) ke dalam Undang-undang Nomor 8 Tahun 1978 (UU No. 8, 1978). Selain itu, pemerintah Indonesia juga telah meratifikasi konvensi proteksi fisik bahan nuklir (CPPNM) ke dalam Keputusan Presiden Nomor 49 Tahun 1986 (Kepres No. 49, 1986) dan Amandemennya (CPPNM/A) melalui Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2009 (Perpres No. 46, 2009). Karena konvensi ini termasuk konvensi di bawah IAEA yang mengikat secara hukum (*legally binding*), pemerintah Indonesia berkewajiban melakukan persyaratan dalam konvensi tersebut. Terkait

dengan hal tersebut, Indonesia juga terbuka untuk menerima verifikasi dari IAEA atas semua pengelolaan bahan nuklir dan fasilitas nuklir, termasuk penerapan sistem proteksi fisiknya. Konvensi proteksi fisik merupakan salah satu perangkat hukum yang dapat mendukung terlaksananya traktat NPT agar pemanfaatan bahan nuklir hanya untuk tujuan damai. Konvensi proteksi fisik bertujuan untuk melindungi bahan nuklir dan fasilitas nuklir dari pencurian dan sabotase oleh kelompok yang tidak bertanggung jawab (*non-state actor*).

## B. Perkembangan dan Status Sistem Proteksi Fisik

Pada awalnya, di hampir semua negara, kegiatan proteksi fisik terhadap bahan nuklir tidak tertulis dan diatur secara jelas dalam dokumen peraturan yang berlaku di negara tersebut. Dokumen yang tertulis secara eksplisit dan mengatur secara khusus tentang proteksi fisik bahan dan fasilitas nuklir pertama kali diterbitkan oleh Amerika Serikat (AS), yaitu oleh United States Nuclear Regulatory Commission. Dengan judul *Part 73-Physical protection of plants and materials* (United States Nuclear Regulatory Commission. , t.t.).

Seperti diketahui, pada awal tahun 1970-an, akibat adanya peningkatan suhu politik akibat perang dingin antara AS dan Uni Soviet dan ketegangan regional, banyak terjadi peristiwa pembajakan pesawat terbang oleh kelompok-kelompok ekstrimis tertentu, bahkan terjadi sabotase terhadap objek-objek penting. Keadaan ini menimbulkan kekhawatiran yang luas pada dunia internasional bila hal ini terjadi pada instalasi nuklir. Sabotase pada instalasi nuklir, selain akan menimbulkan dampak yang serius bagi keselamatan masyarakat dan lingkungan juga menyebabkan jatuhnya penguasaan bahan nuklir dan zat radioaktif secara tidak sah ke tangan kelompok tertentu. Bahan nuklir dan zat radioaktif ini juga dapat dimanfaatkan oleh kelompok tersebut untuk pembuatan "bom kotor" (*dirty bomb*), bahan peledak nuklir, atau senjata pemusnah massal untuk pemerasan atau pemaksaan kehendak. Menyadari bahaya ini, pada tahun 1972, IAEA mengedarkan booklet yang bertajuk *Recommendations for the Physical Protection of Nuclear Material*. Pada tahun 1975, setelah

melalui revidi dan pembaruan, booklet tersebut dipublikasikan sebagai INFCIRC/225: *The Physical Protection of Nuclear Material* (Bufford, t.t.). Pada tahun 1975, setelah melalui revidi dan pembaruan, booklet tersebut dipublikasikan sebagai Information Circular No. 225 (INFCIRC/225): *The Physical Protection of Nuclear Material* (Bufford, t.t.).

Pada era perang dingin, tidak banyak terjadi perubahan pada rezim proteksi fisik global karena perhatian dunia internasional pada waktu itu lebih ditujukan pada penyelewengan penggunaan bahan nuklir oleh negara tertentu (*state actor*) untuk senjata pemusnah massal (*weapon mass destruction*), ketimbang oleh kelompok masyarakat (*subnational group/non-state actor*). Namun, setelah Uni Soviet runtuh, masalah keamanan bahan nuklir yang banyak tertumpuk di berbagai negara pecahan Uni Soviet banyak dipertanyakan. Hal ini disebabkan makin lemahnya pengawasan negara dan tidak jelasnya pertanggungjawaban terhadap bahan nuklir tersebut. Hal ini menimbulkan kekhawatiran internasional akan adanya penguasaan oleh pihak yang tak berkompeten terhadap bahan nuklir tersebut atau penyelundupan yang akhirnya jatuh pada kelompok teroris.

Peristiwa serangan teroris di Gedung World Trade Center, New York, AS pada tanggal 11 September 2001, membuat IAEA serta semua negara pemilik fasilitas nuklir atau reaktor nuklir terkejut dan khawatir. Setahun setelah peristiwa itu, IAEA menyusun rencana keamanan nuklir yang merupakan tonggak sejarah bagi peningkatan keamanan nuklir di setiap negara, termasuk penguatan sistem proteksi fisik bahan nuklir di sekitar tapak reaktor serta saat pengangkutan. Rencana keamanan nuklir menggambarkan usulan kegiatan keamanan nuklir IAEA yang menanggapi prioritas negara-negara anggota yang telah diungkapkan melalui keputusan dan resolusi dari badan pembuat kebijakan IAEA. Selanjutnya, IAEA bersama masyarakat dunia melakukan kajian terhadap potensi ancaman, lalu mengadakan pertemuan yang bertempat di markas besar IAEA di Wina, Austria. Pertemuan tersebut membahas serta menyepakati amandemen terhadap isi konvensi proteksi fisik bahan nuklir yang diadopsi tahun 1979, dan mengalami pembaruan beberapa kali (sebelum amandemen menjadi dokumen INFCIRC/225/Revisi 4), tidak hanya lingkup

keamanan bahan nuklir tetapi juga fasilitas nuklir. Setelah dilakukan perubahan, ada penambahan kata “Nuclear Facilities” pada nama konvensi sehingga menjadi Convention on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, Amendment (CPPNM/A) (IAEA, 2006) yang diadopsi pada 2005. Namun, baru pada bulan Mei 2016, CPPNM Amandemen (CPPNM/A) mulai berlaku. Penyempurnaan dalam amandemen memuat rincian unsur-unsur yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan dalam pembinaan sistem proteksi fisik nasional (*state’s system of physical protection*).

Indonesia, sebagai negara pihak konvensi juga melakukan penyesuaian implementasi SPF di lapangan, seperti yang dilakukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), agar memenuhi ketentuan baru yang termuat di CPPNM/A. Di sisi lain, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) juga telah berupaya untuk merevisi aturan nasional terkait persyaratan SPF agar sesuai dengan CPPNM/A.

### C. Persyaratan Dasar Proteksi Fisik dan Peran Laea

Terdapat 12 prinsip dasar (*fundamental principles*) di dalam CPPNM/A yang wajib diimplementasikan oleh negara pihak konvensi tersebut mencakup Prinsip Dasar A hingga Prinsip Dasar L (IAEA, 2006). Tabel 3.1 merangkum kedua belas prinsip dasar proteksi fisik serta rangkuman isi prinsip dasar.

**Tabel 3.1.** Dua Belas Prinsip Dasar Proteksi Fisik

No.	Prinsip Dasar	Rangkuman Isi
1.	Prinsip Dasar A: Tanggung Jawab Negara	Negara bertanggung jawab terhadap penerapan proteksi fisik (keamanan nuklir) di masing-masing negara.
2.	Prinsip Dasar B: Tanggung Jawab Selama Pengangkutan Antarnegara (Internasional)	Negara bertanggung jawab terhadap keamanan bahan nuklir pada saat pengangkutan antarnegara hingga tanggung jawab berpindah tangan pada negara yang dituju.
3.	Prinsip Dasar C: Kerangka Legislatif dan Regulasi	Negara bertanggung jawab untuk membangun dan memelihara kerangka kerja legislatif dan regulasi untuk mengatur persyaratan proteksi fisik.

No.	Prinsip Dasar	Rangkuman Isi
4.	Prinsip Dasar D: Otoritas Berkompeten	Negara harus membentuk atau menunjuk otoritas berkompeten yang bertanggung jawab atas pelaksanaan kerangka legislatif dan regulasi serta fungsi pengawasan.
5.	Prinsip Dasar E: Tanggung Jawab Pemegang Izin	Tanggung jawab utama untuk pelaksanaan proteksi fisik bahan nuklir atau fasilitas nuklir berada pada Pemegang Izin (lisensi).
6.	Prinsip Dasar F: Budaya Keamanan	Pemegang Izin (lisensi) bahan nuklir dan proteksi fisik harus memprioritaskan budaya keamanan.
7.	Prinsip Dasar G: Ancaman	Penerapan sistem proteksi fisik harus mengacu pada ancaman dasar desain ( <i>design basis threat</i> ).
8.	Prinsip Dasar H: Pendekatan Bertingkat	Persyaratan proteksi fisik harus didasarkan pada pendekatan bertingkat ( <i>graded approach</i> ) dengan mempertimbangkan evaluasi terkini dari ancaman dan daya tarik bahan nuklir.
9.	Prinsip Dasar I: Pertahanan Berlapis	Persyaratan proteksi fisik harus mencerminkan konsep pertahanan berlapis ( <i>defense in depth</i> ), yaitu perlindungan terhadap bahan nuklir yang terdiri dari beberapa lapisan dan metode (struktural atau teknis lainnya, personel, dan organisasi) yang harus diatasi oleh musuh untuk mencapai bahan nuklir tersebut.
10.	Prinsip Dasar J: Jaminan Kualitas	Kebijakan penjaminan kualitas dan program penjaminan kualitas perlu ditetapkan dan dilaksanakan dengan maksud memberikan keyakinan persyaratan yang ditentukan untuk semua kegiatan yang penting untuk proteksi fisik telah terpenuhi.
11.	Prinsip Dasar K: Rencana Kontingensi	Rencana kontingensi (darurat) untuk menanggapi pemindahan bahan nuklir secara tidak sah atau sabotase fasilitas nuklir atau bahan nuklir, atau upayanya, harus disiapkan dan dilaksanakan dengan tepat oleh semua Pemegang Izin (lisensi) dan otoritas terkait.

No.	Prinsip Dasar	Rangkuman Isi
12.	Prinsip Dasar L: Kerahasiaan	Negara harus menetapkan persyaratan untuk melindungi kerahasiaan informasi dan pengungkapan yang tidak sah yang dapat membahayakan proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir.

Sumber: IAEA (2006)

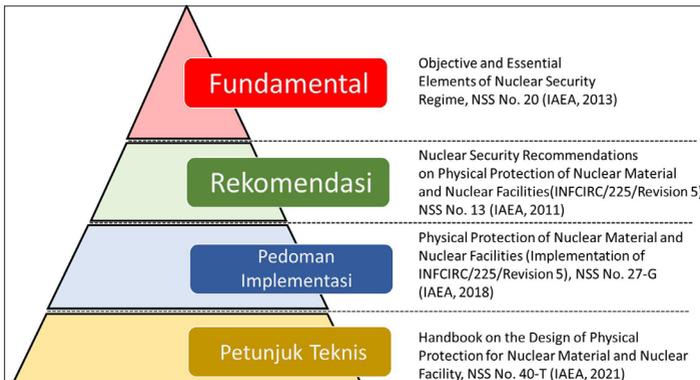
Kedua belas prinsip dasar proteksi fisik ini sangat berkaitan erat dengan kewajiban yang harus diterapkan oleh semua Negara Pihak dan/atau Pemegang Izin atau badan/perusahaan yang memiliki bahan nuklir atau fasilitas nuklir di masing-masing negara pihak konvensi, termasuk BATAN (sekarang Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN) selaku operator/Pemegang Izin dalam kegiatan pemanfaatan teknologi nuklir dan bahan nuklir. Secara periodik, dengan pemberitahuan dan tanpa pemberitahuan (setahun sekali), badan pengawas (dalam hal ini BAPETEN dan IAEA), mengadakan pemeriksaan terhadap penerapan proteksi fisik, melakukan verifikasi terkait keberadaan dokumen rencana proteksi fisik, dokumen kontingensi berikut bukti kegiatannya, dan memeriksa laporan kegiatan penilaian risiko keamanan nuklir serta bukti kegiatannya.

Penerapan CPPNM/A harus didukung oleh semua pemangku kepentingan yang terkait dengan keamanan nuklir. Di Indonesia, terdapat beberapa pemangku kepentingan keamanan nuklir, antara lain, BATAN/BRIN selaku pemegang izin/operator, BAPETEN selaku badan pengawas/regulator, kepolisian negara, badan keamanan laut, bea dan cukai, badan intelijen negara, militer, serta instansi pemerintah lainnya yang terkait dengan kebijakan dalam membuat kerjasama internasional keamanan nuklir.

CPPNM/A merupakan satu-satunya instrumen legal dalam hal proteksi fisik yang bersifat mengikat secara hukum (*legally binding*). Untuk memberikan panduan penerapan prinsip dasar yang ada dalam CPPNM/A, IAEA menyusun dokumen turunan berupa rekomendasi atau pedoman implementasi yang menjadi bagian dari seri keamanan

nuklir (*Nuclear Security Series, NSS*) yang bersifat tidak mengikat (*non-legally binding*).

Sebagai catatan, NSS dipublikasikan secara resmi sejak tahun 2006. NSS dapat dibedakan atas dokumen yang bertingkat, mulai dari dokumen fundamental yang berisi tujuan dan elemen esensial keamanan nuklir, dilanjutkan dengan rekomendasi, pedoman implementasi, dan petunjuk teknis (IAEA, 2013). Negara anggota IAEA, terutama yang tengah mengembangkan program nuklirnya, mengadopsi NSS dengan memperhatikan tingkatan tersebut. Gambar 3.2 menunjukkan hierarki NSS yang disusun oleh IAEA dan contoh dokumen NSS hingga petunjuk teknis.



**Gambar 3.2** Hierarki NSS yang Disusun Oleh IAEA.

Agar penerapan sistem proteksi fisik memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, IAEA memberikan layanan kepada negara anggotanya dalam bentuk program IAEA Nuclear Security Services, yaitu menyiapkan tim ahli yang tergabung ke dalam International Physical Protection Advisory Services (IPPAS) (IAEA, 2014). IPPAS dibentuk oleh IAEA pada tahun 1995. Tujuan IPPAS adalah memastikan apakah penerapan sistem proteksi fisik yang dilakukan oleh pemegang izin pemanfaatan teknologi nuklir di negara anggota sudah sesuai dengan prinsip dasar keamanan nuklir serta IAEA Nuclear Security Recommendation (IAEA, 2011).

IPPAS memiliki beberapa tugas, antara lain, melakukan evaluasi penerapan proteksi fisik yang dimulai dengan memeriksa regulasi terkait rezim keamanan nuklir nasional, termasuk proteksi fisik; dan melakukan evaluasi penerapan SPF di fasilitas nuklir yang dikelola oleh para pemegang izin/operator, seperti tiga reaktor riset nuklir yang dikelola oleh BATAN/BRIN.

Untuk membantu negara anggotanya dalam menerapkan keamanan nuklir, IAEA selanjutnya menyusun rencana keamanan nuklir yang disusun oleh IAEA setiap tiga tahun sekali. Hal ini bertujuan sebagai acuan bagi negara anggotanya dalam melindungi bahan nuklir dan fasilitas nuklir dari ancaman pencurian dan sabotase bahan nuklir. Bentuk bantuan keamanan nuklir yang disiapkan, tergabung di dalam dokumen IAEA–*Integrated Nuclear Security Support Plan* (INSSP). Rencana Dukungan Keamanan Nuklir Terpadu (INSSP) yang dikembangkan IAEA tahun 2009 bertujuan memfasilitasi permintaan negara anggotanya, dalam kerangka kerja yang sistematis dan komprehensif, untuk meninjau penerapan rezim keamanan nuklir anggotanya dan mengidentifikasi area yang perlu diperkuat. Rencana tersebut juga menyoroti bantuan apa pun yang diperlukan untuk mendukung pengembangan rezim keamanan nuklir yang efektif dan berkelanjutan di negara tersebut. Sejak tahun 2012 hingga sekarang, BATAN merupakan bagian dari tim INSSP Indonesia bersama BAPETEN yang berkontribusi dalam peningkatan sistem proteksi fisik, termasuk membangun kapasitas sumber daya manusia dalam hal keamanan nuklir.

#### **D. Implementasi Proteksi Fisik pada Kegiatan Nuklir BATAN**

Indonesia sebagai salah satu negara anggota IAEA, tentunya harus mematuhi penerapan keamanan nuklir dan proteksi fisik untuk menjamin pemanfaatan tenaga nuklir dalam keadaan selamat dan aman. Selain rekomendasi internasional, dalam penerapan sistem proteksi fisik juga didukung dengan peraturan dari badan pengawas tenaga nuklir nasional (dalam hal ini BAPETEN). Peraturan ini mewajibkan

setiap pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir untuk menerapkan sistem proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir selama penggunaan, pengangkutan, dan penyimpanan.

Indonesia mengoperasikan tiga reaktor riset nuklir sejak tahun 1965 hingga sekarang, yang dikelola oleh BATAN/BRIN. Ketiga reaktor tersebut, yaitu Reaktor Triga Mark II di Bandung, Reaktor Kartini di Yogyakarta dan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) di Serpong. Sesuai dengan konvensi proteksi fisik, serta mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 (2009) tentang Ketentuan Proteksi Fisik Bahan Nuklir dan Fasilitas Nuklir, ketiga reaktor riset milik BATAN ini wajib menerapkan sistem proteksi fisik dengan mengacu pada IAEA Recommendation (INFCIRC/225/Revisi 5).

Selain ketiga fasilitas nuklir utama berupa reaktor nuklir riset tersebut, BATAN mengelola beberapa kawasan nuklir yang berlokasi di Jakarta, Serpong, Bandung, dan Yogyakarta. Kawasan nuklir terbesar terletak di kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Puspiptek) Serpong, yang mencakup berbagai fasilitas nuklir dan fasilitas yang memanfaatkan bahan radioaktif, seperti RSG-GAS (30 MW termal), instalasi fabrikasi elemen bakar, laboratorium bahan bakar eksperimental dan laboratorium radiometalurgi, instalasi produksi radioisotop, instalasi pengelolaan limbah radioaktif dan Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP). Keseluruhannya menempati area seluas 25 ha yang disebut dengan "daerah aktif" (dalam pagar kuning), sedangkan sarana pendukung (supporting facilities) terletak dalam area seluas 6 ha dan disebut daerah "tidak aktif".

Di instalasi nuklir tersebut, dikelola sejumlah bahan nuklir dan zat radioaktif yang memerlukan proteksi fisik (Perka BAPETEN No. 6, 2015). Selain itu, kegiatan di berbagai fasilitas di kawasan tersebut juga memerlukan sistem keselamatan, proteksi radiasi (*radiation protection*), dan penanggulangan kedaruratan nuklir (*emergency preparedness and response*). Berdasarkan hal tersebut, pada tahun 1987, disusunlah rancangan sistem keselamatan dan keamanan kegiatan nuklir BATAN di kawasan Puspiptek dengan memadukan sistem proteksi radiasi, keselamatan nuklir, dan penanggulangan kedaruratan nuklir. Ran-

cangan sistem ini disebut dengan Sistem Keselamatan dan Keamanan BATAN di kawasan Puspipstek, disingkat sebagai sistem BSS BATAN (*BATAN Safety and Security System*). BSS BATAN merupakan sistem terintegrasi yang memadukan berbagai sistem deteksi, alarm, kontrol akses di seluruh kawasan nuklir serpong, dan terkumpul di *central alarm system* (CAS), yang juga berfungsi sebagai Pusat Komando Pengendalian Kedaruratan (Puskodal). Selain untuk memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan nuklir internasional, tujuan pemasangan BSS BATAN ialah melindungi bahan nuklir dan instalasi nuklir dari bahaya atau gangguan, mendeteksi sedini mungkin adanya gangguan keamanan pada bahan nuklir, instalasi nuklir, bahaya radiasi dan bahaya kebakaran, serta bertindak mencegah dan menanggulangi kedaruratan. Keberadaan dan fungsi BSS BATAN beberapa kali mengalami pembaruan, termasuk memfokuskan fungsi BSS BATAN pada keamanan. Rekomendasi fungsi BSS BATAN agar fokus pada aspek keamanan yang berasal dari tim misi pakar IAEA-IPPAS pada tahun 2001. Alasannya adalah agar operator proteksi fisik di CAS fokus pada parameter keamanan sehingga tidak terganggu dengan parameter keselamatan. Parameter keselamatan menjadi tanggung jawab petugas keselamatan. Aspek sistem deteksi dan pengendalian akses serta CAS, beberapa kali mengalami peremajaan, terutama untuk menyesuaikan dengan peraturan terkini, termasuk perubahan yang menyesuaikan dengan INFCIRC/225/Revisi 5 dan peraturan nasional yang ditetapkan BAPETEN. Demikian pula dengan upaya dalam menyesuaikan rancangan dan penerapan SPF di setiap kawasan dan ketiga reaktor riset dengan persyaratan dan/atau peraturan terkini. Salah satu kriteria penting adalah penggolongan area proteksi fisik berdasarkan golongan bahan nuklir yang ada di dalam area tersebut. Penggolongan bahan nuklir ditunjukkan pada Tabel 3.2. Sesuai dengan golongan tersebut, SPF dirancang dan direncanakan agar memenuhi persyaratan yang berlaku.

**Tabel 3.2** Penggolongan Bahan Nuklir

Bahan	Uraian	Golongan			
		I	II	III	IV
Plutonium	Tidak teradiasi atau teradiasi dengan paparan $\leq 1$ Gy/jam pada jarak 1 m tidak terbungkus	$\geq 2$ kg	$500 \text{ g} < \text{Pu} < 2 \text{ kg}$	$15 \text{ g} < \text{Pu} < 500 \text{ g}$	$1 \text{ g} < \text{Pu} \leq 15 \text{ g}$
Uranium-235	Tidak teradiasi atau teradiasi dengan paparan $\leq 1$ Gy/jam pada jarak 1 m tidak terbungkus				
	• U diperkaya $\geq 20\%$ U-235	$\geq 5$ kg	$1 \text{ kg} < \text{U-235} < 5 \text{ kg}$	$15 \text{ g} < \text{U-235} < 1 \text{ kg}$	$1 \text{ g} < \text{U-235} < 15 \text{ g}$
	• U diperkaya $10\% - 20\%$ U-235	-	$\geq 10 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} < \text{U-235} < 10 \text{ kg}$	$1 \text{ g} < \text{U-235} < 1 \text{ kg}$
	• U diperkaya di atas U alam tapi di bawah $10\%$	-	-	$\geq 10 \text{ kg}$	$1 \text{ g} < \text{U-235} < 10 \text{ kg}$
Uranium-233	Tidak teradiasi atau teradiasi dengan paparan $\leq 1$ Gy/jam pada jarak 1 m tidak terbungkus	$\geq 2$ kg	$500 \text{ g} < \text{U-233} < 2 \text{ kg}$	$15 \text{ g} < \text{U-233} < 500 \text{ g}$	$1 \text{ g} < \text{U-233} \leq 15 \text{ g}$
U-alam, U-depleksi, Th dan limbah bahan nuklir	Tidak teradiasi atau teradiasi dengan paparan $\leq 1$ Gy/jam pada jarak 1 m tidak terbungkus	-	-	$\geq 500 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} < \text{U/Th} < 500 \text{ kg}$

Bahan	Uraian	Golongan			
		I	II	III	IV
Bahan bakar teradiasi	• Untuk pengangkutan	-	- tidak dibatasi jumlahnya	-	-
	• Untuk penyimpanan/ penggunaan	-	-	• tidak dibatasi jumlahnya	-

Keterangan: U: uranium; Pu: plutonium; Th: thorium

Sumber: Perka BAPETEN No. 1 (2009)

Selain untuk bahan nuklir, penggolongan juga dilakukan untuk sumber radioaktif (zat radioaktif berbentuk padat yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat) (Perka BAPETEN No. 6, 2015). Sesuai dengan golongan sumber radioaktif, didefinisikan tingkat keamanan yang bersesuaian dengan golongan. Berdasarkan penggolongan bahan nuklir seperti dalam Tabel 3.2, sebagai contoh, di Kawasan Nuklir Serpong (KNS), BATAN/BRIN mengelola bahan nuklir golongan II dan III.

Selanjutnya, Perka BAPETEN No. 1 (2009) mengatur area proteksi fisik ke dalam daerah proteksi, daerah vital dan daerah dalam. Daerah proteksi (*protected area*) adalah lokasi tempat bahan nuklir golongan I atau II berada, dan/atau daerah vital yang dikelilingi penghalang fisik. Gambar 3.3 memperlihatkan contoh penghalang fisik berupa pagar, beton yang dapat dipindah (juga berfungsi sebagai penunda), dan kontrol akses. Daerah dalam (*inner area*) adalah suatu lokasi yang terdapat di dalam daerah proteksi, tempat bahan nuklir golongan I digunakan dan/atau disimpan. Daerah vital adalah daerah di mana terdapat peralatan sangat sensitif, yang bila terjadi tindakan sabotase, akan terjadi pelepasan radionuklida atau sumber radioaktif ke lingkungan. Oleh sebab itu, penerapan SPF di daerah tersebut sangat penting. Sementara itu, di NSS No. 27-G (IAEA, 2018) terdapat kategori daerah akses terbatas (*limited access area*), yaitu daerah yang melingkupi fasilitas nuklir dan bahan nuklir dengan akses yang

dibatasi dan dikendalikan untuk tujuan proteksi fisik. Bahan nuklir golongan III dapat diletakkan di daerah akses terbatas.



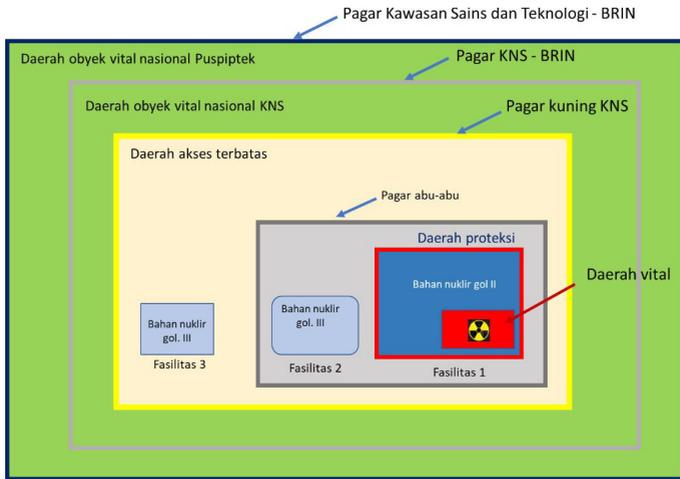
Keterangan: (a) pagar, (b) beton yang dapat dipindah, dan (c) pintu kendali akses

Foto: Dokumentasi BATAN (2014)

**Gambar 3.3** Penghalang Fisik yang Digunakan di BATAN, Puspptek.

Selain itu, kebijakan pengamanan objek penting milik pemerintah dikenal dengan objek vital nasional (obvitnas) (Keppres No. 63, 2004). Pengamanan obvitnas akan mendapat dukungan dari Kepolisian Republik Indonesia. Mengacu pada Keppres No. 63 (2004) tersebut, Menteri Riset dan Teknologi memutuskan Puspptek sebagai obvitnas (Kepmen No. 112, 2004). Sementara itu, Kepala BATAN juga memutuskan bahwa KNS merupakan salah satu obvitnas (Perka BATAN No. 174, 2015).

Berdasarkan ketentuan tersebut, sebagai contoh alternatif pengamanan dan penerapan daerah proteksi fisik di KNS dengan beberapa fasilitas nuklir di dalamnya, digambarkan pada Gambar 3.4. Dalam Gambar 3.4, pagar abu-abu sebagai pembatas fisik yang menunjukkan di dalamnya terdapat daerah proteksi.



**Gambar 3.4** Alternatif Skema Pembagian Daerah Proteksi Fisik di KNS

Terkait dengan rencana SPF yang disinggung di atas, sesuai Perka BAPETEN No. 1 (2009), BATAN wajib menyiapkan dokumen rencana proteksi fisik yang mencakup informasi tentang

- 1) ancaman dasar desain,
- 2) organisasi dan personel sistem proteksi fisik,
- 3) penggolongan bahan nuklir,
- 4) prosedur terkait proteksi fisik,
- 5) desain dan pembagian daerah proteksi fisik,
- 6) sistem deteksi,
- 7) sistem penghalang fisik,
- 8) sistem akses yang diperlukan,
- 9) sistem komunikasi,
- 10) perawatan dan surveilans,
- 11) rencana kontingensi, dan
- 12) dokumentasi.

Penerapan semua kegiatan yang terdapat di dalam dokumen rencana proteksi fisik, dievaluasi oleh BAPETEN secara periodik setahun sekali. Oleh sebab itu, petugas keamanan nuklir atau petugas proteksi fisik wajib mengikuti pelatihan kompetensi keamanan nuklir.

Dari aspek personel, BATAN harus dapat memastikan bahwa operator reaktor atau pegawai yang bekerja di daerah proteksi, tergolong pegawai yang sudah dapat dipercaya (*trustworthiness*), seperti yang direkomendasikan oleh IAEA (2011). Hal ini diperlukan dalam upaya mencegah adanya ancaman dari dalam (*insider threat*) atau pegawai yang tidak loyal pada kebijakan organisasi. Terkait dengan hak tersebut, setiap pemegang izin wajib melaksanakan Program Keandalan Manusia (PKM) khususnya bagi pegawai yang bekerja di daerah vital, yang di dalamnya terdapat bahan nuklir atau pegawai yang punya akses ke informasi keamanan yang sensitif (PP No. 54, 2012).

Perka BAPETEN No. 1 (2009) juga mensyaratkan adanya evaluasi SPF secara reguler untuk mengantisipasi perubahan ancaman atau kerentanan (*vulnerability*) dari SPF yang ada. Terkait dengan hal tersebut, selama ini BATAN telah menerapkan beberapa metode untuk mengevaluasi SPF, yang semuanya wajib dilakukan dengan mengacu pada aturan yang sudah ditetapkan. Pelaksanaan evaluasi SPF sangat penting dilakukan agar ditemukan titik terlemah dalam penerapan SPF. Dengan demikian, petugas proteksi fisik dapat memberikan rekomendasi usulan kepada manajemen proteksi fisik untuk melakukan peningkatan elemen proteksi fisik melalui tahapan redesain SPF.

Petugas unit pengamanan nuklir melakukan evaluasi proteksi fisik yang mengacu pada latihan *performance testing* dan latihan kontingensi. Hasil yang diperoleh dari kedua kegiatan tersebut dianalisis oleh tim proteksi fisik yang kesimpulannya diperlukan sebagai bahan laporan evaluasi proteksi fisik (Garcia, 2005). Apabila diperoleh hasil *probability effectiveness* (PE) rendah, dilakukan redesain. Kegiatan evaluasi dilakukan dengan menggunakan perangkat dari Standar BATAN-SB 009.1 Tahun 2016 tentang Penilaian Risiko Keamanan (BATAN, 2016). Metode analisis dan evaluasi proteksi fisik yang digunakan, yaitu perangkat lunak *aplikasi Multi Path Estimate Advisory Sequence Interruption* (MPEASI) yang diterbitkan oleh Sandia National Laboratory (SNL)/U.S. Department of Energy (U.S. DOE). Secara keseluruhan, kegiatan evaluasi proteksi fisik mencakup evaluasi

Buku ini tidak diperjualbelikan

terhadap dokumen ancaman dasar desain, dokumen rencana proteksi fisik, rencana kontingensi, *standard operating procedure* (SOP), kelengkapan peralatan proteksi fisik, dan sumber daya manusia (SDM). Selain itu, evaluasi sistem proteksi fisik mengacu pada laporan hasil inspeksi (LHI) BAPETEN serta dalam peraturan tambahan (*additional protocol*) yang disepakati antara pemerintah Indonesia dengan IAEA.

Untuk mendukung tujuan keamanan nuklir supaya efektif, yang dimulai dari penerapan proteksi fisik di lapangan dengan memanfaatkan perangkat keras/proteksi fisik juga perlu diperhatikan peran dari keberadaan faktor manusia. Budaya keamanan yang didukung oleh manajemen, pimpinan dan, personel adalah faktor kunci dari keberhasilan penerapan sistem proteksi fisik. Tanpa kerja sama yang baik di antara ketiga pilar budaya keamanan tersebut maka sulit memperoleh hasil yang maksimal berupa keamanan nuklir yang efektif (IAEA, 2008).

Penilaian terhadap SPF di Indonesia, khususnya di BATAN, juga telah dilakukan oleh IAEA melalui IPPAS Mission. Selama ini, Indonesia telah menerima 3 (tiga) kali IPPAS Mission, yang dimulai tahun 2001, misi tindak lanjut IPPAS tahun 2007 dan 2014. Hasil IPPAS Mission selama ini menunjukkan bahwa SPF yang ada di BATAN tergolong baik. Namun, IPPAS Mission juga memberikan banyak rekomendasi untuk peningkatan efektivitas SPF yang ada.

## E. Penutup

Konvensi proteksi fisik yang merupakan konvensi internasional bersifat wajib bagi Indonesia. Negara bertanggung jawab terhadap penerapan, perawatan, dan evaluasi proteksi fisik. Konvensi proteksi fisik diratifikasi oleh pemerintah Indonesia sebagai infrastruktur legal dalam mengamankan bahan nuklir dan fasilitas nuklir. Selain itu, terdapat rekomendasi yang disiapkan oleh IAEA sebagai acuan bagi negara dalam menerapkan sistem proteksi fisik. Rekomendasi atau pedoman seri keamanan nuklir yang dikeluarkan oleh IAEA merupakan aturan yang tidak mengikat, tetapi rekomendasi dan pedoman tersebut telah diacu oleh BAPETEN sebagai peraturan yang wajib diikuti oleh semua Pemegang Izin bahan nuklir dan fasilitas nuklir.

Sebagai instansi yang memanfaatkan tenaga nuklir dan mengelola bahan nuklir, diwajibkan penerapan sistem proteksi fisik. Desain sistem proteksi fisik harus mengacu kepada ancaman dasar desain, karakteristik fasilitas, identifikasi target/bahan nuklir, serta persyaratan peraturan dan regulasi.

Pada pertengahan tahun 2021, pemerintah membentuk organisasi baru yang diberi nama BRIN (Perpres No. 78, 2021). Organisasi ini telah mengintegrasikan beberapa lembaga penelitian non kementerian (LPNK), termasuk BATAN dan organisasi riset lainnya. Sejak itu, pengelolaan reaktor riset nuklir dan fasilitas ketenaganukliran lainnya, yang sebelumnya berada di bawah BATAN, menjadi tanggung jawab BRIN, termasuk tanggung jawab mengimplementasikan sistem proteksi fisik. Perubahan organisasi dan proses bisnis harus tidak mengganggu atau berakibat melemahkan SPF dan keamanan nuklir pada umumnya terhadap seluruh bahan dan fasilitas nuklir yang ada.

## Daftar Referensi

- Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2016). Penilaian Risiko Keamanan Nuklir. Standar BATAN-SB 009.1.
- Bufford, J. (t.t.) *Convention on the physical protection of nuclear material and the 2005 amendment: Past, present, and future*. Diakses pada 13 Juli, 2022, dari <https://www.nti.org/wp-content/uploads/2022/01/01.-History-and-Development-of-CPPNM-and-A.pdf>
- Garcia, M. L. (2005). *Vulnerability assessment of physical protection system*. Elsevier-Butterworth-Heinemann.
- International Atomic Energy Agency. (2006). Amendment to the convention on the physical protection of nuclear material. *IAEA International Law Series No. 2*. <https://www.iaea.org/publications/7598/amendment-to-the-convention-on-the-physical-protection-of-nuclear-material>
- International Atomic Energy Agency. (2008). Nuclear security culture: Implementing guide. *IAEA Nuclear Security Series No. 7*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1347\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1347_web.pdf)
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security->

- recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc225revision-5
- International Atomic Energy Agency. (2013). Objective and essential elements of a state's nuclear security regime. IAEA Nuclear Security Series No. 20. <https://www.iaea.org/publications/10353/objective-and-essential-elements-of-a-states-nuclear-security-regime>
- International Atomic Energy Agency. (2014). International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) guidelines. *Services Series No. 29*. <https://www.iaea.org/publications/10772/international-physical-protection-advisory-service-ippas-guidelines>
- International Atomic Energy Agency. (2018). Physical protection of nuclear material and nuclear facilities (Implementation of INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 27-G*. <https://www.iaea.org/publications/11092/physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-implementation-of-infcirc225revision-5>
- International Atomic Energy Agency. (2021). Handbook on the design of physical protection systems for nuclear material and nuclear facilities. *IAEA Nuclear Security Series No. 40-T*. <https://www.iaea.org/publications/13459/handbook-on-the-design-of-physical-protection-systems-for-nuclear-material-and-nuclear-facilities>
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2004 tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional. (2004). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/55738/keppres-no-63-tahun-2004>
- Keputusan Menteri Riset dan Teknologi Nomor 112/M/Kp/IX/2004 tentang Obyek Vital Nasional Kementerian Riset dan Teknologi. (2004).
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/178084/perpres-no-78-tahun-2021>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-1-tahun-2009-tentang-ketentuan-sistem-proteksi-fisik-instalasi-dan-bahan-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif. (2015). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-6-tahun-2015-tahun-2015-tentang-keamanan-sumber-radioaktif>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 174/KA/VIII/2015 tentang Obyek Vital Nasional Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2015).

- Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>
- United States Nuclear Regulatory Commission. (t.t.). *Part 73-Physical protection of plants and materials*. Diakses pada 12 Juli, 2022, dari <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part073/full-text.html>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 1978 tentang Pengesahan Perjanjian mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata-senjata Nuklir. (1978). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/undang-undang-nomor-8-tahun-1978-tentang-pengesahan-perjanjian-mengenai-pencegahan-penyebaran-senjata-senjata-nuklir>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 1957 tentang Persetujuan Negara Republik Indonesia Terhadap Anggaran Dasar dari Badan Tenaga Atom Internasional (1957). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/52452/uu-no-25-tahun-1957>

## BAB IV

# Perjalanan Organisasi Pengamanan Nuklir di BATAN

Usup Sudiawan

---

### A. Pendahuluan

Pembentukan dan perkembangan organisasi pengamanan nuklir di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) tidak terlepas dari perkembangan pendayagunaan dan pemanfaatan tenaga nuklir bagi kesejahteraan masyarakat Indonesia. Kegiatan pengembangan teknologi nuklir di Indonesia dimulai dengan pembentukan Panitia Negara untuk Penyelidikan Radioaktiviteit pada tahun 1954. Panitia Negara tersebut diberi tugas menyelidiki kemungkinan jatuhnya bahan radioaktif akibat uji coba senjata nuklir di Laut Pasifik (Peraturan BATAN No. 6, 2020). Mengingat sangat pentingnya tenaga atom bagi Indonesia, melalui Peraturan Pemerintah No. 65 (1958), pada tanggal 5 Desember 1958 dibentuklah Dewan Tenaga Atom dan Lembaga Tenaga Atom (LTA). Sesuai dengan peraturan pemerintah ini, Dewan

---

Usup Sudiawan\*

\*Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: [usudiawan@gmail.com](mailto:usudiawan@gmail.com)

© 2023 Editor dan Penulis

Sudiawan, U. (2024). Perjalanan organisasi pengamanan nuklir di Batan. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir (77–97)*. Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c992, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

Tenaga Atom diberi tugas memberi nasehat kepada Dewan Menteri dalam persoalan politik yang berhubungan dengan perkembangan tenaga atom di Indonesia dan di dunia internasional. Sementara itu, LTA bertugas melaksanakan, mengatur, dan mengawasi penyelidikan dan penggunaan tenaga atom di Indonesia demi keselamatan dan kepentingan umum. Seiring dengan kebutuhan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) nuklir di Indonesia, pemerintah menerbitkan Undang-undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom. Sejalan dengan itu, LTA diubah menjadi Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) agar mendapat dasar kerja yang lebih menjamin terlaksananya program-program untuk kepentingan nasional yang sangat berat dan menjadi bebannya (UU No 31, 1964; PP No. 33, 1965). Dalam perkembangan selanjutnya, untuk menyesuaikan dengan perkembangan keadaan, khususnya tentang independensi pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga atom, UU No. 31 (1964) dicabut dan diganti dengan UU No. 10 (1997).

Terkait dengan keamanan nuklir, UU No. 10 (1997) pasal 16 menyatakan bahwa setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketenteraman, kesehatan pekerja, dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Perintah undang-undang tersebut dijabarkan lebih lanjut ke dalam PP No. 54 (2012) tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Khusus terkait keamanan instalasi nuklir, semua upaya ditujukan untuk

- 1) mencegah penyimpangan terhadap pemanfaatan bahan nuklir dari tujuan damai; dan
- 2) mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan meresponss tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan sabotase instalasi dan bahan nuklir.

Secara teknis, kedua tujuan tersebut dapat diimplementasikan melalui tindakan garda aman (*safeguard*) dan proteksi fisik. Oleh karena itu, untuk penerapan garda aman dan proteksi fisik, semua organisasi pengelola bahan nuklir dan instalasi nuklir (disebut sebagai

Pemegang Izin) harus memiliki kelompok yang melakukan akuntansi bahan nuklir dalam rangka garda aman dan satuan pengamanan nuklir. Hal tersebut untuk tindakan pencegahan dan respons terhadap ancaman keamanan nuklir. Organisasi (satuan atau gugus atau unit) pengamanan nuklir yang terdiri dari personel dengan kompetensi khusus dalam keamanan dan pengamanan nuklir ini merupakan salah satu elemen dalam sistem proteksi fisik selain peralatan dan prosedur.

## **B. Perkembangan Unit Pengamanan Nuklir BATAN**

Sejak berdirinya BATAN, keberadaan personel yang ditugaskan dalam melaksanakan kegiatan pengamanan nuklir telah diimplementasikan dengan beberapa bentuk struktur atau organisasi, dengan nama yang disesuaikan dengan perkembangan peraturan dan kebutuhan organisasi BATAN. Kiprah pertama pengamanan nuklir diawali dengan melaksanakan pengamanan pembangunan reaktor TRIGA Mark II berkapasitas 250 kW di Bandung. Peletakan batu pertama proyek tersebut dilakukan pada 9 April 1961 dan reaktor mulai beroperasi pada tanggal 20 Februari 1965. Pada saat itu, satuan pengamanan nuklir BATAN bernama Pasukan Pengamanan Instalasi Nuklir (Pasmanin). Personel Pasmanin mendapat bekal pengetahuan dan keterampilan, tidak hanya dalam bidang kenukliran tapi juga pertahanan dan keamanan. Untuk itu, personel Pasmanin dididik di Pusat Pendidikan dan Pelatihan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Darat, Cimahi, Bandung dengan lama pendidikan enam bulan.

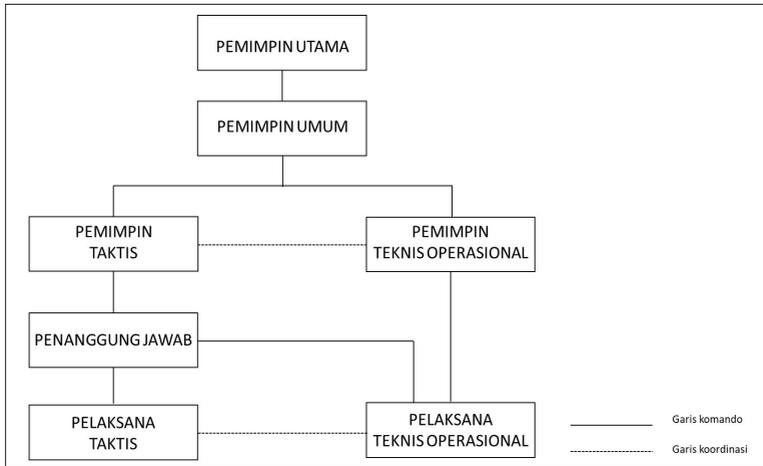
Kiprah Pasmanin selanjutnya diuji dengan diberikannya tugas mengamankan proyek pembangunan reaktor nuklir kedua, rencana dibangun di Desa Setu, Kecamatan Serpong, Kabupaten Tangerang, Jawa Barat (sebelum menjadi Banten) tahun 1962. Pada proyek ini, Indonesia bekerja sama dengan Uni Soviet membangun reaktor jenis IRT-2000 yang merupakan teknologi dari Uni Soviet. Namun, proyek pembangunan reaktor di Serpong tidak dilanjutkan sampai selesai karena perkembangan situasi politik saat itu yang mengakibatkan seluruh kerja sama negara Uni Soviet-Indonesia dihentikan, termasuk kerja sama teknik pembangunan reaktor di Serpong.

Kegairahan pengembangan iptek nuklir bangkit kembali pada tahun 1970-an, ditandai dengan pembangunan beberapa fasilitas penelitian dan pengembangan (litbang) yang tersebar di berbagai pusat litbang, antara lain, Pusat Penelitian Tenaga Atom Pasar Jumat, Jakarta (1966), Pusat Penelitian Tenaga Atom GAMA, Yogyakarta (1967), dan mencapai puncaknya pada pembangunan Kawasan Nuklir Serpong (KNS) di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Puspiptek) di Tangerang pada awal tahun 1980-an. Pada pembangunan KNS, di dalamnya dibangun Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy berkapasitas 30 MW termal beserta laboratorium pendukungnya (disebut sebagai proyek RSG-LP). Dalam berbagai proyek pembangunan tersebut, peran satuan pengaman nuklir sangat penting, khususnya saat pembangunan KNS (proyek RSG-LP) mengingat banyak laboratorium yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, satuan pengamanan nuklir pernah beberapa kali berganti nama. Periode awal setelah BATAN berdiri, satuan pengamanan BATAN dinamakan Pasmanin. Pada sekitar tahun 1980, Pasmanin berganti nama menjadi Pengawasan dan Pengamanan BATAN (Waspam BATAN). Seperti pada periode sebelumnya yang mendapat pelatihan khusus dalam hal pertahanan dan keamanan, personel Waspam juga mendapat pelatihan di Badan Intelijen Strategis ABRI (BAIS ABRI). Kerja sama pelatihan tersebut berjalan sampai dengan tahun 1992. Setelah itu, berdasarkan Keputusan Kepala BATAN No. 149/KA/V/2000 (2000), sesuai dengan perubahan struktur organisasi BATAN, Waspam BATAN berubah menjadi Gugus Keamanan dan Ketertiban Nuklir BATAN (Guskamtib Nuklir BATAN). Dengan mempertimbangkan perkembangan struktur organisasi dan kegiatan di BATAN, tugas pokok, fungsi, peran, struktur, dan tata kelola Guskamtib Nuklir diperbaharui dengan Keputusan Kepala BATAN No. 539/KA/XI/2004 (2004). Sesuai dengan keputusan tersebut, Guskamtib Nuklir BATAN adalah gugus pegawai BATAN yang kedudukan dan tugasnya bertanggungjawab dalam hal pengamanan dan pemeliharaan ketertiban pada instalasi dan bahan nuklir di lingkungan BATAN. Penanggung jawab teknis operasional Guskamtib Nuklir BATAN, secara berturut-turut, yaitu Kepala Bagian

Pengamanan, Kepala Subbagian Pengamanan Instalasi Nuklir dan Kepala Subbagian Pengamanan Dalam dengan dibantu oleh Kepala Unit Pengamanan Nuklir, penata, pengatur, petugas pengamanan, serta penata dan operator BATAN *Security System* (BSS BATAN).

Untuk menyesuaikan dengan regulasi baru dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), khususnya Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2009 (2009), pada tahun 2014 tata kelola pengamanan nuklir di BATAN juga diubah dan diikuti dengan perubahan nama menjadi Gugus Keamanan Nuklir BATAN (Guskamnuk BATAN) (Perka BATAN No.22, 2014). Sesuai Perka BATAN tersebut, tugas pokok Guskamnuk BATAN, yaitu melaksanakan pemeliharaan ketertiban, pengelolaan keamanan, dan pengamanan nuklir. Guskamnuk BATAN berperan sebagai pengemban fungsi kepolisian, terbatas dalam pemeliharaan ketertiban, pengelolaan keamanan dan pengamanan nuklir, penegakan peraturan perundang-undangan, menumbuhkembangkan kesadaran, kewaspadaan, dan budaya keamanan nuklir. Untuk melaksanakan tugas pokok dan komitmen organisasi terhadap pengamanan nuklir yang melaksanakan fungsi proteksi fisik, struktur pengelola pengamanan nuklir di BATAN melibatkan unsur pimpinan di tingkat eselon II dan eselon I. Pada 2016, Perka BATAN No. 22 tahun 2014 diganti dengan Perka BATAN No. 13 (2016). Tugas pokok dan peran serta struktur organisasi Guskamnuk BATAN tidak berubah kecuali nomenklatur yang digunakan. Struktur organisasi Guskamnuk BATAN ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Sumber: Perka BATAN No. 13 (2016)

**Gambar 4.1** Struktur Organisasi Gugus Keamanan Nuklir BATAN

Dalam organisasi tersebut, Pemimpin Utama adalah Kepala BATAN, Pemimpin Umum adalah Sekretaris Utama, dan Pemimpin Taktis serta Pemimpin Teknis Operasional adalah eselon II terkait. Salah satu Pelaksana Teknis Operasional adalah Kepala Unit Pengamanan Nuklir (UPN) yang ada di setiap unit kerja yang memiliki instalasi nuklir, bahan nuklir, dan zat radioaktif. Setiap Kepala UPN bertanggung jawab terhadap keamanan dan keselamatan nuklir, bersama-sama dengan personel dari bagian keselamatan radiasi dan kerja.

Koordinasi pengamanan nuklir di setiap kawasan nuklir dengan aparat pertahanan dan keamanan setempat senantiasa dijalankan. Sebagai contoh, selama masa pandemi Covid-19, saat kerawanan dipandang meningkat, sinergi penjagaan keamanan nuklir dengan aparat dari Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) dan Tentara Nasional Indonesia (TNI) setempat juga ditingkatkan (Bantensatu, 2020). Gambar 4.2 merupakan dokumentasi pertemuan koordinasi di antara BATAN, TNI, dan Polri untuk memperkuat keamanan selama pandemi.



Foto: Dokumentasi BATAN (2020)

**Gambar 4.2** Koordinasi Keamanan Nuklir antara BATAN, TNI, dan Polri

Saat integrasi BATAN ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pada tahun 2021, satuan pengamanan nuklir yang digunakan adalah Pengamanan Nuklir di bawah Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK) BRIN (Peraturan BRIN No. 1, 2021). Dengan dibentuknya BRIN, semua instalasi nuklir berada di bawah DPFK sehingga komando pengamanan nuklir dapat menjadi satu di Koordinator Pengamanan Nuklir sebagai pelaksana fungsi pengamanan nuklir.

### C. Pelatihan Kompetensi Personel Pengamanan Nuklir

Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 (2009) mewajibkan bahwa setiap unsur dalam organisasi proteksi fisik harus memiliki kualifikasi yang sesuai dengan tugasnya. Sebagai contoh, seorang Penjaga—merupakan anggota satuan pengamanan yang diberi tanggung jawab untuk melakukan patroli, pemantauan, penilaian, pengawalan terhadap seseorang atau pengangkutan, pengendalian akses, dan untuk melakukan responss awal—harus mempunyai kualifikasi telah mengikuti pelatihan

- 1) dasar pengamanan,
- 2) proteksi fisik,

- 3) proteksi radiasi,
- 4) pengetahuan intelijen, dan
- 5) rencana kontingensi.

Terkait persyaratan kompetensi unsur dalam pengamanan nuklir tersebut, BATAN juga telah menunjukkan komitmen dengan mensyaratkan bahwa setiap unsur dalam Guskamnuk BATAN harus memiliki kompetensi dalam keselamatan dan keamanan nuklir sesuai dengan tingkat tanggung jawabnya, terutama dari unsur Penanggung Jawab dan Pelaksana (Perka BATAN No. 13, 2016). Pada dasarnya, kompetensi tersebut diperoleh melalui pelatihan, kursus, lokakarya, *workshop*, dan kegiatan sejenis lainnya. Selain itu, terdapat pula pelatihan khusus yang harus diikuti oleh unsur Guskamnuk BATAN. Tabel 4.1 memperlihatkan pelatihan khusus yang harus diikuti oleh unsur Guskamnuk BATAN, dan Tabel 4.2 merupakan isi dari setiap pelatihan yang dimaksud dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Pelatihan khusus yang harus diikuti penanggung jawab dan pelaksana.

No.	Nama Jabatan dalam Guskamnuk BATAN	Nama Pelatihan
1	Penanggung Jawab Kepala Bagian Keamanan dan Pengamanan Nuklir	Pelatihan A
2	Pelaksana Taktis 1 ) Kepala Subbagian Keamanan Nuklir 2 ) Kepala Subbagian Pengamanan Instalasi Nuklir 3 ) Analis 4 ) Penyusun bahan	Pelatihan A Pelatihan A Pelatihan B Pelatihan C
3	Pelaksana Teknis Operasional 1 ) Kepala Unit Pengamanan Nuklir 2 ) Kepala Subbagian Pengamanan Dalam 3 ) Analis 4 ) Komandan Regu 5 ) Petugas Pengamanan Instalasi Nuklir	Pelatihan A Pelatihan A Pelatihan B Pelatihan B Pelatihan C

Sumber: Perka BATAN No. 13 (2016)

**Tabel 4.2** Nama Pelatihan Pengamanan Nuklir

No	Nama Pelatihan		
	Pelatihan A	Pelatihan B	Pelatihan C
1	Keamanan Nuklir Tingkat Dasar	Keamanan Nuklir Tingkat Dasar	Keamanan Nuklir Tingkat Dasar
2	Keamanan Nuklir Tingkat Lanjutan	Keamanan Nuklir Tingkat Lanjutan	Satuan Pengamanan Tingkat Dasar
3	Keamanan Nuklir Tingkat Utama	Satuan Pengamanan Tingkat Dasar	Proteksi Radiasi
4	Satuan Pengamanan Tingkat Dasar	Satuan Pengamanan Tingkat Lanjutan	Pemadam Kebakaran
5	Satuan Pengamanan Tingkat Lanjutan	Proteksi Radiasi	X
6	Satuan Pengamanan Tingkat Utama	Pemadam Kebakaran	X
7	Proteksi Radiasi	X	X
8	Pemadam Kebakaran	X	X

Sumber: Perka BATAN No. 13 (2016)

Pelatihan yang terdapat pada Tabel 4.2 sebagian besar dilakukan di Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Di samping itu, masih ada berbagai pelatihan yang diterima oleh personel pengamanan nuklir untuk topik-topik teknis tertentu, seperti

- 1) sistem proteksi instalasi dan bahan nuklir,
- 2) Petugas Keamanan Sumber Radioaktif (PKSR),
- 3) ancaman dasar desain (ADD) atau *design basis threat* (DBT),
- 4) transportasi bahan nuklir dan sumber radioaktif,
- 5) pengoperasian sistem proteksi fisik,
- 6) perawatan dan perbaikan peralatan proteksi fisik,
- 7) sistem integrasi proteksi fisik, dan
- 8) *performance testing*.

Pelatihan-pelatihan tersebut diselenggarakan oleh BATAN atau BAPETEN. Selain keahlian dalam keamanan nuklir, personel pengamanan nuklir juga dibekali dengan pengetahuan dan kompetensi

dalam keamanan secara umum. Untuk itu, BATAN bekerja sama dengan Polri dalam menyelenggarakan pelatihan, sebagai berikut:

- 1) garda pratama (tingkat dasar),
- 2) garda madya (tingkat lanjutan),
- 3) garda utama (manajer pengamanan), dan
- 4) pengamanan obyek vital nasional.

Demi menjaga serta menambah kompetensi dan pengetahuan agar setara dengan personel pengamanan di tingkat regional dan internasional, berbagai pelatihan juga dapat diperoleh dari International Atomic Energy Agency (IAEA) dan beberapa negara lain melalui kerja sama bilateral, baik diadakan di Indonesia maupun di negara lain. Pada umumnya, pelatihan tersebut juga termasuk pembekalan pengetahuan terkait standar, panduan, dan peraturan baru tentang keamanan nuklir internasional.

#### **D. Penerapan dan Pengembangan Sistem Proteksi Fisik di Batan**

Sistem proteksi fisik terdiri atas kumpulan peralatan, instalasi, personel, dan program/prosedur yang secara bersama-sama memberikan proteksi terhadap instalasi dan bahan nuklir yang bertujuan untuk

- 1) mencegah pemindahan bahan nuklir secara tidak sah;
- 2) menemukan kembali bahan nuklir yang hilang;
- 3) mencegah sabotase terhadap instalasi dan bahan nuklir; dan
- 4) memitigasi konsekuensi yang ditimbulkan sabotase.

Pembangunan KNS tidak hanya membangun fasilitas untuk penelitian nuklir yang canggih di masa itu, tetapi juga didukung dengan pembangunan sistem proteksi fisik atau pengamanan nuklir yang terintegrasi. Penerapan sistem proteksi fisik di KNS BATAN diawali dengan dibangunnya fasilitas ruang kendali keselamatan dan keamanan pada tahun 1988, selanjutnya disebut BSS BATAN. BSS BATAN merupakan sistem keamanan BATAN yang menggunakan berbagai perangkat peralatan proteksi fisik (seperti sistem deteksi, sistem surveilans, sistem akses, dan pengumpul data) terintegrasi dan

dipantau dalam satu sistem pemantauan yang disebut *central alarm system* (CAS). BSS BATAN mulai beroperasi tahun 1992 dan menjadi model pengembangan sistem proteksi fisik di kawasan nuklir lainnya di Indonesia. Pada tahun 2006, sistem proteksi fisik KNS diperbarui dengan dukungan dari United State-Department of Energy (US-DoE), termasuk di antaranya sistem deteksi, akses masuk, penambahan dan penggantian *close circuit television* (CCTV) dan CAS. Gambar 4.3 memperlihatkan piranti CAS yang mengalami peremajaan dan modernisasi. Pengembangan sistem proteksi fisik ini juga dilakukan pada tahun 2010 dan setelah melalui serangkaian kegiatan evaluasi bersama US-DoE di tahun 2015, sistem proteksi fisik di beberapa lokasi yang menyimpan bahan nuklir kategori II, kembali diperbarui agar memenuhi persyaratan yang tertuang dalam Information Circular (INFCIRC) IAEA nomor INFCIRC/225/Revisi 5 (IAEA, 2011). Gambar 4.4 memperlihatkan CAS di Kawasan Nuklir Pasar Jumat.



Keterangan: (a) CAS Lama dan (b) CAS yang Telah Dimodernisasi

Foto: Dokumentasi BATAN (t.t.)

**Gambar 4.3** CAS di Kawasan Nuklir Serpong



Foto: Dokumentasi BATAN (2022)

**Gambar 4.4** CAS di Kawasan Nuklir Pasar Jumat

Untuk memenuhi persyaratan IAEA terbaru tersebut, personel pengamanan nuklir juga mendapatkan pelatihan agar lebih memahami perubahan persyaratan yang ada.

Sesuai dengan rekomendasi tim International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) IAEA yang melakukan inspeksi pada tahun 2001, BSS BATAN difokuskan pada fungsi sistem keamanan, sedangkan sistem keselamatan dikembalikan ke masing-masing instalasi. Rekomendasi diperkuat dengan diterbitkannya pedoman IAEA INFCRC/225/Revisi 4 (1999) yang mengatur tentang ketentuan sistem proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir yang harus diimplementasikan seluruh fasilitas nuklir negara-negara anggota IAEA.

Babak baru penguatan penerapan proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir ditandai dengan terbitnya Perka BAPETEN No. 1 (2009). Dikeluarkannya peraturan ini bertujuan untuk memastikan pelaksanaan sistem proteksi fisik terhadap instalasi dan bahan nuklir di Indonesia dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Sebagaimana dijelaskan dalam peraturan tersebut, Pemegang Izin wajib menetapkan, menerapkan, dan merawat sistem proteksi fisik terhadap instalasi dan bahan nuklir berdasarkan ancaman dasar desain lokal. Hal ini bertujuan mencegah pemindahan secara tidak sah terhadap bahan nuklir, menemukan kembali bahan nuklir yang hilang, mencegah

sabotase terhadap instalasi dan bahan nuklir, serta memitigasi konsekuensi yang ditimbulkan sabotase. Kewajiban ini secara tidak langsung sekaligus mengharuskan Guskam nuk BATAN untuk lebih memperkuat dan meningkatkan kompetensi personelnya dalam hal pengoperasian, perawatan, dan pengembangan sistem proteksi fisik.

Tahun 2010, BAPETEN mulai melakukan inspeksi sistem proteksi fisik di seluruh fasilitas nuklir BATAN, mengevaluasi sistem proteksi fisik di tiga reaktor nuklir BATAN (Bandung, Yogyakarta, dan Serpong) yang meliputi kecukupan persyaratan manajemen keamanan nuklir dan tiga fungsi utama sistem proteksi fisik, yaitu sistem deteksi, penundaan (*delay*), dan responss, termasuk waktu responss. Dari hasil setiap inspeksi tersebut, BATAN senantiasa berupaya melakukan perbaikan sistem proteksi fisik.

Sejalan dengan isu keamanan nuklir yang makin mengemuka, tidak hanya di tingkat nasional tapi juga di dunia, BATAN mengeluarkan Perka BATAN Nomor 21 (2014), yang mengatur rincian tugas unit kerja di BATAN dan memperluas tugas dan fungsi keamanan nuklir. Dalam tugas dan fungsi yang baru, keamanan nuklir mencakup hal-hal sebagai berikut.

- 1) pelaksanaan penelaahan aspek teknis operasional konvensi internasional di bidang keamanan nuklir; dan
- 2) pelaksanaan pengamanan instalasi dan bahan nuklir serta pengamanan dalam.

Dalam hal pengamanan instalasi nuklir, pelaksanaan tugas teknis yang dibebankan pada pelaksana taktis maupun teknis operasional, khususnya yang ada di Unit Pengamanan Nuklir, di antaranya

- 1) melakukan analisis potensi ancaman;
- 2) melakukan perencanaan dan pengelolaan pelaksanaan pengamanan instalasi dan bahan nuklir yang meliputi
  - a) sistem pengaturan, penjagaan, pengawalan, dan patroli di lingkungan BATAN;

- b) sistem proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir di lingkungan BATAN; dan
  - c) sistem keamanan sumber radioaktif di lingkungan BATAN.
- 3) melakukan pengamanan dan penjagaan terhadap kawasan kerja, sarana penelitian, bahan nuklir dan non nuklir, kegiatan dan personel secara fisik, dan/atau melalui sistem pengamanan BATAN di setiap fasilitas atau kawasan nuklir;
  - 4) melakukan pengamanan dan pengawasan terhadap pengangkutan peralatan dan bahan bakar nuklir serta bahan lain;
  - 5) melakukan tindakan atas reaksi sistem pengamanan dalam penanggulangan kedaruratan nuklir dan non nuklir;
  - 6) melakukan pengembangan sistem proteksi fisik instalasi bahan nuklir dan sumber radioaktif; dan
  - 7) melakukan pengoperasian, pemeliharaan, perbaikan, dan pengujian peralatan sistem pengamanan termasuk BSS BATAN.

Untuk memperkuat sistem proteksi fisik, seperti telah disinggung di atas, personel pengamanan nuklir juga mendapat pelatihan (*workshop*), termasuk yang berkaitan dengan rencana kontingensi dan *performance testing*. *Performance testing* bertujuan untuk mengkaji apakah sistem pengamanan, baik yang berupa peralatan, prosedur, maupun personel, dapat berfungsi baik dan berkinerja sesuai target yang ditetapkan dalam perancangan sistem pengamanan untuk mengantisipasi kemungkinan gagalnya sistem proteksi fisik oleh penyusup dari luar (*intruder*) serta responss sistem dan personel pengamanan. Pelatihan dan pengujian langsung di lapangan telah dilakukan beberapa kali, terakhir pada tahun 2015 di KNS.

## E. Kiprah dan Kontribusi Personel Pengamanan Nuklir

Untuk sistem proteksi fisik dan kompetensi personel dalam keamanan nuklir, BATAN telah melakukan kerja sama terkait keamanan nuklir dan sistem proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir. Selain itu, BATAN

juga melakukan kerja sama untuk peningkatan budaya keamanan dengan perguruan tinggi dan pemangku kepentingan tingkat nasional, regional dan internasional, khususnya dengan IAEA. Kegiatan tersebut berupa kerja sama pelatihan, bantuan peralatan, pertukaran pakar, seminar, *focus group discussion*, dan riset bersama terkait keamanan nuklir.

Kerja sama dengan perguruan tinggi, salah satunya ialah dengan memberikan kesempatan pemagangan kepada mahasiswa. Beberapa mahasiswa Universitas Gadjah Mada telah melakukan pemagangan di Center for Security Culture and Assessment (CSCA) dan berkesempatan terlibat secara langsung dalam kegiatan kaji diri penerapan budaya keamanan di BATAN, dari persiapan hingga perumusan hasil. Kerja sama juga dilakukan dengan Responsible Care Indonesia (RCI), sebuah lembaga swadaya masyarakat (LSM) yang bergerak di bidang keamanan bahan kimia. Dengan kerja sama tersebut, dibahas sinergi dan sinkronisasi keamanan bahan kimia dan nuklir bahkan dapat diperluas ke pembahasan bidang lain, seperti keamanan biologi. Kerja sama dalam pengembangan sumber daya manusia di bidang keamanan nuklir, dilakukan melalui pelaksanaan beberapa pelatihan dan workshop antara tingkat regional dan internasional, yaitu bersama IAEA, US-DoE, Center for International Trade and Security-University of Georgia (CITS-UGA), King's College London (*joint workshop*), dan Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security/Japan Atomic Energy Agency (ISCN/JAEA). Dalam hal ini, personel pengamanan nuklir terlibat sebagai pengajar maupun peserta.

Dalam rangka penguatan pengamanan nuklir dan pemenuhan salah satu persyaratan keamanan nuklir, BATAN melaksanakan program pertumbuhkembangan budaya keamanan. Salah satu tonggak pentingnya adalah dengan dibentuknya CSCA di BATAN dengan dukungan IAEA dan CITS-UGA, Amerika Serikat. Inaugurasi CSCA dilakukan pada tahun 2014. CSCA tidak hanya terdiri dari personel Guskamnuk BATAN, tetapi juga personel lain yang berasal dari berbagai unit kerja dan latar belakang keahlian yang ditugaskan untuk

menjalankan kegiatan CSCA. Salah satu kegiatan yang menonjol adalah pelaksanaan kaji diri penerapan budaya keamanan. CSCA diakui sebagai salah satu inisiatif penting Indonesia dalam hal budaya keamanan nuklir sehingga wakil CSCA sering kali diundang pada acara pertemuan internasional untuk berbagi ide dan pengalaman. Di sisi lain, untuk memperkuat kompetensi personel pengamanan nuklir, pada 2019, telah dibangun fasilitas baru untuk pelatihan dan praktikum dalam bidang keamanan nuklir di KNS yang disebut Nuclear Security Support Center (NSSC), Training Laboratory BATAN (Gambar 4.5). Fasilitas ini disiapkan untuk kegiatan berskala nasional, regional, juga internasional, mengingat BATAN beberapa kali telah menjadi tempat untuk *regional training course* dalam keamanan nuklir.

Personel Guskamnuk BATAN berbekal keahlian khusus dan dilibatkan dalam kegiatan penting terkait keamanan nuklir, baik di tingkat nasional, regional, maupun internasional. Pada tahun 2020, saat kegiatan dekontaminasi area yang terkontaminasi bahan radioaktif tidak bertuan (*orphan source*) di salah satu perumahan di Tangerang Selatan, Guskamnuk BATAN terlibat aktif dalam pengamanan lokasi dan masyarakat sekitar serta koordinasi dengan personel TNI-Polri untuk penelaahan kejadian. Dalam hal riset, sebagian personel Guskamnuk BATAN juga terlibat dalam kegiatan riset bersama yang didukung oleh IAEA melalui *Coordinated Research Project* (CRP) di bidang forensik dan *insider threat*.



Foto: Dokumentasi BRIN (2021)

**Gambar 4.5** Peserta Pelatihan di Depan Gedung NSSC, Training Laboratory BATAN.

## F. Kedaruratan Nuklir

Pemegang Izin, sebagai pihak yang bertanggung jawab terhadap keselamatan dan keamanan instalasi dan bahan nuklir, diharuskan untuk selalu mempertimbangkan kemungkinan terjadinya kedaruratan nuklir, yaitu kejadian yang mengakibatkan penyebaran bahan nuklir dan zat radioaktif ke lingkungan yang dapat membahayakan masyarakat maupun lingkungan alam. Sesuai PP No. 54 (2012), keselamatan dan keamanan instalasi nuklir mencakup pula kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir. Kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir diklasifikasikan ke dalam tingkat instalasi, provinsi, dan nasional. Pada tingkat instalasi, Pemegang Izin harus menyusun program kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir tingkat instalasi. Di sisi lain, bersama dengan BAPETEN, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) atau Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan pemangku kepentingan lainnya, Pemegang Izin turut serta menyusun program kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan tingkat provinsi dan nasional. Untuk memastikan program kesiapsiagaan nuklir tingkat instalasi dapat dilaksanakan, Pemegang Izin wajib menyelenggarakan pelatihan dan

gladi kedaruratan nuklir. Penanggulangan kedaruratan, seandainya diperlukan, dilaksanakan berdasarkan program kesiapsiagaan yang telah diuji melalui pelatihan dan gladi kedaruratan tersebut.

Kondisi kedaruratan nuklir dapat terjadi oleh berbagai penyebab, termasuk dari aspek keamanan, misalnya ada sabotase atau pencurian bahan nuklir. Dalam konteks penanggulangan kedaruratan tingkat instalasi, Guskamnuk BATAN termasuk yang bertugas sebagai pemadam kebakaran, menjadi bagian dari tim penanggulangan kedaruratan dari sisi keamanan. Gambar 4.6 mengilustrasikan pelaksanaan gladi kedaruratan nuklir yang pelaksanaannya bekerja sama dengan aparat Polri dan TNI. Pelaksanaan program kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, khususnya di KNS, diatur dalam Program Kesiapsiagaan Nuklir Kawasan Nuklir Serpong (Perka BATAN No. 184/KA/IX/2012, 2012), dan Perka BATAN No. 14 (2016) yang berlaku untuk semua Kawasan Nuklir.



Foto: Dokumentasi BATAN (t.t.)

**Gambar 4.6** Ilustrasi Gladi Kedaruratan Nuklir

## G. Penutup

Sistem proteksi fisik merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan dan harus terintegrasi bersinergi antara subsistem dan unsur-unsurnya (manusia, teknologi dan prosedur), serta saling menguatkan untuk mencapai satu tujuan dalam mencegah tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah serta tindakan sabotase instalasi dan bahan nuklir. Penyediaan sistem proteksi fisik juga merupakan salah satu persyaratan bagi Pemegang Izin instalasi dan bahan nuklir. Mengingat kebutuhan sistem proteksi fisik bergantung pada jenis dan lingkup

kegiatan yang melibatkan instalasi dan bahan nuklir, persyaratan dan ancaman (internal maupun eksternal) kegiatan keamanan nuklir—pada umumnya—dan gugus pengamanan nuklir yang melakukan pengelolaan sistem proteksi fisik di BATAN—pada khususnya—juga berkembang mengikuti perubahan berbagai lingkungan strategis tersebut, terutama terkait kondisi keamanan, baik nasional atau pun internasional. Kerawanan sosial akibat situasi politik dan ekonomi nasional dapat memberikan ancaman langsung terhadap instalasi dan bahan nuklir. Di sisi lain, keamanan internasional, meski tidak berdampak langsung, tetap harus diantisipasi karena kemungkinan akan berpengaruh pada aspek kebijakan politik terkait bahan nuklir. Sebagai contoh, perang yang kerap terjadi antara dua negara Eropa, yakni Rusia dan Ukraina, tidak hanya memengaruhi stabilitas kedua negara yang terlibat, tetapi juga memengaruhi stabilitas global, baik dalam bidang ekonomi, sosial, dan politik, yang tentunya berdampak pada Indonesia (Azanella, 2022). Hal-hal tersebut perlu dipahami bagi pengelola keamanan nuklir dan satuan pengamanan nuklir pada khususnya.

Dari aspek internal organisasi, perubahan organisasi dari BATAN ke BRIN turut mengubah organisasi pengamanan nuklir. Berdasarkan rentang kendali yang lebih lebar—meliputi semua fasilitas ketenaganukliran di BRIN, tingkat kerawanan, ancaman, dan hubungan dengan mitra keamanan eksternal—pengembalian bentuk struktural organisasi pengamanan penting untuk dipertimbangkan, misalnya sebagai struktur eselon III. Hal ini agar jalur komando dapat berjalan efektif di kelompok yang menjalankan operasi keamanan atau proteksi fisik. Keuntungan lain dalam bentuk struktural adalah hubungan dengan institusi pengamanan di luar, khususnya dari pihak kepolisian karena akan terlihat kesetaraan di antara kedua organisasi pengamanan.

Tantangan lain di pengamanan nuklir adalah berkurangnya SDM pengamanan yang disebabkan oleh karena purnabakti, promosi jabatan dan pindah ke bidang lain menjadi tantangan tersendiri bagi pelaksanaan pengamanan nuklir di seluruh fasilitas nuklir yang

sekarang dikelola oleh BRIN. Teknologi tidak cukup signifikan dalam menggantikan kehadiran personel pengamanan nuklir untuk mengamankan instalasi dan bahan nuklir yang bernilai strategis. Pada tahun 1980-an personel pengamanan nuklir di seluruh instalasi nuklir BATAN kurang lebih berjumlah 350 personel, pada saat ini hanya tinggal 110 personel atau 30,5% dari jumlah semula pada saat itu. Mengingat pula bahwa SDM pengamanan nuklir harus memiliki kompetensi spesifik yang tidak dimiliki sebarang institusi dan yang ditangani adalah termasuk obyek vital milik negara maka penambahan pegawai melalui jalur Aparatur Sipil Negara untuk mengisi tugas sebagai personel pengamanan nuklir perlu menjadi prioritas. Alternatif yang lain apabila hal itu tidak dimungkinkan adalah dengan melakukan kerja sama dengan institusi Polri atau TNI yang selama ini juga memiliki satuan yang terkait dengan keamanan nuklir seperti detasemen Nubika (nuklir, biologi dan kimia) dapat diujjahi.

## Daftar Referensi

- Azanella, L. A. & Pratiwi I. E. (2022). 3 dampak perang Rusia-Ukraina bagi Indonesia. *Kompas.com*. <https://www.kompas.com/tren/read/2022/02/25/183000965/3-dampak-perang-rusia-ukraina-bagi-indonesia>
- Peraturan Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 6 Tahun 2020 tentang Rencana Strategis Badan Tenaga Nuklir Tahun 2020-2024. (2020). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/181591/peraturan-batan-batan-no-6-tahun-2020>
- Bantensatu. (2020, 28 Agustus). BATAN sosialisasi instalasi dan fasilitas kawasan nuklir. (2020). *BANTEN SATU*. <https://bantensatu.co/2020/08/28/batan-sosialisasi-instalasi-dan-fasilitas-kawasan-nuklir/>
- International Atomic Energy Agency. (1999). The physical protection of nuclear material and nuclear facilities. *INFCIRC/225/Rev.4 (Corrected)*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc225r4c.pdf>
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infirc225revision-5>

- Keputusan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 149/KA/V/2000 tentang Gugus Keamanan dan Ketertiban Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2000).
- Keputusan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 539/KA/XI/2004 tentang Gugus Keamanan dan Ketertiban Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2004)
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 65 tahun 1958 tentang Dewan Tenaga Atom dan Lembaga Tenaga Atom. (1958). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/76639/pp-no-65-tahun-1958>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 tahun 1965 tentang Dewan Tenaga Atom dan Badan Tenaga Atom Nasional. (1965). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/71428/pp-no-33-tahun-1965>
- Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-1-tahun-2009-tentang-ketentuan-sistem-proteksi-fisik-instalasi-dan-bahan-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 184/KA/IX/2012 tentang Program Kesiapsiagaan Nuklir Kawasan Nuklir Serpong. (2012).
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 21 Tahun 2014 tentang Rincian Tugas Unit Kerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2014). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/181951/perka-batan-no-21-tahun-2014>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 22 Tahun 2014 tentang Gugus Keamanan Nuklir. (2014). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/182006/perka-batan-no-22-tahun-2014>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 13 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Gugus Keamanan Nuklir. (2016). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/182004/perka-batan-no-13-tahun-2016>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 14 Tahun 2016 tentang Program Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir. (2016). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/182010/perka-batan-no-14-tahun-2016>

- Peraturan Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 6 Tahun 2020 tentang Rencana Strategis Badan Tenaga Nuklir Tahun 2020-2024. (2020). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/181591/peraturan-batan-batan-no-6-tahun-2020>
- Peraturan Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 1 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/267522/peraturan-brin-no-1-tahun-2021>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom. (1964). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/50390/uu-no-31-tahun-1964>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. (1997). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/undang-undang-republik-indonesia-nomor-10-tahun-1997-tentang-ketenaganukliran>

# Peran Forensik Nuklir dalam Keamanan Nuklir

Jan Setiawan, Dwi Agus Wrihatno, & Agus Sumaryanto

## A. Pendahuluan

Berdasarkan data dari International Atomic Energy Agency (IAEA), di tahun 2021 telah dilaporkan 120 kejadian terkait penyalahgunaan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang didaftarkan dalam *incident and trafficking database* (ITDB) oleh 32 negara (IAEA, 2022). Dalam ITDB, kejadian yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu

- 1) kelompok I, untuk kejadian yang merupakan, atau yang terkait dengan penyelundupan atau penyalahgunaan;
- 2) kelompok II, untuk kejadian dengan maksud yang tidak bisa ditentukan; dan
- 3) kelompok III, untuk kejadian yang bukan, atau tidak terkait dengan penyelundupan atau penyalahgunaan.

---

Jan Setiawan\*, Dwi Agus Wrihatno, & Agus Sumaryanto

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), e-mail: jans002@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Setiawan, J., Wrihatno, D. A., & Sumaryanto, A. (2024). Peran forensik nuklir dalam keamanan nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (99–121). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c993, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

Dari tahun 1993 hingga 2021, telah terjadi kejadian yang dilaporkan sebanyak 3.928 kejadian, dengan 320 kejadian untuk kelompok I, 1.034 kejadian untuk kelompok II, dan terbanyak pada kelompok III yang dilaporkan sebanyak 2.574 kejadian. Beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan kejadian terkait pendeteksian pada barang produksi untuk rumah tangga yang terkontaminasi dengan zat radioaktif. Hal ini menunjukkan adanya masalah yang belum terselesaikan di sebagian negara dalam mengamankan dan mendeteksi pembuangan sumber radioaktif yang tidak berizin. Sumber yang paling umum menyebabkan kontaminasi adalah bahan umpan (berupa logam) untuk memproduksi barang rumah tangga tersebut. Sebagian besar bahan umpan diperoleh dari industri daur ulang logam. Dalam prosesnya, dilakukan peleburan dan terjadi kontaminasi dari sumber radioaktif yang tidak terdeteksi, seperti kobalt-60. Kejadian ini menghasilkan logam yang terkontaminasi dan apabila digunakan untuk memproduksi peralatan rumah tangga akan sangat berpotensi mengganggu kesehatan penggunaannya.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sangat strategis, dilalui jalur lalu lintas perdagangan dunia. Sebagai negara kepulauan, lalu lintas perdagangan secara nasional banyak melalui jalur laut. Indonesia memiliki akses yang terbuka lebar untuk keluar masuk perdagangan internasional melalui pelabuhan. Tidak semua pelabuhan di Indonesia memiliki perangkat *radiation portal monitor* (RPM) untuk memantau bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya. Kondisi ini merupakan salah satu ancaman sistem keamanan nuklir di Indonesia yang menjadi sumber terjadinya penyelundupan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya. Perlu dipahami, kegagalan sistem keamanan nuklir tidak hanya disebabkan dari dalam negeri, tapi juga sangat memungkinkan berasal dari luar negeri yang memiliki dampak bagi Indonesia. Peristiwa yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya selalu mendapat perhatian masyarakat internasional, terutama dampak radiologinya bagi makhluk hidup dan lingkungan (Apikyan & Diamond, 2015). Untuk peristiwa keamanan nuklir, tugas pihak berwenang—dalam hal ini Kepolisian Republik Indonesia (Polri) dan

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)—setelah mendeteksi dan mengamankan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, perlu menguak dan memberi jawaban mengenai asal bahan, pelaku, motif atau tujuan penyalahgunaannya, serta bahaya radiologi yang ditimbulkan. Dari temuan ini tentunya dapat membawa pelaku ke pengadilan untuk mempertanggungjawabkan tindakannya.

## B. Kebijakan dan Praktik Forensik Nuklir

Bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya lazim digunakan di seluruh siklus bahan bakar nuklir dan juga banyak digunakan di industri, penelitian, studi medis dan biologi, serta aplikasi teknis dan ilmiah lainnya. Penerapan infrastruktur keamanan nuklir untuk melindungi bahan-bahan ini, termasuk tindakan yang dirancang untuk mencegah, mendeteksi, dan menanggapi peristiwa keamanan nuklir merupakan tanggung jawab negara. Ketika bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya terdeteksi di luar kendali peraturan (*out of regulatory control*), negara harus siap untuk meresponss dengan tepat, termasuk menerapkan forensik nuklir untuk mendukung penyelidikan. Beberapa contoh bahan nuklir dan zat radioaktif (radionuklida) lainnya ditunjukkan pada Tabel 5.1.

IAEA sebagai badan energi nuklir dunia memiliki basis data mengenai insiden dan penyelundupan terkait bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, di mana kepemilikannya di luar kendali peraturan, dicuri atau hilang, atau aktivitas lainnya yang di luar kendali peraturan. Informasi tersebut merupakan hasil pelaporan secara sukarela oleh negara. Suatu insiden sangat mungkin berupa satu jenis atau kombinasi kejadian yang disebutkan, misalnya pencurian dan percobaan penjualan sumber radioaktif. Meskipun suatu negara telah memiliki infrastruktur keamanan nuklir nasional, potensi terjadi insiden yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang di luar kendali masih sangat memungkinkan, baik tidak sengaja maupun disengaja. Oleh karena itu, negara perlu mengembangkan kemampuan untuk mencegah, mendeteksi, dan menanggapi setiap peristiwa yang melibatkan bahan nuklir atau zat radioaktif lainnya yang memiliki

implikasi keamanan nuklir (peristiwa keamanan nuklir). Dalam konteks ini, pemeriksaan forensik nuklir menjadi komponen penting dari responss terhadap peristiwa keamanan nuklir. Sebagai bagian dari ilmu forensik pada umumnya, forensik nuklir adalah pengujian bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, atau suatu barang bukti yang terkontaminasi oleh radionuklida, dalam konteks proses hukum di bawah hukum nasional atau internasional yang menyangkut dengan keamanan nuklir (IAEA, 2015).

**Tabel 5.1** Contoh Bahan Nuklir dan Zat Radioaktif Lainnya

Jenis Bahan	Contoh
Bahan nuklir	Pu, U-233, U-235, U-238
Radionuklida medis	C-14, Co-57, Ga-67, I-123, I-125, I-131, Tc-99m, Tl-201
Radionuklida industri	Am-241, Ba-133, Cd-109, Cf-252, Co-60, Cs-137, Ir-192, Sr-90

Sumber: IAEA (2015)

Dari penyelidikan peristiwa keamanan nuklir, dapat diambil pembelajaran yang dimasukkan ke dalam langkah-langkah keamanan nuklir, guna meningkatkan dan membantu pencegahan peristiwa keamanan nuklir di masa depan. Sebagai contoh, temuan forensik nuklir menyatakan bahwa bahan telah mengalami pemindahan dari fasilitas atau situs yang sebelumnya dianggap aman. Kekurangan dari akuntansi bahan nuklir dan sistem keamanan nuklir dapat diidentifikasi, baik di tingkat fasilitas maupun negara. Kemampuan forensik nuklir yang dimiliki oleh suatu negara juga dapat mencegah kelompok yang bermaksud menggunakan atau memperdagangkan bahan nuklir atau zat radioaktif lainnya secara tidak sah (*deterrence effect*). Keberhasilan forensik nuklir dalam mencegah sangat bergantung pada implementasinya yang kredibel, menunjukkan keberhasilan dalam mendukung penyelidikan, dan keberhasilan proses hukum yang bergantung pada temuan forensik nuklir.

Investigasi forensik nuklir harus dipertimbangkan sebagai bagian dari serangkaian tindakan komprehensif untuk deteksi, intersepsi, kategorisasi, dan karakterisasi bahan nuklir. Analisis forensik nuklir dapat menghasilkan kesimpulan penting tentang asal bahan. Dengan demikian, forensik nuklir memberikan kontribusi paling penting untuk pencegahan kejadian berulang di masa depan dari sumber yang sama. Oleh karena itu, penting untuk memastikan seluruh proses integritas dan keaslian bukti yang dikumpulkan. Proses ini membutuhkan kolaborasi berbagai aktor di tempat kejadian, seperti penegak hukum, layanan proteksi radiasi, ahli forensik, dan ahli nuklir. Kelompok kerja internasional untuk penyelundupan bahan nuklir, International Technical Working Group (ITWG), telah mengembangkan model rencana aksi untuk menangani kasus yang melibatkan penyitaan bahan nuklir. Rencana aksi ini menjabarkan elemen-elemen yang diperlukan jika bahan nuklir terlarang ditemukan, seperti respons terhadap insiden, analisis tempat kejadian perkara (TKP), pengumpulan bukti, pengangkutan ke fasilitas nuklir, analisis laboratorium selanjutnya, dan pengembangan kasus.

Sifat peluruhan radioaktif dari bahan nuklir dan zat radioaktif digunakan untuk mengumpulkan informasi yang tidak selalu tersedia dalam forensik konvensional. Peluruhan juga dapat menimbulkan kekhawatiran khusus karena sistem sampel dapat berubah dengan cepat dan tidak dapat dikarakterisasi dengan baik seperti yang diinginkan. Oleh karena itu, pengetahuan menyeluruh tentang beberapa konsep dan pemikiran khusus sangat diperlukan untuk melakukan investigasi forensik nuklir. Penentuan usia bahan nuklir merupakan teknik yang penting dalam penyelidikan forensik nuklir. Teknik penanggalan dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber bahan serta prosedur yang mungkin telah dilakukan pada bahan tersebut, seperti pemrosesan ulang (Mayer, Wallenius, & Fanghänel, 2007). Informasi dari umur bahan dapat digunakan untuk mengidentifikasi atau mengecualikan suatu bahan tertentu dalam 'daur' materi yang diamati (Mayer et al., 2011). Teknik atau analisis penentuan umur suatu bahan dikenal dengan kronometri. Nuklida yang melalui

peluruhan radioaktif (misalnya  $^{234}\text{U}$  dan  $^{230}\text{Th}$ ) akan memiliki konsentrasi relatif yang dapat diprediksi dengan mudah menggunakan persamaan pertumbuhan dan waktu paro yang relevan. Pada bahan yang telah dimurnikan secara radiokimia untuk menghilangkan spesies luruhan, waktu yang telah berlalu sejak pemurnian sering kali dapat 'dihitung kembali' menggunakan teknik pemisahan radiokimia yang berhubungan dengan pengukuran analitik dari rasio induk-anak yang ada. Aplikasi khusus kronometri juga dapat digunakan dalam analisis sampel unik. Konsep kronometri mewujudkan satu terobosan untuk sepenuhnya mengkarakterisasi bahan nuklir: komposisi bahan nuklir berubah saat sampel disiapkan dan dianalisis. Pertimbangan ini menjadi penting untuk spesies yang meluruh dengan cepat dan/atau yang produk turunannya menimbulkan interferensi spektral. Peluruhan pada sampel bahan nuklir mendorong pengembangan metode analisis yang cepat. Pengembangan analisis yang cepat tidak hanya berpotensi menyederhanakan data yang dihasilkan, tetapi juga sejalan dengan kebutuhan responss di lapangan. Terkait teknik responss di lapangan, sejauh ini masih diperlukan pengembangan instrumentasi otomatis dan portabel yang mampu mengkarakterisasi bahan forensik nuklir dalam waktu singkat.

Menentukan komposisi komponen kunci pada sampel (misalnya, U, Pu, dan isotop turunannya) merupakan hal yang sangat penting. Namun, analisis pengotor dalam bahan dapat memberikan ciri khas, baik yang melekat maupun timbul dari pemrosesan dapat memberikan wawasan penting tentang riwayat sampel forensik nuklir dan memperjelas fungsi dari bahan nuklir tersebut. Fabrikasi dan pemrosesan ulang bahan bakar nuklir, misalnya, merupakan proses bertingkat yang menghasilkan produk yang mengandung berbagai pengotor yang dapat memberikan informasi tertentu. Ciri khas isotop timbal (Pb) menjadi contoh yang sangat baik sebagai pengotor yang berguna untuk penyelidikan forensik nuklir dalam menentukan asal sampel uranium (Fahey et al., 2010). Terdapat beberapa perdebatan mengenai teknik apa yang paling tepat untuk mewakili pendekatan ideal dalam penentuan rasio isotop dalam sampel forensik nuklir. Oleh karena itu,

pemahaman menyeluruh tentang pengotor sampel forensik nuklir sangat berharga. Pentingnya ciri khas pengotor tersebut menjadi dasar kebutuhan akan basis data forensik nuklir yang komprehensif. Basis data ini, idealnya, mampu memberi gambaran komposisi unsur yang diharapkan dan rasio isotop untuk bahan nuklir dari seluruh dunia. Variasi parameter ini yang akan dihasilkan dari pemrosesan selanjutnya. Selain itu, kebutuhan bahan referensi bersertifikat (*certified reference material*, CRM) dalam melakukan analisis sampel merupakan salah satu hal yang menjadi perhatian untuk memperoleh hasil analisis yang dapat dipertanggungjawabkan. Bahan referensi bersertifikat diproduksi oleh organisasi nasional dan internasional, yang berfungsi sebagai standar penting dalam penelitian forensik nuklir. Ini sangat penting untuk kalibrasi instrumen, validasi metode, dan penelusuran analitik, seperti yang terlihat dalam pengukuran pengenceran isotop. Kebutuhan akan standar baru dengan berbagai bentuk, termasuk

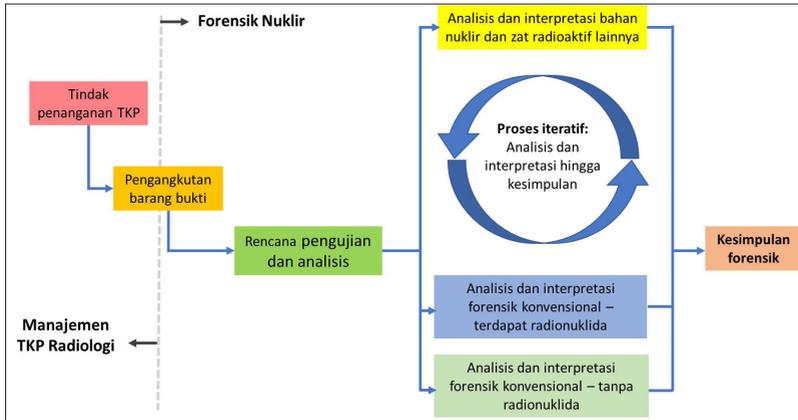
- 1) bahan referensi matriks lingkungan dengan kandungan aktinida yang diketahui;
- 2) bahan referensi pengenceran/rasio isotop; dan
- 3) standar kronometri yang mencerminkan usia bahan yang diketahui.

Idealnya, bahan tambahan (misalnya standar uranium oksida dengan isotop oksigen yang diketahui) tersedia dalam jumlah yang banyak untuk digunakan pada aplikasi khusus, *radiobioassay*, dan penelitian lingkungan. Penelitian yang mungkin harus dilakukan bertahun-tahun diperlukan untuk mengidentifikasi/memperoleh bahan sumber yang sesuai, menyiapkan sampel yang dihomogenisasi, dan mengesahkan standar referensi yang dibutuhkan oleh komunitas forensik nuklir.

### C. Metodologi Forensik Nuklir

Forensik nuklir merupakan salah satu komponen yang perlu dikembangkan secara berkelanjutan dalam program nasional untuk keamanan nuklir. Forensik nuklir memiliki peran sebagai pencegah dan penanggap/respons terhadap suatu peristiwa terkait keamanan nuklir. Infrastruktur keamanan nuklir yang efektif secara nasional merupakan hal yang sangat penting untuk meyakinkan bahwa bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya tidak jatuh ke tangan yang salah. Dalam pencegah peristiwa keamanan nuklir, forensik nuklir dapat membantu mengidentifikasi kekurangan seperti pada akuntansi bahan nuklir atau sistem keamanan nuklir, baik pada tingkat fasilitas nuklir maupun pada tingkatan yang lebih tinggi. Selain itu, dengan mencanangkan dan meningkatkan kemampuan forensik nuklir akan membuat pelaku yang ingin menyelundupkan atau menyalahgunakan bahan nuklir dan radioaktif lainnya untuk berpikir ulang. Selain itu, sebagai penanggap, forensik nuklir dapat meningkatkan tanggap terhadap sebuah peristiwa keamanan nuklir. Dalam membantu investigasi kejahatan, forensik nuklir tetap berdasarkan forensik tradisional untuk menjaga aspek hukum barang bukti. Oleh karena itu, forensik nuklir sebagai rencana tanggap darurat nasional menjadi bagian yang tidak kalah penting dalam infrastruktur keamanan nuklir suatu negara. Ruang lingkup dari forensik nuklir diilustrasikan pada Gambar 5.1.

Gambar 5.1 mengilustrasikan kegiatan apabila terjadi sebuah peristiwa keamanan nuklir. Sisi kiri merupakan ruang lingkup kegiatan *radiological crime scene management* (manajemen TKP radiologi) dan sisi kanan merupakan ruang lingkup kegiatan forensik nuklir. Kegiatan forensik nuklir dimulai dari diterimanya barang bukti yang akan jadi sampel uji dalam kegiatan forensik nuklir. Namun, perlu disadari, pengumpulan barang bukti dari tempat kejadian perkara merupakan hal yang sangat menentukan akan keberhasilan kegiatan forensik seutuhnya.



Sumber: IAEA (2015)

**Gambar 5.1** Model Rencana Aksi Forensik Nuklir

Tindak penanganan di TKP radiologi tidak berbeda dengan TKP pada umumnya. Perbedaan mendasarnya adalah perlunya penilaian bahaya radiologi pada TKP radiologi sehingga dalam tahapan pengambilan barang bukti diperlukan teknik khusus. Pengambilan dan pengumpulan barang bukti dilakukan dengan teknik tertentu agar TKP tidak berubah dan bahaya radiologi tetap dapat terkendali, di mana tidak membahayakan petugas lapangan ataupun masyarakat sekitar. Benda yang dapat dijadikan barang bukti, antara lain, serbuk sari, tanah/debu/serpihan tanah, bekas alat, peralatan kerja, jejak alat/sepatu/kendaraan, data digital, logam, residu proses, cairan tubuh, serat, rambut, sidik jari (*fingerprints*) dan lainnya. Untuk lingkup forensik nuklir, bila semua ini terkontaminasi bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya, tim analisis forensik akan menentukan rencana pengujian dan analisis yang dikenakan pada barang bukti. Tujuan dari pengujian dan analisis adalah menemukan tersangka dan memberikan bukti dukung kepada pengadilan untuk mendakwa tersangka. Kegiatan forensik nuklir dilakukan pada barang bukti yang mengandung ataupun terkontaminasi bahan nuklir, atau bahan radioaktif lainnya. Pada barang bukti tersebut dilakukan juga kegiatan forensik tradisional seperti pada barang bukti yang umumnya. Proses forensik

Buku ini tidak diperjualbelikan

dilakukan secara iteratif, sesuai kebutuhan yang disepakati oleh tim analisis forensik untuk menyelesaikan kasus tersebut. Bila semua hasil uji dan analisis forensik sudah terpenuhi, kesimpulan hasil forensik digunakan untuk menentukan tersangka dan mendakwanya.

Dari penjelasan ini, bentuk dukungan forensik nuklir terhadap tanggap keamanan nuklir ialah melalui pendeteksian, kategorisasi, dan karakterisasi bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya. Pendeteksian merupakan bagian dari proteksi fisik, tetapi juga dapat menjadi bentuk dukungan pencegahan terjadinya peristiwa keamanan nuklir. Bila terjadi peristiwa keamanan nuklir, sebagai bentuk tanggap kejadian, dilakukan kategorisasi dan karakterisasi pada bahan nuklir, bahan radioaktif, ataupun barang bukti yang terkontaminasi.

Kategorisasi yang dilakukan adalah menentukan kategori barang bukti sebagai bahan nuklir (U, Pu) atau bahan nuklir lainnya ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{192}\text{Ir}$ ). Kegiatan kategorisasi dapat dilakukan di TKP. Dengan kategorisasi tersebut, dapat diidentifikasi tingkat bahaya dari barang bukti bagi *responsder* pertama, personel lapangan, dan masyarakat sehingga dapat ditentukan penanganan yang tepat. Alat uji yang dapat digunakan, seperti detektor radiasi personal, peralatan identifikasi radionuklida, peralatan detektor kontaminasi alfa ( $\alpha$ ) atau beta ( $\beta$ ), dan detektor gamma-HPGe portabel. Dalam proses ini, dapat diamati dan dicatat warna, bentuk, perkiraan jumlah atau beratnya, dan penanda yang jelas terbaca. Dari karakterisasi dengan detektor gamma-HPGe portabel, dapat diketahui komposisi radioisotop secara kasar. Proses yang dilakukan dapat menjawab pertanyaan mengenai sifat radioaktif dari barang bukti. Jika barang bukti bersifat radioaktif, akan diketahui jenis isotop dan pancaran radiasinya sehingga dapat ditentukan wadah yang tepat untuk membawa barang bukti ke laboratorium atau penyimpanan barang bukti. Informasi umum yang dapat diketahui, yakni tingkat bahaya radiasi bagi manusia dan lingkungan. Dari tingkat bahaya ini dapat ditentukan responss peristiwa keamanan nuklir yang tepat dan kebutuhan untuk dekontaminasi TKP. Selanjutnya, dapat disepakati perlu atau tidaknya pengujian lebih lanjut sehingga dapat diputuskan perlu atau tidaknya dilakukan kegiatan forensik nuklir

hingga kebutuhan untuk mencari bantuan pihak internasional, baik terkait uji dan informasi mengenai barang bukti maupun pencarian tersangkanya. Dari proses kategorisasi barang bukti ini, tentunya dapat ditentukan pelanggaran yang terjadi terhadap hukum nasional.

Karakterisasi barang bukti dilakukan di laboratorium. Kegiatan karakterisasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih dalam dari kategorisasi sehingga dapat menjawab asal usul bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya. Karakterisasi pendahuluan dapat dilakukan dalam waktu 24 jam sehingga informasi yang diperoleh dapat digunakan tim analis forensik untuk menyusun rencana analisis forensik lebih lanjut. Informasi yang diperoleh dalam tahapan ini adalah informasi lebih detail mengenai ukuran dan bentuk sampel, komposisi radioisotop, warna sampel, identitas/penanda pada sampel, topografi permukaan, dan bentuk fisik sampel. Peralatan yang digunakan adalah neraca, densitometer, mikroskop optik, dan spektrometer gamma-HPGe. Karakterisasi lebih lanjut dapat diselesaikan dalam waktu satu minggu hingga dua bulan. Hasil karakterisasi diharapkan dapat menjawab karakteristik fisik, kimia, rasio isotop, serta menentukan umur dari bahan nuklir dan radioaktif lainnya. Selain itu, informasi dari forensik tradisional diharapkan dapat menjawab keterkaitan antara pelaku, lokasi, dan peristiwanya.

Untuk memperoleh jawaban dari barang bukti, diperlukan ciri khas yang dapat membedakan satu dengan yang lain dari bahan nuklir dan radioaktif lainnya. Ciri khas ini meliputi karakteristik fisik, kimia, unsur, dan isotop dari bahan. Ciri khas ini akan memberikan gambaran riwayat proses hingga bahan tersebut terbentuk dan kemungkinan lokasi pembentukannya. Dua pendekatan yang penting untuk menggambarkan ciri khas ini adalah sebagai berikut:

- 1) penemuannya menggunakan pendekatan empiris, melalui analisis yang sistematis terhadap bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya; dan
- 2) berdasarkan pemodelan sifat fisis dan kimiawi dari proses nuklir.

Langkah lanjutan untuk menguatkan interpretasi hasil uji dapat dilakukan melalui kerja sama dengan laboratorium forensik nuklir lainnya. Selain itu, untuk membantu melakukan interpretasi hasil uji juga dapat memanfaatkan keahlian yang dimiliki personel dari institusi lain. Kegiatan forensik dapat dilakukan secara iteratif saat diperoleh hasil uji di luar hipotesis awal. Tim analisis forensik dapat mengambil keputusan untuk melakukan ulang kegiatan analisis tertentu. Proses iteratif ini dilakukan hingga diperoleh ciri khas yang dapat menguatkan interpretasi hasil uji secara keseluruhan atau memungkinkan untuk mengecualikan hasil uji di luar hipotesis awal.

Analisis yang dapat dilakukan untuk memperoleh ciri khas bahan nuklir dan radioaktif lainnya dapat dilakukan dengan berbagai metode, sebagai berikut.

- 1) Pengamatan visual pada barang bukti sehingga dapat diperoleh informasi identitas atau kemungkinan tanda khusus yang dapat menjadi ciri khasnya. Selanjutnya, informasi identitas dikombinasikan dengan pengukuran dimensi dan berat sehingga dapat ditentukan densitasnya. Warna yang tampak juga dapat menjadi indikator yang penting. Hal yang perlu menjadi perhatian adalah alat ukur yang digunakan harus terkalibrasi dengan baik.
- 2) Pengamatan sampel uji menggunakan mikroskop optik untuk memperoleh informasi karakteristik permukaan dengan perbesaran tertentu.
- 3) Pengamatan morfologi dengan perbesaran yang lebih tinggi dari mikroskop optik menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Dengan SEM, informasi morfologi yang diperoleh akan lebih banyak lagi. Metode SEM memberikan hasil yang relatif langsung, tetapi kualitas gambar yang dihasilkan dipengaruhi oleh preparasi sampelnya. SEM dilengkapi dengan spektrometer *energy dispersive X-ray* (EDX) atau spektrometer *wavelength dispersive X-ray* (WDX). EDX atau WDX dapat menentukan kandungan unsur pada resolusi luasan citranya, yaitu pada 0,1  $\mu\text{m}$  dengan deteksi limit unsurnya sekitar 0,1%.

- 4) Analisis kandungan unsur dapat dilakukan menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF). Analisis ini bersifat tidak merusak dengan deteksi limitnya hingga satuan *part per million* (ppm). Kendala yang mungkin dihadapi ialah saat mengukur unsur yang memiliki energi karakteristik sinar-X yang rendah.
- 5) Analisis sinar-X lainnya menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk identifikasi struktur kimiawi dari bahan kristalin. Untuk bahan amorf tidak akan diperoleh pola difraksi dengan puncak-puncak difraksi yang tajam.
- 6) Teknik pengamatan struktur sampel menggunakan elektron yang juga melihat kristalinitas sampel dari difraksi elektron. Pengujian ini dapat dilakukan menggunakan *transmission electron microscope* (TEM).
- 7) Teknik mencacah aktivitas radiasi dapat mencacah radiasi. Teknik ini sangat bergantung dari pemancarnya. Pemancar radiasi yang menjadi perhatian dalam forensik nuklir adalah radiasi alfa dan gamma. Spektrometer gamma digunakan untuk kategorisasi awal bahan nuklir dalam forensik nuklir karena teknik ini tidak merusak dan mudah dalam preparasi sampelnya. Untuk kategorisasi dapat menggunakan spektrometer gamma portabel, dan untuk bahan dengan kandungan pemancar gamma yang rendah dapat menggunakan spektrometer gamma resolusi tinggi. Keunggulan lain dari spektrometer resolusi tinggi ini dapat memisahkan dua spektrum dengan energi yang berhimpit. Keterbatasan dari spektrometer gamma adalah tidak dapat membedakan nuklida  $^{242}\text{Pu}$  dan  $^{236}\text{U}$ .
- 8) Spektrometer alfa digunakan untuk mendeteksi partikel alfa berupa ion  $\text{He}^{2+}$  dengan energi pada rentang 3–8 MeV. Teknik ini termasuk pengujian merusak. Langkah penting selanjutnya adalah radiokimia untuk mengukur aktivitas  $^{238}\text{Pu}$  dan  $^{239+240}\text{Pu}$ . Energi  $^{239}\text{Pu}$  dengan  $^{240}\text{Pu}$  sangat dekat dan tidak dapat dipisahkan satu sama lainnya sehingga dalam pengukurannya, merupakan jumlah gabungan keduanya.

- 9) Teknik untuk menentukan komposisi isotop unsur dalam sampel uji dapat menggunakan spektrometer massa. Komposisi unsur dapat ditentukan secara kuantitatif. Spektrometer massa mampu memberikan hasil analisis dengan presisi dan akurasi tinggi. Teknik spektrometer massa yang sering digunakan adalah *thermal ionization mass spectrometry* (TIMS), *inductively coupled plasma mass spectrometry* (ICP-MS), *secondary ion mass spectrometry* (SIMS), dan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS). Tiap jenis spektrometer ini memiliki keunggulan dan kekurangan. Tim analis forensik nuklir dapat menggunakan perangkat spektrometer massa yang sesuai dengan kebutuhan.
- 10) Radiografi merupakan teknik yang digunakan untuk melihat distribusi dan aktivitas radionuklida dalam sampel.
- 11) Teknik luar biasa untuk melakukan analisis unsur adalah dengan teknik aktivasi neutron. Teknik ini meradiasi bahan dengan radiasi neutron dan melakukan identifikasi radiasi gamma yang merupakan pancaran dari unsur hasil luruh dari unsur induk yang ada di dalam bahan. Keuntungan dari teknik ini dapat menentukan multi unsur dengan sensitivitas yang luar biasa dan selektivitas yang tinggi. Analisis aktivasi neutron tidak memerlukan waktu untuk melakukan pemisahan dari sampel. Namun, perlu dipahami bahwa teknik ini membutuhkan reaktor nuklir untuk melakukan aktivasi (Stanley, Stalcup, & Spitz, 2013).

#### D. Data Forensik Nuklir

Keberhasilan dalam analisis kegiatan forensik nuklir adalah dapat ditentukannya asal usul dari bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang ditemukan di TKP. Keberhasilan ini didukung dengan ketersediaan data “sidik jari” dari bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang menjadi ciri khas. Data ini menjadi basis data sebagai pembanding terhadap sampel uji. Data dalam basis data dapat diperoleh atau disediakan dari produsen bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya. Namun, lembaga yang memiliki kemampuan forensik nuklir pun dapat melakukan identifikasi dan mengoleksi hasil yang diperoleh

dalam basis data. Informasi kategori karakteristik bahan nuklir dan radioaktif lainnya telah diberikan oleh IAEA (2018). Pada Tabel 5.2, diberikan informasi karakteristik untuk bahan galian (deposit dan bijih).

**Tabel 5.2** Karakteristik Deposit Geologi

Karakteristik	Elemen Data	Diskriminator Data	Catatan
Geologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi penambangan</li> <li>• Formasi geologi</li> <li>• Tipe deposit</li> <li>• Teknik penambangan</li> <li>• Warna</li> </ul>	Tinggi	Deskripsi yang terkait karakteristik geologi bahan
Mineralogi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kandungan mineral</li> <li>• Komposisi kimia dari mineral</li> <li>• Persen volume dari mineral</li> </ul>	Rendah	Mineral yang teridentifikasi sebagai bagian eksplorasi dan proses penambangan
Konsentrasi Uranium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi uranium</li> <li>• Ketidakpastian konsentrasi uranium</li> </ul>	Rendah	Dinyatakan dalam g/ton
Isotop Uranium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rasio isotop</li> <li>• Ketidakpastian rasio isotop</li> </ul>	Rendah	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ dan $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

Karakteristik	Elemen Data	Diskriminator Data	Catatan
Isotop Stabil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nama isotop</li> <li>• Menggunakan satuan standar untuk sistem isotop tertentu</li> <li>• Ketidakpastian</li> </ul>	Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menambahkan rasio isotop yang serupa dengan Pb</li> <li>• Per mil (‰) untuk unsur C, O, N, S</li> <li>• Rasio <math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math> untuk Sr</li> <li>• Komposisi isotop radiogenik terlarut dari Nd (<math>\epsilon\text{Nd}</math>)</li> <li>• Rasio isotop untuk Pb (<math>^{204}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}</math>, <math>^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}</math>, <math>^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}</math>)</li> </ul>
Unsur renik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi unsur renik</li> <li>• Ketidakpastian Konsentrasi unsur renik</li> </ul>	Tinggi	Disajikan dalam $\mu\text{g/g}$ sampel

Source: IAEA (2018)

Karakteristik yang menggambarkan deposit geologi dalam Tabel 5.2 terdiri dari karakteristik bahan, seperti karakteristik geologi, mineralogi, konsentrasi uranium, isotop uranium, isotop stabil (isotop yang tidak bersifat radioaktif) tertentu, serta unsur renik. Tiap karakteristik memiliki elemen data yang merupakan parameter intrinsik dari karakteristik terkait. Sebagai contoh, isotop uranium memiliki parameter intrinsik sebagai elemen data yang akan disimpan dalam basis data berupa rasio isotop dan ketidakpastian rasionya. Selanjutnya, seberapa besar elemen data ini akan memberi dampak terhadap kekhasan bahan yang dianalisis, diberikan dalam kolom diskriminan data. Jika diskriminator data bernilai rendah, elemen data tersebut menempati urutan yang bukan prioritas untuk

menunjukkan kekhasan dari bahan. Sebaliknya, jika diskriminator data bernilai tinggi, elemen data tersebut merupakan prioritas utama sebagai ciri khas dari bahan. Pada kolom terakhir diberikan informasi tambahan, mengenai bentuk data dan satuan apa yang perlu disimpan dalam basis data. Data ini dapat disusun dalam satu basis data yang komprehensif dan diintegrasikan dengan National Nuclear Forensics Library (NNFL). NNFL adalah suatu sistem yang tidak hanya berisi sekedar pustaka atau basis data dari “sidik jari” bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang telah diketahui, tapi juga merupakan perangkat forensik nuklir yang terdiri atas sumber data dan informasi ilmiah. Teknis, peraturan, dan administratif terkait bahan radionuklida yang dibuat, digunakan atau disimpan, dan dilengkapi dengan sejumlah ahli untuk mendukung pengujian sampel bahan radionuklida untuk mengevaluasi data dan informasi serta untuk mengambil kesimpulan terkait asal usul bahan (Vesterlund et al., 2022). Pengembangan NNFL membutuhkan mandat karena diperlukannya koordinasi antara para ahli, regulator, penegak hukum dan entitas lainnya yang berkepentingan. Basis data bahan dalam NNFL sangat dinamis. Keberlanjutan dan kebaruan data dalam NNFL memerlukan hal-hal sebagai berikut.

- 1) dilakukannya identifikasi dan/atau dimilikinya informasi, baik bahan alam maupun bahan nuklir dan zat radioaktif yang berada dalam kendali peraturan;
- 2) dilakukannya evaluasi secara berkala terhadap data yang dimiliki untuk dikomparasi dengan hasil uji dari laboratorium lain (melakukan *round robin test*) dan dibandingkan dengan data yang disediakan oleh produsen bahan nuklir dan zat radioaktif;
- 3) dilakukannya identifikasi secara berkala dan direncanakan pengambilan data untuk mengisi celah informasi terkait elemen data dengan diskriminator tinggi;
- 4) dikembangkannya basis data sesuai dengan kebutuhan internal dan spesifik; serta
- 5) dikembangkannya perangkat dan/atau metode untuk analisis yang valid.

Kontribusi NNFL bagi keamanan nuklir dapat membantu investigasi dalam mengenali bahan sitaan yang tidak diketahui asal usulnya dan melakukan kaji ulang pada peraturan mengenai kepemilikan dan pemanfaatan bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya. Terkait responss terhadap kejadian keamanan nuklir, NNFL dapat memberikan interpretasi forensik nuklir, asal usul bahan dan penilaian untuk mendukung investigasi, serta pendakwaan dan peningkatan keamanan. Selain itu, peran NNFL bagi dunia internasional adalah menjawab permasalahan internasional dan mendorong pertukaran informasi, serta mendukung investigasi multinasional.

## E. Forensik Nuklir di Indonesia

Terikatnya forensik nuklir dengan keamanan nuklir dan peristiwa keamanan nuklir mejadikan perlunya landasan hukum berdasarkan peraturan BAPETEN, sebagai badan regulator ketenaganukliran di Indonesia. Untuk peristiwa keamanan nuklir secara nasional, telah dibentuk Organisasi Tanggap Darurat Nuklir Nasional (OTDNN) sejak akhir tahun 2006 (Apriliani, 2014). Selain itu, jika menyangkut aspek legal hukum, kegiatan forensik sudah tertuang dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia pada pasal 14 ayat 1.h yang tertulis

*“Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) bertugas menyelenggarakan identifikasi kepolisian, kedokteran kepolisian, laboratorium forensik, dan psikologi kepolisian untuk kepentingan tugas kepolisian.”*

Dari butir tersebut telah jelas bahwa kegiatan identifikasi dan laboratorium forensik dilakukan oleh Polri. Dapat dipahami, perundangan ini berguna untuk menjamin aspek legal dari barang bukti hingga kasus selesai. Di tahun 2013, kegiatan forensik nuklir di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Badan Tenaga Nulir Indonesia (PTBBN-BATAN) mulai dikembangkan melalui kegiatan kerja sama riset dan pengembangan kapasitas dengan IAEA, Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO), dan Integrated

Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security, Japan Atomic Energy Agency (ISCN-JAEA). Jika melihat kapabilitas BATAN sebagai badan pelaksana ketenaganukliran yang telah berdiri sejak tahun 1958, BATAN memiliki fasilitas yang mumpuni untuk karakterisasi bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, meskipun pada awalnya tidak ditekankan untuk kegiatan forensik nuklir melainkan pengembangan bahan bakar nuklir. Sadar akan peran BATAN dalam kegiatan forensik yang merupakan tugas utama Polri, kegiatan forensik nuklir di BATAN lebih berfokus pada peningkatan kemampuan personel dalam

- 1) melakukan analisis sampel uji dari barang bukti;
- 2) melakukan analisis terhadap bahan nuklir yang dimiliki BATAN;
- 3) menentukan ciri khas bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya sehingga menjadi “sidik jari”;
- 4) mengoleksinya dalam basis data; dan
- 5) melakukan kolaborasi, baik dalam negeri maupun luar negeri, dalam rangka meningkatkan kemampuan personel dalam analisis.

Selain aktivitas riset dan pengembangan forensik nuklir di BATAN sejak 2014 hingga 2021, beberapa kegiatan yang terkait forensik nuklir secara umum juga telah dilakukan, seperti pemanfaatan teknik analisis radiometri untuk karakterisasi timbal dan partikulat udara. Mengingat kegiatan forensik nuklir merupakan bagian dari forensik pada umumnya, BATAN telah menjalin hubungan erat dengan Polri, Tentara Nasional Indonesia (TNI), dan BAPETEN untuk koordinasi keamanan nuklir dan peningkatan kapasitas personel terkait keamanan nuklir pada umumnya dan forensik pada khususnya. Dalam peristiwa keamanan nuklir di tahun 2020, tersebar zat radioaktif di lahan kosong suatu perumahan. Saat kejadian tersebut, tim forensik nuklir BATAN membantu Polri dan BAPETEN dalam melakukan analisis dan interpretasi barang bukti. Di sisi lain, personel forensik nuklir BATAN juga berperan aktif di kegiatan internasional, seperti partisipasi dalam beberapa pelatihan untuk peningkatan kapasitas personel dalam melakukan analisis bahan nuklir dan zat radioaktif

lainnya yang menjadi barang bukti. Kelompok forensik nuklir BATAN memperoleh dukungan kegiatan dan dana untuk pengembangan riset forensik nuklir dari IAEA melalui *Coordinated Research Project* (CRP) untuk periode 2014–2016 dengan judul *Identification of High Confidence Nuclear Forensics Signatures for the Development of a National Nuclear Forensics Library* dan untuk periode 2019–2023 dengan judul *Web-Based Nuclear Forensics Library for Evidence Database Platforms*.

Seiring dengan perkembangan organisasi riset di Indonesia, BATAN berintegrasi menjadi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sejak September 2021. Dalam reorganisasi ini terjadi perubahan organisasi riset dan struktur pusat risetnya. Kegiatan riset di BATAN berubah menjadi di bawah Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN). Kegiatan forensik nuklirnya pun tidak lagi di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. Kegiatan forensik nuklir dilakukan oleh kelompok riset keamanan dan seifgard (garda aman) reaktor nuklir dalam naungan Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN).

## F. Penutup

Forensik nuklir merupakan perangkat bagi keamanan nuklir, baik dengan perannya dalam analisis barang bukti dari suatu kejadian keamanan nuklir maupun membantu menemukan celah kekurangan dalam sistem keamanan nuklir. Analisis forensik nuklir merupakan disiplin ilmu yang terus berkembang. Saat ini, kolaborasi antarlaboratorium secara internasional telah dilakukan dalam pengembangan forensik nuklir. Pendekatan yang dilakukan dalam kolaborasi ini memanfaatkan basis pengetahuan mengenai proses untuk memperkirakan ciri khas sifat fisik, kimia, unsur, atau isotop yang dapat dihitung sehingga hasil perkiraan tersebut dapat diverifikasi keberadaan ciri khasnya oleh seperangkat teknik analisis. Riset dan pengembangan dalam forensik nuklir sangat penting karena dinamisnya bidang forensik nuklir. Kolaborasi internasional dalam forensik nuklir dengan memanfaatkan sumber daya setiap kolaborator sangat memungkinkan diperolehnya capaian yang luar biasa. Salah satu indikator capaian dari forensik nuklir adalah turunnya peristiwa keamanan nuklir.

Basis data NNFL yang berisi sidik jari bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya merupakan salah satu bidang dalam forensik nuklir yang memerlukan pengembangan berkelanjutan, baik sistem basis data maupun kekinian datanya. Data mengenai sidik jari bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya sangat penting saat digunakan sebagai pembanding terhadap hasil karakterisasi barang bukti pada peristiwa keamanan nuklir. Dengan data yang semakin lengkap, akan memperbesar kemungkinan barang bukti dapat dijustifikasi mengenai asal usul dan informasi barang bukti. Pengembangan desain basis data NNFL dibuat secara spesifik dan sesuai dengan kebutuhan yang ada. Hal lain yang perlu mendapat perhatian adalah peningkatan kemampuan personel dalam melakukan identifikasi sidik jari dan forensik tradisional dari bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang baru dan berada dalam kendali peraturan. Prototipe basis data NNFL di BATAN saat ini bergabung dalam prototipe portal keamanan nuklir BATAN.

Kegiatan riset dan pengembangan forensik nuklir sangat perlu mendapat ruang gerak dan perhatian sebagai satu kesatuan dengan sistem keamanan nuklir. Riset dan pengembangan forensik nuklir perlu memperoleh dukungan peralatan analisis dan laboratorium yang mampu menangani bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya dalam tingkat paparan radiasi dan dimensi tertentu. Laboratorium yang dilengkapi dengan hot cell serta peralatan preparasi dan peralatan analisis berfungsi untuk mendeteksi karakteristik yang memiliki elemen data dengan diskriminator data yang tinggi. Kegiatan riset dan pengembangan tersebut bertujuan untuk meningkatkan presisi dan sensitivitas, serta menurunkan ukuran spasial sehingga akan mendorong peningkatan kepercayaan data yang diperoleh. Kepercayaan data yang tinggi akan memperkuat pendakwaan terhadap tersangka dalam peristiwa kejadian nuklir. Di Indonesia, terdapat fasilitas yang memadai, tetapi masih terdapat beberapa keterbatasan. Kegiatan forensik nuklir saat ini berada di bawah wewenang Departemen Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK)–BRIN bersama dengan fasilitas untuk pengembangan bahan bakar nuklir. Tentu akan lebih ideal jika laboratorium untuk forensik nuklir bisa didirikan dan didedikasikan untuk riset dalam forensik nuklir.

## Daftar Referensi

- Apikyan, S., & Diamond, D. (Eds.). (2015). *Nuclear threats and security challenges*. Los Angeles: Springer.
- Apriliani, D. (2014). Peran forensik nuklir dalam investigasi peristiwa keamanan nuklir di Indonesia. Dalam *Prosiding seminar keselamatan nuklir 2014* (86–91). Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- Fahey, A., Ritchie, N., Newbury, D., & Small, J. (2010). The use of lead isotopic abundances in trace uranium samples for nuclear forensics analysis. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 284(3), 575–581. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0509-5>
- International Atomic Energy Agency. (2015). Nuclear forensics in support of investigations. *IAEA Nuclear Security Series No. 2-G (Rev.1)*. <https://www.iaea.org/publications/10797/nuclear-forensics-in-support-of-investigations>
- International Atomic Energy Agency. (2018). Development of a national nuclear forensics library: A system for the identification of nuclear or other radioactive material out of regulatory control. <https://www.iaea.org/publications/13438/development-of-a-national-nuclear-forensics-library-a-system-for-the-identification-of-nuclear-or-other-radioactive-material-out-of-regulatory-control>
- International Atomic Energy Agency. (2022). *Incident and trafficking database (ITDB)-2022 Factsheet*. <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>.
- Mayer, K., Wallenius, M., & Fanghänel, T. (2007). Nuclear forensic science—from cradle to maturity. *Journal of Alloys and Compounds*, 444, 50–56. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838807003659>
- Mayer, K., Wallenius, M., Lützenkirchen, K., Galy, J., Varga, Z., Erdmann, N., ... Fifield, K. (2011). Nuclear forensics: A methodology applicable to nuclear security and to non-proliferation. *Journal of Physics: Conference Series*, 312, 062003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/312/6/062003>
- Stanley, F. E., Stalcup, A. M., & Spitz, H. B. (2013). A brief introduction to analytical methods in nuclear forensics. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 1385–1393. <https://doi.org/10.1007/s10967-012-1927-3>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia. (2002). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/44418/uu-no-2-tahun-2002>

Vesterlund, A., Canaday, J., Chamberlain, D. B., Curry, M. R., Sandström, B., Schnaars, D. D., & Ramebäck, H. (2022). National nuclear forensics libraries: A case study on benefits and possibilities for identification of sealed radioactive sources. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 331(1), 639–643. <https://doi.org/10.1007/s10967-021-08100-4>

Buku ini tidak diperjualbelikan



## BAB VI

# Sistem Pemantauan Radiasi untuk Keamanan Nuklir

Kristedjo Kurnianto

---

### A. Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi nuklir merupakan sebuah isu yang kompleks dan interdisipliner karena selain potensi pemafaatan yang luar biasa, potensi bahaya yang mungkin ditimbulkan juga harus diperhatikan. Dalam setiap pemanfaatan teknologi nuklir, isu terkait keselamatan dan keamanan nuklir harus senantiasa diperhatikan karena melibatkan bahan nuklir, zat radioaktif, dan sumber radioaktif. Bahan nuklir dan zat radioaktif membutuhkan manajemen keselamatan dan keamanan yang baik. Zat radioaktif dan sumber radioaktif digunakan secara luas dalam dunia industri, kesehatan, pertanian, riset, dan pendidikan. Sementara itu, bahan nuklir biasanya digunakan pada instalasi nuklir maupun fasilitas nuklir terkait daur bahan bakar nuklir.

---

Kristedjo Kurnianto\*

\*Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), e-mail: kris004@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Kurnianto, K. (2024). Sistem pemantauan radiasi untuk keamanan nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (123–147). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c994, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

Bahan nuklir, zat radioaktif, dan sumber radioaktif memiliki potensi bahaya karena radiasi yang dipancarkan. Oleh karena itu, bahan nuklir, zat radioaktif, maupun sumber radioaktif harus dikelola keselamatan dan keamanannya agar tidak menimbulkan bahaya bagi manusia maupun lingkungan akibat dari tindakan kejahatan, kecerobohan, atau ketidaktahuan dalam pengelolaannya. Jadi, perlindungan terhadap kehidupan manusia, kesehatan, dan lingkungan adalah tujuan utama dari langkah-langkah keselamatan dan keamanan nuklir.

Langkah-langkah keselamatan dan keamanan nuklir tersebut harus dirancang dan diimplementasikan secara terintegrasi serta memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan, baik dari aspek teknis maupun administratif, untuk menjamin keselamatan dan kesehatan manusia dan lingkungan. Terdapat berbagai faktor yang memastikan bahwa keselamatan dan keamanan bahan nuklir, zat radioaktif, dan sumber radioaktif telah terintegrasi dengan baik. Berbagai faktor tersebut, yaitu adanya komunikasi dari semua pemangku kepentingan terkait, keterlibatan ahli dalam pengambilan keputusan, diimplementasikannya budaya keselamatan dan keamanan, interdependensi di antara pemangku kepentingan dan tanggapan (atau respons) terhadap setiap kejadian keselamatan dan keamanan.

Langkah-langkah keselamatan dan keamanan nuklir memprioritaskan pencegahan sebelum langkah proteksi dan mitigasi. Sementara itu, dalam hal keamanan, di antara tindakan pencegahan yang diterapkan adalah tindakan deteksi (terhadap kemungkinan adanya sumber radiasi yang berasal dari bahan nuklir, zat radioaktif, atau sumber radioaktif). Salah satu tindakan pencegahan tersebut adalah penggunaan sistem pemantau (pendeteksi) serta pengukur radiasi yang terqualifikasi dan tepat sesuai tujuan penggunaannya. Selain itu, terkait penggunaan sistem pemantau dan pengukur radiasi tersebut, kesiapan sumber daya manusia yang memahami peralatan pengukur radiasi serta prosedur standar terkait sangat penting untuk diperhatikan. Keberadaan alat deteksi dan alat ukur radiasi ini sangat

penting untuk langkah keselamatan dan keamanan karena hakikatnya, radiasi tidak dapat dideteksi oleh panca indra manusia.

Bab ini akan menjelaskan secara garis besar tentang sistem pengukuran radiasi untuk keamanan nuklir dengan pembahasan yang dimulai dari kategorisasi zat radioaktif (untuk selanjutnya, digunakan zat radioaktif yang dapat mencakup bahan nuklir dan sumber radioaktif), ragam detektor radiasi, sistem pengukuran radiasi untuk keamanan dan implementasinya, serta perkembangan litbang pemantauan radiasi terkini. Pembahasan akan dibatasi dalam konteks fasilitas nuklir.

## **B. Bahan Nuklir dan Kategorisasi Zat Radioaktif**

Sistem pengukuran radiasi sangat berkaitan dengan bahan nuklir atau zat radioaktif yang menjadi objek pengukuran dan akan menjadi dasar spesifikasi sistem pengukuran tersebut. Oleh karena itu, dalam subbab ini akan diuraikan mengenai bahan nuklir dan zat radioaktif serta kategorisasinya.

### **1. Bahan Nuklir**

Bahan nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan inti (fisi) berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan inti berantai, seperti U-233, U-235, dan Pu-239. Bahan nuklir digunakan, baik dalam industri nuklir maupun fasilitas riset nuklir, seperti pada instalasi daur bahan bakar nuklir (konversi, pengayaan, fabrikasi bahan bakar, serta pengolahan ulang bahan bakar nuklir), reaktor nuklir, perangkat kritis, serta fasilitas untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas. Keberadaan bahan nuklir tersebut secara ketat diawasi secara nasional oleh badan pengawas (di Indonesia adalah Badan Pengawas Tenaga Nuklir, BAPETEN), dan secara internasional oleh International Atomic Energy Agency (IAEA).

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mendefinisikan bahan nuklir menjadi tiga, yaitu bahan galian nuklir, bahan bakar nuklir, dan bahan ba-

kar nuklir bekas (UU No. 10, 1997). Bahan-bahan nuklir tersebut dikuasai oleh negara dan pemanfaatannya diatur dan diawasi oleh pemerintah. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)—saat ini telah tergabung dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN— ditunjuk oleh Pemerintah Republik Indonesia sebagai badan pelaksana ketenaganukliran di Indonesia, yang paling utama dalam mengelola bahan nuklir. BATAN/BRIN memiliki fasilitas nuklir seperti fasilitas eksplorasi dan eksploitasi bahan galian nuklir, fasilitas produksi bahan baku untuk pembuatan dan produksi bahan bakar nuklir, reaktor nuklir, pusat pengelolaan limbah nuklir dan radioaktif, yang semuanya digunakan untuk berbagai keperluan riset dan pelayanan kepada masyarakat.

## 2. Zat Radioaktif

IAEA (2011) dalam dokumen *Nuclear Security Recommendation on Radioactive Material and Associate Facilities* (IAEA NSS No. 14) membedakan antara zat radioaktif dan sumber radioaktif secara jelas. Zat radioaktif didefinisikan sebagai segala jenis bahan yang ditentukan oleh peraturan dan perundangan sebagai subjek yang diawasi dan dikendalikan karena sifat radioaktifitasnya. Sementara itu, sumber radioaktif adalah zat radioaktif berbentuk padat yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat serta tidak bisa dikecualikan dari kendali pengawasan. Sumber radioaktif juga mencakup material radioaktif yang terlepas dari sumber radioaktif yang bocor atau rusak (tidak termasuk bahan yang terbungkus untuk dilimbahkan atau bahan nuklir yang menjadi bagian dari daur bahan bakar reaktor nuklir). Dari definisi tersebut, jelas bahwa sumber radioaktif adalah subset dari zat radioaktif. Pengertian tentang zat radioaktif dan sumber radioaktif tersebut juga diadopsi oleh peraturan di Indonesia.

Sumber radioaktif dikategorikan menjadi 5 kategori berdasarkan tingkat bahaya pada kesehatan manusia, yang didasarkan pada perbandingan antara aktivitas (A) dan nilai D (A/D). Aktivitas A suatu sumber radioaktif diukur dalam tera becquerel (TBq). Nilai D adalah

aktivitas spesifik radionuklida (dalam TBq). Jika sejumlah nilai D zat radioaktif tersebut tidak dikendalikan, akan menyebabkan efek deterministik yang parah pada orang yang terpapar akibat paparan, baik eksternal dari sumber terbuka maupun internal dari zat radioaktif yang terdispersi (IAEA, 2005; IAEA, 2006). Sebagai contoh, nilai D untuk Cs-137 adalah 0,1 TBq. Kategori 1 menunjukkan yang paling berbahaya dan kategori 5 yang paling kurang berbahaya. Penjelasan lebih terperinci adalah sebagai berikut.

- 1) Kategori 1 ( $A/D \geq 1000$ )  
Sumber radioaktif yang amat sangat berbahaya bagi manusia. Sumber radioaktif yang tidak ditangani atau terlindungi dengan aman, akan berakibat fatal/kematian jika individu terpapar dalam rentang beberapa menit sampai satu jam (eksternal). Selain itu, dapat menyebabkan kematian atau kerusakan permanen jika terdispersi (internal). Sebagai contoh, sumber radioaktif untuk iradiator dan terapi eksternal.
- 2) Kategori 2 ( $1000 > A/D \geq 10$ )  
Sumber radioaktif yang sangat berbahaya bagi manusia. Sumber radioaktif yang tidak ditangani atau terlindungi dengan aman, dapat berakibat cedera permanen jika individu memegang atau memiliki kontak rentang menit–jam atau terpapar dalam rentang jam–hari (eksternal). Selain itu, dapat menyebabkan cedera permanen atau kematian jika masuk dalam tubuh (internal). Sebagai contoh, sumber radioaktif untuk radiografi industri dan radioterapi brakiterapi.
- 3) Kategori 3 ( $10 > A/D \geq 1$ )  
Sumber radioaktif yang berbahaya bagi manusia. Sumber radioaktif yang tidak ditangani atau terlindungi dengan aman, mungkin berakibat cedera permanen, tetapi tidak sampai fatal jika individu memegang atau memiliki kontak beberapa jam atau terpapar dalam rentang hari–minggu (eksternal). Selain itu, mungkin tidak sampai menyebabkan cedera permanen atau kematian dalam waktu singkat jika terdispersi (internal). Sebagai contoh, sumber radioaktif untuk *gauging industry* aktivitas tinggi

(Cs-137, Co-60, dan Am241-Be rentang 0,4 MBq–40GBq), *well logging* dan fotofluorografi.

- 4) Kategori 4 ( $1 > A/D \geq 0,01$ )  
Sumber radioaktif yang tidak berbahaya bagi manusia. Sumber radioaktif yang tidak ditangani atau terlindungi dengan aman, mungkin berakibat cedera sementara jika individu terpapar beberapa jam–minggu (eksternal) dan tidak sampai menyebabkan cedera permanen jika terdispersi (internal). Sebagai contoh, sumber radioaktif untuk *gauging industry* aktivitas rendah (Pm-147, Tl-204, Kr-85, Sr-90, dan Fe-55 dalam rentang aktivitas 0,4 MBq–40 GBq).
- 5) Kategori 5 ( $A/D < 0,01$ )  
Sumber radioaktif yang paling tidak berbahaya bagi manusia, tidak sampai mencederai manusia (eksternal maupun internal). Sebagai contoh, sumber radioaktif untuk tujuan pendidikan dan litbang, *check-sources*, serta sumber radioaktif untuk kalibrasi dan standardisasi.

Kategori sumber radioaktif di atas menjadi dasar penentuan klasifikasi tingkat keamanan sumber radioaktif dalam pengangkutan, yaitu

- 1) sumber radioaktif kategori 3 harus memenuhi persyaratan tingkat keamanan dasar;
- 2) sumber radioaktif kategori 2 harus memenuhi persyaratan tingkat keamanan lanjutan; dan
- 3) sumber radioaktif kategori 1 harus memenuhi persyaratan tingkat keamanan lanjutan diperketat.

Penjelasan terkait tingkat kewanaman dapat ditemukan pada Bab 7 buku ini, terkait keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif.

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif (2015) menjelaskan upaya keamanan sumber radioaktif untuk berbagai kegiatan seperti ekspor, impor, penggunaan sumber radioaktif, produksi radioisotop, dan pengelolaan

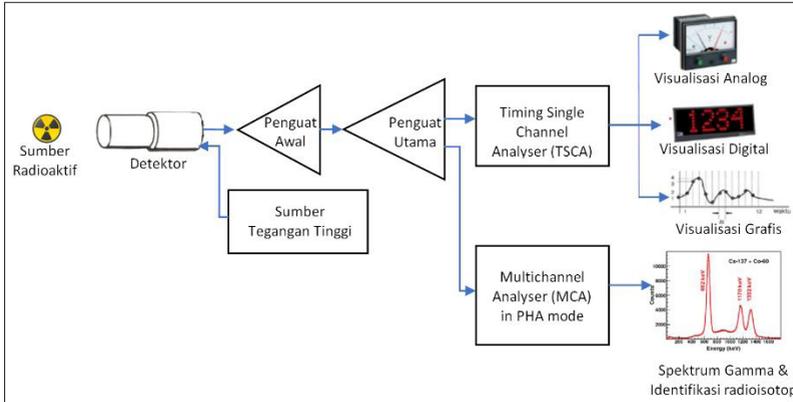
limbah yang harus memenuhi fungsi pencegahan, deteksi, penundaan, dan responss. Dari keempat fungsi tersebut, peran sistem pengukuran radiasi menjadi sangat penting terutama pada fungsi deteksi.

### C. Ragam Detektor Radiasi

Tahapan terpenting dalam prosedur keamanan nuklir adalah mendeteksi (*detect*), menemukan (*locate*), dan mengidentifikasi (*identify*) suatu bahan atau benda-X (bahan atau benda yang tidak diketahui identitasnya) yang memancarkan radiasi nuklir. Fakta bahwa paparan radiasi dari bahan radioaktif tidak dapat dideteksi oleh panca indra manusia (diraba, dirasakan, dibaui, dilihat, dan didengar) maka diperlukan sistem deteksi dan pengukuran radiasi. Peralatan utama dalam sistem deteksi dan pengukuran radiasi adalah detektor, peralatan elektronik pemroses sinyal, dan penampil. Pada penampil dapat terlihat hasil pengukuran berupa cacah radiasi yang menunjukkan aktivitas sumber radiasi, sekaligus dapat membangkitkan alarm jika melampaui batas tertentu, ataupun spektrum radiasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur sumber radiasi.

Fungsi dari masing-masing komponen sistem deteksi dan pengukuran radiasi tersebut adalah sebagai berikut (Gambar 6.1).

- 1) Detektor berfungsi untuk mengubah paparan radiasi menjadi pulsa listrik yang dapat diamati dan diukur.
- 2) Pemroses sinyal/pulsa listrik terdiri dari penguat awal (*pre-amplifier*), penguat utama (*amplifier*), penganalisis kanal tunggal berbasis waktu (*timing single channel analyser*, TSCA), atau penganalisis kanal jamak (*multi channel analyzer*, MCA). Pemroses pulsa berfungsi untuk mengolah pulsa keluaran dari detektor agar dapat disajikan dengan baik oleh peralatan penampil.
- 3) Peralatan penampil berfungsi untuk mengubah pulsa-pulsa listrik menjadi data analog, data digital, dan/atau divisualisasikan dalam bentuk grafis sehingga mudah dibaca, dianalisis, dan disimpulkan oleh pengguna.



**Gambar 6.1** Blok Diagram Sistem Deteksi dan Pengukuran Radiasi

Sistem deteksi dan pengukuran radiasi dalam konteks keselamatan dan keamanan nuklir digunakan, baik untuk memberikan peringatan (berupa berbagai jenis alarm) maupun untuk mengukur dengan lebih teliti besaran radiasi yang ditimbulkan atau jenis sumber radiasi yang terkandung. Sistem deteksi yang memberikan peringatan umumnya dipasang secara permanen atau semipermanen seperti portal monitor radiasi (*radiation portal monitor*, RPM), *hand and foot monitor*, *stack monitor*, dan *area monitoring*. Sistem yang digunakan untuk mengukur radiasi dan mengidentifikasi sumber radioaktif umumnya dapat dijinjing (*portable*), seperti detektor radiasi personal (*personal radiation detector*, PRD), *surveymeter*, detektor pengidentifikasi radionuklida (*radionuclide identification detector*, RID), dan detektor radiasi ransel (*backpack radiation detector*, BRD). Perkembangan terbaru dalam sistem pengukuran radiasi jinjing adalah penggunaan wahana cangkih seperti *uncrewed aerial systems* (UASs) atau lebih sering dikenal sebagai *drone*, yang secara otomatis dapat mengamati suatu area tertentu dan menginterasikan dengan berbagai informasi geospasial sehingga memberikan peta sebaran sumber radioaktif secara lebih teliti. Beberapa peralatan tersebut dilihat pada Gambar 6.2.



Foto: Dokumentasi BATAN (2020)

**Gambar 6.2** Beberapa Contoh Penggunaan Detektor *Portable* dan UAS

Sejalan dengan perkembangan era informasi digital, berbagai sistem deteksi dan pengukuran radiasi dilengkapi juga dengan kemampuan untuk berkomunikasi dengan komputer atau gawai melalui sambungan kabel maupun nirkabel. Berikut dijelaskan beberapa perangkat atau sistem deteksi radiasi yang umumnya digunakan di pintu gerbang berbagai fasilitas radiasi, instalasi nuklir, daerah perbatasan, lokasi keramaian yang penting, bandara, dan pelabuhan.

### 1. Detektor Radiasi Personal (PRD)

PRD adalah suatu alat elektronik untuk mendeteksi pengangkutan ilegal material radioaktif. Alat ini dirancang untuk dipakai petugas keamanan sebagai pemberi peringatan adanya peningkatan paparan radioaktif di atas paparan *background* (paparan radiasi alam). PRD sangat sensitif dan memiliki waktu responss yang cepat. Tingkat paparan radiasi yang terukur ditampilkan pada monitor (dalam

rontgen/R atau Sievert/Sv) dan memiliki alarm ambang batas paparan yang ditetapkan (dari peraturan yang berlaku).

Umumnya PRD menggunakan detektor NaI(Tl) atau CsI(Tl) untuk mendeteksi radiasi gamma. Beberapa PRD memiliki detektor tambahan, misalnya detektor Geiger-Mueller (GM) atau semikonduktor Si untuk tingkat paparan radiasi yang tinggi. Ada juga PRD lain yang ditambahkan pencacah proporsional atau sintilator berisi litium untuk mendeteksi adanya neutron.

Ada berbagai jenis dan merek detektor radiasi personel yang biasanya dipakai (ditempelkan pada bagian tubuh) oleh pekerja radiasi maupun petugas keamanan atau sering disebut sebagai *frontline officer* (FLO). PRD digunakan untuk mendeteksi secara dini dan menentukan lokasi sumber radioaktif buatan, baik berupa zat radioaktif maupun bahan nuklir.

## 2. Detektor Pengidentifikasi Radionuklida (RID)

RID atau juga sering disebut sebagai *radioisotope identification device* (RID) adalah instrumen jinjing yang digunakan untuk mendeteksi, menemukan/menentukan lokasi, mengukur, dan mengidentifikasi zat radioaktif dan bahan nuklir. Beberapa RID mampu mengidentifikasi jenis radioisotop pemancar radiasi serta mengklasifikasikannya sebagai bahan nuklir, zat radioaktif untuk keperluan industri, medis, atau zat radioaktif alam (*naturally-occurring radioactive material*, NORM).

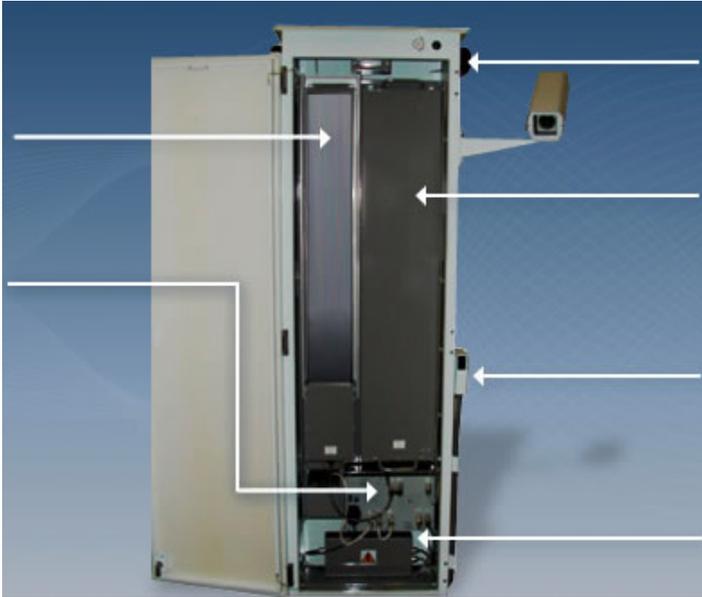
Ada berbagai jenis dan merek RID dengan rentang berbagai ketelitian dan jenis radiasi yang mampu dideteksi. Alat ini terdiri dari detektor NaI(Tl), basis data untuk mengidentifikasi jenis radionuklida, dan detektor GM untuk menentukan laju dosis pada lokasi tersebut.

RID merupakan suatu alat yang penting digunakan oleh petugas di perbatasan negara, bea cukai, dan aparat keamanan untuk melacak lokasi sumber radioaktif serta mengidentifikasi dengan lebih teliti jenis sumber radionuklida serta besaran paparan radiasinya. RID dapat dengan segera memberikan informasi adanya radiasi dan besaran paparan radiasi gamma atau neutron. Namun, dalam mode identifikasi, biasanya dibutuhkan waktu yang agak lama untuk dapat memberikan informasi jenis radionuklida yang terdeteksi.

### 3. Portal Monitor Radiasi (RPM)

RPM (lihat Gambar 6.3.) adalah portal monitor radiasi yang dipasang tetap untuk melakukan skrining atau pemeriksaan terhadap sumber radiasi gamma dan/atau neutron secara otomatis pada orang atau kendaraan yang melewati daerah deteksi, dengan tidak mengganggu objek yang dideteksi. RPM sangat diperlukan untuk dipasang di pintu keluar dan masuk perbatasan, pelabuhan laut, bandar udara, objek vital, serta fasilitas radiasi dan instalasi nuklir. RPM lebih sensitif daripada *handheld device* (PRD dan RID). Biasanya, RPM dioperasikan secara terus menerus. RPM juga dilengkapi dengan sensor hunian (*occupancy*) yang mendeteksi adanya objek yang berada di daerah deteksi dan membandingkan tingkat radiasi dengan tingkat alarm yang ditentukan berdasarkan cacah latar di daerah tersebut.

Menurut penggunaannya, ada beberapa jenis RPM ,seperti RPM pedestrian (pejalan kaki), RPM paket (misalnya *conveyor*), RPM kendaraan (termasuk peti kemas), dan RPM kereta api. RPM pedestrian merupakan sistem deteksi radiasi yang terpasang permanen atau semipermanen dan dirancang untuk memonitor secara otomatis personel atau pejalan kaki dengan barang-barang pribadi yang melewati zona deteksi. RPM kendaraan biasanya digunakan untuk menemukan keberadaan radiasi gamma dan neutron pada kendaraan besar. Secara umum, RPM akan memberi tahu petugas keamanan tentang keberadaan zat radioaktif dan/atau bahan nuklir serta memberikan informasi terkait alarm tambahan: jenis alarm (gamma, neutron, atau keduanya), besaran relatif alarm, dan lain-lain.



Sumber: IAEA (t.t.a)

**Gambar 6.3** Konfigurasi Portal Monitor Radiasi

Beberapa contoh sistem deteksi dan pengukur radiasi yang digunakan untuk sistem pengamanan di Kawasan Nuklir Serpong dan Kawasan Nuklir Pasar Jumat diperlihatkan pada Gambar 6.4. Sementara itu, Tabel 6.1 menunjukkan fitur utama berbagai sistem deteksi dan penggunaannya.



Keterangan: (a) PRD, (b) RID, (c) BRD, dan (d) RPM  
Foto: Dokumentasi BATAN (2020)

**Gambar 6.4** Contoh Detektor Radiasi yang Digunakan di Kawasan Nuklir Serpong dan Kawasan Nuklir Pasar Jumat

**Tabel 6.1** Fitur Berbagai Sistem Deteksi Radasi dan Pemanfaatannya

Jenis	Deteksi Gamma	Deteksi Neutron	Lokalisasi Gamma	Lokalisasi Neutron	Identifikasi Isotop	Alarm Keselamatan
RPM	ya	ya	sangat terbatas	sangat terbatas	tidak	tidak
PRD	ya	tidak	ya	tidak	tidak	ya
RID	ya	ya	ya	terbatas	ya	ya
BRD	ya	ya	ya	ya	ya	ya

#### D. Sistem Pengukuran Radiasi dan Implementasi untuk Keamanan

Ada beberapa faktor yang memengaruhi deteksi dan pengukuran radiasi yang harus diperhatikan oleh seluruh pengguna sistem pengukuran radiasi. Secara umum, faktor-faktor tersebut, antara lain, aktivitas dan energi sumber radioaktif, jarak sumber ke detektor, ada atau tidak adanya dinding (perisai), ketebalan perisai, bahan perisai (*shielding*), kecepatan gerak objek yang diamati (kendaraan atau pejalan kaki), *masking* dengan menggunakan NORM, dan alarm palsu akibat fluktuasi latar alam.

## 1. Prosedur FLO dalam Mendeteksi, Melokasi, dan Mengidentifikasi

Sebagai garda terdepan, implementasi pengukuran radiasi untuk keamanan dilakukan oleh *frontline officer* (FLO) yang bertugas mendeteksi dan mencegah penyelundupan zat radioaktif yang melintasi perbatasan atau *checkpoint* suatu fasilitas nuklir. Langkah pertama ialah mendeteksi (*detect*) keberadaan radiasi, dalam hal ini RPM dan PRD dapat digunakan untuk mendeteksi ada atau tidak adanya radiasi. Jika ditemukan kenaikan tingkat radiasi, langkah selanjutnya ialah melokasi (*locate*) sumber radioaktif tersebut. Untuk melakukan langkah ini, FLO dapat menggunakan RID dalam mode pencarian (*search mode*). Jika sudah ditemukan bagian atau lokasi terbesar radiasi, langkah selanjutnya ialah melakukan identifikasi (*identify*) dengan menggunakan RID. Fungsi ini membutuhkan beberapa saat sampai RID menampilkan jenis isotop dan kategori material yang terdeteksi. Gambar 6.5 mengilustrasikan langkah-langkah deteksi, lokalisasi, dan identifikasi zat radioaktif.



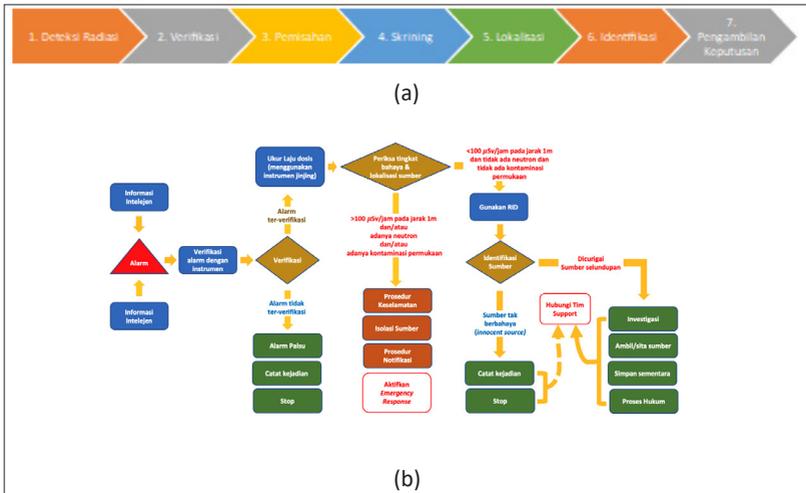
Dalam praktik pemeriksaan kendaraan di suatu fasilitas nuklir, setiap alarm harus ditindaklanjuti meskipun terkadang bisa muncul alarm palsu yang harus diinvestigasi lebih lanjut. Berikut dijelaskan langkah-langkah proses responss terhadap alarm, yaitu: deteksi radiasi, verifikasi, pemisahan, skrining, lokalisasi, identifikasi, dan pengambilan keputusan. Masing-masing langkah diperinci sebagai berikut.

- 1) Deteksi radiasi, ditengarai dengan adanya peningkatan tingkat radiasi dan munculnya alarm dari RPM atau PRD.
- 2) Verifikasi, perlu dilakukan untuk memastikan alarm itu muncul sebagai alarm yang sebenarnya, bukan alarm palsu (*false alarm*) akibat *statistical error*.
- 3) Pemisahan (*separation*), harus dilakukan dengan menghentikan dan memisahkan kendaraan dari antrian agar tidak mengganggu proses pengecekan kendaraan selanjutnya.
- 4) Skrining, dilakukan untuk mengukur besaran paparan radiasi ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ) dan memastikan masih dalam batas yang tidak membahayakan manusia. Hal penting yang harus diperhatikan adalah jika ditemukan 3 tingkat bahaya bagi manusia, yaitu paparan radiasi melebihi  $100 \mu\text{Sv}/\text{jam}$  pada jarak 1 m dari objek, adanya radiasi neutron, dan ditemukannya kebocoran (*leakage*) cairan atau serbuk terkontaminasi yang bisa menyebabkan bahaya internal.
- 5) Lokalisasi, dilakukan dengan menggunakan RID sampai menemukan lokasi tertentu sumber radioaktif, sambil tetap terus memperhatikan keselamatan FLO sendiri.
- 6) Identifikasi, penentuan isotop dan kategori sumber radioaktif dilakukan dengan saksama pada lokasi sumber yang sudah ditemukan sebelumnya.
- 7) Pengambilan keputusan, langkah terakhir, tergantung dari hasil identifikasi dengan mengacu pada peraturan yang berlaku.

Dalam meresponss alarm yang muncul dari sistem deteksi dan pengukuran radiasi, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut (Gambar 6.6).

- 1) Jika ditemukan tingkat radiasi yang membahayakan manusia, perlu segera melakukan prosedur keselamatan, mengisolasi sumber, memberi tanda bahaya, dan melaporkan ke pihak berwajib atau otoritas yang lebih tinggi, yang selanjutnya akan ditindaklanjuti dengan tanggap darurat oleh otoritas terkait.

- 2) Jika ditemukan tingkat radiasi yang tidak membahayakan manusia, langkah lokalisasi dan identifikasi dilakukan. Hasil identifikasi akan ditentukan apakah bahan tersebut dicurigai sebagai sumber selundupan (*suspect illicit source*). Selanjutnya, dilakukan langkah notifikasi sesuai protokol tanggapan kepada otoritas terkait. Jika alarm yang timbul berasal dari sumber yang tidak berbahaya (*innocent source*), akan dilakukan pelepasan (*release*). Alarm yang tidak berbahaya adalah alarm radiasi yang disebabkan oleh zat radioaktif yang tidak dimaksudkan untuk digunakan dalam tindak kejahatan (*malicious act*). Alarm yang tidak berbahaya dapat muncul pada orang yang baru saja mendapatkan perlakuan medis menggunakan isotop, kargo berisi zat radioaktif yang ada di alam (NORM), atau pengangkutan bahan radioaktif legal yang dilengkapi dokumen yang sesuai. Ada beberapa bahan yang mengandung zat radioaktif yang dapat menyebabkan alarm yang tidak berbahaya. Dalam hal ini bisa berupa batu alam, pupuk, keramik, batang las, kaca hijau uranium, layar video, peralatan seperti pengukur kelembaban, atau *tailing* dari industri minyak atau instalasi desalinasi.

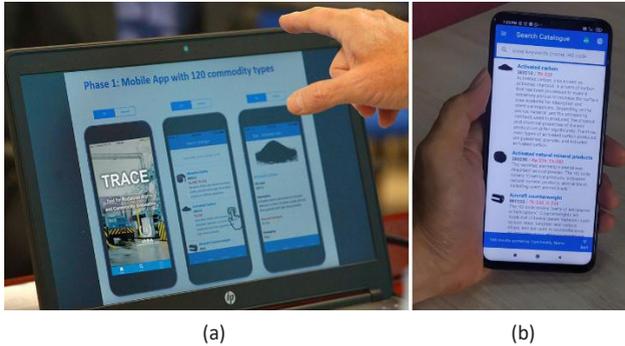


Keterangan: (a) Ilustrasi langkah deteksi, lokasi, dan identifikasi dan (b) ilustrasi lengkapnya  
 Sumber: Adaptasi dari IAEA (t.t.a)

**Gambar 6.6** Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merespons alarm yang muncul dari sistem deteksi dan pengukuran radiasi.

Untuk memudahkan pekerjaan FLO, IAEA telah meluncurkan sebuah aplikasi TRACE (Tool for Radiation Alarm and Commodity Evaluation) yang dapat dipasang pada berbagai gawai berbasis macOS maupun Android (Dahlstrom, 2017) (Gambar 6.7). Aplikasi ini dapat diunduh secara gratis dan menyediakan basis data (*database*) material yang mengandung radionuklida yang berasal dari alam dan dapat menginisiasi alarm yang tidak berbahaya. Basis data material ini juga dilengkapi dengan HS Code (*Harmonized System Code*) yang biasanya tercantum dalam dokumen ekspor-impor. Aplikasi ini juga dilengkapi sistem pencatatan alarm dan basis data berbagai jenis RPM komersial.

Buku ini tidak diperjualbelikan



Sumber: (a) Dahlstrom (2017); (b) Kristedjo Kurnianto (2024)  
**Gambar 6.7** Ilustrasi Penggunaan Aplikasi TRACE pada Telepon Genggam

## 2. Standardisasi

Sistem pengukuran radiasi yang digunakan, baik di dalam maupun di luar ruangan, harus memenuhi persyaratan keakuratan pengukuran radiasi dan ketahanan fisik terhadap lingkungan penggunaannya. Sistem pengukuran radiasi harus memiliki kekuatan terhadap benturan, temperatur lingkungan, kelembaban udara, gangguan gelombang elektromagnetik, debu, percikan air, getaran, dan sumber gangguan dari lingkungan lainnya. Oleh karena itu, sebelum menggunakan peralatan ini, harus dipastikan sertifikat kalibrasi dan keberterimaan dengan standar yang berlaku. Tabel 6.2 menampilkan standar yang berlaku pada instrumen untuk deteksi penyelundupan zat radioaktif (*illicit trafficking*).

**Tabel 6.2** Daftar Standar untuk Berbagai Instrumen Deteksi Penyelundupan

Jenis Instrumen	Nomor IEC	Judul Standar
Dikenakan Tubuh	62401	Radiation protection instrumentation – Alarming Personal Radiation Devices (PRDs) for the detection of illicit trafficking of radioactive material
	62618	Radiation protection instrumentation – Spectroscopy-Based Alarming Personal Radiation Devices (SPRD) for detection of illicit trafficking of radioactive material

<b>Jenis Instrumen</b>	<b>Nomor IEC</b>	<b>Judul Standar</b>
	62694	Radiation protection instrumentation – Backpack-type radiation detector (BRD) for detection of illicit trafficking of radioactive material
Jinjing atau Hand-held	62327	Radiation protection instrumentation – Hand-held instruments for the detection and identification of radionuclides and for the estimation of ambient dose equivalent rate from photon radiation
	62533	Radiation protection instrumentation – Highly sensitive hand-held instruments for photon detection of radioactive material
	62534	Radiation protection instrumentation – Highly sensitive hand-held instruments for neutron detection of radioactive material
Portal	62244*)	Radiation protection instrumentation – Installed radiation portal monitors (RPMs) for the detection of illicit trafficking of radioactive and nuclear materials
	62484	Radiation protection instrumentation – Spectroscopy-based portal monitors used for the detection and identification of illicit trafficking of radioactive material
Format Data	61755	Radiation protection instrumentation – Data format for radiation instruments used in the detection of illicit trafficking of radioactive materials

Keterangan: \*)Sudah diadopsi menjadi SNI IEC 62244 : 2016 “Instrumentasi proteksi radiasi–Monitor radiasi yang terpasang untuk deteksi bahan nuklir khusus dan radioaktif di perbatasan wilayah”

Sumber: International Electrotechnical Commission (2017a, 2017b, 2020, 2022)

## E. Perkembangan Penelitian dan Pengembangan Sistem Pemantauan Radiasi

BATAN, yang saat ini sudah terintegrasi menjadi BRIN, sebagai lembaga penelitian dan pengembangan terkait pemanfaatan teknologi nuklir memiliki peranan penting dalam menghasilkan dan meningkatkan produk inovasi, khususnya terkait teknologi nuklir yang berdaya saing dan investasi berbiaya rendah. Pusat Rekayasa

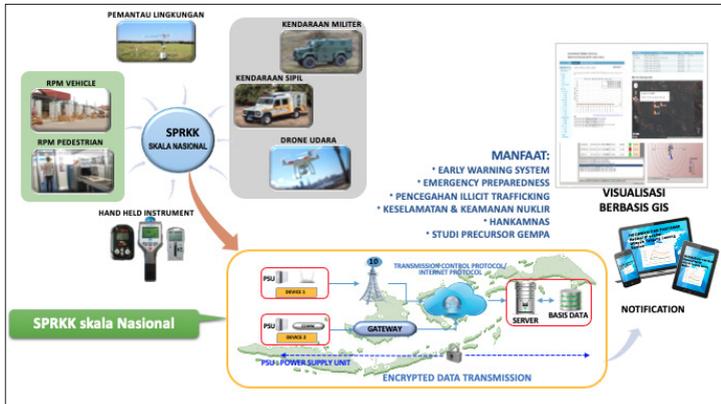
Fasilitas Nuklir (PRFN) yang saat ini terintegrasi dalam Pusat Riset Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir (PRTDRAN) telah dan sedang mengembangkan monitor lingkungan, *smart surveymeter*, dan perangkat portal monitor radiasi (RPM) sebagai bagian dari sistem pemantauan radiasi lingkungan untuk keselamatan dan keamanan (SPRKK).

SPRKK merupakan sebuah sistem deteksi radiasi terintegrasi secara nasional dengan menekankan peningkatan kandungan lokal (tingkat komponen dalam negeri, TKDN) dengan tiga capaian besar yang akan diwujudkan, yaitu (Gambar 6.8)

- 1) sistem informasi pemantauan radiasi lingkungan skala nasional;
- 2) perangkat pengukur radiasi laik industri; serta
- 3) standar, sertifikasi, dan kebijakan pendukung lainnya.

Saat ini, Indonesia baru memiliki beberapa RPM dan merupakan produk impor. Oleh karena itu, perawatan dan penggantian suku cadang masih bergantung kepada produsen RPM tersebut, serta menimbulkan tanda tanya terkait jaminan keamanan data hasil pemantauannya. Sejalan dengan upaya untuk mengatasi hal tersebut, salah satu produk kegiatan pengembangan SPRKK yang sudah mencapai kemajuan signifikan adalah pengembangan RPM kendaraan hasil kolaborasi BATAN dengan pihak regulator (BAPETEN), universitas (UGM), dan industri nasional (PT LEN).

RPM hasil pengembangan tersebut sudah melalui berbagai jenis uji, sesuai yang dipersyaratkan dalam SNI IEC 62244: 2016 “Instrumentasi proteksi radiasi–Monitor radiasi yang terpasang untuk deteksi bahan nuklir khusus dan radioaktif di perbatasan wilayah”. Gambar 6.9 memperlihatkan foto-foto sebagian proses pengujian radiologi dan non radiologi yang sudah dilakukan di berbagai laboratorium terkait.



Ilustrasi: Dokumentasi BATAN (2020)

**Gambar 6.8** Info Grafis Kegiatan Prioritas Riset Nasional SPRKK



Keterangan: (a) uji radiologi statis dan dinamis; (b) uji temperatur dan kelembaban lingkungan, uji dampak, uji getas, ketahanan terhadap air  
Foto: Dokumentasi BATAN (2020)

**Gambar 6.9** Proses pengujian radiologi dan non radiologi yang sudah dilakukan di berbagai laboratorium di BATAN (BRIN).

Buku ini tidak diperjualbelikan

Saat ini, RPM hasil pengembangan BATAN sudah dipasang dan dioperasikan untuk memastikan keamanan Kawasan Nuklir Serpong dan Kawasan Nuklir Pasar Jumat. Diharapkan, pada akhir tahun 2024 seluruh fasilitas nuklir BRIN lainnya (di Bandung dan Yogyakarta) dapat dilengkapai dengan RPM kendaraan hasil pengembangan sendiri. Di samping itu, RPM jenis pedestrian juga dikembangkan dan mulai dioperasikan di Kawasan Nuklir Serpong. Dalam rencana jangka panjang, dengan kerjasama industri nasional, diharapkan kebutuhan RPM di pelabuhan, bandara, dan lintas batas negara dapat dipenuhi oleh RPM produk dalam negeri. Dengan demikian, Indonesia dapat memenuhi kebutuhan pemantauan lalu lintas zat radioaktif guna meningkatkan keselamatan bahaya radiasi dan keamanan penyalahgunaan bahan radioaktif menggunakan RPM produksi dalam negeri berbiaya rendah dari segi produksi, operasional, perawatan, dan kalibrasi.

Sejalan dengan pengembangan RPM, saat ini juga sedang dikembangkan perangkat *smart surveymeter* (sejenis RID), *drone* pengukur radiasi (UAS), monitor lingkungan, dan kendaraan monitor radiasi yang seluruhnya akan terintegrasi dalam sebuah sistem informasi yang dapat dipantau secara terpusat. Dengan integrasi data dan pengelolaan data terpusat, ketersediaan data dan riwayat data dapat digunakan untuk berbagai kepentingan seperti big data. Pada saatnya, data-data tersebut dapat dimanfaatkan untuk *information mining*, *machine learning*, *predictive model*, dan berbagai aplikasi analisis tingkat lanjut yang saat ini banyak dimanfaatkan untuk keperluan riset, keamanan dan keselamatan fasilitas nuklir, serta masyarakat pada umumnya.

## F. Penutup

Pembangunan kapasitas bidang pemantauan dan pengukuran radiasi sangat penting bagi Indonesia. Penguasaan teknologi pengukuran radiasi adalah suatu keniscayaan yang harus terus diupayakan untuk menjamin keselamatan dan keamanan masyarakat yang saat ini sudah banyak memanfaatkan aplikasi teknologi nuklir pada berbagai bidang.

Sistem deteksi radiasi modern saat ini mengintegrasikan sejumlah besar detektor tetap dan bergerak (*mobile*) yang digunakan untuk keperluan keselamatan dan keamanan fasilitas nuklir, aplikasi medis, pengangkutan material nuklir, pos pemeriksaan perbatasan, pelabuhan laut, bandara, serta pusat keramaian lainnya. Di sisi lain, perkembangan teknologi pada era informasi harus diantisipasi dengan berbagai penyesuaian dan penguasaan teknologi elektronika nuklir maju dan sistem kendali terintegrasi. Penggunaan *smart detector* yang dilengkapi dengan kemampuan terhubung pada jaringan melalui kabel maupun nirkabel juga memunculkan suatu tantangan baru dalam bidang keamanan data dan keamanan siber sehingga konsep kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan data dapat terjamin. Penyesuaian terhadap perkembangan teknologi deteksi dengan perubahan ancaman terhadap keamanan nuklir juga perlu diantisipasi dengan pemanfaatan *big data* untuk *information mining*, penggunaan kecerdasan buatan, dan analisis tingkat lanjut, baik untuk keperluan riset maupun peningkatan unjuk kerja sistem keamanan nuklir itu sendiri.

Peran peningkatan kemampuan sumber daya manusia dan keterlibatan pemangku kepentingan terkait pengguna dan pengawas sangat dibutuhkan untuk menjamin keamanan fasilitas nuklir juga fasilitas lainnya. Penyusunan peta jalan keamanan nuklir yang terintegrasi hasil kolaborasi pemangku kepentingan terkait, seperti BRIN, BAPETEN, kepolisian, dan beberapa lembaga strategis seperti Badan Intelijen Negara (BIN), perguruan tinggi, kalangan industri, serta pengguna lainnya perlu segera dibuat dan diupayakan implementasinya. Dari sisi teknologi sistem keamanan, termasuk sistem pemantau radiasi, peran BRIN sangat penting untuk menghasilkan inovasi sehingga dapat melepas ketergantungan dengan peralatan impor, yang pada akhirnya akan memperkuat keamanan nuklir di Indonesia.

## Daftar Referensi

- International Atomic Energy Agency. (2005). Categorization of radioactive sources. *IAEA Safety Standard Series No. RS-G-1.9*. <https://www.iaea.org/publications/7237/categorization-of-radioactive-sources>
- International Atomic Energy Agency. (2006). Dangerous quantities of radioactive material (D-values). *Emergency Preparedness and Responssse*. <https://www.iaea.org/publications/7568/dangerous-quantities-of-radioactive-material-d-values>
- International Atomic Energy Agency. (2007a). Identification of radioactive sources and devices. *IAEA Nuclear Security Series No. 5*. <https://www.iaea.org/publications/7567/identification-of-radioactive-sources-and-devices>
- International Atomic Energy Agency. (2007b). Combating illicit trafficking in nuclear and other radioactive material. *IAEA Nuclear Security Series No. 6*. <https://www.iaea.org/publications/7806/combating-illicit-trafficking-in-nuclear-and-other-radioactive-material>
- International Atomic Energy Agency. (2009). Security of radioactive sources. *IAEA Nuclear Security Series No. 11*. <https://www.iaea.org/publications/8113/security-of-radioactive-sources>
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on radioactive material and associated facilities. *IAEA Nuclear Security Series No. 14*. <https://www.iaea.org/publications/8616/nuclear-security-recommendations-on-radioactive-material-and-associated-facilities>
- International Atomic Energy Agency. (t.t.a). Radiation detection techniques for nuclear security applications (E-learning). *Cyber Learning Platform for Network Education and Training (CLP4NET)*. Diakses pada Agustus 2022, dari <https://elearning.iaea.org/m2/mod/scorm/view.php?id=5647>
- Dahlstrom, D. (2017, 9 Juni). IAEA launches mobile application tool for radiation alarm and commodity evaluation. *International Atomic Energy Agency*. <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-launches-mobile-application-tool-for-radiation-alarm-and-commodity-evaluation>
- International Electrotechnical Commission. (2017a). Radiation protection instrumentation-Hand-held instruments for the detection and identification of radionuclides and for the indication of ambient dose-equivalent rate from photon radiation. International Standard CEI IEC 62327. <https://webstore.iec.ch/publication/31971>

- International Electrotechnical Commission. (2017b). Radiation protection instrumentation-Alarming personal radiation devices (PRD) for detection of illicit trafficking of radioactive material. International Standard IEC 62401. <https://webstore.iec.ch/publication/27563>
- International Electrotechnical Commission. (2020). Radiation protection instrumentation - Spectrometric radiation portal monitors (SRPMs) used for the detection and identification of illicit trafficking of radioactive material. International Standard IEC 62484. <https://webstore.iec.ch/publication/62650>
- International Electrotechnical Commission. (2022). Radiation protection instrumentation-Spectroscopy-based alarming personal radiation detectors (SPRD) for detection of illicit trafficking of radioactive material. International Standard IEC 62618. <https://webstore.iec.ch/publication/66065>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif. (2015). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-6-tahun-2015-tahun-2015-tentang-keamanan-sumber-radioaktif>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. (1997). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/undang-undang-republik-indonesia-nomor-10-tahun-1997-tentang-ketenaganukliran>



## BAB VII

# Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif

Moch Romli

---

### A. Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam bentuk sumber radioaktif terus meningkat di berbagai bidang usaha, baik itu dalam bentuk sumber radioaktif terbungkus maupun sumber radioaktif terbuka. Sumber radioaktif terbungkus adalah sumber radiasi berupa material radioaktif yang secara permanen terbungkus dalam sebuah kapsul atau suatu material padat. Sementara itu, sumber radioaktif terbuka merupakan sumber radiasi berupa material radioaktif yang tidak terbungkus kapsul atau suatu material padat secara permanen (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2018). Di bidang industri, beberapa instrumentasi pengukuran seperti pengukuran ketebalan kertas ataupun pengukuran volume dalam tangki fluida memanfaatkan sumber radioaktif dan sifat pancaran radiasi pengion. Di bidang

---

Moch Romli\*

\*Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: moch.romli@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

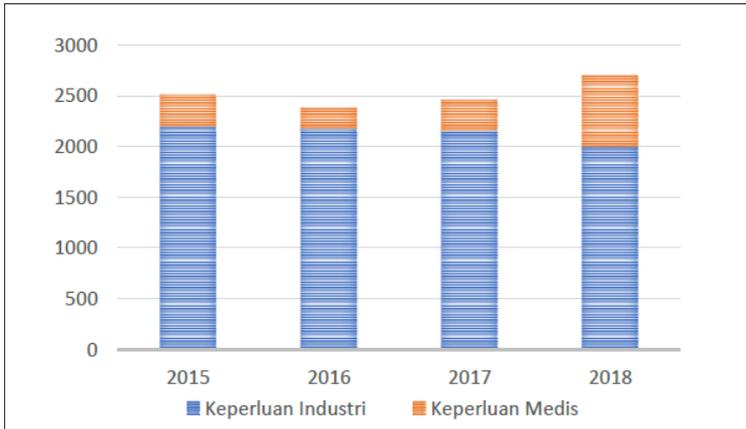
Romli, M. (2024). Keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (149–171). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c995, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

medis, sumber radioaktif terbungkus digunakan dalam terapi kanker dengan metode teleterapi ataupun *brachytherapy*. Di samping itu, ada pula penggunaan sumber radioaktif terbuka, seperti Tc-99m dalam kedokteran nuklir, untuk keperluan diagnosis ataupun terapi. Sementara itu, di bidang penelitian, sumber radioaktif terbungkus seperti iradiator gamma digunakan untuk pemuliaan tanaman dan sterilisasi bahan pangan. Selain itu, terdapat pemanfaatan bahan nuklir untuk bahan bakar, baik di reaktor riset maupun reaktor yang digunakan untuk pembangkit listrik.

Dengan perkembangan pemanfaatan teknologi nuklir tersebut, akan selaras dengan peningkatan kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Pengangkutan zat radioaktif dilakukan untuk mengirimkan zat radioaktif dalam berbagai bentuk, baik dalam proses produksi, distribusi, maupun pelimbahan. Contoh pengangkutan dalam proses produksi adalah pengangkutan material hasil iradiasi dari reaktor riset ke instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka. Sementara itu, pengangkutan dalam tahap distribusi biasanya dilakukan antara produsen, pemasok, dan/atau pengguna. Dalam tahapan ini sangat dimungkinkan terjadinya kegiatan ekspor/impor dari negara produsen ke negara pengguna. Jika zat radioaktif tersebut tidak optimal lagi digunakan, akan dikirimkan kembali kepada produsen ataupun dikirimkan ke fasilitas pengelolaan limbah radioaktif yang telah ditunjuk oleh regulasi atau badan pengawas. Di samping itu, pemanfaatan teknologi nuklir seperti sumber radioaktif terbuka dan fasilitas daur bahan nuklir akan menghasilkan material terkontaminasi radioaktif ataupun teriradiasi yang juga harus dikirimkan ke fasilitas pengelolaan limbah radioaktif jika sudah tidak digunakan lagi.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai institusi yang melakukan pengawasan dalam pemanfaatan teknologi nuklir di Indonesia, mencatat bahwa pada rentang tahun 2015 hingga 2018 terdapat sekitar 2.000 hingga 3.000 persetujuan pengiriman zat radioaktif yang diterbitkan setiap tahunnya (Gambar 7.1). Jika dirata-ratakan, dapat dikatakan setiap harinya terdapat sekitar enam kegiatan pengangkutan zat radioaktif di seluruh wilayah Indonesia. Pengangkutan

zat radioaktif ini dilakukan dengan moda transportasi tunggal (darat, udara, atau air) atau merupakan kombinasi dari ketiganya.



Sumber : Ishak (2019)

**Gambar 7.1** Jumlah KTUN Persetujuan Pengiriman Zat Radioaktif yang Diterbitkan oleh BAPETEN Periode 2015–2018

Dalam regulasi internasional seperti yang tertuang dalam *Dangerous Goods Regulation 55 Edition* (International Airport Transport Association, IATA, 2014) ataupun regulasi nasional, antara lain, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 16 (2021), barang berbahaya dalam kegiatan pengangkutan dikelompokkan menjadi 9 (sembilan) kelas, yaitu sebagai berikut:

- 1) kelas 1, berupa bahan/barang yang mudah meledak;
- 2) kelas 2, berupa gas yang dimampatkan, dicairkan, atau dilarutkan dengan tekanan;
- 3) kelas 3, berupa cairan mudah menyala atau terbakar;
- 4) kelas 4, berupa bahan/barang padat mudah menyala atau terbakar;
- 5) kelas 5, berupa bahan/barang pengoksidasi;
- 6) kelas 6, berupa bahan/barang beracun dan mudah menular;

- 7) kelas 7, berupa bahan/barang radioaktif;
- 8) kelas 8, berupa bahan/barang korosif atau perusak; dan
- 9) kelas 9, berupa bahan/barang berbahaya lainnya.

Sembilan kelas barang tersebut memiliki potensi bahaya yang harus mendapat perhatian dalam setiap kegiatan pengangkutan. Di dalam klasifikasi tersebut, zat radioaktif berada pada kelas 7, barang yang memiliki potensi bahaya dalam pengangkutan.

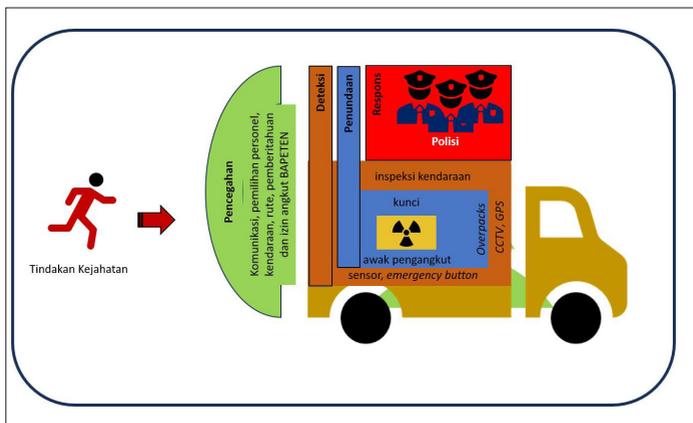
Hermawan (2019) menyatakan, selain aspek keselamatan, aspek keamanan pengangkutan zat radioaktif mulai diperhatikan sebagai responss kejadian penyerangan terhadap Menara Kembar World Trade Center di New York pada 11 September 2011. Sebagai tindakan pengendalian terhadap risiko keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif tersebut, IAEA menerbitkan beberapa dokumen yang dapat dijadikan acuan dalam penyelenggaraan keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif, salah satu di antaranya adalah “Security in the Transport of Radioactive Material”, dalam seri *IAEA Nuclear Security Series No. 9-G* yang merupakan revisi dari versi tahun 2008 (IAEA, 2020). Di samping itu, terdapat pula “Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities”, dalam seri *IAEA Nuclear Security Series No. 13* (IAEA, 2011).

Salah satu contoh insiden pada pengangkutan zat radioaktif terjadi pada tahun 2013. IAEA mendapatkan laporan dari pihak berwenang Mexico bahwa truk yang mengangkut teleterapi Co-60 dari rumah sakit ke pusat penyimpanan limbah telah dicuri di dekat Kota Meksiko. Pada saat truk dicuri, sumber radioaktif Co-60 tersebut terlindungi dengan baik. Tujuan dari pencurian ini tidak jelas, apakah hanya ingin mencuri kendaraan truk atau memang mengincar sumber radioaktif yang ada di dalamnya untuk tujuan kejahatan, misalnya untuk “dirty bomb”. Lebih dari 100 insiden pencurian dan tindakan kejahatan lainnya yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif dilaporkan ke IAEA setiap tahunnya (Dahl, 2013). Sebagai upaya penerapan keamanan pengangkutan zat radioaktif di wilayah Republik

Indonesia, pemerintah menyusun regulasi Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 58 (2015) tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif.

## B. Fungsi Keamanan dan Tanggap Darurat dalam Pengangkutan Zat Radioaktif

Keamanan pengangkutan zat radioaktif harus dirancang untuk mencegah terjadinya tindakan kejahatan dalam pengangkutan, dengan menerapkan empat fungsi keamanan dalam kegiatan pengangkutan sumber radioaktif, yaitu pencegahan, deteksi, penundaan, dan respons seperti diilustrasikan pada Gambar 7.2 (Perka BAPETEN No. 6, 2015). Keamanan pengangkutan zat radioaktif juga harus mencakup manajemen keamanan yang mengintegrasikan personel, prosedur, dan peralatan. Keamanan pengangkutan zat radioaktif harus dirancang dengan memperhatikan jumlah dan bentuk fisik/kimia bahan radioaktif yang diangkut, moda pengangkutan, dan bungkusan yang digunakan. Ketika terdapat potensi risiko keamanan, teknis keamanan yang dibangun harus dapat melakukan pencegahan, seperti dengan tersedianya petugas keamanan, bungkusan yang layak, dan penggunaan gembok (IAEA, 2020).



Sumber: Adaptasi dari Perka BAPETEN Nomor 6 (2015)

**Gambar 7.2** Ilustrasi Empat Fungsi Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif

Penerapan empat fungsi keamanan dalam kegiatan pengangkutan sumber radioaktif dan tanggap darurat dalam pengangkutan zat radioaktif akan dijelaskan sebagai berikut.

## 1. Fungsi Pencegahan

Fungsi pencegahan dapat dilaksanakan dengan perencanaan kegiatan yang baik, di antaranya melalui komunikasi dengan penerima, penentuan personel dan kendaraan pengangkut yang memadai, pemberitahuan, serta permohonan persetujuan pengiriman dari BAPETEN. Di samping itu, harus ditentukan juga rute pengangkutan, baik itu rute utama maupun rute alternatif. Rute tersebut ditentukan untuk menghindari daerah rawan bencana alam, rawan kerusakan, rawan ancaman, pencurian, dan sabotase. Jika di dalam perjalanan diperlukan pemberhentian ataupun transit, kondisi keamanan lokasi dan kemudahan pengawasan harus menjadi pertimbangan.

## 2. Fungsi Deteksi

Fungsi deteksi dilakukan untuk mendeteksi pengambilalihan yang tidak sah dan sabotase yang memungkinkan, dari sebelum zat radioaktif ditempatkan dalam kendaraan hingga kegiatan pengangkutan selesai. Kegiatan deteksi dapat dilakukan dengan melakukan inspeksi kendaraan sebelum memuat zat radioaktif. Hal ini untuk memastikan bahwa kendaraan tidak dirusak atau kendaraan tidak disabotase dengan menempelkan sesuatu yang dapat menimbulkan risiko keamanan selama proses pengangkutan. Selama proses pengangkutan, awak pengangkut harus melakukan pengawasan secara terus menerus terhadap kendaraan pengangkut dan daerah sekitarnya. Lebih jauh lagi, rekayasa teknis dapat diterapkan untuk membantu fungsi deteksi, yaitu dengan memasang sensor elektronik, *close circuit television* (CCTV) yang memantau bungkusan zat radioaktif, dan penggunaan alat pelacak (*global positioning system tracker*, GPS tracker) yang dapat diaktifkan oleh awak pengangkut. Penerapan sistem keamanan ini tentunya dengan prinsip *graded approach* berdasarkan tingkat risiko keamanan dari zat radioaktif yang diangkut.

### 3. Fungsi Penundaan

Fungsi penundaan dalam keamanan pengangkutan zat radioaktif bertujuan untuk mempersulit proses pemindahan zat radioaktif yang tidak sah dari alat angkut sehingga dapat memberikan waktu yang cukup untuk merespons kejadian tersebut secara efektif. Tindakan penundaan dapat dilakukan dengan menggunakan kunci pada pintu kendaraan, penggunaan *overpacks*, kunci pada kemasan, serta awak pengangkut yang diberi pengetahuan terkait keamanan sumber radioaktif. Fungsi penundaan ditujukan agar personel/tim respons dapat melakukan intervensi saat tindakan kejahatan sedang berlangsung, ataupun dapat melakukan pengejaran secara tepat waktu terhadap pengambilan yang tidak sah tersebut.

### 4. Fungsi Respons

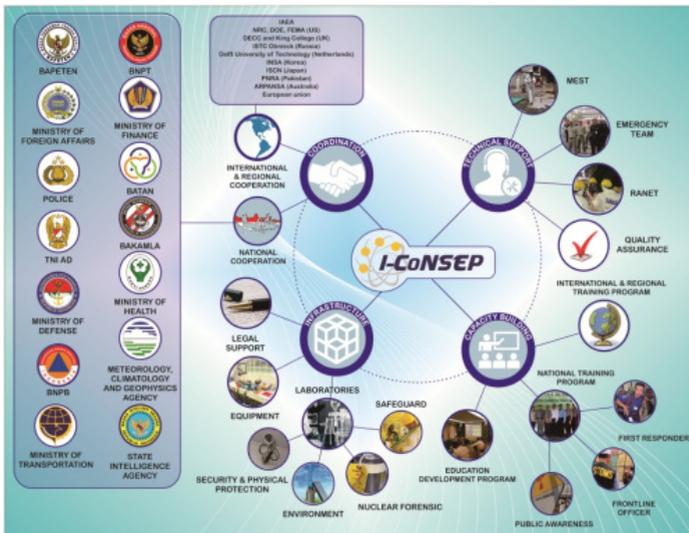
Tindakan respons harus dilakukan setelah diketahui adanya ancaman keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif. Tindakan respons dapat dilakukan oleh awak pengangkut dan juga otoritas setempat sebagai satuan persepsi, seperti kepolisian. Badan pengawas harus mewajibkan pengirim, pengangkut, penerima, dan pihak lain yang terlibat dalam pengangkutan agar dapat berkoordinasi dengan satuan perespons. Tindakan respons yang dilakukan bertujuan untuk menghentikan ancaman keamanan dan mencegah tindakan kejahatan tersebut mencapai tujuannya.

### 5. Tanggap Darurat dalam Pengangkutan Zat Radioaktif

Dalam pengangkutan zat radioaktif, pengirim, pengangkut, satuan perespons, dan semua pihak yang terlibat harus memiliki pengetahuan dan keterampilan yang memadai sebagai bagian dari tanggap darurat terhadap tindakan kejahatan selama proses pengangkutan. Rencana penanggulangan kedaruratan keamanan pengangkutan zat radioaktif harus dimutakhirkan dan dilatih secara berkala.

BAPETEN, sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Indonesia, mengambil peran utama dalam mengatasi ancaman dan risiko yang ada saat ini dan di masa yang akan datang, terkait dengan zat radio-

aktif. BAPETEN mengoordinasikan pemangku kepentingan untuk membangun infrastruktur nasional yang diperlukan untuk keamanan nuklir, kesiapsiagaan, serta tanggap darurat. Oleh karena itu, didirikanlah The Indonesia Center of Excellence on Nuclear Security and Emergency Preparedness (I-CoNSEP) sebagai komitmen nasional untuk memenuhi aspek keselamatan, keamanan, dan garda aman dalam pemanfaatan teknologi nuklir. Aspek kewanaman meliputi siklus dan material bahan bakar nuklir, fasilitas dan aktivitas terkait zat radioaktif, keamanan transportasi, kemampuan deteksi, responss dan mitigasi terhadap kejadian keamanan, forensik nuklir, dan keamanan informasi (Gambar 7.3). Di samping itu, I-CoNSEP juga meliputi aspek kesiapsiagaan dan tanggap darurat yang terdiri dari pencarian dan pemulihan sumber radioaktif, survei radiasi, *sampling* dan analisis lingkungan, kajian radiologi, dekontaminasi, bantuan medis, dan kajian dosis (BAPETEN, t.t.).



Sumber: BAPETEN (t.t.)

**Gambar 7.3** Kerangka Kerja dan Pemangku Kepentingan I-CoNSEP

## C. Petunjuk Pelaksanaan Keamanan Pengangkutan Zat Radioaktif

Di dalam PP Nomor 58 (2015), teknis keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif diberlakukan pada sumber radioaktif dan bahan nuklir. Sumber radioaktif yang dimaksud adalah zat radioaktif bentuk khusus dan juga zat radioaktif daya sebar rendah. Sementara itu, bahan nuklir yang dimaksud terdiri atas bahan fisil, uranium heksafluorida (UF<sub>6</sub>) ataupun uranium alam, thorium alam, serta uranium susut kadar (*depleted*). Pada Peraturan BAPETEN Nomor 7 (2020), untuk sumber radioaktif dalam pengangkutan, dibutuhkan rencana keamanan sumber, sedangkan untuk bahan nuklir dalam pengangkutan dibutuhkan rencana proteksi fisik.

### 1. Teknis Keamanan Pengangkutan Sumber Radioaktif

Untuk melakukan pengangkutan sumber radioaktif, pengirim wajib menyusun dan memutakhirkan rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan. Dokumen rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan ini dapat menjadi dokumen tersendiri atau menjadi satu kesatuan dengan dokumen rencana keamanan sumber radioaktif untuk pemanfaatan sumber radiasi pengion. Pengirim wajib memutakhirkan rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan minimal 1 (satu) kali dalam jangka waktu 3 (tiga) tahun. Rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan paling sedikit memuat

- 1) ruang lingkup;
- 2) acuan peraturan perundang-undangan, standar, dan/atau kebijakan;
- 3) kategori sumber radioaktif, deskripsi zat radioaktif, bungkus, dan moda pengangkutan;
- 4) struktur organisasi dan tanggung jawab setiap personel;
- 5) pelatihan personel;
- 6) pengelolaan keamanan informasi;

- 7) tindakan keamanan yang disesuaikan dengan tingkat keamanan;
- 8) prosedur pemuatan, transit, penyimpanan sementara, pemindah-tanganan, pembongkaran, dan pelaporan dalam kondisi rutin;
- 9) rencana penanggulangan kedaruratan keamanan; dan
- 10) inventarisasi dan rekaman hasil inventarisasi sumber radioaktif yang diangkut.

Muatan rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan, ditentukan oleh kategori sumber radioaktif yang didasarkan pada radioaktivitas dan juga jenis penggunaannya. Panduan penentuan kategori sumber radioaktif yang diberikan dalam PP Nomor 58 (2015) ditunjukkan pada Tabel 7.1.

**Tabel 7.1** Panduan Penentuan Kategori Sumber Radioaktif

Kategori Sumber Radioaktif	Ambang Batas Radioaktivitas (A/D)	Jenis Penggunaan
1	$A/D \geq 1000$ (A/D lebih besar dari atau sama dengan 1000)	1) Sumber radioaktif untuk iradiator 2) Sumber radioaktif untuk radioterapi
2	$1000 > A/D \geq 10$ (A/D lebih kecil dari 1000 dan lebih besar dari atau sama dengan 10)	1) Sumber radioaktif untuk radiografi industri 2) Sumber radioaktif untuk brakiterapi
3	$10 > A/D \geq 1$ (A/D lebih kecil dari 10 dan lebih besar dari atau sama dengan 1)	1) Sumber radioaktif untuk gauging dengan sumber radioaktif aktivitas tinggi 2) Sumber radioaktif untuk <i>well logging</i> 3) Sumber radioaktif untuk fotofluorografi

Kategori Sumber Radioaktif	Ambang Batas Radioaktivitas (A/D)	Jenis Penggunaan
4	$1 > A/D \geq 0.01$ (A/D lebih kecil dari 1 dan lebih besar dari atau sama dengan 0.01)	1) Sumber radioaktif untuk gauging dengan sumber radioaktif aktivitas tinggi 2) Sumber radioaktif untuk <i>well logging</i> 3) Sumber radioaktif untuk fotofluorografi
5	$0.01 > A/D$ dan $A >$ tingkat pengecualian (A/D lebih kecil dari 0.01 dan A lebih besar dari tingkat pengecualian)	1) Sumber radioaktif untuk tujuan pendidikan, penelitian, dan pengembangan 2) <i>Check sources</i> 3) Sumber radioaktif untuk kalibrasi 4) Sumber radioaktif untuk standardisasi

Sumber: PP No. 58 (2015)

Nilai A merupakan total aktivitas dari radionuklida sumber radioaktif dalam satuan Curie (Ci) atau Giga Becquerel (GBq). Sementara itu, nilai D adalah kuantitas bahan radioaktif (dalam satuan Ci atau GBq), yang jika tidak dikendalikan, dapat mengakibatkan kematian individu yang terpapar atau cedera permanen yang bisa menurunkan kualitas hidup orang tersebut (IAEA, 2006).

Scottish Environment Protection Agency, SEPA (2018) memberikan panduan penentuan kategori sumber radioaktif melalui beberapa contoh.

### Contoh 1.

Sebuah rumah sakit memiliki 1 unit *blood irradiator*. Penentuan kategori untuk sumber radioaktif tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) hanya terdapat 1 unit sumber radioaktif di tempat tersebut;
- 2) jenis penggunaan terdapat pada Tabel 7.1;
- 3) berdasarkan jenis penggunaan pada Tabel 7.1, sumber tersebut masuk ke dalam kategori 1.

## Contoh 2.

Suatu perusahaan memiliki 30 unit sumber radioaktif Am-241 yang masing-masing aktivitasnya adalah 55,5 GBq dan 5 unit sumber Cs-137 dengan masing-masing aktivitas 65 GBq untuk keperluan *well logging*. Dari contoh ini, kategori sumber radioaktif ditetapkan sebagai berikut:

- 1) terdapat lebih dari 1 unit sumber radioaktif;
- 2) tujuan penggunaan *well logging* belum termasuk dalam jenis penggunaan yang ada pada Tabel 7.1 sehingga perlu dilakukan perhitungan nilai A/D;
- 3) total aktivitas (A) untuk Am-241 adalah  $30 \text{ unit} \times 55,5 \text{ GBq} = 1665 \text{ GBq}$  dan total aktivitas (A) untuk Cs-137 adalah  $5 \text{ unit} \times 65 \text{ GBq} = 325 \text{ GBq}$ ;
- 4) nilai D untuk Am-241 adalah 60 GBq dan nilai D untuk Cs-137 adalah 100 GBq (IAEA, 2005);
- 5) nilai A/D untuk Am-241 adalah  $1665 \text{ GBq} / 60 \text{ GBq} = 27,75$  dan nilai A/D untuk Cs-137 adalah  $325 \text{ GBq} / 100 \text{ GBq} = 3,25$ ;
- 6) jumlah dari kedua nilai A/D tersebut adalah  $27,75 + 3,25 = 31$ ;
- 7) dari Tabel 7.1, Nilai A/D = 31 masuk ke dalam kategori sumber radioaktif 2.

Kategori sumber radioaktif pada Tabel 7.1 menjadi dasar penentuan klasifikasi tingkat keamanan sumber radioaktif dalam pengangkutan. Persyaratan tingkat keamanan untuk tiap sumber kategori, yaitu

- 1) sumber radioaktif kategori 3 harus memenuhi persyaratan tingkat keamanan dasar;
- 2) sumber radioaktif kategori 2 harus memenuhi persyaratan tingkat keamanan lanjutan;
- 3) sumber radioaktif kategori 1 harus memenuhi persyaratan tingkat keamanan lanjutan diperketat.

Tiap tingkatan keamanan memiliki tindakan minimal yang harus dilakukan mulai dari tingkat keamanan dasar hingga tingkat keamanan lanjutan diperketat seperti pada Gambar 7.4. Sementara itu, untuk sumber radioaktif kategori 4 dan 5 tidak wajib untuk memenuhi tindakan keamanan apapun. Hal ini disebabkan karena potensi bahaya dari sumber radioaktif kategori tersebut dapat diminimalisir dengan pemenuhan terhadap aspek keselamatan radiasi.



Sumber: Adaptasi dari PP No. 58 (2015)

**Gambar 7.4.** Tindakan Keamanan Pengangkutan Sumber Radioaktif

## 2. Teknis Keamanan Pengangkutan Bahan Nuklir

Sama halnya dengan prinsip keamanan pengangkutan sumber radioaktif, keamanan pengangkutan bahan nuklir juga diperlukan untuk mencegah terjadinya pencurian, sabotase, teror, ataupun tindakan melawan hukum lainnya yang mengakibatkan jatuhnya bahan nuklir ke pihak yang dapat menyalahgunakannya. Teknis keamanan untuk sumber radioaktif dan bahan nuklir dibedakan karena terdapat perbedaan karakteristik dan klasifikasi. Jika sumber radioaktif memiliki potensi bahaya paparan radiasi, bahan nuklir merupakan bahan yang

dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai. Karena kekhususannya tersebut, keamanan untuk bahan nuklir dibedakan istilahnya menjadi proteksi fisik.

Teknis keamanan pengangkutan untuk bahan nuklir dilakukan untuk bahan fisil dan uranium heksafluorida ( $UF_6$ ). Teknis keamanan pengangkutan untuk bahan nuklir meliputi hal-hal sebagai berikut.

- 1) Penentuan bahan fisil dan uranium heksafluorida ke dalam klasifikasi bahan nuklir dilakukan berdasarkan a) keberadaan unsur uranium, plutonium, atau thorium; b) uraian mengenai unsur uranium atau plutonium dalam kondisi teriradiasi atau tidak teriradiasi; dan c) massa bahan nuklir. Bahan nuklir tersebut diklasifikasi menjadi golongan bahan nuklir I hingga IV seperti yang disajikan pada Lampiran 7.1.
- 2) Penyusunan dan pemutakhiran rencana proteksi fisik untuk pengangkutan bahan nuklir.  
Rencana proteksi fisik untuk pengangkutan bahan nuklir paling sedikit memuat:
  - a) pemberitahuan pendahuluan kepada penerima;
  - b) pemilihan moda pengangkutan;
  - c) rute pengangkutan;
  - d) tempat pemberhentian dan transit;
  - e) ketentuan tentang perpindahtanganan;
  - f) identifikasi personel pengangkut;
  - g) pemeriksaan kendaraan angkut;
  - h) sistem komunikasi pengamanan;
  - i) penjaga atau petugas keamanan;
  - j) peralatan pelacak;
  - k) ketentuan penggunaan kunci dan segel;
  - l) tindakan setelah pengiriman;
  - m) rencana kontingensi pengangkutan;
  - n) koordinasi dengan satuan perespons; dan/atau
  - o) prosedur pelaporan, baik dalam kondisi rutin maupun kondisi darurat.

Muatan rencana proteksi fisik sebagaimana dimaksud menyesuaikan dengan golongan bahan nuklir yang diangkut. Jika bahan nuklir yang diangkut memiliki golongan yang berbeda-beda, rencana proteksi fisik harus didasarkan pada bahan nuklir dengan tingkat potensi ancaman keamanan yang paling tinggi. Sama halnya dengan rencana keamanan sumber radioaktif untuk pengangkutan, rencana proteksi fisik untuk pengangkutan bahan nuklir dapat disusun sebagai dokumen tersendiri atau menjadi satu kesatuan dengan dokumen rencana proteksi fisik instalasi nuklir dan bahan nuklir untuk pemanfaatan instalasi nuklir dan bahan nuklir. Di samping itu, pengirim wajib memutakhirkan rencana proteksi fisik untuk pengangkutan bahan nuklir terkait perubahan inventori ataupun keadaan lainnya yang memengaruhi kondisi pengangkutan.

### **3. Implementasi Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif**

Kegiatan pengangkutan, baik untuk sumber radioaktif maupun bahan nuklir, dapat dilakukan oleh pengirim sendiri atau menunjuk subkontraktor sebagai pengangkut dengan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh badan pengawas. Rahayu dan Purwantara (2010) menyampaikan pengalaman Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) saat melakukan pengangkutan bahan bakar nuklir bekas (BBNB) dalam rangka repatriasi BBNB ke Amerika Serikat. Dalam kegiatan tersebut, terdapat 2 (dua) hal penting yang harus diperhatikan. Pertama adalah hal teknis terkait kelayakan alat angkut dan keselamatannya. Kedua menyangkut hal non teknis yang meliputi keamanan dan kelengkapan administrasi.

Karena yang diangkut adalah bahan nuklir golongan II, prosedur proteksi fisik menjadi aspek utama yang diperhatikan. Tim lokal Indonesia bertugas melakukan pengangkutan dari fasilitas Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3) di Kawasan Nuklir Serpong ke Pelabuhan Ciwandan, Banten. Kemudian dilanjutkan pengawalan oleh Tentara Nasional Indonesia–Angkatan Laut (TNI–AL) selama berada di perairan Indonesia. Prosedur proteksi fisik telah dimulai sejak proses pemuatan

Buku ini tidak diperjualbelikan

BBNB ke dalam *transfer cask* untuk kemudian ditempatkan dalam kendaraan pengangkut. Sesaat setelah proses pemuatan, dilakukan pengukuran radiasi dan pemeriksaan kendaraan untuk mendeteksi apakah ada ancaman yang akan timbul selama perjalanan (Gambar 7.5).



Foto: Dokumentasi BATAN (2009)

**Gambar 7.5** Pemeriksaan Kontainer dan Pengangkutan Setelah Proses Pemuatan BBNB ke Kendaraan

Sebagai bagian dari upaya deteksi, sebelum dilakukan kegiatan pengangkutan yang sebenarnya, dilakukan simulasi pengangkutan dari Kawasan Nuklir Serpong ke Pelabuhan Ciwandan, Banten. Simulasi dilakukan dengan pengawalan yang optimal dengan skenario dan rute yang telah ditetapkan. Dalam simulasi tersebut, dibuat skenario adanya beberapa kemungkinan ancaman dan kendala, misalnya masalah kendaraan yang mengalami pecah ban sehingga mengharuskan penggantian truk dengan truk cadangan. Selain itu, disimulasikan juga adanya serangan teroris dalam perjalanan. Hasil simulasi tersebut dapat memperkaya upaya deteksi dan juga memberikan beberapa poin evaluasi terkait rencana keamanan, di antaranya untuk menilai rencana kecepatan kendaraan sehingga menjamin keselamatan dan ketepatan waktu pengangkutan, terpenuhinya kesiapsiagaan aparat kepolisian pada setiap titik kerawanan, penanganan gangguan teknis kendaraan dalam pengangkutan yang dilakukan dalam rentang waktu sesuai dengan perkiraan, dan serangan teror diatasi tanpa mengganggu jalannya konvoi pengangkutan.

Dari koordinasi dan simulasi, dilakukan pengangkutan sebenarnya pada 29 Juli 2009 dengan konvoi kendaraan yang telah diatur

dan pengamanan ketat yang dilakukan oleh kepolisian pada setiap titik ruas jalan yang dilalui dari Kawasan Nuklir Serpong hingga Pelabuhan Ciwandan, Banten. Dengan fungsi keamanan yang memadai dan koordinasi semua pihak yang terlibat, kegiatan pengangkutan tersebut berjalan lancar, selamat, dan aman sesuai dengan rencana.

Contoh implementasi keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif selanjutnya adalah pengangkutan reflektor. Reflektor merupakan material terkontaminasi/teraktivasi yang merupakan bagian dari reaktor TRIGA Mark II Bandung, dibongkar saat program peningkatan daya reaktor dari 1 MW menjadi 2 MW pada tahun 1996 hingga tahun 2000. Kegiatan pengangkutan ini melibatkan lintas satuan kerja di lingkungan BATAN, yaitu Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) yang bertindak sebagai pengirim dan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) yang bertindak sebagai pengangkut dan penerima.

Sebelum kegiatan pengangkutan dilakukan, jauh hari sebelumnya telah dilakukan perencanaan kegiatan untuk memenuhi persyaratan teknis dan persyaratan administrasi. Persyaratan teknis utama yang harus dipenuhi adalah mendesain pembungkus reflektor sesuai dengan ketentuan keselamatan dan keamanan pengangkutan zat radioaktif. Pada tahapan fabrikasi pembungkus ini, terdapat beberapa hal yang harus mendapatkan perhatian, seperti kualitas beton dengan spesifikasi K-500, ketebalan beton yang mampu menahan radiasi, dan tidak boleh adanya retakan dari hasil pengecoran. Di samping itu, *curing time* pengerasan beton harus terpenuhi (minimal 28 hari). Setelah pembungkus tersebut difabrikasi, tentunya harus dilakukan pengujian, khususnya dari sisi proteksi radiasi dalam menjamin kemampuan penahan radiasi untuk reflektor yang paparan radiasi permukaannya sekitar 14 mSv/jam.

Setelah mendapatkan hasil pengujian yang memadai, pihak PSTNT mengajukan permohonan persetujuan pengiriman zat radioaktif kepada BAPETEN. Setelah melakukan verifikasi dokumen dan verifikasi lapangan, BAPETEN memberikan persetujuan pengiriman zat radioaktif berupa reflektor dengan menggunakan pembungkus yang telah difabrikasi.

Selain keselamatan, aspek keamanan pengangkutan limbah radioaktif juga menjadi bagian penting dari terlaksananya pengangkutan limbah radioaktif yang selamat dan aman. Aspek keamanan terlaksananya kegiatan pengangkutan limbah reflektor TRIGA Mark II dimulai sejak proses preparasi reflektor, pembongkaran atap kolam penyimpanan reflektor, *loading*, pengangkutan, dan *unloading*. Kewaspadaan (*vigilance*) personel pengamanan terhadap bungkusan limbah reflektor harus menjadi perhatian utama selama perjalanan pengangkutan, bahkan ketika sedang istirahat di *rest area*. Petugas pengamanan yang terlibat merupakan gabungan staf dari Unit Pengamanan Nuklir (UPN) yang berasal dari PSTNT, PTLR, Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN), serta Kepolisian Sektor Cisauk, Tangerang (BATAN, 2019)

#### D. Penutup

Menjadi suatu keniscayaan dengan berkembangnya penggunaan zat radioaktif di berbagai bidang kehidupan, akan meningkatkan jumlah kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Pengangkutan zat radioaktif ini telah diatur secara ketat untuk memberikan tingkat keselamatan yang tinggi. Dalam dua dekade terakhir, ketentuan, regulasi, dan panduan terkait keamanan selama pengangkutan zat radioaktif dikembangkan dan direkomendasikan secara luas. Beberapa tahapan signifikan telah dibuat untuk mendefinisikan dan menerapkan keamanan yang memadai dalam pengangkutan zat radioaktif. IAEA menerbitkan panduan keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif pada tahun 2008. Panduan tersebut merekomendasikan pendekatan dan langkah-langkah keamanan dasar yang dianggap sesuai untuk diadopsi oleh negara anggota dan organisasi transportasi internasional (Pope & Rawl, 2009).

Langkah-langkah yang dilakukan dunia internasional untuk meningkatkan keamanan pengangkutan zat radioaktif ini sangat beralasan. IAEA (2022) mencatat bahwa sejak tahun 1993 hingga tahun 2022, 49% kejadian pencurian terkait bahan radioaktif terjadi dalam kegiatan pengangkutan yang berizin. Hampir 60% dari kejadian

tersebut terjadi dalam satu dekade terakhir. Untuk itu, IAEA dan negara-negara anggota, tidak terkecuali Indonesia, terus menerus memperkuat keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif. Indonesia telah menyusun beberapa regulasi terkait keamanan sumber radioaktif, khususnya untuk kegiatan pengangkutan yang terkait dengan zat radioaktif, misalnya Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 58 tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif. Selain menjelaskan tentang persyaratan dan teknis keselamatan pengangkutan zat radioaktif, peraturan tersebut juga membahas secara rinci teknis keamanan pengangkutan, baik untuk sumber radioaktif maupun bahan nuklir.

Dalam Peraturan Presiden Nomor 78 tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional dinyatakan bahwa penyelenggaraan ketenaganukliran, yang sebelumnya ditugaskan kepada BATAN, saat diintegrasikan beralih ke BRIN. Meskipun proses bisnis yang dilakukan oleh BRIN saat ini berbeda dengan BATAN, pengangkutan zat radioaktif tetap merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kegiatan riset dan inovasi, khususnya yang terkait dengan teknologi nuklir. Kegiatan pengangkutan tersebut dilakukan untuk kegiatan pemanfaatan zat radioaktif dalam rangka keperluan riset dan inovasi ataupun keperluan pelimbahan zat radioaktif. Oleh karena itu, keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif merupakan persyaratan yang harus dipenuhi sesuai dengan tuntutan regulasi, di samping pemenuhan terhadap persyaratan keselamatannya. BRIN, sebagai pemegang izin pemanfaatan zat radioaktif, harus dapat menyediakan sumber daya yang memadai dalam penyelenggaraan keamanan pengangkutan zat radioaktif, baik untuk ketersediaan petugas keamanan sumber radioaktif maupun sumber daya peralatan.

## Daftar Referensi

- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (t.t.) *Roles of I-CoNSEP*. Diakses pada 25 Juli, 2022, dari <https://www.bapeten.go.id/berita/roles-of-iconsep-125153>
- Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2019). Rekaman laporan pelimbahan reflektor TRIGA Mark II PSTNT nomor dokumen R446/BN 04 03/SNT 5.1.
- Dahl, F. (2013, 4 Desember). Truck with “dangerous” radioactive material stolen in Mexico. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/mexico-nuclear-iaea-idINDEE9B308R20131204>.
- Hermawan, N. T. E. (2019). *Kebijakan nasional pengangkutan zat radioaktif: Telaah teknis yuridis Peraturan Pemerintah Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif*. BATAN Press. <https://penerbit.brin.go.id/press/catalog/book/577>
- International Air Transport Association. (2014). IATA Dangerous Goods Regulations 55th Edition.
- International Atomic Energy Agency. (2005). Categorization of radioactive sources. *IAEA Safety Standard Series No. RS-G-1.9*. <https://www.iaea.org/publications/7237/categorization-of-radioactive-sources>
- International Atomic Energy Agency. (2006). Dangerous quantities of radioactive material (D-values). *Emergency Preparedness and Responssse*. <https://www.iaea.org/publications/7568/dangerous-quantities-of-radioactive-material-d-values>
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infirc225revision-5>
- International Atomic Energy Agency. (2018). Safety glossary: Terminology used in nuclear safety and radiation protection 2018 edition. *IAEA Nuclear Safety and Glossary*.
- International Atomic Energy Agency. (2020). Security of radioactive material in transport. *IAEA Nuclear Security Series No. 9-G (Rev.1)*. <https://www.iaea.org/publications/13400/security-of-radioactive-material-in-transport>
- International Atomic Energy Agency. (2022). *Incident and trafficking database (ITDB)-2022 Factsheet*. <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>.

- Ishak. (2019, 23–25 Juli). *Overview of medical and industrial applications of radioactive sources in Indonesia* [Presentasi]. Transport Safety Workshop on Strengthening Regulatory Capacity and Enhancing Effectiveness for Nuclear and Radiation Safety, Bandung, Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif. (2015). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/5632/pp-no-58-tahun-2015>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/178084/perpres-no-78-tahun-2021>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif. (2015). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-6-tahun-2015-tahun-2015-tentang-keamanan-sumber-radioaktif>
- Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2020 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif. (2020). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/267168/peraturan-bapeten-no-7-tahun-2020>
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 16 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penanganan dan Pengangkutan Barang Berbahaya di Pelabuhan. (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/169238/permenhub-no-16-tahun-2021>
- Pope, R.B., & Rawl, R.R. (2009). Security in the transport of radioactive materials. Dalam *Proceedings of the ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Division Conference* (81–89). The American Society of Mechanical Engineers. [https://www.researchgate.net/publication/255221369\\_Security\\_in\\_the\\_Transport\\_of\\_Radioactive\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/255221369_Security_in_the_Transport_of_Radioactive_Materials).
- Rahayu, D. S., & Purwantara. (2010). Transportasi bahan bakar bekas United States Origin dalam rangka kegiatan repatriasi ke Amerika Serikat. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VIII*. Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Scottish Environment Protection Agency. (2018, 22 November). Guidance on calculating source category for sealed radioactive sources. *Weston Compliance Services*. <https://www.westoncompliance.co.uk/2018/11/22/guidance-on-calculating-source-category-for-sealed-radioactive-sources/>

### Lampiran 7.1 Klasifikasi Golongan Bahan Nuklir

No.	Unsur	Uraian	Golongan Bahan Nuklir			
			I	II	III	IV
1	Plutonium <sup>a</sup>	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan lebih kecil dari atau sama dengan 1 Gy/jam atau 100 rad/jam pada jarak 1 m tanpa perisai radiasi	massa > 2 kg	500 gr < massa < 2 kg	15 gr < massa < 500 gr	massa ≤ 15 gr
2	Uranium-235 (U-235)	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan lebih kecil dari 1 Gy/jam atau 100 rad/jam pada jarak 1 m tanpa perisai radiasi :  1 ) uranium diperkaya lebih besar dari atau sama dengan 20% U-235 dan uranium diperkaya antara 10%–20% U-235  2 ) Uranium diperkaya antara 10%–20% U-235  3 ) Uranium diperkaya di atas uranium alam, tetapi kurang dari 10% U-235	massa ≥ 5 kg 5 kg	1 kg < massa < 5 kg	15 gr < massa < 5 kg	massa ≤ 15 gr
			-	massa ≥ 10 kg	1 kg < massa < 10 kg	massa ≤ 1 kg
			-	-	massa ≥ 10 kg	massa ≤ 10 kg

Buku ini tidak diperjualbelikan

No.	Unsur	Uraian	Golongan Bahan Nuklir			
			I	II	III	IV
3	Uranium-233 (U-233)	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan lebih kecil dari atau sama dengan 1 Gy/jam atau 100 rad/jam pada jarak 1 m tanpa perisai radiasi	massa $\geq$ 2 kg	500 gr < massa < 2 kg	15 gr < massa < 500 gr	massa $\leq$ 15 gr
4	Bahan bakar teriradiasi, antara lain, uranium alam, uranium susut kadar, thorium, atau bahan bakar diperkaya kurang dari 10%		Tidak dibatasi jumlahnya			
5	Uranium alam, uranium susut kadar, dan thorium		Tidak dibatasi jumlahnya			

Sumber: PP No. 58 (2015)

Buku ini tidak diperjualbelikan



# Keamanan Informasi Nuklir

Intan Savitri & Wenseslaus Roland

## A. Pendahuluan

Informasi dapat dilihat sebagai sumber daya strategis dan potensial yang bisa digunakan untuk menciptakan keunggulan kompetitif bagi suatu organisasi. Organisasi yang dapat mengelola dan memanfaatkan informasi dengan baik, diharapkan dapat menggali potensi dirinya secara maksimal dalam upaya meraih keunggulan di dalam persaingan. Negara sebagai suatu konteks organisasi dalam skala besar, juga membuat, memproses, menangani, dan menyimpan banyak jenis informasi. Beberapa informasi tersebut, seperti rahasia militer atau informasi pribadi warga, mungkin dianggap cukup sensitif sehingga memerlukan perlindungan khusus. Negara dapat menetapkan undang-undang keamanan informasi nasional yang mendefinisikan dan mengklasifikasikan informasi serta menetapkan persyaratan

---

Intan Savitri\* & Wenseslaus Roland

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: intan.savitri@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Savitri, I., & Roland, W. (2024). Keamanan informasi nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (173–210). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c996, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

perlindungan khusus, termasuk persyaratan untuk data dalam bentuk digital dan untuk sistem berbasis komputer terkait.

Indonesia telah memiliki Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE) Nomor 11 Tahun 2008 (UU No. 11, 2008) dan versi revisi UU ITE Nomor 19 Tahun 2016 (UU No. 19, 2016). UU ITE memberikan perlindungan hukum untuk konten sistem elektronik dan transaksi elektronik. Namun, UU ini tidak mencakup aspek penting keamanan siber, seperti infrastruktur informasi dan jaringan, serta sumber daya manusia dengan keahlian di bidang keamanan siber (Anjani, 2021). Dalam UU ITE juga belum diatur mengenai serangan-serangan siber yang dapat mengganggu stabilitas keamanan dan pertahanan Indonesia (Setiyawan et al., 2020). Peraturan Menteri Pertahanan Nomor 82 Tahun 2014 (Permenhan No. 82, 2014) menyediakan pedoman pertahanan siber untuk menghadapi ancaman siber terhadap keamanan nasional. Peraturan tersebut menjabarkan definisi keamanan siber, yang berbunyi “Keamanan siber nasional adalah segala upaya dalam rangka menjaga kerahasiaan, keutuhan, dan ketersediaan informasi serta seluruh sarana pendukungnya di tingkat nasional, yang bersifat lintas sektor”. Tidak seperti UU ITE, peraturan ini mencakup infrastruktur penting, misalnya dari sistem keuangan dan transportasi sebagai objek keamanan siber. Namun, peraturan ini hanya berguna untuk mengembangkan kapasitas pertahanan siber militer (Anjani, 2021). Untuk ancaman siber non militer, khususnya ancaman terhadap infrastruktur penting lainnya, dapat mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 82 tahun 2022 tentang Perlindungan Infrastruktur Informasi Vital (IIV) (Perpres No. 82, 2022). Tujuan diterbitkannya Perpres tersebut adalah untuk melindungi keberlangsungan penyelenggaraan IIV secara aman, andal, dan tepercaya; mencegah terjadinya gangguan, kerusakan, dan/atau kehancuran pada IIV akibat serangan siber, dan/atau ancaman/kerentanan lainnya; dan meningkatkan kesiapan dalam menghadapi insiden siber serta mempercepat pemulihan dari dampak insiden siber. Pada Perpres tersebut, IIV didefinisikan sebagai sistem elektronik yang memanfaatkan teknologi informasi dan/atau teknologi operasional, baik berdiri

sendiri maupun saling bergantung dengan sistem elektronik lainnya dalam menunjang sektor strategis. Jika terjadi gangguan, kerusakan, dan/atau kehancuran pada infrastruktur tersebut akan berdampak serius terhadap kepentingan umum, pelayanan publik, pertahanan dan keamanan, atau perekonomian nasional. Berdasarkan definisi tersebut fasilitas nuklir dapat termasuk di dalamnya, tetapi tidak disebutkan secara eksplisit. Sektor IIV yang dimaksud pada Perpres tersebut meliputi administrasi pemerintahan, energi dan sumber daya mineral, transportasi, keuangan, kesehatan, teknologi informasi dan komunikasi, pangan, pertahanan, dan sektor lain yang ditetapkan presiden.

Selain merujuk pada peraturan terkait keamanan informasi yang telah diterbitkan oleh pemerintah Indonesia, keamanan informasi di fasilitas nuklir juga dapat merujuk pada pedoman yang dikeluarkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (International Atomic Energy Agency, IAEA). IAEA menerbitkan berbagai panduan dan pedoman serta rekomendasi terkait keamanan informasi karena hal tersebut merupakan ancaman bagi keselamatan dan keamanan fasilitas nuklir. Terlebih lagi, serangan siber pernah terjadi di beberapa fasilitas nuklir meski hal tersebut tidak menimbulkan kerusakan ataupun hingga menghentikan operasi fasilitas nuklir tersebut (Shalal, 2016).

Artikel *"Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime: Nuclear Security Fundamentals"* dalam seri *Nuclear Security Series* (NSS) No. 20 berisi rekomendasi 12 elemen dasar (*essential elements*) untuk menjaga rezim keamanan nuklir, menekankan pentingnya keamanan informasi, termasuk keamanan komputer, dalam rezim keamanan nuklir (*nuclear security regime*) (IAEA, 2013). Dokumen tersebut juga menggarisbawahi pentingnya mengidentifikasi isu dan faktor yang dapat memengaruhi kapasitas dalam penyediaan keamanan nuklir yang memadai, termasuk keamanan komputer. Keamanan informasi sensitif juga merupakan komponen penting yang disebut dalam klausul Elemen Dasar 3, di antaranya menyatakan bahwa kerangka legislatif, peraturan, dan tindakan administratif terkait, harus ditetapkan untuk melindungi

kerahasiaan informasi sensitif dan untuk melindungi aset informasi sensitif. Keamanan informasi sensitif dan aset informasi sensitif mencakup di dalamnya perlindungan terhadap kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan informasi/aset tersebut.

Pada tahun 2016, semua negara pihak Konvensi Proteksi Fisik Material Nuklir (Convention on the Physical Protection on Nuclear Material, CPPNM) juga menyetujui secara konsensus amandemen CPPNM untuk memasukkan klausul perlindungan kerahasiaan informasi dalam Prinsip Fundamental L (IAEA, 2016). Adapun perlindungan terhadap sistem berbasis komputer (termasuk sistem instrumentasi dan kontrol) ditetapkan dalam Rekomendasi Keamanan Nuklir tentang Perlindungan Fisik Bahan Nuklir dan Fasilitas Nuklir (IAEA, 2011a). Paragraf 4.10 menyatakan bahwa:

“Sistem berbasis komputer yang digunakan untuk perlindungan fisik, keselamatan nuklir dan akuntansi, serta pengendalian bahan nuklir harus dilindungi dari hal yang membahayakan (misalnya serangan dunia maya, manipulasi, atau pemalsuan) yang dilakukan melalui penilaian ancaman ataupun melalui ancaman dasar desain (*design basis threat/DBT*).”

Selain beberapa pedoman di atas, Rekomendasi Keamanan Nuklir pada Bahan Radioaktif dan Fasilitas Terkait (IAEA, 2011b) serta Rekomendasi Keamanan Nuklir dan Bahan Radioaktif Lainnya di luar Kendali Regulasi (IAEA, 2011c) juga menekankan perlunya mencegah akses tidak sah ke informasi sensitif dan untuk melindunginya dari hal yang membahayakan.

## **B. Keterkaitan Informasi dan Sistem Berbasis Komputer pada Rezim Keamanan Nuklir**

Informasi merupakan pengetahuan yang dapat berupa ide, konsep, proses, fakta, atau bahkan pola. Informasi dapat direkam secara fisik melalui media seperti kertas ataupun disimpan secara digital pada media optik atau magnetik, atau bahkan pada media penyimpanan awan (*cloud storage*).

Sistem berbasis komputer adalah teknologi yang dapat memproses, menghitung, mengomunikasikan, atau menyimpan informasi digital. Sistem tersebut dapat berupa desktop, laptop, tablet, *smart phone*, komputer *mainframe*, server, instrumentasi digital dan perangkat kontrol, pengontrol logika yang dapat diprogram (*programmable logic controller*, PLC), *printer*, ataupun perangkat jaringan. Sistem tersebut juga dapat mencakup layanan virtual, seperti komputasi awan atau mesin virtual. Sistem tersebut dapat berupa sebuah komponen tunggal atau berupa kumpulan aset digital.

Sistem berbasis komputer memainkan peranan penting dalam pembuatan, pengolahan dan pemrosesan, penyimpanan dan transmisi, serta penyebaran informasi. Bahkan di beberapa bidang, seperti perancangan dan simulasi, pemanfaatan kemampuan komputasi sistem berbasis komputer menjadi sesuatu yang mutlak. Hal ini didukung pula oleh evolusi teknologi di bidang komputasi dan komunikasi yang makin menguatkan peran sistem berbasis komputer dan dengan cepat menggantikan metode pengolahan informasi yang konvensional.

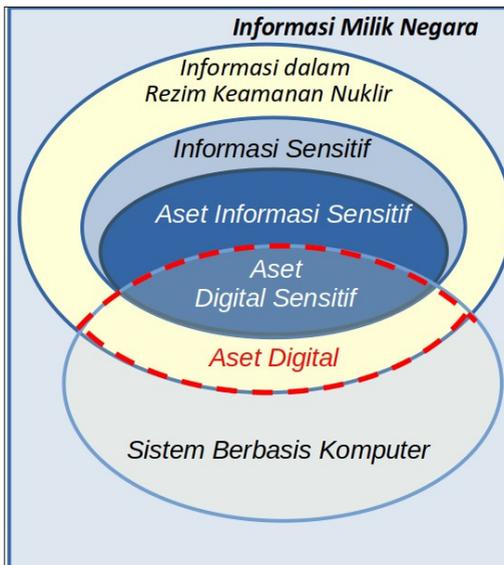
Sistem informasi berbasis komputer bisa menjamin konsistensi hasil pengolahan dan pemrosesan data tanpa memandang waktu dan lamanya komputasi berlangsung. Dengan demikian, kualitas hasil pengolahan data lebih andal dengan kualitas yang bisa diukur. Hasil pengolahan informasi yang cepat dan berkualitas akan membantu proses analisis suatu keadaan dan mempercepat pengambilan keputusan terhadap berbagai situasi, baik itu dalam simulasi maupun dalam keadaan riil.

Aset digital adalah sistem berbasis komputer (atau bagian dari sistem berbasis komputer) yang terkait dengan rezim keamanan nuklir. Istilah aset digital sensitif (*sensitive digital aset*, SDA) digunakan untuk mengidentifikasi aset informasi sensitif yang merupakan bagian dari sistem berbasis komputer. Aset informasi sensitif didefinisikan sebagai peralatan atau komponen yang digunakan untuk menyimpan, memproses, mengontrol, atau mengirimkan informasi sensitif.

Gambar 8.1 memperlihatkan keterkaitan antara aset informasi sensitif, sistem berbasis komputer, dan aset digital sensitif. Aset infor-

masi sensitif pada fasilitas nuklir dapat berupa rincian sistem proteksi fisik; sistem personel dan rencana; rincian jenis, jumlah, kualitas, dan lokasi bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya yang ditempatkan di fasilitas; serta informasi transportasi, jadwal, dan keamanan untuk pergerakan bahan nuklir.

Aset informasi sensitif ini, termasuk yang dalam bentuk aset digital, perlu dilindungi dengan menerapkan prinsip-prinsip dasar keamanan informasi. Adapun yang dimaksud keamanan informasi di sini adalah sekumpulan metodologi, praktik, ataupun proses yang dirancang dan diterapkan untuk melindungi informasi atau data pribadi dari akses, penggunaan, penyalahgunaan, gangguan, atau modifikasi yang tidak sah. Keamanan informasi bertujuan melindungi informasi pada berbagai tahap, baik itu saat penyimpanan, transfer, maupun penggunaannya.



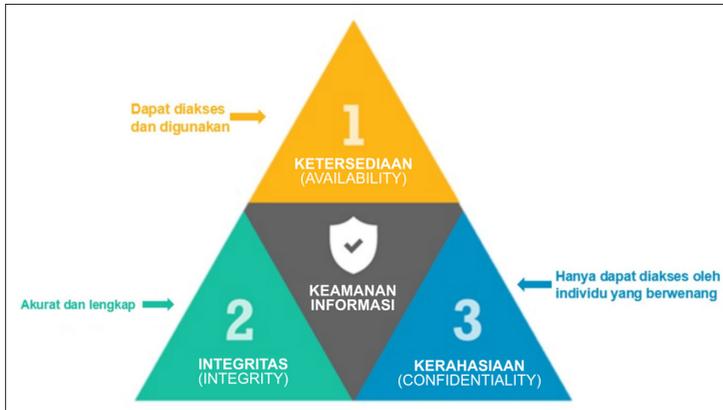
Sumber: IAEA (2021a)

**Gambar 8. 1** Informasi dan Sistem Berbasis Komputer pada Rezim Keamanan Nuklir

Dalam konteks keamanan informasi, aset informasi mungkin memiliki satu atau lebih persyaratan keamanan. Tiga persyaratan keamanan informasi yang paling umum, dikenal dengan istilah triad CIA (*Confidentiality-Integrity-Availability*), seperti ditunjukkan pada Gambar 8.2 (Alexander & Panguluri, 2016). Triad CIA adalah model standar dalam keamanan informasi yang dirancang untuk mengatur dan mengevaluasi bagaimana informasi disimpan, dikirim, atau diproses. Setiap aspek yang ada di dalam triad CIA akan menjadi komponen penting dari keamanan informasi.

*Confidentiality* (kerahasiaan) mengartikan bahwa informasi hanya dapat diakses oleh individu yang berwenang. Guna menjaga kerahasiaan, perlu disusun langkah-langkah untuk menghentikan individu yang tidak berwenang mengakses informasi sensitif, dan perlu disusun kategorisasi terhadap informasi berdasarkan tingkat sensitivitasnya, serta penerapan perlindungan yang berbeda berdasarkan kategorisasi tersebut. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memastikan kerahasiaan informasi adalah metode enkripsi.

*Integrity* (integritas) mengartikan bahwa informasi tersebut akurat dan lengkap. Integritas berkaitan dengan proses menjaga akurasi, konsistensi, dan kepercayaan informasi. Suatu informasi tidak boleh diubah (baik pada saat disimpan maupun saat dipindahkan) oleh orang yang tidak berwenang. Metode yang dapat digunakan untuk menjaga integritas, antara lain, penerapan izin akses file (*file permissions*) dan penerapan kontrol versi.



Sumber: IAEA (2021b)

**Gambar 8.2** Triad CIA

*Availability* (ketersediaan) mengartikan bahwa individu yang berwenang dapat mengakses dan menggunakan informasi setiap saat. Untuk memastikan faktor ketersediaan, sistem yang terkait harus memiliki redundansi ataupun prosedur *failover*. *Failover* merupakan kemampuan suatu sistem untuk berpindah ke sistem cadangan jika sistem utama mengalami kegagalan.

Perlindungan keamanan terhadap informasi selama ini dilakukan dengan mengandalkan perlindungan fisik. Seiring dengan transformasi digital, perlindungan fisik semata tidak lagi mampu melindungi informasi. Oleh karena itu, perlu juga diperhatikan faktor terkait keamanan komputer. Keamanan komputer adalah aspek tertentu dari keamanan informasi yang berkaitan dengan perlindungan sistem berbasis komputer dari hal-hal berbahaya. Istilah keamanan teknologi informasi dan keamanan siber dapat dianggap sinonim dengan keamanan komputer. Keamanan komputer merupakan bagian dari keamanan informasi, sebagaimana dinyatakan dalam pedoman IAEA terkait Keamanan Informasi Nuklir (IAEA, 2015). Keamanan informasi dan keamanan komputer sering kali memiliki tujuan, metodologi, dan terminologi yang sama.

## C. Ancaman dan Serangan Keamanan Informasi/ Komputer Nuklir

Sistem berbasis komputer memainkan peranan penting dalam semua aspek operasi yang aman dan selamat di fasilitas nuklir. Aspek operasi ini meliputi penggunaan, penyimpanan, pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, termasuk pemeliharaan sistem proteksi fisik, serta tindakan deteksi dan responss terhadap bahan nuklir yang berada di luar pengawasan. Seiring kemajuan teknologi, penggunaan sistem berbasis komputer di semua aspek operasi tersebut tentunya akan meningkat. Hal ini juga dapat memicu peningkatan risiko dan ancaman keamanan siber. Mengingat adanya keterkaitan antara interkoneksi jaringan komputer dengan aliran informasi, langkah-langkah keamanan komputer juga diperlukan untuk melindungi aset informasi sensitif dari ancaman yang dapat mengeksploitasi aset digital ataupun sistem berbasis komputer lainnya. Ancaman yang berhasil mengeksploitasi kelemahan sistem komputer dapat berubah menjadi serangan siber.

Serangan siber adalah serangan berbahaya yang dilakukan oleh individu atau organisasi terhadap suatu aset informasi sensitif dengan tujuan mengubah, menghalangi akses, atau menghancurkan target tertentu melalui tindakan atau akses tidak sah di dalam sistem yang rentan. Untuk memahami serangan siber, perlu juga diketahui ancaman siber yang mungkin terjadi. Ancaman siber berbeda dengan ancaman fisik yang dihadapi oleh fasilitas nuklir. Ancaman siber tidak dibatasi oleh lokasi, jumlah penyerang, ataupun batas fasilitas yang ditargetkan. Pemahaman tentang karakteristik ancaman serta skenario serangan siber dapat memberikan wawasan berharga tentang tindakan pencegahan yang dapat dilakukan. Ancaman siber dapat dikategorikan dengan beberapa cara. Berikut contoh pengkategorian ancaman siber berdasarkan aktor yang terlibat (IAEA, 2021c).

### 1) Ancaman Orang Dalam (*Insider Threat*)

Salah satu ancaman yang paling kompleks adalah ancaman orang dalam. 'Orang dalam' adalah individu dengan akses resmi ke fasilitas/aktivitas tertentu. Orang dalam memiliki akses

ke informasi dan aset informasi sensitif. Hal ini memberikan keuntungan bagi mereka untuk melakukan tindakan tidak sah yang disengaja, yang dapat melibatkan bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya serta memiliki dampak yang merugikan bagi keamanan nuklir. Orang dalam juga dapat melakukan tindakan tersebut tanpa disadari dan tidak memiliki motivasi atau niat tertentu, tetapi hal tersebut dimanfaatkan oleh penyerang untuk mengambil keuntungan.

2) Ekstremis (*Extremist*)

Istilah ekstremisme mengacu pada kelompok yang melampaui norma dalam ekspresi politik atau sosial. Aktivitas yang dilakukan ekstremis telah melampaui perilaku yang diterima. Ekstremis dapat melakukan aksinya seorang diri ataupun bekerja sama dengan individu dengan pandangan yang sama dalam melakukan serangan siber terhadap target yang ditentukan. Aksi kolektif semacam ini biasanya tidak dikendalikan oleh seorang tokoh sentral dan bisa jadi tidak beroperasi dengan aturan keterlibatan tertentu.

3) Peretas Rekreasi (*Recreational Hacker*)

Peretas rekreasi dapat berupa individu atau kelompok yang dimotivasi oleh ketenaran atau kemasyhuran, dan biasanya tidak memiliki keinginan untuk menimbulkan kerusakan atau keuntungan secara finansial. Aksi yang mereka lakukan mungkin tidak ditargetkan spesifik ke fasilitas nuklir, tetapi secara tidak disengaja berdampak terhadap fasilitas tersebut. Sebagai contoh, sistem kontrol di fasilitas nuklir terinfeksi virus umum yang berasal dari perangkat/media portabel yang tidak aman dan disambungkan ke sistem kontrol tersebut.

4) Kejahatan Terorganisir (*Organized Crime*)

Kejahatan terorganisir biasanya mengembangkan serangan siber yang sangat canggih dan ditargetkan terhadap berbagai sektor industri. Tujuannya adalah keuntungan finansial yang mungkin didapat secara langsung melalui pencurian uang atau secara tidak langsung dari penjualan data curian atau penjualan informasi yang dapat mengarah ke ancaman lain.

5) Pelaku Negara (*Nation State*)

Pelaku negara sering kali merepresentasikan ancaman yang sangat canggih dan gigih. Motivasi dan tujuan serangan semacam ini biasanya terbatas pada pengumpulan informasi dan sering kali terikat oleh aturan keterlibatan yang terstruktur.

6) Teroris (*Terrorist*)

Serangan siber di masa lalu yang dikaitkan dengan teroris, sebagian besar terdiri dari upaya sederhana seperti *spamming* email, serangan penolakan layanan (*denial of service/DDoS*), atau perusakan situs web. Namun, saat ini serangan yang dilakukan telah meningkat seiring dengan peningkatan kemampuan teknis untuk melakukan serangan berbasis jaringan. Kemampuan teknis ini mungkin muncul dari keahlian internal atau dari mempekerjakan peretas (*hacker*). Target teroris bisa berupa sabotase terhadap infrastruktur penting, seperti pembangkit listrik tenaga nuklir, bisa juga target untuk memperoleh bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya.

Selain kategori ancaman siber, penting juga untuk mengetahui karakteristik serangan guna membangun tindakan pencegahan, deteksi, mitigasi, dan responss. Berikut beberapa contoh karakteristik serangan (IAEA, 2021c).

1) Serangan NonTarget (*NonTargeted Attack*)

Beberapa ancaman yang telah dijelaskan sebelumnya, melakukan aksi serangan terhadap target keamanan nuklir tertentu. Namun, serangan yang tidak ditargetkan juga dapat terjadi, misalnya kode berbahaya yang secara tidak sengaja dimasukkan ke dalam sistem dan jaringan berbasis komputer, yang dapat berdampak buruk pada keamanan nuklir. Sebagai contoh, sistem kontrol di fasilitas nuklir yang terinfeksi virus karena manajemen media portabel yang tidak aman.

2) Serangan Gigih (*Persistent Attacks*)

Serangan siber dapat berdampak langsung ataupun berupa bagian dari serangan terus-menerus yang dilakukan terhadap

fasilitas atau organisasi yang dampaknya tidak langsung terlihat. Serangan ini bisa dimulai dari terinfeksi suatu sistem berbasis komputer yang dilanjutkan dengan pengumpulan informasi yang berkelanjutan. Aksi dari serangan ini bisa berdampak langsung atau bertujuan untuk membangun *backdoor* yang dapat digunakan untuk serangan di masa depan.

3) Serangan Campuran (*Blended Attacks*)

Serangan campuran merupakan perpaduan antara serangan fisik dengan serangan siber. Sebagai contoh, sistem kontrol akses fisik dapat disusupi oleh serangan siber sehingga memungkinkan masuknya individu yang tidak berwenang secara fisik.

Tabel 8.1 dan Tabel 8.2 menggambarkan kemungkinan serangan profil penyerang. Tabel 8.1 berfokus pada ancaman orang dalam, sedangkan Tabel 8.2 mengidentifikasi kemungkinan ancaman eksternal. Tabel 8.1 dan 8.2 menampilkan keterkaitan tipe umum penyerang dengan sumber daya penyerang, rentang waktu serangan, alat yang mungkin digunakan, dan motivasi penyerang.

**Tabel 8.1** Ancaman Orang Dalam

Ancaman	Sumber Daya	Waktu	Taktik	Motivasi	Niat
Agen rahasia ( <i>Covert agent</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memfasilitasi 'rekeyasa sosial'</li> <li>• Akses sistem pada tingkat tertentu</li> <li>• Tersedia dokumentasi dan keahlian sistem</li> </ul>	Bervariasi, tetapi umumnya tidak dapat mengalokasikan waktu lama di luar jam kerja	Memiliki akses dan <i>password</i> , memiliki pengetahuan tentang pemrograman dan arsitektur sistem, kemungkinan dapat menanamkan <i>backdoor</i> /trojan, kemungkinan memiliki dukungan ahli eksternal	Politik, finansial, ideologi	Pencurian informasi bisnis, rahasia teknologi, sabotase informasi pribadi
Orang dalam yang dipaksa ( <i>Coerced insider</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memfasilitasi 'rekeyasa sosial'</li> <li>• Akses sistem pada tingkat tertentu</li> <li>• Tersedia dokumentasi dan keahlian sistem</li> </ul>	Bervariasi, tetapi umumnya tidak dapat mengalokasikan waktu lama di luar jam kerja	Memiliki akses dan <i>password</i> , memiliki pengetahuan tentang pemrograman dan arsitektur sistem, kemungkinan dapat menanamkan <i>backdoor</i> /trojan, kemungkinan memiliki dukungan ahli eksternal	Pribadi	Pencurian informasi bisnis, rahasia teknologi, sabotase informasi pribadi
Orang dalam tanpa disadari ( <i>Unwitting insider</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akses sistem terkait fungsi kerja biasa</li> </ul>	–	Tanpa disadari menyediakan akses internal untuk musuh	Tidak dibutuhkan motivasi	–

Buku ini tidak diperjualbelikan

Ancaman	Sumber Daya	Waktu	Taktik	Motivasi	Niat
Karyawan/pengguna sistem yang tidak puas					
Karyawan-Pengguna komputer nonteknis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumber daya sedang/kuat</li> <li>• Akses sistem pada tingkat tertentu</li> <li>• Dokumentasi dan keahlian sistem tersedia untuk bisnis dan sistem operasi tertentu</li> </ul>	Bervariasi, tetapi umumnya tidak dapat menghabiskan waktu berjam-jam	Memiliki akses dan <i>password</i> , memiliki pengetahuan tentang pemrograman dan arsitektur sistem, memiliki kemampuan untuk memasukkan alat atau skrip 'kiddie' (berpotensi lebih rumit jika mereka memiliki keterampilan komputer tertentu)	Pribadi, finansial	Balas dendam, pencurian informasi bisnis, memperlakukan majikan/karyawan lain, merendahkan citra atau kepercayaan publik
Karyawan-Pengguna komputer teknis, administrator, pengembang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akses dan otoritas komputer tingkat tinggi</li> <li>• Hak akses jarak jauh</li> </ul>	Banyak waktu	—	Pribadi, finansial	—
Pegawai kontrak-Pihak ketiga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akses lokal dan remote</li> <li>• Terkait fungsi dukungan yang dikelola saat ini</li> </ul>	Bervariasi	Penyusunan dalam elemen rantai pasokan pada elemen yang telah terkompromi, penyusunan melalui media seluler atau koneksi jarak jauh	Pribadi	Balas dendam, pencurian informasi bisnis, memperlakukan majikan/karyawan lain, merendahkan citra atau kepercayaan publik

Buku ini tidak diperjualbelikan

**Tabel 8.2** Ancaman Dari Luar

Ancaman	Sumber Daya	Waktu	Taktik	Motivasi	Niat
Serangan nontarget ( <i>Nontargeted attack</i> )	Kemampuan bervariasi	Bervariasi	Tidak ada penargetan khusus, umumnya mengandalkan proses dan kerentanan teknologi informasi yang normal, termasuk rekayasa sosial	pribadi—ke-senangan, status	Ketenaran, perhatian media, mencari peluang
Ekstremis ( <i>Extremist</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keterampilan yang bervariasi, tetapi umumnya terbatas</li> <li>• Sedikit pengetahuan tentang sistem di luar informasi publik</li> </ul>	Waktu terbatas, kegiatan terkait dengan peristiwa-wa saat ini atau baru-baru ini	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktivitas peretasan yang dilakukan individu atau kelompok kecil</li> <li>• Distribusi alat untuk penggunaan yang lebih luas</li> </ul>	Memberikan efek politik	Perhatian media, merendahkan citra atau kepercayaan publik
Peretas rekreasi ( <i>Recreational hacker</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keterampilan yang bervariasi, tetapi umumnya terbatas</li> <li>• Sedikit pengetahuan tentang sistem di luar informasi publik</li> </ul>	Banyak waktu, tidak terlalu sabar	Menggunakan skrip dan alat yang tersedia secara umum, tetapi dimungkinkan pengembangan alat	pribadi—ke-senangan, status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mencari peluang</li> <li>• Eksploitasi peluang yang tersedia</li> </ul>

Buku ini tidak diperjualbelikan

Ancaman	Sumber Daya	Waktu	Taktik	Motivasi	Niat
Kejahatan terorganisir ( <i>Organized crime</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sumber daya yang kuat</li> <li>Karyawan dengan keahlian khusus</li> </ul>	Bervariasi, tetapi kebanyakan jangka pendek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skrip, alat buatan sendiri</li> <li>Mungkin mempekerjakan hacker sewaan</li> <li>Mungkin mempekerjakan mantan/karyawan saat ini</li> <li>Rekayasa sosial</li> </ul>	Pemerasan mengejar keuntungan finansial, memperkirakan ketakutan akan dijualnya informasi bisnis	Pencurian material, pencurian informasi sensitif, penjualan informasi atau akses
Pelaku negara ( <i>Nation state</i> )	Bervariasi, tetapi mampu mendukung serangan berkelanjutan	Bervariasi, tetapi mampu mendukung serangan berkelanjutan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alat canggih</li> <li>Mungkin mempekerjakan mantan/karyawan saat ini</li> <li>Rekayasa sosial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Politik</li> <li>Koleksi intelijen</li> <li>Memban- gun jalur akses untuk tindakan selanjutnya</li> </ul>	Pencurian teknologi, pengintaian untuk serangan di masa depan, sabotase

Buku ini tidak diperjualbelikan

Ancaman	Sumber Daya	Waktu	Taktik	Motivasi	Niat
Teroris ( <i>Terrorist</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keterampilan yang bervariasi</li> <li>• Kemungkinan pelatihan/pengalaman pengoperasian pada sistem</li> <li>• Kemungkinan infiltrasi dengan agen rahasia</li> <li>• Potensi untuk didanai dengan baik</li> <li>• Keterampilan yang berkembang</li> </ul>	Banyak waktu, sangat sabar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skrip, alat buatan sendiri</li> <li>• Mungkin mempekerjakan peretas sewaan</li> <li>• Mungkin mempekerjakan mantan/karyawan saat ini</li> <li>• Rekrutasi sosial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koleksi intelijen</li> <li>• Membangun jalur akses untuk tindakan selanjutnya</li> <li>• Kekacauan</li> <li>• Pembalasan dendam</li> <li>• Memengaruhi opini publik (ketakutan)</li> </ul>	Dukungan untuk serangan cam-puran, pengintaian untuk serangan di masa depan, sabotase pencurian material

Sumber: IAEA (2021c)

Buku ini tidak diperjualbelikan

Ancaman dan serangan siber pada fasilitas nuklir dapat terjadi, baik pada lingkungan teknologi informasi (*information Technology*, IT) maupun lingkungan teknologi operasional (*operational technology*, OT). Lingkungan IT berkaitan dengan sistem berbasis komputer yang menyimpan, mengambil, mengirimkan, dan memanipulasi informasi digital. Perangkat pada lingkungan IT dapat berupa komputer desktop, komputer *mainframe*, server, perangkat jaringan, atau bahkan komponen kecil seperti *programmable logic controllers* (PLC). Lingkungan OT berkaitan dengan perangkat yang memantau, mengelola, mengontrol, dan memanipulasi proses fisik dunia nyata. Perangkat tersebut dapat berupa perangkat analog ataupun digital. OT memiliki beberapa sinonim, tergantung pada industri di mana OT diterapkan. Pada industri infrastruktur kritis, OT dikenal dengan istilah sistem kontrol industri (*industrial control systems*, ICS). Sementara pada industri nuklir, OT dikenal dengan istilah sistem instrumentasi dan kontrol (*instrumentation and control systems*, I&C systems). Ketika OT digunakan untuk memantau proses jarak jauh secara geografis, OT dikenal dengan istilah sistem *supervisory control and data acquisition* (SCADA).

Terdapat sejumlah perbedaan antara IT dan OT yang harus dipahami guna melindungi kedua lingkungan ini. Tidak semua strategi pengamanan pada lingkungan IT dapat diimplementasikan pada lingkungan OT (Kim et al., 2020). Dalam melihat lingkungan OT, sudut pandang teknis harus dipertimbangkan guna menentukan kerentanan yang mungkin timbul sehingga kontrol keamanan teknis dapat diterapkan. Tabel 8.3 memperlihatkan perbandingan antara lingkungan IT dan lingkungan OT.

**Tabel 8.3** Perbandingan Lingkungan IT dan Lingkungan OT

Variabel	Lingkungan IT	Lingkungan OT
Ketersediaan	Memungkinkan adanya <i>downtime</i>	Tidak memungkinkan adanya <i>downtime</i>
Waktu kritis	Umumnya dapat menerima penundaan	Kritis

Variabel	Lingkungan IT	Lingkungan OT
Dukungan teknologi	2–3 tahun	Lebih dari 20 tahun
Pembaharuan keamanan	Reguler/terjadwal	Tidak umum diterapkan
Kesadaran keamanan	Berjalan baik, disektor publik ataupun swasta	Lemah, kecuali pada pengamanan fisik
Antivirus	Sangat umum, mudah digunakan dan diperbarui	Jarang dan mungkin sulit untuk diterapkan
<i>Outsourcing</i>	Umum/banyak digunakan	Langka
Tanggapan insiden	Didefinisikan dengan baik dan diterapkan	Tidak biasa
Pengujian/audit keamanan	Dijadwalkan dan dilaksanakan	Tidak mapan

Sumber: IAEA (2021b)

Sistem instrumentasi dan kendali (SIK) memiliki peranan penting dalam memastikan aspek keselamatan pada fasilitas nuklir. Dalam perancangan SIK di fasilitas nuklir pada masa lampau, faktor keamanan komputer tidak menjadi pertimbangan yang penting. Hal ini disebabkan karena SIK bersifat analog, dapat berdiri sendiri, terisolasi dan terpisah dari sistem lain, serta hampir tidak adanya komunikasi interaktif dengan jaringan/sistem eksternal yang membuat SIK dianggap kebal terhadap serangan siber.

Namun, fasilitas nuklir baru yang lebih modern dirancang dengan memanfaatkan SIK digital yang terintegrasi sehingga secara efisien dan simultan dapat menangani pemrosesan data dalam jumlah besar dan membutuhkan lebih sedikit campur tangan manusia dibandingkan SIK sebelumnya. Tindakan operator, seperti pemananaan panel berbasis kabel dan kontrol manual sakelar, telah diganti dengan visualisasi berbasis komputer dan aktuasi otomatis. Hal ini mendukung tanggapan yang lebih cepat dalam pengoperasian pada ruang kontrol serta mengurangi sumber daya manusia dan biaya (Park & Suh, 2014). Transisi ke teknologi digital telah mengubah sifat SIK di fasilitas nuklir sehingga memungkinkan sistem tersebut

dapat diprogram ulang dan berbeda secara fungsional serta memiliki interkoneksi dengan sistem eksternal, baik secara jarak jauh maupun lokal. Penerapan teknologi digital dalam SIK dapat membuat sistem ini rentan terhadap serangan siber.

Serangan siber pada SIK dapat membahayakan keselamatan dan keamanan fasilitas nuklir. Serangan ini dapat berkontribusi pada tindakan sabotase atau membantu pemindahan secara tidak sah. Efek serangan siber pada sistem I&C yang terkait dengan keselamatan dapat mengakibatkan berbagai konsekuensi, seperti hilangnya kontrol proses atau timbulnya konsekuensi radiologis yang tidak dapat diterima. Serangan siber yang memengaruhi SIK juga dapat merusak kepercayaan publik terhadap keselamatan dan keamanan fasilitas nuklir. Secara umum, serangan siber pada fasilitas nuklir dapat mengakibatkan hal-hal berikut:

- 1) kerusakan fisik pada fasilitas dan/atau lumpuhnya sistem keamanan atau keselamatannya (melalui sabotase);
- 2) didaptkannya akses tidak sah ke informasi nuklir sensitif yang dapat menyebabkan perubahan, kehilangan, serta penolakan akses ke informasi sensitif tersebut;
- 3) turunnya kemampuan untuk mencegah, mendeteksi, dan menanggapi peristiwa keamanan nuklir; dan
- 4) keberhasilan dalam memindahkan bahan nuklir tanpa izin.

Diperlukan kegigihan dalam menilai ancaman dan serangan yang terjadi saat ini karena penyerang, alat, taktik, dan target selalu berubah secara dinamis. Faktor-faktor yang memengaruhi perubahan tersebut, yaitu (IAEA, 2021c):

- 1) peningkatan jumlah musuh yang memiliki kemampuan untuk melakukan serangan siber;
- 2) peningkatan jumlah individu atau kelompok yang menawarkan layanan untuk membantu melakukan serangan siber. Hal ini dapat membantu penyerang yang sebelumnya tidak memiliki keterampilan.

- 3) teknik yang makin canggih, yang digunakan untuk serangan siber, membuat deteksi dan responss menjadi lebih sulit;
- 4) peningkatan penggunaan rekayasa sosial dalam serangan siber, termasuk teknik '*spear phishing*' dan '*watering hole*';
- 5) peningkatan kemampuan musuh dalam menemukan dan mengeksploitasi kerentanan dalam sistem kontrol industri;
- 6) penyebaran *ransomware*;
- 7) kesulitan dalam mengamankan rantai pasokan dari serangan siber.

Mempertahankan keamanan komputer yang efektif di fasilitas nuklir merupakan tantangan yang signifikan karena ancaman yang substansial terus muncul dan berkembang dengan pesat (Department for Business, Energy & Industrial Strategy [BEIS], 2022). Banyak elemen penting dari rezim keamanan nuklir bergantung pada sistem berbasis komputer. Oleh karena itu, keamanan komputer sangat penting di fasilitas nuklir untuk melindungi keamanan dan keselamatan nuklir. Hal ini harus didukung oleh program keamanan komputer yang andal.

#### D. Program Keamanan Komputer

Program keamanan komputer adalah sebuah rencana untuk mengimplementasikan strategi keamanan komputer yang menetapkan peran, tanggung jawab, dan prosedur organisasi. Program keamanan komputer harus menentukan dan merinci cara untuk mencapai tujuan keamanan komputer. Program ini juga merupakan bagian dari program keamanan secara keseluruhan.

Program keamanan komputer harus menjelaskan keamanan komputer dalam organisasi, terkait kerentanan, tindakan perlindungan, analisis konsekuensi, dan tindakan mitigasi. Program keamanan komputer juga harus dapat mengidentifikasi dan mempertahankan tingkat risiko yang diterima akibat dari serangan siber yang muncul dan juga dapat memfasilitasi pemulihan ke keadaan operasional yang

aman. Isi dari program keamanan komputer minimal harus mencakup organisasi dan tanggung jawab, manajemen aset digital, penilaian risiko, kerentanan dan kepatuhan, desain keamanan sistem, prosedur keamanan operasional, dan manajemen personalia (IAEA, 2021c).

Program keamanan komputer harus memuat langkah-langkah keamanan komputer. Langkah-langkah keamanan komputer meliputi fungsi pencegahan, deteksi, penundaan, responss, dan mitigasi. Langkah ini juga harus memastikan bahwa kejadian yang muncul tidak mengarah pada penurunan keamanan komputer yang mengakibatkan peningkatan kerentanan terhadap serangan siber. Terdapat tiga kontrol keamanan komputer, yaitu kontrol administratif, fisik, dan teknis (IAEA, 2018; IAEA, 2021c).

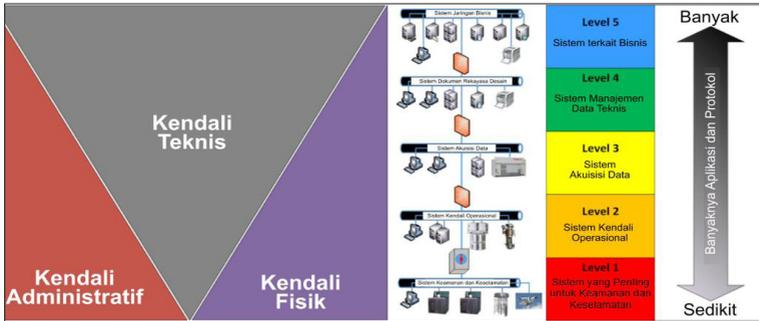
Kontrol administratif dapat berupa kebijakan, prosedur, dan praktik yang dirancang untuk melindungi sistem komputer melalui tindakan dan perilaku personel. Kontrol ini mencakup tindakan operasional dan manajemen, dan biasanya bersifat direktif, yang menetapkan apa yang boleh dan tidak boleh dilakukan oleh karyawan maupun personel pihak ketiga. Kontrol ini juga mencakup tindakan yang memengaruhi seperti penerapan budaya keamanan yang kuat.

Kontrol fisik dapat berupa penghalang fisik untuk perlindungan komputer serta aset pendukung dari kerusakan fisik dan akses fisik yang tidak sah. Hal-hal yang termasuk dalam langkah-langkah pengendalian fisik berupa personel keamanan, penghalang seperti kunci, pagar, gerbang, sistem proteksi fisik, serta ruang isolasi.

Kontrol teknis dapat berupa solusi perangkat keras/perangkat lunak komputer untuk perlindungan, deteksi, mitigasi, dan pemulihan dari penyusupan atau tindakan berbahaya. Contoh kontrol teknis, yaitu penerapan *firewall*, *intrusion detection system* (IDS), perangkat lunak antivirus, maupun berupa kontrol akses.

Ketiga kontrol ini harus diterapkan bersama-sama untuk melindungi keamanan komputer. Gambar 8.3 mengilustrasikan penerapan ketiga kontrol dalam sistem berbasis komputer. Penerapan satu kontrol pada satu waktu, dan mengabaikan kontrol yang lain, tidak dapat dilakukan. Pada fasilitas nuklir, kemampuan untuk

menerapkan kontrol teknis pada tingkat keamanan yang lebih rendah, misalnya pada sistem penting terkait keselamatan dan keamanan, cenderung lebih terbatas. Pada tingkat keamanan yang lebih rendah membutuhkan ketergantungan yang lebih besar pada kontrol fisik dan administratif.



Sumber: IAEA (2021b)

**Gambar 8.3** Penerapan Kontrol Administratif, Fisik, dan Teknis pada Pendekatan Bertingkat

Pada Gambar 8.3 diperlihatkan sistem dengan tingkat keamanan pertama, yaitu sistem yang paling dijaga keamanannya, yakni sistem keamanan dan keselamatan. Dalam sistem ini, kontrol teknis yang diterapkan terbatas. Pada sistem ini, tidak dapat dipasang *firewall* ataupun dilakukan enkripsi komunikasi data. Bila hal tersebut dilakukan, dapat memperlambat sistem atau bahkan memunculkan kegagalan. Namun, sebagai kompensasinya, dapat diterapkan kontrol fisik dan administratif yang lebih besar, misalnya sistem diletakkan di area terbatas dan hanya orang-orang tertentu yang dapat mengakses ruangan.

Langkah-langkah keamanan komputer dalam program keamanan komputer harus didasarkan pada pendekatan bertingkat (*graded approach*), di mana langkah-langkah keamanan diterapkan secara proporsional terhadap potensi dampak serangan siber. Salah satu implementasi praktis dari pendekatan bertingkat adalah dengan membagi sistem berbasis komputer ke dalam beberapa zona. Pada tiap zona, langkah-langkah keamanan komputer diterapkan secara

Buku ini tidak diperjualbelikan

berjenjang. Tabel 8.4 memperlihatkan contoh penerapan tingkat dan zona keamanan komputer pada ruang kendali utama di fasilitas nuklir.

**Tabel 8.4** Contoh Penerapan Tingkat dan Zona Keamanan Komputer

Sistem	Fungsi Utama	Tingkat	Batas Logis	Batas Fisik
Instrumen & kontrol sistem proteksi reaktor	Mencegah kondisi kecelakaan	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jaringan internal khusus dipisahkan menggunakan <i>data diode</i>.</li> <li>Tidak ada konektivitas jaringan eksternal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peralatan diletakkan pada satu area vital saja.</li> <li>Alat pengaman komputer (<i>data diode</i>) diletakkan pada area vital.</li> </ul>
Instrumen & kontrol sistem pembatasan reaktor	Kontrol reaktivitas	2	Jaringan khusus dipisahkan menggunakan <i>data diode</i> , <i>firewall</i> , atau perangkat keamanan lainnya.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peralatan diletakkan pada satu atau lebih area vital.</li> <li>Kabel jaringan, peralatan, atau perutean di luar area vital secara fisik diperketat keamanannya.</li> </ul>
Instrumen & kontrol yang memproses sistem informasi	Memberikan alarm dan pemberitahuan kepada operator tentang lingkungan dan status fasilitas	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jaringan yang saling terhubung dengan <i>human machine interface</i> (HMI).</li> <li>Catatan: bisa berupa konsol HMI ruang kontrol utama yang terpisah/tambahan</li> </ul>	Peralatan dan jaringan diletakkan pada kawasan terlindungi dan/atau kawasan vital

<b>Sistem</b>	<b>Fungsi Utama</b>	<b>Tingkat</b>	<b>Batas Logis</b>	<b>Batas Fisik</b>
Instrumen & kontrol sistem automasi operasional	Kontrol keseimbangan dari sistem fasilitas reaktor	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jaringan yang saling terhubung dengan HMI.</li> <li>Catatan: bisa berupa konsol HMI ruang kontrol utama yang terpisah/ tambahan atau digabungkan dengan instrumen dan kontrol yang memproses sistem informasi</li> </ul>	Peralatan dan jaringan diletakkan pada kawasan terlindungi dan/ atau kawasan vital
IT perkantoran	Melakukan fungsi personalia	4	Tidak ada koneksi logis (antarmuka kabel, nirkabel, atau portabel) yang diizinkan dengan sistem pada tingkat 1, 2, atau 3	Diizinkan di area akses terbatas, area terlindungi, dan area vital
Sistem telekomunikasi	Panggilan ke pasukan respons atau lembaga eksternal lainnya sesuai kebutuhan	4	Tidak ada koneksi logis (antarmuka kabel, nirkabel, atau portabel) yang diizinkan dengan sistem pada tingkat 1, 2, atau 3	Diizinkan di semua lokasi yang diperlukan untuk kepentingan operator

Sistem	Fungsi Utama	Tingkat	Batas Logis	Batas Fisik
Perangkat IT/ seluler pribadi	Tidak diperlukan—hanya pengecualian	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya diperbolehkan di jaringan tingkat 5.</li> <li>• Tidak ada kedekatan dengan zona mana pun yang ditetapkan sebagai zona tingkat 1, 2 atau 3</li> </ul>	Tidak diperbolehkan pada area vital

Sumber: IAEA (2021a)

Program keamanan komputer dapat menggabungkan pendekatan bertingkat dengan pertahanan berlapis (*defense in depth*). Pada pertahanan berlapis, lapisan pertahanan diimplementasikan pada berbagai tingkat arsitektur komputer dan dikombinasikan dengan kontrol teknis dan administratif. Dalam setiap langkah pengamanan pasti akan selalu ada kelemahan, tetapi dengan pertahanan berlapis dapat menciptakan perlindungan yang efektif karena perlindungan pada satu lapisan dapat menutupi kelemahan pada lapisan lain. Gambar 8.4 memperlihatkan pertahanan berlapis yang diterapkan pada sistem berbasis komputer.



Sumber: IAEA (2021b)

**Gambar 8.4** Pertahan Berlapis Sistem Berbasis Komputer

Program keamanan komputer harus memuat dokumen terkait elemen dan tindakan yang direkomendasikan untuk mempertahankan keamanan komputer sebagai bagian dari rezim keamanan nuklir (IAEA, 2021c). Hal ini mencakup beberapa hal yang akan dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. Budaya keamanan

Orang dan proses sering menjadi faktor kunci dalam pengamanan sistem berbasis komputer. Kesalahan manusia (*human error*) adalah salah satu kontributor terbesar insiden keamanan komputer. Budaya keamanan harus mendukung karyawan dalam mengenali dan melaporkan perilaku yang tidak biasa dari sistem berbasis komputer, atau orang yang menggunakannya. Keamanan komputer harus dipromosikan sebagai komponen penting dari budaya keamanan nuklir melalui komitmen eksplisit dari manajemen senior dan melalui peningkatan kesadaran dan pelatihan. Program keamanan komputer harus mencakup kegiatan yang memperkuat budaya keamanan nuklir.

#### 2. Pelatihan

Organisasi harus menetapkan program pelatihan untuk semua karyawan dan juga pihak ketiga tentang keamanan komputer. Program pelatihan harus mencakup kegiatan untuk meningkatkan kesadaran serta mengembangkan kompetensi dan keterampilan. Karyawan harus waspada terhadap risiko keamanan dan keselamatan nuklir terkait dengan potensi serangan siber yang mungkin terjadi pada fasilitas nuklir.

#### 3. Rencana kontingensi dan responss

Program keamanan komputer harus mencakup rencana darurat untuk mengatasi serangan siber. Rencana ini harus memperhitungkan kemungkinan serangan orang dalam dan juga serangan campuran. Rencana kontingensi harus mengidentifikasi jenis insiden keamanan komputer tertentu dan tanggapan yang diperlukan untuk mengatasi insiden ini.

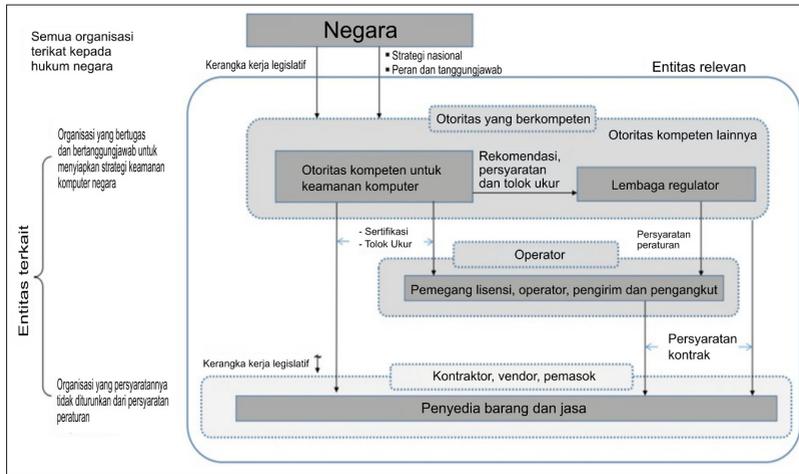
#### 4. Jaminan keamanan komputer

Organisasi harus memastikan bahwa sistem manajemen mencakup sarana yang efektif untuk memberikan jaminan bahwa persyaratan

keamanan komputer terpenuhi, termasuk dalam rantai pasokan. Organisasi juga harus memastikan bahwa sumber daya yang ditugaskan untuk keamanan komputer sudah sesuai dan proporsional dengan tingkat ancaman yang diidentifikasi dalam penilaian ancaman. Inspeksi atau penilaian untuk memverifikasi kepatuhan terhadap persyaratan keamanan nuklir mencakup evaluasi langkah-langkah keamanan komputer.

### **E. Peran dan Tanggung Jawab Berbagai Institusi dan Individu**

Guna mengimplementasikan, memelihara, dan mempertahankan keamanan komputer yang efektif dan andal, dibutuhkan dukungan dari berbagai pihak yang kompeten dan dapat dipercaya. Gambar 8.5 memperlihatkan berbagai pihak yang terlibat serta peran dan tanggung jawabnya. Negara sebagai otoritas tertinggi harus memastikan bahwa keamanan komputer ditangani dengan tepat dalam kerangka kerja legislatif dan peraturan dapat diterapkan dengan konsisten. Dalam menunjang fungsi ini, negara telah menerbitkan beberapa regulasi yaitu UU ITE No. 11 Tahun 2008 yang kemudian di revisi menjadi UU ITE No. 19 Tahun 2016, Peraturan Presiden Nomor 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik, Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik, dan yang terbaru adalah Peraturan Presiden Nomor 82 Tahun 2022 tentang Pelindungan Infrastruktur Informasi V



Sumber: IAEA (2021b)

**Gambar 8.5** Pihak yang Bertanggung Jawab dalam Keamanan Komputer

Selain dukungan regulasi, negara juga harus menunjuk otoritas yang berkompeten sebagai penanggung jawab utama untuk pengawasan dan penegakan hukum keamanan komputer. Pada Gambar 8.5 diperlihatkan dua otoritas yang berkompeten, yaitu otoritas kompeten untuk keamanan komputer dan lembaga regulator. Di Indonesia, otoritas kompeten keamanan komputer ditangani oleh Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN), sementara lembaga regulator terkait fasilitas nuklir ditangani oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

BSSN baru didirikan pada tahun 2017. Namun, tugas pengamanan informasi dan sandi nasional bukanlah tugas baru. Tugas ini sebelumnya diemban oleh Lembaga Sandi Negara dan Direktorat Keamanan Informasi Kementerian Komunikasi dan Informatika. Melalui Peraturan Presiden No. 53 Tahun 2017, kedua lembaga tersebut dilebur menjadi BSSN. Perpres ini kemudian dicabut dan digantikan dengan Peraturan Presiden No. 28 Tahun 2021 yang merupakan dasar hukum dari BSSN saat ini. BSSN bertugas melaksanakan keamanan siber secara efektif dengan memanfaatkan, mengembangkan, dan mengkonsolidasikan semua unsur yang terkait keamanan siber. Dalam menjalankan tugas penjagaan keamanan siber

tersebut, BSSN berkoordinasi dengan penyelenggara fungsi siber lainnya, yaitu dengan Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia sebagai penyelenggara fungsi diplomasi siber, dengan Kementerian Pertahanan Republik Indonesia dan Tentara Nasional Indonesia untuk fungsi siber pertahanan, dengan Kepolisian Republik Indonesia untuk kejahatan siber, dan dengan Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia untuk fungsi penyaringan internet (Chryshna, 2021).

BAPETEN sebagai lembaga regulator terkait fasilitas nuklir yang ditetapkan melalui Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 mempunyai fungsi pengawasan terhadap penggunaan tenaga nuklir, yang meliputi perizinan, inspeksi, dan penegakan peraturan untuk menjamin kepatuhan pengguna tenaga nuklir terhadap peraturan dan ketentuan keselamatan dan keamanan. Pada Gambar 8.5 diperlihatkan bahwa BSSN memberikan rekomendasi, persyaratan, dan tolak ukur terkait keamanan komputer kepada BAPETEN. Selanjutnya, BAPETEN menjadikannya dasar dalam penyusunan panduan dan persyaratan peraturan di bidang keamanan komputer untuk membantu operator terkait implementasinya. BAPETEN harus memastikan bahwa setiap operator memiliki program keamanan komputer yang menjelaskan langkah-langkah keamanan komputernya. BAPETEN harus memverifikasi kepatuhan lanjutan dengan persyaratan peraturan dan kondisi lisensi yang berkaitan dengan keamanan komputer melalui inspeksi rutin. Selanjutnya, bila perlu, penggunaan tindakan penegakan untuk memastikan bahwa tindakan korektif tepat waktu dapat diambil.

Adapun peranan operator adalah mematuhi sertifikasi, tolak ukur, serta persyaratan peraturan yang ditetapkan oleh otoritas kompeten, baik BSSN maupun BAPETEN. Kemudian otoritas kompeten bersama operator menetapkan persyaratan kontrak pada vendor, kontraktor, dan pemasok untuk menerapkan langkah-langkah keamanan komputer yang sepadan dengan peran mereka (BEIS, 2022). Persyaratan kontrak harus merinci langkah-langkah keamanan komputer untuk memastikan bahwa aktivitas kedua belah pihak tidak menyediakan celah untuk serangan siber di pihak lain dan bahwa informasi sensitif kedua belah pihak dilindungi dengan tepat.

Otoritas kompeten dan operator juga secara berkala mengevaluasi langkah-langkah keamanan komputer untuk memastikan bahwa persyaratan peraturan dipatuhi. Kegiatan evaluasi dapat mencakup audit, tinjauan, pengujian kinerja, dan pelatihan yang sesuai. Evaluasi juga perlu dilakukan ketika sistem berbasis komputer dimodifikasi, untuk mempertimbangkan apakah modifikasi tersebut dapat menimbulkan kerentanan baru dan/atau menciptakan aset digital sentitif baru. Periode evaluasi ditetapkan untuk memperhitungkan setiap perubahan ancaman, atau faktor lain yang memengaruhi risiko.

## F. Penerapan Keamanan Informasi Nuklir di BATAN

Penerapan keamanan informasi secara umum di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)—dapat dikatakan—dimulai dengan memanfaatkan momentum dari berbagai kejadian atau munculnya ketetapan baru atau proyek baru dari pemerintah atau instansi terkait, meskipun hal itu tidak langsung berkaitan dengan keamanan informasi. Sebagai contoh, dengan ditetapkannya Undang-undang Hak Cipta pada tahun 2002 yang menjadi salah satu penyebab dicituskannya proyek *Indonesia Go Open Source* (IGOS) pada tahun 2004, BATAN menjawab dengan mulai mengkampanyekan penggunaan *software* legal dalam internal BATAN. Selain sebagai bukti kepatuhan pada peraturan yang berlaku, hal tersebut juga didorong oleh kesadaran akan adanya risiko keamanan dalam setiap penggunaan *software* bajakan.

Kemudian, masih dalam rangka menurunkan risiko keamanan yang sama, sejak tahun 2005, melalui penyelenggaraan *workshop* untuk internal, BATAN menjadi salah satu dari sedikit instansi pemerintah yang ikut mendorong penggunaan *software* legal dengan menawarkan aplikasi berbasis kode terbuka (*open source*) sebagai pilihan alternatif yang aman dari sisi keamanan informasi.

Ditetapkannya UU ITE pada tahun 2008 dan surat edaran dari Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor: 05/SE/M.KOM-INFO/07/2011 tentang Penerapan Tata Kelola Keamanan Informasi Bagi Penyelenggara Pelayanan Publik, mendorong BATAN untuk memberi perhatian yang lebih besar pada keamanan data digital

yang dimiliki. Kampanye untuk meningkatkan kesadaran keamanan informasi dalam internal BATAN melalui *workshop* Keamanan Informasi (KAMI) yang diselenggarakan setiap tahun, mendapat *feedback* yang cukup bagus dari para peserta yang pernah mengikuti *workshop* tersebut. Hal yang perlu dicatat adalah kapasitas jumlah peserta *workshop* yang bisa ditampung setiap tahun, sama sekali tidak sebanding dengan penambahan pegawai BATAN. Di sisi lain, berbagai kejadian di dunia siber dan perkembangan baru di teknologi informasi menuntut pembaruan isi dan metode *workshop*. Hal ini membuat isi *workshop* beberapa tahun sebelumnya ketinggalan zaman.

Tidak hanya terbatas pada peningkatan kesadaran keamanan informasi, peningkatan dan penguatan kemampuan pelaku IT di BATAN juga dilaksanakan meskipun menghadapi berbagai keterbatasan. Dalam berbagai kesempatan, satu atau beberapa orang diikutsertakan pada kursus atau pelatihan, baik yang diselenggarakan oleh badan pemerintah maupun oleh swasta, baik untuk mendapatkan sertifikasi maupun yang tidak. Beberapa kesempatan keikutsertaan dalam *Regional Training Course* yang diselenggarakan oleh IAEA ataupun lembaga regulator tenaga nuklir dari negara lain juga dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan sumber daya manusia (SDM) IT BATAN dalam mengelola keamanan informasi.

Sejak tahun 2018, BATAN juga menjalin kerja sama dengan United State-Department of Energy (US-DoE) dalam hal pelatihan keamanan informasi. Pelatihan yang diselenggarakan, selain diikuti oleh staf IT BATAN juga diikuti oleh beberapa peserta dari instansi lain, seperti BAPETEN dan BSSN.

Selain peningkatan kesadaran akan keamanan informasi dan peningkatan kemampuan SDM, BATAN juga menerapkan kontrol keamanan informasi yang lebih ketat. Kontrol teknis dan administratif dilakukan dalam penerapan topologi terpusat pada jaringan dalam dan antarkawasan BATAN. Pusat-pusat riset di BATAN tidak diperbolehkan untuk melanggan jaringan internet sendiri dan hanya boleh menggunakan jaringan BATAN yang terpusat. Meskipun terpusat, kontrol teknis yang diterapkan dalam topologi diatur sedemikian

rupa sehingga insiden keamanan informasi bisa dilokalisir dan tidak mengurangi atau mengganggu fungsionalitas jaringan dan server di tempat lain. Semua itu dilakukan dengan tetap mempertahankan *air gap* antara jaringan bisnis dan jaringan internal fasilitas nuklir. Kontrol administratif juga diterapkan, misalnya dalam pengelolaan hak akses pengguna pada sumber daya tertentu. Beberapa peraturan internal yang ditujukan untuk mendukung kontrol administratif diterbitkan, seperti surat edaran penggunaan email. Selain itu, peraturan internal termutakhir adalah ditetapkannya Peraturan BATAN Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik di BATAN pada tanggal 5 Mei 2021, yang memasukkan unsur keamanan sebagai salah satu prinsip dasar pelaksanaannya.

Selain kontrol teknis dan administratif, kontrol fisik juga diterapkan melalui kerjasama dengan unit pengamanan kawasan nuklir, seperti dalam hal hak akses ke gedung atau ruangan simpul infrastruktur IT yang kritikal.

Sisi pengelolaan informasi pun tidak luput dari perhatian, dengan memaksimalkan sumber daya yang terbatas. BATAN telah memiliki sistem *backup* data yang cukup berguna untuk menjamin ketersediaan data, bila sistem penyimpanan utama mengalami gangguan. BATAN memanfaatkan beberapa perangkat *firewall* untuk memfilter data yang berpotensi merusak.

Dengan semakin menguatnya isu keamanan informasi di dalam negeri yang dipicu oleh peretasan terhadap beberapa situs penting di Indonesia, BATAN pun terpacu untuk segera membentuk tim tanggap darurat insiden siber. Melalui tahapan yang cukup panjang, yang dimulai pada 28 Agustus 2019, dilakukan asistensi pertama dengan BSSN terkait pembentukan BATAN-CSIRT (Computer Security Incident Reporting Team). Setelah asistensi pertama, kerja sama antara BATAN dan BSSN terus ditingkatkan. Hal ini ditandai pada saat diselenggarakannya pelatihan *Cyber Security for Nuclear & Radiological Facilities* (30 September–4 Oktober 2019), yang merupakan pelatihan kedua terkait keamanan informasi dengan bekerja sama dengan US-DoE. BATAN turut juga mengundang staf BSSN untuk hadir sebagai

peserta pada pelatihan tersebut. Bertepatan dengan ulang tahun BATAN tanggal 5 Desember 2019, MOU antara BATAN dan BSSN mengenai kerja sama terkait tanda tangan digital dan pembentukan CSIRT di BATAN, ditandatangani. Pada tahun 2021, Surat Keputusan (SK) Kepala Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Nuklir (PPIKSN) tentang pembentukan Tim Cyber Security BATAN disahkan dan pada akhirnya pada tanggal 25 Mei 2021, BATAN-CSIRT resmi diluncurkan (Gambar 8.6).



Foto: Dokumentasi BATAN (2021)

**Gambar 8.6** Peluncuran BATAN-CSIRT Bersama BSSN

Penerapan keamanan informasi nuklir di BATAN memang masih dititikberatkan pada sistem komputer dan jaringan bisnis BATAN. Selain karena berbagai data penting ketenaganukliran berlokasi di dalam jaringan tersebut, adanya *air gap* antara jaringan bisnis dan jaringan kontrol fasilitas nuklir turut menciptakan kontrol keamanan. Hal ini bersamaan dengan berbagai usaha peningkatan kesadaran keamanan informasi di internal BATAN, pelatihan sumber daya manusia, perbaikan dan penyederhanaan topologi jaringan, penerapan berbagai kontrol keamanan dan pengembangan sistem komputer

yang lebih mendukung ketersediaan data, dengan tetap menjamin kerahasiaan dan integritas data, dengan payung aturan dan hukum yang telah terbit.

## G. Penutup

Ancaman serangan siber berkembang secara terus-menerus dengan frekuensi dan tingkat keparahan kejahatan penyusupan yang makin kompleks dan dengan kecepatan yang mengkhawatirkan. Perlindungan terhadap infrastruktur IT dan data milik lembaga pemerintahan akan menjadi tantangan yang selalu berkembang makin besar bagi setiap personel yang ditugaskan untuk menjaga infrastruktur tersebut. Hal ini menjadi tugas dan tanggungjawab kita untuk saling berbagi pengetahuan, membangun kerja sama privat dan publik, menerapkan aksi inisiatif baru, dan tetap waspada terhadap ancaman yang bisa mencelakakan kita.

Setelah BATAN dan Lembaga Pemerintah NonKementerian riset lain serta badan penelitian dan pengembangan di berbagai kementerian berintegrasi ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), kontrol keamanan informasi nuklir menjadi tantangan tersendiri. Hal ini mengingat luasnya ruang lingkup kerja BRIN, baik dari sisi domain riset maupun lokasi fisik sehingga sistem berbasis komputer menjadi basis dari banyak kegiatan. Di satu sisi, hal tersebut sebagai solusi efisiensi dan efektivitas kerja, tetapi di sisi lain juga membuka tantangan terhadap keamanan informasi yang sensitif, khususnya tentang aset digital sensitif yang terkait dengan bahan nuklir dan fasilitas nuklir.

Berdasarkan Prinsip *Fundamental L Ammendment of CPPNM*, negara diharuskan menetapkan persyaratan untuk kerahasiaan informasi, termasuk aset digital sensitif, yang terkait dengan bahan nuklir dan fasilitas nuklir. Dalam hal ini, dan dalam lingkup BRIN, kewajiban negara dapat dilakukan oleh BRIN sebagai badan pelaksana ketenaganukliran dan sebagai pemegang izin berbagai bahan nuklir dan fasilitas nuklir. Kriteria kerahasiaan informasi tersebut perlu didasarkan pada dampak dari terbukanya informasi secara tidak sah

yang akan berpengaruh terhadap pelemahan sistem proteksi fisik terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir terkait.

## Daftar Referensi

- Alexander, R. D., & Panguluri, S. (2016). Cybersecurity terminology and frameworks. Dalam R. Clark, & S. Hakim (Ed.), *Cyber-Physical Security. Protecting Critical Infrastructure*, vol 3. Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32824-9\\_2#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32824-9_2#citeas)
- Anjani, N. H. (2021). *Ringkasan kebijakan no. 9: Perlindungan keamanan siber di Indonesia*. Center for Indonesian Policy Studies. <https://www.cips-indonesia.org/publications/perlindungan-keamanan-siber-di-indonesia>
- Chryshna, M. (2021, 4 Juli). Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN). *Kompaspedia*. <https://kompaspedia.kompas.id/baca/profil/lembaga/badan-siber-dan-sandi-negara-bssn>
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2022). *2022 Civil Nuclear Cyber Security Strategy*. UK Government. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1075002/civil-nuclear-cyber-security-strategy-2022.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1075002/civil-nuclear-cyber-security-strategy-2022.pdf)
- International Atomic Energy Agency. (2011a). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infirc225revision-5>
- International Atomic Energy Agency. (2011b). Nuclear security recommendations on radioactive material and associated facilities. *IAEA Nuclear Security Series No. 14*. <https://www.iaea.org/publications/8616/nuclear-security-recommendations-on-radioactive-material-and-associated-facilities>
- International Atomic Energy Agency. (2011c). Nuclear security recommendations on nuclear and other radioactive material out of regulatory control. *IAEA Nuclear Security Series No 15*. <https://www.iaea.org/publications/8622/nuclear-security-recommendations-on-nuclear-and-other-radioactive-material-out-of-regulatory-control>
- International Atomic Energy Agency. (2013). Objective and essential elements of a state's nuclear security regime. *IAEA Nuclear Security*

- Series No. 20*. <https://www.iaea.org/publications/10353/objective-and-essential-elements-of-a-states-nuclear-security-regime>
- International Atomic Energy Agency. (2015). Security of Nuclear Information. *IAEA Nuclear Security Series No. 23-G*. <https://www.iaea.org/publications/10774/security-of-nuclear-information>
- International Atomic Energy Agency. (2016). Amendment to the convention on the physical protection of nuclear material. *INFCIRC/274/Rev.1/Mod.1*.
- International Atomic Energy Agency. (2021a). Computer security techniques for nuclear facilities. *IAEA Nuclear Security Series No. 17-T (Rev. 1)*. <https://www.iaea.org/publications/14729/computer-security-techniques-for-nuclear-facilities>
- International Atomic Energy Agency. (2021b, 1–12 November). *Information and computer security*. Regional School on Nuclear Security for Asia and the Pacific, Jakarta, Indonesia.
- International Atomic Energy Agency. (2021c). Computer security for nuclear security. *IAEA Nuclear Security Series No. 42-G*. <https://www.iaea.org/publications/13629/computer-security-for-nuclear-security>
- International Atomic Energy Agency. (2018). Computer Security of Instrumentation and Control Systems at Nuclear Facilities: Technical Guidance. *IAEA Nuclear Security Series No. 33-T*. <https://www.iaea.org/publications/11184/computer-security-of-instrumentation-and-control-systems-at-nuclear-facilities>
- Kim, S., Heo, G., Zio, E., Shin, J., & Song, J. (2020). Cyber attack taxonomy for digital environment in nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(5), 995–1001. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.11.001>
- Park, J., Suh, Y. (2014). A development framework for software security in nuclear safety system: Integrating secure development and system security activities. *Nuclear Engineering and Technology*, 46(1), 47–54. <https://doi.org/10.5516/NET.04.2012.061>
- Peraturan Menteri Pertahanan Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2014 tentang Pedoman Pertahanan Siber. (2014). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/177738/permenhan-no-82-tahun-2014>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2022 tentang Pelindungan Infrastruktur Informasi Vital. (2022). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/211029/perpres-no-82-tahun-2022>
- Setiawan, W. B. M., Churniawan, E., & Faried, F. S. (2020). upaya regulasi teknologi informasi dalam menghadapi serangan siber (*cyber attack*)

guna menjaga kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia. *Jurnal USM Law Review*, 3(2), 275–295. <https://journals.usm.ac.id/index.php/julr/article/view/2773>

Shalal, A. (2016, 10 Oktober). IAEA chief: Nuclear power plant was disrupted by cyber attack. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-nuclear-cyber-idUSKCN12A1IOC>

Undang-undang Republik Indonesia No. 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik. (2008). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/37589/uu-no-11-tahun-2008>

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2016 tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik. (2016). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/37582/uu-no-19-tahun-2016>

## **BAGIAN II. ASPEK MANUSIA DAN SISTEM MANAJEMEN**

Buku ini tidak diperjualbelikan



## BAB IX

# Ancaman Orang Dalam

Alim Mardhi

---

### A. Pendahuluan

Ancaman keamanan nuklir yang melibatkan “orang dalam” (*insider*) menjadi perhatian yang serius dalam sistem keamanan suatu fasilitas nuklir. Bahaya ancaman orang dalam (*insider threat*) dapat memiliki risiko yang sangat tinggi dan dampak yang parah terhadap fasilitas. Hal ini dikarenakan orang dalam memiliki kelebihan terhadap akses dan otoritas ke sistem informasi, pengetahuan terkait proses rantai pasokan material, bahkan kendali operasi, sehingga dapat menembus dan melemahkan secanggih apa pun sistem proteksi fisik yang dibangun.

Kejadian sabotase yang melibatkan orang dalam pernah terjadi di beberapa fasilitas nuklir di dunia. Pada tahun 2014, tercatat sebuah pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) yang terletak di Belgia

---

Alim Mardhi\*

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: alim005@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Mardhi, A. (2024). Ancaman orang dalam. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (213–244). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c997, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

mengalami kejadian sabotase. Sabotase dilakukan oleh seorang teknisi nuklir yang memiliki akses ke daerah vital reaktor nuklir. Sabotase tersebut menyebabkan turbin mengalami *overheat* dan kerusakan parah reaktor nuklir (Bunn, 2017). Sebelumnya pada tahun 2007, suatu pusat riset nuklir di Afrika Selatan mengalami sabotase oleh penyusup yang berhasil memutus beberapa sistem proteksi keamanan dan menembus patroli penjagaan. Hasil investigasi yang dilaporkan tujuh tahun setelahnya mensinyalir keterlibatan orang dalam yang membantu penyusupan ke fasilitas (Birch & Smith, 2015). Untuk kasus pencurian yang berada di fasilitas nuklir, antara lain, kasus seorang insinyur ternama yang berkerja di sebuah laboratorium yang menangani uranium yang diperkaya tinggi (*high-enriched uranium*, HEU). Pelaku adalah orang yang pertama kali dilaporkan sebagai pencuri bahan nuklir untuk bahan baku bom (*nuclear grade*) di Rusia. HEU sebanyak 50 gram ampul dicuri sedikit demi sedikit hingga mencapai sekitar 1,5 kilogram kemudian disimpan pelaku di dalam botol selai di atas balkonnnya. Motivasi pelaku adalah faktor ekonomi. Pelaku akhirnya ditangkap sebelum berhasil melakukan transaksi penjualan (Public Broadcasting Service, t.t.).

Contoh insiden fatal lainnya yang melibatkan orang dalam, tetapi terjadi di area nonnuklir adalah kasus jatuhnya pesawat German-swings yang mengakibatkan 150 orang meninggal dunia. Di kemudian hari, diketahui bahwa kopilot pesawat secara sengaja melakukan sabotase sehingga pesawat jatuh setelah menabrak gunung (Arfiansyah & Pratiwi, 2022). Kasus lainnya yang pernah terjadi di Indonesia, yaitu di Museum Nasional Indonesia atau Museum Gajah, sering kali mengalami pencurian (Tempo.co, 2013). Dalam dua dekade terakhir, dilaporkan bahwa telah terjadi beberapa kejadian pencurian benda kepurbakalan yang disimpan di museum yang ternyata melibatkan orang dalam. Kejadian terakhir terjadi pada tahun 2013, di mana artefak dari zaman mataram kuno, berupa empat buah lempengan emas, telah dicuri pada malam hari. Terdapat hal yang janggal karena seluruh sistem keamanan museum berupa kamera pengawas dan alarm tidak berfungsi. Dari semua kejadian, diperkirakan 90% kasus pencurian di museum melibatkan orang dalam (Liputan6, 2013).

Buku ini tidak diperjualbelikan

## B. Definisi Orang Dalam

Orang dalam, secara terminologi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), berarti orang yang ada di dalam satu lingkungan (pekerjaan, golongan, dan sebagainya). Senada dengan istilah asing dalam kamus Webster, menjelaskan bahwa *insider* adalah seseorang yang telah dikenal atau diterima dalam sebuah grup atau organisasi. Ancaman didefinisikan sebagai tindakan dengan niat dan rencana untuk melakukan sesuatu yang merugikan, menyulitkan, menyusahkan, atau mencelakakan pihak lain. Oleh karena itu, “ancaman orang dalam” bermakna seseorang yang sudah dikenal atau diterima dalam sebuah kelompok atau organisasi yang dapat melakukan sesuatu kegiatan yang menyebabkan kerugian. Ancaman orang dalam sering kali hanya disebut *insider* atau orang dalam yang bermakna sama. Seperti definisi yang diadopsi oleh International Atomic Energy Agency (IAEA) dan juga dipahami secara umum dalam bidang keamanan nuklir, *insider* didefinisikan sebagai berikut (IAEA, 2011):

*“Insider is one or more individuals with authorized access to nuclear facility or nuclear material in transport who could attempt unauthorized removal or sabotage, or who could aid an external adversary to do so.”*

Definisi orang dalam di atas diartikan sebagai berikut: “satu atau lebih individu dengan akses resmi ke fasilitas nuklir atau bahan nuklir yang dalam pengangkutan yang dapat mencoba melakukan pemindahan atau sabotase tanpa izin, atau yang dapat membantu musuh dari luar atau eksternal untuk melakukan sabotase atau pencurian.” Pengertian dan istilah yang telah dijelaskan sebelumnya, akan dipakai selanjutnya dalam bab ini.

## C. Karakterisasi Orang Dalam

Orang dalam, dalam kesehariannya, adalah seorang karyawan, operator, teknisi, manajer, atau bahkan seorang personel keamanan yang berkerja pada sebuah fasilitas. Orang dalam dapat memiliki atribut yang melekat pada posisi, tugas, dan jabatan yang diperlukan untuk

menjalankan pekerjaannya. Atribut tersebut, antara lain, izin akses ke dalam fasilitas, kewenangan untuk mengendalikan operasi fasilitas dan juga memberikan perintah kepada bawahannya, serta pengetahuan terhadap mekanisme sistem dan proses yang ada di fasilitas. Atribut tersebut dapat dimanfaatkan oleh orang dalam untuk melakukan kegiatan yang mengancam fasilitas. Dalam sebuah skenario, orang dalam akan dapat mengetahui dengan mudah sisi yang paling rentan di fasilitas, mengumpulkan informasi, sumber daya dan sarana yang diperlukan dalam aksinya, serta menggunakan wewenangnya untuk mengakses lokasi vital fasilitas. Orang dalam dapat merencanakan aksi tersebut dalam jangka waktu lama secara rahasia dan juga memilih waktu eksekusi yang tepat untuk melancarkan serangan atau aksi kriminalnya.

Dalam melancarkan aksinya, orang dalam dapat melakukan secara sengaja atau tidak sengaja. Kegiatan yang dilakukan dengan sengaja selalu disertai niat dan didorong oleh motivasi untuk melakukannya secara sadar. Pembahasan terkait niat dan motivasi orang dalam ini akan dipaparkan secara khusus pada subbab selanjutnya. Aksi orang dalam yang dilakukan dengan tidak sengaja (*unwitting insider*) adalah perbuatan seseorang yang ceroboh dan lalai sehingga menyebabkan terbukanya akses ke fasilitas, tersebarnya informasi, atau perbuatannya yang tidak sengaja tersebut dimanfaatkan oleh orang dalam lain untuk melakukan aksi yang merugikan fasilitas.

Aksi orang dalam yang dilakukan dengan sengaja dapat dilakukan secara pasif maupun aktif. Kegiatan yang pasif biasanya dilakukan orang dalam dengan cara berkerja sama atau berkolusi dengan pihak dari luar, dengan jalan membagi informasi penting terkait fasilitas. Orang dalam yang pasif tidak akan berperan secara fisik untuk membantu melancarkan ancaman terhadap fasilitas.

Sebaliknya, untuk kegiatan orang dalam yang dilakukan secara aktif, tidak hanya sekadar berbagi informasi, tetapi juga berkontribusi membantu secara fisik, seperti membuka akses masuk ke fasilitas, melemahkan dan mengalahkan sistem proteksi fisik dan personel keamanan yang bertugas, serta dapat berperan sebagai eksekutor, baik

secara mandiri maupun berkolaborasi dengan pihak luar. Dalam melancarkan aksinya, orang dalam aktif dapat bertindak dengan cara apa saja, baik tanpa kekerasan maupun dengan kekerasan. Seorang orang dalam yang melakukan aksi dengan kekerasan dapat bertindak masih dalam batas-batas tertentu secara rasional dan mempertimbangkan banyak hal. Namun, pada posisi dan keadaan tertentu, tidak menutup kemungkinan, seorang orang dalam dapat melakukan kegiatan yang dilakukan secara sporadis dan irasional.

## D. Potensi Ancaman Orang Dalam

Potensi ancaman dari orang dalam terhadap fasilitas dapat dianalisis berdasarkan niat dan motivasi, kemampuan, dan kesempatan dalam aksinya. Di dunia investigasi kejahatan, telah dikenal tiga elemen teoretis yang diperlukan untuk memecahkan kasus kriminal yaitu motif (*motive*), kesempatan (*opportunity*), dan kemampuan (*capability* atau *means*) sehingga dikenal sebagai model CMO. Konsep ini dapat digunakan secara lebih luas untuk menganalisis potensi ancaman orang dalam. Setidaknya, orang dalam telah memiliki dua dari tiga hal yang dibutuhkan, yaitu kesempatan dan kemampuan. Dari ketiga hal tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut ke analisis risiko dan skenario yang mungkin terjadi, termasuk langkah bagaimana mendeteksi dan mencegah secara dini ancaman orang dalam serta rencana mitigasi paska kejadian. Berikut dijelaskan faktor-faktor penyebab meningkatnya potensi ancaman dari orang dalam.

### 1. Niat dan Motivasi

Adanya niat dan motivasi adalah sesuatu hal yang mendasari terjadinya aksi kejahatan, termasuk di dalamnya aksi orang dalam. Secara mendasar, niat dan motivasi adalah dua terminologi yang terkadang membingungkan dan tertukar satu sama lain. Namun, semua sepakat bahwa niat dan motivasi adalah sesuatu hal yang muncul dari diri seseorang yang mendorongnya melakukan suatu aksi. Analogi yang sederhana terkait niat dan motivasi adalah ketika seseorang yang dengan serius melakukan ritual keagamaan. Niat seseorang untuk

melakukan ritual keagamaan adalah untuk beribadah kepada Tuhan yang disembahnya. Namun, motivasi yang mendorongnya melakukan kegiatan tersebut dapat beragam, antara lain, pelaksanaan pengguguran kewajiban sebagai umat beragama, untuk mendapatkan balasan kebaikan berupa pahala, atau motivasi lain sesuai kadar keyakinannya kepada Tuhan. Contoh lainnya, seorang bapak yang berniat membelikan sepatu baru untuk anaknya. Motivasinya memberikan hadiah kepada anaknya—antara lain—karena rajin belajar atau untuk memberikan kenyamanan ke anak tersebut karena sepatunya akan dipakai dalam kegiatan olahraga.

Ketika menjalani aksinya, orang dalam dapat melakukan perbuatan yang mengancam fasilitas dengan adanya niat atau tanpa adanya niat. Namun, motivasi melakukan perbuatan tersebut akan selalu ada dalam setiap tindakan yang dilakukan. Dalam suatu skenario, bisa saja seorang orang dalam tidak berniat melakukan perbuatan yang mengancam fasilitas, tetapi akibat perbuatannya tersebut menyebabkan terbukanya akses untuk orang dalam lain ke fasilitas. Perbuatan orang dalam pertama yang direspons oleh orang dalam kedua bersifat insidental dan tidak terencana. Dapat diprediksi bahwa konsekuensi yang ditimbulkan perbuatan tersebut tidak akan separah jika dilakukan secara terencana. Kemungkinan motif dari orang dalam pertama bisa saja hanya karena ingin membantu memberi kemudahan rekannya yang beralasan lupa membawa kartu akses personel.

Skenario kedua, orang dalam memang berniat melakukan perbuatan kriminal sabotase di fasilitas karena motif dendam dan ingin memberi pelajaran terhadap organisasi yang telah memberikan hukuman tanpa mempertimbangkan loyalitasnya selama ini di organisasi. Konsekuensi dari aksi sabotasenya dapat membuat kerusakan yang besar karena dilakukan dengan terencana dan persiapan sebelumnya. Selain itu, pemilihan waktu dan lokasi sabotase yang tepat akan memperbesar probabilitas dampak kerusakan yang terjadi.

Dari kedua skenario tersebut, langkah pencegahan yang diambil untuk masing-masing ancaman orang dalam akan berbeda. Orang dalam pada skenario pertama akan diarahkan untuk mengikuti

pendidikan dan pelatihan dalam rangka meningkatkan nilai-nilai penerapan budaya keamanan. Sementara itu, untuk orang dalam pada skenario kedua, akan dilakukan *profiling* terhadap riwayat catatan kinerja pekerjaan, organisasi kemasyarakatan yang diikuti, bahkan kehidupan pribadinya sehari-hari. Selain itu, akan dilakukan investigasi yang kompleks terkait kesehatan mental, kondisi ekonomi, latar belakang ideologi, dan sebagainya. Motif yang telah diungkap akan dianalisis kesesuaiannya dengan hasil *profiling* dan investigasi.

Motif dari aksi orang dalam yang sengaja melakukan perbuatannya, dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu motif ideologi, motif keuangan, dan motif personal. Ideologi yang dianut oleh orang dalam dapat mendorongnya melakukan tindakan heroik bahkan brutal karena ideologi adalah suatu simbol yang diyakini dan didoktrin sebagai nilai-nilai yang tinggi. Bahkan, untuk tingkatan tertentu, segala sesuatu yang bertentangan dengan ideologinya dapat dijadikan sebagai musuh dan individu tersebut akan melegalkan segala cara untuk mengalahkan musuhnya.

Motif keuangan atau ekonomi adalah motif yang paling umum dijumpai dalam skenario ancaman, baik ancaman dari luar maupun dari dalam. Kebutuhan yang mendesak atau gaya hidup yang tinggi dapat mendorong seseorang untuk menghalalkan segala cara dalam mencukupinya. Perbuatan kriminal yang dilakukan biasanya berupa pencurian atau mengambil keuntungan dari menjual informasi penting fasilitas.

Motif personal dapat ditelusuri dengan melakukan pendekatan psikologi dan kejiwaan. Motif personal bisa berasal dari dalam diri orang dalam atau tekanan dari luar. Secara umum, ada beberapa parameter penting yang dapat diketahui seperti munculnya gejala stres, dengan berbagai tingkatan yang ditandai dengan gejala ketakutan, gugup, dan kemarahan yang tidak terkendali. Motif personal yang berasal dari dalam diri, seperti rasa tidak puas, merasa dilecehkan, rasa dendam, dan permusuhan akibat konflik dalam pekerjaan atau ego personal yang merasa paling benar. Motif personal dari dalam diri ini berkaitan erat dengan kestabilan emosi dan kesehatan jiwa.

Beberapa penyakit kejiwaan yang dapat mendorong seorang menjadi ancaman dari orang dalam, antara lain, mudah stres, psikopat, dan kleptomania (gangguan yang membuat penderitanya sulit menahan diri dari keinginan untuk mencuri). Kejadian aksi orang dalam dengan motif personal dari dalam diri biasanya dipicu oleh lingkungan sekitar, seperti budaya dan sistem organisasi yang tidak sehat, target pekerjaan yang melampaui batas, serta kurangnya dukungan dari keluarga terdekat. Sementara itu, motif personal yang berasal dari tekanan luar, antara lain, seperti kasus koersi di mana orang dalam ditekan oleh pihak lain untuk melakukan kejahatan. Bentuk tekanan bisa dalam bentuk ancaman verbal atau sampai dalam kasus penyanderaan keluarga terdekat. Orang dalam melakukan aksinya karena diri dan keluarganya dalam keadaan terancam.

## 2. Kemampuan

Aksi seorang karyawan yang menjadi ancaman orang dalam menjadi sangat berbahaya dan berisiko tinggi karena ia telah memiliki kemampuan berupa pengetahuan dan keterampilan yang memadai terkait sistem yang ada di fasilitas. Selama berkerja di fasilitas, orang dalam akan memperoleh pengetahuan dan keterampilan secara alami yang diperlukan untuk melaksanakan tugas dan tanggung jawab pekerjaan sehari-hari. Bahkan pada posisi tertentu, seperti pada karyawan yang berkerja sebagai operator fasilitas, manajemen, atau petugas keamanan, pengetahuan dan keterampilan ini diperoleh melalui pendidikan dan pelatihan khusus dalam jangka waktu tertentu.

Beberapa kemampuan yang dapat dimiliki oleh seorang *insider* dijelaskan sebagai berikut.

### a. Akses resmi

Akses resmi (*authorized access*) didefinisikan sebagai proses yang memberikan seseorang wewenang untuk mengakses sumber daya fasilitas. Sebagai contoh, seorang karyawan yang bertugas di bagian gudang perlengkapan akan diberikan wewenang untuk mengakses gudang penyimpanan logistik kantor terbatas pada jam operasional kantor. Kegiatan yang dilakukannya di luar jam operasional bisa

menjadi tidak resmi (*unauthorized access*) karena sudah di luar kewenangan yang diberikan.

Demikian juga orang dalam yang berkerja di fasilitas tertentu dapat memiliki wewenang untuk mengakses area yang dikendalikan. Kemampuan ini merupakan modal utama untuk menjalankan aksinya tanpa terdeteksi. Oleh karena itu, pada beberapa kejadian yang melibatkan orang dalam, sistem akses ke fasilitas tidak menunjukkan keanehan karena sebenarnya tidak ada sistem akses yang dilanggar.

#### b. Kewenangan

Seorang karyawan yang menduduki posisi jabatan tertentu, seperti seorang manajer atau pengawas dapat memerintahkan staf di bawahnya untuk melakukan tugas tertentu. Inilah yang disebut wewenang (*authorize*). Tujuan diberikan wewenang adalah agar perencanaan pekerjaan yang dirumuskan oleh pimpinan dapat dikomunikasikan, didelegasikan, dan dikerjakan oleh semua karyawan.

Idealnya seorang manajer yang baik akan menggunakan wewenangnya untuk melibatkan semua bawahannya agar bersinergi dalam mencapai target organisasi. Namun jika seorang manajer menjadi orang dalam, kewenangannya dapat menjadi alat untuk meloloskan aksinya. Beberapa contoh penyalahgunaan wewenang, yaitu memberi perintah kepada bawahannya untuk membuka akses berisi informasi penting yang tidak terkait dengan proyek yang sedang dikerjakan.

#### c. Pengetahuan

Salah satu kemampuan yang melekat pada orang dalam yang dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam menjalankan aksinya adalah pengetahuan terkait denah fasilitas (*layout*), sistem proteksi fisik, dan atau bagaimana memperoleh dan mengoperasikan alat-alat khusus yang ada di fasilitas. Pengetahuan ini dapat dikuasai oleh orang dalam karena pernah dibekali pelatihan terkait prosedur operasional yang berlaku di fasilitas untuk keperluan kedaruratan, keselamatan, dan keamanan nuklir.

Pengetahuan dasar sistem proteksi fisik dapat dikembangkan lebih lanjut oleh orang dalam untuk mengukur titik lemah dan rawan dari sistem proteksi fisik, skema patroli rutin, jumlah penjaga dan jadwal pergantian *shift*, performa kamera pengawas, serta jalur masuk yang lemah penjagaan. Orang dalam yang memiliki pengetahuan dapat mengeksplorasi dan merencanakan aksinya dengan matang dan hati-hati. Semua itu bisa disiapkan dalam waktu yang lama dan tidak terdeteksi karena seorang *insider* memang sudah berada di dalam sistem itu sendiri.

### 3. Kesempatan

Kesuksesan ancaman orang dalam tergantung pada seberapa matang perencanaan yang dibuatnya untuk mengeksekusi aksinya. Dalam perencanaan ini, orang dalam akan memiliki banyak kesempatan untuk mengamati, menganalisis, mengumpulkan sumber daya dan sarana, serta memilih waktu yang tepat untuk melancarkan aksinya. Orang dalam akan mengetahui setiap celah dan kerentanan yang ada di fasilitas dan bagaimana memanfaatkannya agar aksinya berhasil. Setiap tahapan aksinya bisa jadi tidak terbatas waktu karena posisinya yang memang sudah ada di dalam sistem tersebut. Dengan kesempatan dan kemampuan yang dimiliki orang dalam, menjadikan ancamannya lebih bervariasi dan tidak dapat diprediksi. Orang dalam akan mengembangkan ancamannya dengan mengambil keuntungan dari setiap kesempatan yang diperolehnya, bahkan dapat mengalahkan sistem yang dikelola oleh profesional keamanan sekalipun.

## E. Metode Analisis Ancaman Orang Dalam

Konsep awal dalam menganalisis orang dalam adalah larangan mempercayai seorang pun dan curiga kepada siapa pun (*trust no one and suspect everyone*). Konsep ini menjadi begitu penting dalam menganalisis orang dalam karena subjek yang dianalisis bisa jadi adalah seorang karyawan berprestasi, manajer yang sangat bagus memimpin, atau bahkan seorang operator fasilitas yang menampakkan kebaikan secara sosial. Pada beberapa kasus, orang dalam yang telah diungkap

sering kali menimbulkan perkataan “sepertinya mustahil ia dapat melakukan hal tersebut”. Kenyataannya, potensi menjadi orang dalam memang bisa disematkan kepada siapa saja.

Perubahan perilaku dan kepribadian seorang karyawan, yang dipercaya oleh organisasi adalah orang dalam, tidak terjadi dalam waktu singkat, tetapi melalui sebuah proses yang dapat diamati. Untuk memahami transformasi perubahan perilaku, diperlukan pendekatan-pendekatan, antara lain, pendekatan psikososial, pendekatan intelijen, dan pendekatan budaya keamanan. Tujuan yang ingin dicapai dari pendekatan-pendekatan tersebut adalah untuk mengamati, mende-  
teksi, mencegah, dan memitigasi potensi ancaman orang dalam di suatu organisasi dan fasilitas. Masing-masing pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga penggunaan secara bersama-sama sangat direkomendasikan agar hasil yang diharapkan dalam menganalisis potensi ancaman orang dalam dapat tercapai. Berikut dijelaskan pendekatan-pendekatan yang diperlukan untuk memahami transformasi perubahan perilaku orang dalam.

### **1. Profiling Psikososial**

Psikososial adalah istilah yang mengandung makna kaitan antara pengaruh faktor sosial pada pikiran dan perilaku individu (Law Insider, t.t.). Model psikososial adalah pendekatan yang digunakan untuk menggambarkan pengaruh faktor sosial berupa lingkungan intrapersonal, termasuk sosial dan budaya terhadap kesehatan mental dan kepribadian individu atau aspek psikologis.

Sebagaimana dikemukakan pada bagian sebelumnya, perubahan perilaku dan kepribadian seorang karyawan yang bertransformasi menjadi ancaman orang dalam dapat melalui sebuah proses yang terjadi dalam waktu yang lama. Perubahan ini dapat diamati dengan menggunakan pendekatan psikososial yang dapat berupa tindakan verbal dan fisik. Tindakan verbal, misalnya orang dalam tiba-tiba akan menjadi begitu vokal dan bersuara lantang jika membahas sesuatu kegiatan yang ada berkaitan dengan kegiatan mereka, bahkan sampai membual atau membuat keterangan palsu untuk menutupi

apa yang mereka rencanakan. Tindakan fisik, misalnya menyalin, memindahkan, ataupun menghapus data atau informasi dalam jumlah besar, mencoba mendapatkan catatan yang tidak diperlukan dalam pekerjaannya sehari-hari, mengeluh tentang peraturan atau dengan sengaja melanggar atau mengabaikan peraturan yang ada di organisasi, dan menyalahgunakan akses ke area tertentu di luar kewenangannya. Perilaku verbal ataupun fisik ini dalam model psikososial digolongkan sebagai anomali perilaku dan yang diistilahkan sebagai perilaku kerja yang kontraproduktif (*counterproductive working behaviour*).

Perilaku kerja kontraproduktif dapat didefinisikan sebagai perilaku karyawan yang bertentangan dengan tujuan organisasi (Sackett & DeVore, 2002) atau bahkan dapat mengarah pada perilaku yang membahayakan organisasi dan karyawannya (Fox & Spector, 1999). Perilaku tersebut dapat dilakukan dengan sengaja ataupun tidak sengaja, sebagai sarana untuk melampiaskan emosi dari situasi yang penuh tekanan (Krischer et. Al., 2010).

Kategorisasi perilaku kerja yang kontraproduktif dapat ditinjau dari berbagai sudut pandang, antara lain, berdasarkan jenisnya, seperti penyimpangan perilaku dan kepribadian dikarenakan kesehatan jiwa yang terganggu atau tekanan lingkungan sekitar. Sudut pandang lainnya ditinjau dari target atau sasaran dari perilaku tersebut, seperti metargetkan ke organisasi, karyawan lainnya, atau kedua-duanya. Selanjutnya, kategorisasi perilaku kerja kontraproduktif dapat ditinjau dari tingkat keparahan perubahan penyimpangan perilaku dan kepribadian. Tingkat keparahan tersebut bisa dari yang paling ringan, seperti perilaku tidak disiplin, kualitas kerja rendah, dan ceroboh dalam berkerja yang mengarah pada perilaku tidak selamat, hingga kategori parah dan serius, seperti melakukan pencurian, sabotase, atau kegiatan spionase sebagai orang dalam.

Salah satu faktor yang dapat diukur sebagai indikator perilaku kerja kontraproduktif adalah karakter kepribadian seorang individu. Kepribadian setiap individu sangat unik karena mengandung pola pikiran, perasaan, dan perilaku yang berperan dalam setiap bagian kehidupan kita, mulai dari pertemanan, karier, hingga hobi. Dengan

berfokus pada karakteristik kepribadian dan pola perilaku individu, peneliti dapat mencoba dan memprediksi atau menjelaskan perilaku, termasuk di dalamnya karakter orang dalam.

Beberapa dekade belakangan, para peneliti telah mencoba untuk menyederhanakan kepribadian yang kompleks dengan mengelompokkan ke dalam kelompok besar kepribadian, yang dikenal sebagai lima sifat besar (*five big traits*) (McCrae & Costa, 2008). Model ini merupakan salah satu kerangka kerja yang paling banyak digunakan dalam penelitian kepribadian. Lima sifat besar tersebut, yaitu kestabilan emosi (*neuroticism*), keterbukaan terhadap hal-hal baru (*openness*), ekstrasversi (*extraversion*), kesesuaian (*agreeableness*), dan kesadaran (*conscientiousness*). Sifat-sifat ini dapat diukur melalui instrumentasi psikologi yang sudah banyak dikembangkan dan menghasilkan suatu nilai yang dapat diinterpretasikan sebagai prediksi terhadap potensi perilaku kerja kontraproduktif dan ancaman orang dalam. Penjelasan lima sifat besar tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) Sifat neurotisme dapat dijelaskan sebagai sifat kepribadian yang terkait dengan kestabilan emosi seseorang. Sifat ini ditandai dengan munculnya emosi negatif yang mencerminkan perasaan tertekan, kurang percaya, depresi, cemas, gugup, tidak berdaya, dan sangat khawatir tentang kondisi kehidupan yang berbeda.
- 2) Kepribadian keterbukaan terhadap hal-hal baru. Kepribadian ini ditandai dengan kesediaan seseorang untuk dapat mempertimbangkan dan menerima ide-ide baru, saran dan pendapat dari orang lain, dan tidak terkekang oleh tradisi.
- 3) Jenis kepribadian ekstrasversi adalah kepribadian yang ditandai dengan kemudahan dalam melakukan interaksi dengan orang lain. Indikator yang dapat dilihat adalah kepribadian ini senang bergaul, mudah bersosialisasi, hidup berkelompok, dan tegas.
- 4) Sifat kesesuaian adalah kecenderungan seorang individu untuk lebih patuh dan kooperatif dengan individu lainnya dan memiliki kepribadian yang ingin menghindari konflik.

- 5) Kepribadian kesadaran akan penuh dengan kehati-hatian dalam melakukan suatu tindakan ataupun penuh pertimbangan dalam mengambil sebuah keputusan. Mereka juga memiliki disiplin diri yang tinggi dan dapat dipercaya.

Penggunaan indikator kepribadian lima sifat besar untuk mengidentifikasi perilaku orang dalam masih menjadi perdebatan dan kritik di kalangan ahli psikologi. Oleh karena itu, Paulhus dan Williams (2002) memperkenalkan kelompok kepribadian baru yang sering muncul pada orang dalam sebagai kepribadian tiga sifat gelap (*dark triad*). Kepribadian tiga sifat gelap tersebut, yaitu machiavellianisme (*machiavellianism*), narsisme (*narcissism*), dan psikopat (*psychopathy*). Individu dengan kepribadian machiavellis adalah orang yang bermuka dua, suka memanipulasi dan memanfaatkan orang lain, mementingkan diri sendiri, serta memiliki tingkat emosi dan moralitas yang lemah. Seorang narsis adalah seorang yang memuja dan mengagumi dirinya sendiri serta berharap orang lain pun akan mengaguminya. Seorang narsis adalah seorang yang mementingkan dirinya sendiri, membanggakan dan meninggikan dirinya, arogan, kurang memiliki empati, dan hipersensitif terhadap kritik.

Sementara itu, psikopat adalah kepribadian yang terus-menerus (1) melakukan perilaku antisosial, yaitu perilaku-perilaku yang merugikan orang lain (seperti perilaku destruktif atau agresif, baik fisik maupun verbal); (2) kecenderungan untuk bertindak terburu-buru, yaitu melakukan hal-hal tanpa dipikirkan masak-masak atau mempertimbangkan pertimbangan-pertimbangan logis lainnya (dampaknya dirasakan baik bagi dirinya maupun orang lain); (3) memikirkan kepentingan diri sendiri, dan sedikit atau bahkan sama sekali tak peduli dengan kebutuhan orang lain atau minim empati. Mereka seperti manusia tanpa emosi, tak mudah tersentuh dan merasa bersimpati pada kesulitan orang lain. Seorang psikopat tidak memiliki rasa menyesal atau kapok dengan hal buruk yang telah mereka perbuat.

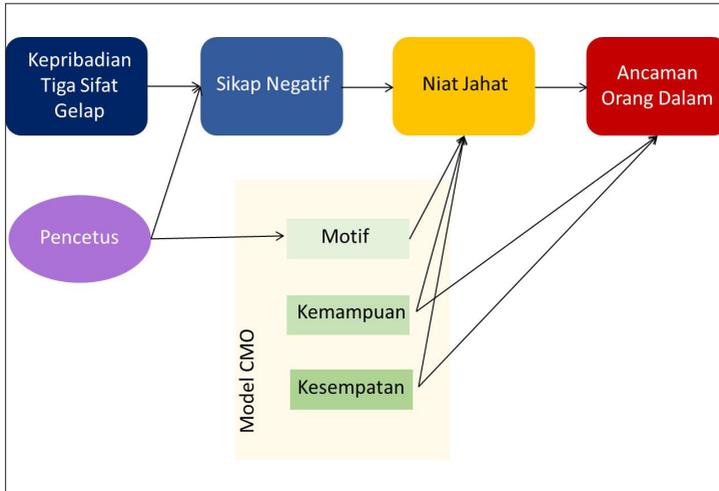
Sebuah model tentang hubungan antara kepribadian tiga sifat gelap dan faktor-faktor lain orang dalam telah dikembangkan oleh

para ahli (Maasberg et. al, 2015). Dalam model tersebut (Gambar 9.1) dijelaskan bahwa kepribadian tiga sifat gelap akan berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan sikap negatif orang dalam. Sikap ini kemudian akan berkembang menjadi niat jahat (*malicious intent*) dan mengarah pada aksi ancaman orang dalam. Dengan tambahan faktor pencetus (*trigger*) seperti ketidakadilan, penggunaan kekerasan dalam pengawasan pekerjaan, termasuk tidak mendapatkan promosi dalam karier, berkontribusi menyumbang peningkatan intensitas pertumbuhan sikap negatif dan penyebab yang melatarbelakangi timbulnya niat jahat.

Hubungan antara tiga faktor terakhir, yaitu motif, kemampuan, dan kesempatan terhadap niat jahat ataupun ancaman orang dalam sudah dibahas pada bagian sebelumnya. Namun, di subbab ini sekilas diulas kembali bahwa motif, kemampuan, dan kesempatan adalah faktor pendorong yang mengubah perilaku seseorang untuk menjadi ancaman orang dalam. Dalam penelitian ancaman orang dalam, akan dievaluasi faktor individu, antarpribadi, dan organisasi serta akan dipostulasikan bahwa kesuksesan ancaman orang dalam tergantung pada kemampuan pelaku untuk melakukan serangan, motif yang mendasarinya, dan kesempatan untuk melakukan kejahatan.

## 2. Analisis Intelijen

Salah satu dari makna istilah intelijen menurut Undang-undang Nomor 17 Tahun 2011 tentang intelijen negara adalah sebagai sebuah pengetahuan, yaitu informasi yang sudah diolah sebagai bahan perumusan kebijakan dan pengambilan keputusan. Fungsi dari intelijen menurut UU No. 17 (2011) adalah fungsi penyelidikan, pengamanan, dan penggalangan. Dalam menjalankan fungsinya, intelijen menggunakan metode kerja, seperti pengintaian, penjejukan, pengawasan, penyurupan (*surreptitious entry*), penyadapan, pencegahan dan penangkalan dini, serta propaganda dan perang urat syaraf.



Sumber: Maasberg et al. (2015)

**Gambar 9.1** Model Hubungan Kepribadian Tiga Sifat Gelap dan Faktor Pencetus Ancaman Orang Dalam

Terkait dengan metode kerja intelijen untuk mendeteksi orang dalam atau spionase adalah dengan melakukan kegiatan kontra-intelijen. Kegiatan kontra-intelijen sendiri masuk ke dalam kategori fungsi penggalangan. Penggalangan intelijen merupakan sebuah aktivitas atau metode yang dilakukan untuk memengaruhi target agar dapat mengubah emosi, sikap, tingkah laku, opini, dan motivasi (ESTOM) dari target tersebut (Saronto, 2020).

Tujuan dilakukannya penggalangan adalah untuk menciptakan suatu kondisi tertentu yang terarah dan terukur sehingga target dapat melakukan apa yang dikehendaki oleh penggalang. Terdapat tiga strategi penggalangan yang harus dilakukan agar rencana dapat berjalan lancar, antara lain, 1) *win the heart and the mind of the target*, 2) *bring the target to our direction*, dan 3) menciptakan situasi (Sukarno, 2011).

Salah satu pendekatan yang digunakan dalam penggalangan intelijen adalah dengan pendekatan RASCLS dan MICE (Penaflor, 2012). RASCLS dan MICE merupakan akronim dari *reciprocation, authority, scarcity, commitment, liking, social proof* dan *money, ideology, coercion, ego*. Pendekatan RASCLS dan MICE dipopulerkan oleh Cialdini (2007) dan Burkett (2013). Burkett (2013) mengatakan, kunci utama dalam melakukan pendekatan RASCLS dan MICE adalah pada penguasaan motif dan psikologi lawan (Adikara, 2021).

Pendekatan RASCLS dan MICE lebih menekankan pada prinsip-prinsip persuasif karena yang akan dikendalikan adalah ESTOM lawan. Sifat individu yang suka bercerita, menggurui, ingin didengarkan, ingin dihargai, dapat dijadikan celah untuk menggali informasi. Jika dikaitkan dengan indikator orang dalam pada bagian sebelumnya, yaitu gejala tertekan, amarah, tidak puas, dan memberontak, seorang intelijen harus sabar dan tekun agar dapat terus berinteraksi, berempati, dengan orang dalam yang potensial sehingga mendapatkan informasi yang cukup atas rencana kejahatan yang akan dijalanckannya. Bukan tidak mungkin, dengan menggunakan teknik penggalangan ini, seorang intel akan melebur dan dianggap teman untuk menjalankan aksi kejahatan bersama-sama orang dalam yang sedang digalang.

### 3. Pendekatan Budaya Keamanan

Program budaya keamanan nuklir dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi orang dalam. Dokumen IAEA (2008) menyatakan bahwa jika tidak ada budaya keamanan, kesadaran terhadap keamanan nuklir dan program kejujuran (*trustworthiness*) dapat menguntungkan orang dalam untuk melakukan tindakan jahat. Dalam model budaya keamanan yang dikembangkan oleh IAEA, terdapat 30 karakteristik yang menjadi indikator dari penerapan budaya keamanan. Beberapa indikator sangat relevan sebagai tolak ukur dalam mendeteksi *insider*, seperti ketaatan terhadap prosedur (*adherence to procedure*), kewaspadaan (*vigilance*), dan akuntabilitas personel, termasuk juga instrumen pengukuran penerapan budaya keamanan yang dapat menjadi alat dalam mendeteksi potensi *insider*.

Berikut merupakan contoh kasus lemahnya budaya keamanan dalam indikator ketaatan terhadap prosedur yang dapat berpotensi sebagai indikator orang dalam. Setiap karyawan sesuai aturannya harus menggunakan tanda pengenal sejak dari masuk ke dalam kawasan sampai meninggalkan lokasi. Tanda pengenal ini tidak hanya sebagai tanda identitas, tetapi juga sebagai instrumen untuk mengakses izin masuk ke fasilitas karena biasanya dipasang kartu *chip* yang memiliki kode untuk mengakses fasilitas. Pada suatu kegiatan, seorang karyawan meminjamkan tanda pengenalnya kepada karyawan lain untuk mempermudah akses ke fasilitas. Dengan disadari atau tidak, perbuatan ini berpotensi membuka akses bagi orang dalam untuk melakukan perbuatan jahat dan merugikan, tanpa meninggalkan jejak. Contoh tersebut merupakan contoh lemahnya budaya keamanan.

#### 4. Pendekatan Program Kejujuran (*Trustworthiness*)

Salah satu bagian dari program budaya keamanan adalah Program Keandalan Manusia (PKM) (Human Reliability Programme, HRP) (IAEA, 2011). Program ini bertujuan untuk menjamin suatu fasilitas nuklir agar dapat dioperasikan dengan aman, selamat, dan andal sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Program ini menjamin pegawai yang bekerja dan memiliki akses terhadap bahan nuklir, sumber radioaktif, fasilitas nuklir, atau informasi yang sensitif memenuhi persyaratan standar yang tinggi pada keandalan, kebenaran, kejujuran, dan terpercaya serta secara fisik dan mental stabil. Kejujuran dan terpercaya menjadi parameter utama dalam program ini, sehingga diperlukan metode pendekatan untuk menilai tingkat kejujuran dan kepercayaan.

Penilaian kepercayaan atau kejujuran (*trustworthiness assessment*) merupakan tahap awal dari penilaian berkelanjutan atas integritas, kejujuran, dan keandalan individu yang dilakukan selama siklus hidup pegawai dari pemeriksaan prakerja dan pemeriksaan selama bekerja. Penilaian ini bermaksud untuk mengidentifikasi motivasi atau perilaku orang-orang yang dapat menjadi ancaman orang dalam (nomenklatur kejujuran akan digunakan dalam uraian selanjutnya, meskipun dapat diartikan pula sebagai kepercayaan). Pemeriksaan

berkala ini harus dilakukan selama bekerja karena beberapa kondisi dapat berubah dari waktu ke waktu, terutama kepada pegawai tidak tetap seperti pegawai harian lepas dan pekerja yang penempatan tugasnya dekat dengan target sensitif. Kedalaman kepercayaan pemeriksaan harus dinilai sesuai dengan tingkat akses yang dimiliki individu, makin mendekati target daerah vital akan membutuhkan pemeriksaan dengan tingkat kepercayaan tertinggi.

Pemeriksaan kepercayaan dilakukan dengan mencoba mengidentifikasi faktor motivasi seperti keserakahan, faktor keuangan, kepentingan ideologis, faktor psikologis, keinginan untuk balas dendam (misalnya karena ketidakadilan yang dirasakan), ketergantungan fisik (misalnya pada obat-obatan, alkohol, atau seks), dan faktor-faktor yang menyebabkan seseorang dapat menjadi atau dipaksa oleh pihak luar. Faktor-faktor tersebut mungkin ditunjukkan oleh hasil pemeriksaan latar belakang dari dokumen catatan kriminal, referensi, riwayat pekerjaan masa lalu, catatan keuangan, rekam medis, dan catatan hasil pemeriksaan/rekaman psikologis. Beberapa metode terkait pemeriksaan ini sudah dipaparkan pada subbab sebelumnya.

## **F. Program Deteksi dan Pencegahan Ancaman Orang Dalam di BATAN**

Terkait dengan aspek ancaman orang dalam, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) telah menerapkan program deteksi dan pencegahan orang dalam sejak beberapa tahun lalu. Berikut diuraikan perkembangan penguatan kapasitas dan riset terkait ancaman orang dalam.

### **1. Perkembangan dan Penguatan Kapasitas Terkait Ancaman Orang Dalam**

Program deteksi dan pencegahan ancaman orang dalam di BATAN berkaitan erat dengan sejarah pengamanan nuklir itu sendiri. Ada dua hal yang dapat dikaji, yaitu kerangka legal yang menjadi dasar penerapan program, dan dokumentasi implementasi program di lapangan. Dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 65 Tahun 1958 yang menjadi dasar awal berdirinya BATAN, kegiatan pengamanan

instalasi tidak disebutkan secara eksplisit. Kegiatan hanya difokuskan pada pembentukan organisasi Dewan Tenaga Atom dan Lembaga Tenaga Atom dengan tugas utama memberikan masukan kepada Dewan Menteri dalam soal-soal politik yang berhubungan dengan perkembangan riset ketenaganukliran di nasional dan internasional. Satuan Pengamanan Instalasi Nuklir (Pasmanin) baru diperkenalkan pertama kali pada saat pembangunan Reaktor TRIGA Mark II 250 kW di Bandung pada tanggal 9 April 1961.

Setelah Lembaga Tenaga Atom diubah menjadi Badan BATAN, kegiatan pengamanan fasilitas menjadi wajib dilaksanakan. Undang-Undang (UU) Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964, sebagai dasar hukum pendirian lembaga BATAN, mengatur ketentuan-ketentuan pokok tenaga atom, termasuk di dalamnya menjelaskan posisi strategis BATAN yang masuk ke dalam bagian keamanan nasional. Dalam UU No. 31 (1964) Bab VI pasal 21 ayat (1) terkait keamanan nasional, dinyatakan bahwa Pemerintah bertanggung jawab atas keamanan semua tenaga ahli serta semua reaksi atom dan instalasi atom lainnya untuk keselamatan dan kepentingan nasional. Dan pada ayat (2) dinyatakan bahwa Pemerintah mengadakan penyarangan keterangan-keterangan dalam lapangan tenaga atom untuk kepentingan nasional.

Penjelasan dari pasal 21 menerangkan bahwa dalam menunaikan tanggung jawab terhadap keamanan para tenaga ahli untuk keselamatan dan kepentingan nasional, Pemerintah memperhatikan secara khusus kesejahteraan para tenaga ahli tersebut, dengan maksud agar mereka tidak terombang-ambing oleh usaha-usaha yang hendak merugikan negara. Bentuk-bentuk usaha yang hendak merugikan negara dapat berupa aksi sabotase, pencurian, ataupun spionase yang dilakukan oleh orang dalam. Selanjutnya, pemerintah membuat program pencegahan yang sangat efektif, yaitu dengan memperhatikan kesejahteraan personelnya. Sebagaimana dibahas sebelumnya, motif alasan ekonomi dan keuangan adalah salah satu motif kejahatan yang paling banyak ditemukan. Oleh karena itu, dengan meningkatnya kesejahteraan karyawan BATAN, dapat meminimalisir timbulnya niat jahat untuk melakukan ancaman dalam.

Selanjutnya, dalam UU No. 31 (1964) Bab VII terkait ketentuan pidana, Pasal 22 menerangkan bahwa petugas pada instalasi atom, BATAN, dan organisasi-organisasi lain yang menyelenggarakan penggunaan tenaga atom wajib menyimpan keterangan-keterangan tentang rahasia di bidang pekerjaannya mengenai tenaga atom yang diperolehnya berhubung dengan tugas kewajibannya. Kemudian, Pasal 23 menyatakan bahwa barang siapa dengan sengaja membuka rahasia yang dimaksud dalam Pasal 22, dihukum dengan pidana mati atau pidana penjara seumur hidup atau pidana penjara sementara selama-lamanya lima belas tahun. Pasal 22 ini merupakan langkah konkret pencegahan potensi ancaman orang dalam dengan cara melakukan penegakan hukum. Pemerintah menetapkan kewajiban semua petugas yang berkerja di BATAN untuk dapat menyimpan rahasia. Selanjutnya, bagi petugas yang melanggar dengan sengaja membuka rahasia akan diancam dengan hukuman yang berat.

Implementasi dari Pasal 21 dan 22 UU No. 31 (1964) adalah BATAN menjadi salah satu dari objek vital nasional yang jika sewaktu-waktu memerlukan pengamanan tambahan, dapat dibantu oleh Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan Kepolisian Republik Indonesia (Polri). Pemerintah kemudian memberikan tunjangan bahaya nuklir untuk semua personel yang berkerja di BATAN untuk meningkatkan kesejahteraan. Selain itu, dari aspek kompetensi personel pengamanan dan untuk memperkuat pengamanan fasilitas nuklir, semua petugas pengamanan mendapatkan pendidikan di Badan Intelijen Strategis Angkatan Bersenjata Republik Indonesia (Bais ABRI). Dengan memiliki kompetensi intelijen, personel pengamanan BATAN pada waktu itu dapat melakukan program pengamanan menggunakan metode taktik dan strategi intelijen. Namun karena prinsip dari program intelijen adalah tertutup dan rahasia, tidak ada satu pun rekaman dokumen atau keterangan resmi yang dapat diakses terkait bagaimana teknis kegiatan pengawasan dan pengendalian fasilitas dilakukan. UU No. 31 (1964) berlaku sampai dengan terbitnya undang-undang ketenaganukliran yang baru tahun 1997.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 menggantikan UU No. 31 (1964). Dalam Pasal 16, UU No. 10 (1997) menyatakan bahwa setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Maksud dari keselamatan dan keamanan dalam undang-undang ini dijelaskan dalam PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Dalam PP ini, semua upaya ditujukan untuk mencegah penyimpangan pemanfaatan bahan nuklir dari tujuan damai serta mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan meresponss tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan sabotase instalasi dan bahan nuklir. PP ini mengadopsi aturan-aturan dari Badan Tenaga Atom Dunia (International Atomic Energy Agency, IAEA) terkait sistem proteksi fisik (SPF) fasilitas nuklir.

Sejak terbitnya UU ketenaganukliran yang baru, kegiatan deteksi dan pencegahan ancaman orang dalam di BATAN memang sudah bergeser ke arah yang lebih metodologis, prosedural, dan terekam. Hal ini disebabkan oleh terbitnya peraturan-peraturan dari IAEA yang menjelaskan SPF untuk pengamanan fasilitas nuklir, terutama metode untuk mendeteksi dan mencegah ancaman orang dalam. Beberapa personel pengamanan pernah mendapatkan pelatihan khusus, tidak hanya dari dalam negeri tetapi juga internasional, terkait mitigasi ancaman orang dalam, di antaranya:

- 1) IAEA, Regional Training Course on Insider Threat, 9–13 Desember 2013 di India.
- 2) US Department of States–Partnership on Nuclear Security, Insider Threat Summit and WINS, 7–11 September 2015 di Vienna, Austria.
- 3) Institute of Nuclear Material Management (INMM), International perspectives on Trustworthiness Program, 56th Annual Meeting of INMM California, 10–16 July 2015 di California, Amerika Serikat.

- 4) US Department of Energy, Regional Workshop Insider Threat Mitigation, 27–30 September 2021 di Serpong.
- 5) IAEA–FANC Belgium, Workshop Advanced, Practitioner-Level Training Course on Preventive and Protective Measures against Insider Threats, 5–9 September 2022 di Antwerp, Belgia.

Momentum selanjutnya untuk program deteksi dan pencegahan ancaman orang dalam adalah penerapan budaya keamanan di BATAN dengan dibentuknya Center for Security Culture and Assessment (CSCA) di BATAN yang merupakan dukungan dari IAEA dan Center for International Trade and Security, University of Georgia (CITS-UGA), Amerika Serikat pada tahun 2014. Kemudian, BATAN melaksanakan evaluasi mandiri budaya keamanan menggunakan instrumen yang dikembangkan oleh IAEA.

Di tahun yang sama, yaitu 2014, Program Keandalan Manusia (HRP) pertama kali diperkenalkan di BATAN (Kristuti, 2018). Kegiatan ini merupakan bagian dari program budaya keamanan nuklir yang bertujuan menilai tingkat kejujuran (*trustworthiness*) personel di posisi yang berkaitan erat dengan bahan nuklir dan zat radioaktif di BATAN. Sebagai langkah awal, kegiatan diprioritaskan untuk operator, manajemen reaktor riset, dan pegawai baru. Kegiatan penilaian dilakukan dengan metode pengisian mandiri kuisisioner, wawancara, dan pengecekan latar belakang dengan menggunakan data dari Biro Sumber Daya Manusia dan Organisasi (BSDMO) BATAN. Semua data akan dikompilasi dan dibahas oleh tim yang terdiri dari para ahli terkait keamanan nuklir dan organisasi. Para ahli ini memainkan peran penting untuk menilai dan menganalisis hasil akhir.

## 2. Penelitian Metode Pencegahan Orang Dalam

Selain memperkuat kapasitas dari aspek sumber daya manusia dan lembaga, riset tentang metode yang dapat diterapkan untuk pencegahan terjadinya ancaman orang dalam juga dilakukan. Riset ini dilakukan di bawah kegiatan Proyek Penelitian Terkoordinasi (*Coordinated Research Project*, CRP) IAEA dengan judul “Meningkatkan Alat Analisis Model Prediktif Berbasis Komputer untuk Program

Keterpercayaan (*Enhancing Computer Based Predictive Model Analytical Tool for Trustworthiness Programmes*)". Riset telah dimulai sejak 2019 dan akan berakhir pada 2024 (ekstensi 2 tahun karena pandemi Covid-19). Riset ini dilakukan secara terkoordinasi bersama dengan periset dari 6 negara lain, yaitu Rusia, Yunani, Swedia, Mesir, Ghana, dan Tunisia.

Lingkup riset ini adalah mengembangkan piranti atau metode untuk program penilaian kejujuran di BATAN. Tujuan keseluruhan dari riset ini adalah pengembangan alat analisis berbasis komputer untuk menghasilkan model prediksi ancaman orang dalam, dalam program kejujuran (*trustworthiness programme*). Tujuan khususnya adalah membuat alat untuk mengumpulkan dan mengklasifikasikan data pribadi dalam program kejujuran serta meningkatkan alat dengan kemampuan analisis untuk mendapatkan model prediksi program kejujuran di BATAN.

Secara garis besar, langkah-langkah pendekatan yang dilakukan dalam riset ini adalah sebagai berikut (lihat Gambar 9.2).

- 1) Identifikasi dan klasifikasi daftar parameter (motivasi dan perilaku orang-orang yang dapat menjadi orang dalam). Beberapa metode seperti *brainstorming*, diskusi kelompok kerja, dan pertemuan teknis antara anggota tim dapat dilakukan. Sebagai langkah awal, dilakukan identifikasi dan inventarisasi untuk mendapatkan gambaran keseluruhan dari hasil kegiatan sebelumnya di BATAN yang berhubungan Dengan Program Keandalan Manusia dan dikaitkan dengan riset program CRP. Tujuan tahapan ini adalah diperolehnya dimensi dan indikator kejujuran serta pembuatan definisi operasional masing-masing dimensi dan indikator untuk mendapatkan persepsi yang sama. Butir-butir dimensi dan indikator serta definisi operasionalnya dikembangkan dari nilai-nilai organisasi BATAN, butir-butir budaya keamanan nuklir, butir-butir dalam standar rekrutmen

pegawai negeri sipil, norma dalam budaya lokal Indonesia, dan sebagian dari praktik penelitian psikologi.

2) Penentuan bobot dan faktor korelasi.

Penentuan bobot dan faktor korelasi dilakukan antara masing-masing elemen yang teridentifikasi—yang sudah ditentukan pada poin pertama—untuk membangun model prediksi awal. Untuk mencapai sasaran tersebut, telah dilakukan kegiatan yang melibatkan tenaga ahli profesional dari berbagai instansi, seperti Badan Intelijen Nasional (BIN), Badan Nasional Penanggulangan Terorisme (BNPT), Fakultas Psikologi Universitas Padjadjaran, dan tenaga ahli internal dari BATAN.

3) Penetapan dimensi dan indikator kejujuran dan pemberian skor pada masing-masing dimensi dan indikator berdasarkan kontribusi terhadap derajat kejujuran.

Terdapat enam dimensi kejujuran yang telah dipilih, yaitu integritas, loyalitas, kompetensi, kepuasan, konsistensi, dan kebajikan. Masing-masing memiliki skor berdasarkan kontribusinya untuk membangun derajat kepercayaan, seperti yang disajikan pada Tabel 9.1. Integritas mendapat skor tertinggi (25%) dan kebajikan mendapat skor terendah (10%). Skor tersebut mewakili korelasi antara tingkat ancaman dan tingkat kejujuran. Sederhananya, karyawan dengan skor yang lebih rendah akan dianggap lebih mengancam daripada yang lebih tinggi dan sebaliknya.

Untuk keperluan pembuatan instrumen, dimensi dan indikator dihubungkan dengan parameter pengukuran. Terdapat 4 parameter pengukuran, yaitu kognitif, afektif, *behavioral*, dan organisasi. Parameter kognitif diukur berdasarkan seberapa dalam pengetahuan yang dimiliki *responden* dalam meresponss suatu pertanyaan. Parameter afektif mengukur sikap yang berkaitan dengan perasaan atau aspek-aspek emosional, penghargaan-penghargaan, semangat, nilai, minat, dan sebagainya. Parameter *behavioral* mengukur perilaku yang tampak saja yang dapat diukur, dilukiskan, dan diramalkan. Parameter organisasi mengukur responss dari sudut pandang budaya organisasi, yaitu

bagaimana organisasi merancang, mengimplementasikan, serta memberikan penghargaan (*reward*) dan hukuman (*punishment*) kepada karyawannya.

- 4) Pembuatan instrumen berupa butir dan skala kuesioner. Pembuatan instrumen dilakukan untuk mengukur dimensi dan indikator yang sudah ditentukan. Instrumen dirancang dalam bentuk kuesioner pertanyaan tertutup yang berlandaskan parameter pengukuran kognitif, afektif, *behavioral*, atau organisasi. Dalam pembuatan instrumen, ada beberapa pendekatan yang dilakukan. Pertama, digunakan instrumen yang sudah ada dari hasil studi literatur. Beberapa instrumen sudah tersedia dan valid, seperti instrumen untuk mengukur tingkat ketaatan dalam hukum, mengukur aspek keuangan, dan mengukur sikap kebaikan dan loyalitas.

Jika tidak ditemukan instrumen yang sudah ada, perlu pendekatan kedua, yaitu melakukan survei dan observasi ke lapangan terkait objek yang akan diukur. Sebagai contoh, pengukuran penerapan budaya keamanan dalam penggunaan tanda pengenal untuk memasuki kawasan fasilitas. Langkah awal yang dilakukan adalah observasi jenis-jenis perilaku apa saja yang sering dilakukan oleh karyawan yang berhubungan dengan tanda pengenal. Perilaku-perilaku tersebut diklasifikasikan dan dihubungkan dengan budaya keamanan. Pendekatan terakhir ialah membuat pertanyaan tertutup untuk mengukur perilaku tersebut.

**Tabel 9.1** Dimensi dan Indikator Kejujuran

No	Dimensi	Indikator	%	Kognitif	Afektif	<i>Behavioral</i>	Organisasi
1.	INTEGRITAS	Taat hukum/ sifat kriminal	20				
		Kejujuran					
		Keamanan nuklir					
		Kepedulian					

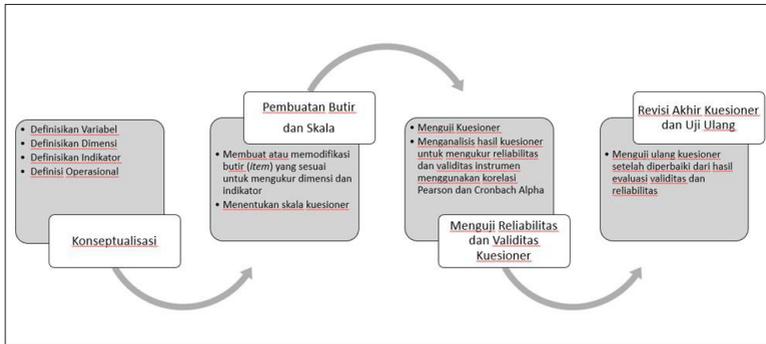
No	Dimensi	Indikator	%	Kognitif	Afektif	Behavioral	Organisasi		
2.	LOYALITAS	Ideologi wawasan kebangsaan	20		■				
		Keterikatan organisasi			■				
		Toleransi dalam Kepercayaan				■	■		
		Motivasi				■		■	
		Keterlibatan dalam Berkeja					■		■
3.	KEMAMPUAN/ KOMPE- TENSI	Penggunaan wewenang	20				■		
		Pengambilan keputusan			■		■		
		Komunikasi efektif				■			
		Peningkatan performa				■	■		
		Wawasan manajemen						■	
		Sikap profesional					■	■	
		Kerja Tim dan Kerja Sama					■	■	
4.	TINGKAT KEPUAS- AN	Kesehatan	15	■					
		Kuangan		■					
		Harapan			■				
		Indeks kepuasan			■				

No	Dimensi	Indikator	%	Kognitif	Afektif	Behavioral	Organisasi
5.	KONSIS-TENSI	Kestabilan emosi	10				
		Kelebihan dan Kelemahan					
		Ketaatan terhadap Prosedur					
6.	KEBAJIKAN	Tanggung jawab sosial	10				
		Akuntabilitas personal					

Instrumen dibuat dalam bentuk kuesioner dan dilakukan kuantifikasi menggunakan skala *Likers* secara berurutan dari batas bawah ke batas atas berturut-turut sebagai berikut: Sangat Tidak Setuju (STS), Tidak Setuju (TS), Netral (N), Setuju (S), dan Sangat Setuju (SS). Kuesioner kemudian diujicobakan dengan melibatkan responden dari berbagai macam latar belakang. Hasil uji coba selanjutnya diverifikasi menggunakan metode korelasi Pearson dan divalidasi reliabilitasnya menggunakan metode Cronbach Alpha, seperti ditampilkan pada Tabel 9.2. Dari hasil verifikasi dan validasi, instrumen dimodifikasi kembali untuk mendapatkan nilai reliabilitas yang tinggi di atas 0,7.

**Tabel 9.2** Hasil Validasi Reliabilitas Instrumen

No	Dimensi	Reliabilitas Cronbach Alpha
1.	Integritas	0,724
2.	Loyalitas	0,768
3.	Kemampuan/kompetensi	0,792
4.	Tingkat kepuasan	0,812
5.	Konsistensi	0,765
6.	Kebaikan	0,804



**Gambar 9.2** Skema Penelitian Pembuatan Instrumen Program Kepercayaan

## G. Penutup

Ancaman keamanan nuklir yang melibatkan orang dalam (*insider*) memiliki risiko yang sangat tinggi dan dampak yang parah terhadap fasilitas karena kelebihan yang dimiliki oleh orang dalam terhadap akses dan otoritas ke sistem informasi, pengetahuan terkait proses rantai pasokan material bahkan kendali operasi, dan kesempatan yang dimilikinya. Ancaman orang dalam di fasilitas nuklir di Indonesia yang dikelola oleh BATAN telah menjadi perhatian dan diamanatkan sejak diterbitkannya UU No. 31 (1964) tentang ketentuan-ketentuan pokok tenaga atom.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk mendeteksi dan mencegah ancaman orang dalam, antara lain, pendekatan psikososial, pendekatan analisis intelijen, pendekatan budaya keamanan, dan pendekatan Program Keandalan Manusia. Dua metode yang disebutkan terakhir telah mulai diterapkan di BATAN sejak beberapa tahun belakangan, termasuk dalam rekrutmen pegawai baru.

Penguatan upaya untuk mencegah ancaman orang dalam ini harus terus dilakukan, mengingat ancaman keamanan berubah. Dinamika perubahan organisasi dan tata kelola sejak integrasi BATAN ke Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pun perlu diperhatikan

sebagai dasar untuk melakukan pengkajian terhadap perubahan ancaman yang mungkin timbul, termasuk aspek ancaman orang dalam.

Dari aspek saintifik, terbuka luas objek riset untuk mengembangkan metode pencegahan ancaman orang dalam dan pendekatan penerapan yang tepat di lapangan. Riset dalam bidang ini pada umumnya multidisiplin, yang menggabungkan pendekatan psikologis dan pendekatan budaya atau norma yang berlaku, baik secara individu maupun organisasi (pendekatan psikososial), seperti yang saat ini tengah dikembangkan di BRIN. Program ini diharapkan dapat menjadi sebuah instrumen yang digunakan untuk mendeteksi lebih awal perubahan perilaku ancaman orang dalam.

## Daftar Referensi

- Adikara, A. P. B., Zuhdi, M. L., & Purwanto, W. H. (2021). Analisis metode penggalangan intelijen dalam penerapan program deradikalisasi oleh BNPT. *SOCIA: Jurnal Ilmu-Ilmu Sosial*, 18(1), 61–71. <https://doi.org/10.21831/socia.v18i1.41913>
- Arfiansyah, T. R., & Pratiwi, I. E. (2022, 24 Maret). Hari ini dalam sejarah: Kopilot Germanwings sengaja tabrakkan pesawat, 150 orang tewas. *Kompas.com*. <https://www.kompas.com/tren/read/2022/03/24/103000865/hari-ini-dalam-sejarah--kopilot-germanwings-sengaja-tabrakkan-pesawat-150?page=all>
- Birch, D., & Smith, R. J. (2015, 14 Maret). The assault on Pelindaba. *The Center for Public Integrity*. <https://publicintegrity.org/national-security/the-assault-on-pelindaba/>
- Bunn, M. (2017, 2 November). Scenarios of insider threats to Japan's nuclear facilities and materials—And steps to strengthen protection. *NAPSNet Special Reports*. <https://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/scenarios-of-insider-threats-to-japans-nuclear-facilities-and-materials-and-steps-to-strengthen-protection/>
- Burkett, R. (2013). An alternative framework for agent recruitment: From MICE to RASCLS. *Studies in Intelligence*, 57(1), 7–17.
- Cialdini, R. B. (2007). *Influence: The psychology of persuasion*. New York: Collins. <https://ctr.nl/wp-content/uploads/2020/04/Robert-P-Cialdini-Influence-The-Psychology-of-Persuasion.pdf>
- Fox, S., & Spector, P. E. (1999). A model of work frustration-aggression. *Journal of Organizational Behavior*, 20(6), 915–

931. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1379\(199911\)20:6<915::AID-JOB918>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1379(199911)20:6<915::AID-JOB918>3.0.CO;2-6)
- International Atomic Energy Agency. (2008). Preventive and protective measures against insider threats. *IAEA Nuclear Security Series No. 8-G (Rev. 1)*.
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc225revision-5>
- Krischer, M. M., Penney, L. M., & Hunter, E. M. (2010). Can counterproductive work behaviors be productive? CWB as emotion-focused coping. *Journal of Occupational Health Psychology, 15*(2), 154–166. <https://doi.org/10.1037/a0018349>
- Kristuti, E. (2018). Penerapan program keandalan manusia pada calon pegawai negeri sipil (CPNS) BATAN. Dalam *Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir: Inovasi SDM dan Iptek Nuklir untuk Mendukung Revolusi Industri 4.0* (157–164). Badan Tenaga Nuklir Nasional. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/7403/1/Prosiding%20SDMTN%202018.pdf>
- Law Insider. (t.t.). *Psychosocial. Dictionary*. Diakses pada 2 September 2022 dari <https://www.lawinsider.com/dictionary/psychosocial>
- Liputan6 (2013, 13 September). 90% pencurian koleksi museum melibatkan orang dalam. *Liputan6.com*. <https://www.liputan6.com/video/read/605342/90-pencurian-koleksi-museum-melibatkan-orang-dalam>
- Maasberg, M., Warren, J., & Beebe, N. L. (2015). The dark side of the insider: Detecting the insider threat through examination of dark triad personality traits. *2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences*, 3518–3526. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7070238>
- McCrae, R. R., & Costa Jr., P. T. (2008). The five-factor theory of personality. Dalam O. P. John, R. W. Robins, & L. A. Pervin (Ed.), *Handbook of Personality: Theory and Research* (159–181). Guilford Press.
- Paulhus, D. L., & Williams, K. M. (2002). The dark triad of personality: Narcissism, machiavellianism and psychopathy. *Journal of Research in Personality, 36*(6), 556–563. [https://doi.org/10.1016/S0092-6566\(02\)00505-6](https://doi.org/10.1016/S0092-6566(02)00505-6)

- Penaflor, E.H. (2012). *Spies like us: A comparison of infiltrating networked terrorist organizations versus foreign intelligence services* [Tesis]. San Diego State University.
- Peraturan Pemerintah No.54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/5267/pp-no-54-tahun-2012>
- Public Broadcasting Service. (t.t.). *Interviews*. Diakses pada 2 September, 2022, dari <https://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/shows/nukes/interviews/smirnov.html>
- Sackett, P.R., & Devore, C.J. (2002). Counterproductive Behaviors at Work. Dalam N. Anderson, D. Ones, H. Sinangil, & C. Viswesvaran (Ed.), *Handbook of industrial, work, and organizational psychology* (145–164), Sage Publications Ltd. <https://psycnet.apa.org/record/2003-00437-008>
- Saronto, Y. W. (2020). *Teori Intelijen dan Pembangunan Jaringan Edisi IX*. Penerbit Andi.
- Sukarno, I. (2011). *Aku “tiada” aku niscaya, menyingkap lapis kabut intelijen*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Tempo.co (2013, 13 September). Pencuri koleksi Museum Gajah diduga orang dalam, diakses pada 24 Maret 2024 dari <https://metro.tempo.co/read/513067/pencuri-koleksi-museum-gajah-diduga-orang-dalam>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom. (1964). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/50390/uu-no-31-tahun-1964>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. (1997). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/undang-undang-republik-indonesia-nomor-10-tahun-1997-tentang-ketenaganukliran>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2011 tentang Intelijen Negara. (2011). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39236/uu-no-17-tahun-2011>

## BAB X

# Penerapan Program Keandalan Manusia untuk Keamanan Nuklir di BATAN

Fatmuanis Basuki

---

## A. Pendahuluan

Salah satu pemanfaatan energi nuklir terpenting yang hingga saat ini belum dilakukan di Indonesia, tetapi segera diperlukan untuk mencapai target emisi karbon nol secara neto di 2060, adalah energi nuklir dalam bentuk pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Dalam pemanfaatan teknologi nuklir, wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan tujuan damai, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) memiliki bahan nuklir dan mengoperasikan fasilitas nuklir, antara lain, reaktor nuklir, instalasi bahan bakar nuklir, instalasi pengolah limbah radioaktif, produksi radioisotop, ataupun fasilitas lain yang memanfaatkan zat radioaktif. Semua fasilitas tersebut harus memenuhi peraturan nasional dan

---

Fatmuanis Basuki\*

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: fatm001@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Basuki, F. (2024). Penerapan program keandalan manusia untuk keamanan nuklir di BATAN. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (245–276). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c998, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

internasional tentang keselamatan dan keamanan nuklir. Salah satu hal penting untuk memenuhi peraturan dalam keamanan adalah mengetahui ancaman atau gangguan keamanan terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir.

Meskipun ancaman terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir di Indonesia secara umum belum banyak mendapat perhatian, tetapi perlu dicatat bahwa hal tersebut bukan berarti ancaman terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir dapat diabaikan. Hal ini karena beberapa tindak kekerasan yang memberikan dampak teror kepada masyarakat dan melibatkan bahan peledak dan/atau berbahaya telah terjadi beberapa kali. Sebagai contoh, kejadian ledakan di salah satu pusat perbelanjaan pada tahun 2015. Peledakan itu ternyata dilakukan oleh pelaku yang tidak memiliki catatan kriminal, tetapi pekerja yang sedang menghadapi kesulitan ekonomi. Selain itu, bom yang dirakit diniatkan juga untuk sekaligus menebar bahan kimia berupa gas beracun (Cahya, 2015). Dari kejadian ini, dapat diambil pelajaran bahwa ancaman bisa datang dari orang yang bukan berlatar belakang kriminal dan memiliki motif bermacam-macam. Selain itu, ancaman dapat melibatkan penggunaan berbagai bahan berbahaya. Jika melibatkan bahan radioaktif dalam, disebut sebagai bom kotor (*dirty bomb*) dan akan menimbulkan konsekuensi radiologis pada masyarakat dan lingkungan.

Ancaman dapat berasal dari luar atau dalam fasilitas. Dibandingkan ancaman dari eksternal fasilitas, ancaman dari orang dalam (*insider*) merupakan potensi ancaman yang lebih krusial yang harus dihadapi. Insiden orang dalam dapat berdampak parah dan merusak. Dalam konteks keamanan nuklir, orang dalam adalah individu yang memiliki akses resmi ke fasilitas nuklir atau informasi sensitif, yang dapat melakukan atau memfasilitasi dilakukannya tindak kejahatan, sabotase, dan tindakan tidak sah lainnya yang disengaja dan dapat menimbulkan dampak merugikan terhadap keamanan nuklir. Siapa saja dapat menjadi orang dalam, seperti manajer, pekerja, atau kontraktor. Contoh keterlibatan orang dalam pada tindakan teror dan pencurian terjadi di Indonesia pada serangan bom di Hotel JW

Marriot dan Ritz-Carlton tahun 2009 (Arifin et al., 2021) dan kasus pencurian emas di PT Freeport (Tambunan, 2022). Insiden akibat orang dalam juga telah pernah terjadi di beberapa fasilitas nuklir dan radiologis, seperti pencurian uranium pengayaan tinggi (*high-enriched uranium*, HEU) di Luch Scientific Production Association, Rusia (Pope & Hobbs, 2015). Perusahaan berbasis teknologi informasi juga jenis fasilitas yang rentan terhadap ancaman orang dalam, seperti yang terjadi di perusahaan EnerVest, Amerika Serikat (Insider Threat Defense Group, t.t.). Dari berbagai contoh tersebut, dapat dikatakan bahwa ancaman orang dalam dapat terjadi di berbagai bidang kegiatan dan berdampak pada keselamatan jiwa manusia, lingkungan, dan ekonomi.

Salah satu strategi penting dalam mencegah fasilitas nuklir dari ancaman dan sabotase orang dalam atau musuh yang bekerja sama dengan orang dalam adalah melalui implementasi Program Keandalan Manusia (PKM) (Human Reliability Program, HRP). PKM didefinisikan sebagai suatu kegiatan yang dilakukan untuk menjamin bahwa pegawai yang bekerja dan memiliki akses terhadap bahan nuklir, sumber radioaktif, fasilitas nuklir atau informasi yang sensitif, memenuhi persyaratan standar yang tinggi pada keandalan, kejujuran (dapat dipercaya), serta secara fisik dan mental stabil (Coates & Eisele, 2013). Keandalan dalam hal ini adalah kemampuan individu untuk mengikuti prosedur keselamatan dan keamanan (Coates & Eisele, 2014). PKM, pada dasarnya, berupa sistem evaluasi berkelanjutan terhadap pekerja, yang mengidentifikasi keberadaan individu yang kinerja dan pertimbangannya (dalam pelaksanaan kerjanya) terganggu oleh gangguan fisik atau mental, penyalahgunaan obat-obatan, atau karena kondisi lain (misalnya finansial) yang dapat berakibat pada ancaman terhadap keselamatan dan keamanan (Office of Environment, Health, Safety and Security, t.t.).

PKM di berbagai negara dikenal dengan nama yang berbeda, misalnya Program Kebugaran untuk Tugas (*Fitness for Duty Program*), Pemeriksaan Keamanan (*Security Vetting*), Izin Keamanan (*Security Clearance*), atau Pemeriksaan Latar Belakang (*Background Check*).

IAEA menamakannya Program Kejujuran (*Trustworthiness Program*) (Baba et al., 2022). Sebagai catatan, dalam tulisan ini “*trustworthiness*” yang sinonimnya adalah “*able to be trusted*” (Cambridge Univ. Press & Assessment, t.t.). diartikan sebagai “kejujuran”, meskipun dapat dimengerti pula sebagai “sifat dapat dipercaya” dan orangnya disebut “terpercaya”. Istilah “kejujuran” ini juga digunakan dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 6 (2015) sehingga penggunaan kata analisis kejujuran atau penilaian kejujuran itu sama artinya dengan *trustworthiness analysis* dan *trustworthiness determination*. Penilaian kejujuran (*determination of trustworthiness*) merupakan salah satu bagian penting dari PKM sehingga dalam tulisan ini penilaian kejujuran dapat diartikan sebagai PKM.

PKM perlu diterapkan pada semua fasilitas nuklir, antara lain, PLTN, reaktor riset, fasilitas daur bahan bakar nuklir, fasilitas limbah radioaktif, instalasi yang memanfaatkan zat radioaktif, dan fasilitas nuklir lainnya untuk seluruh tahapan pemanfaatan dari tahapan desain, desain ulang, konstruksi, *commissioning*, operasi, *shutdown*, sampai dengan dekomisioning (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2020). Dari sisi waktu, PKM diterapkan sejak penerimaan pegawai baru, secara reguler selama aktif bekerja hingga purna tugas di bidang pekerjaan yang berhubungan dengan bahan nuklir, fasilitas nuklir, dan/atau informasi sensitif yang memiliki dampak terhadap keselamatan dan keamanan. Elemen penerapan PKM, antara lain, pemeriksaan latar belakang individu, cek kesehatan fisik dan psikologis, pemeriksaan aktivitas keuangan, catatan kriminal, tes konsumsi alkohol, dan penggunaan obat. Penerapan PKM yang tepat akan memberikan hasil, antara lain,

- 1) membantu mengurangi risiko ancaman orang dalam;
- 2) meminimalkan potensi sabotase infrastruktur dan fasilitas nuklir atau bocornya informasi sensitif;
- 3) mempertahankan karyawan yang andal dan dipercaya di posisi kritis/sensitif, dan memastikan karyawan memenuhi standar keandalan dan kepercayaan tertinggi;

- 4) memberikan jaminan bahwa individu dalam posisi vital/kritis memiliki sikap, kematangan emosional, dan komitmen kuat untuk kesadaran keamanan nuklir;
- 5) menjamin fasilitas nuklir beroperasi secara aman, selamat, dan andal secara berkelanjutan; serta
- 6) membantu evaluasi risiko yang timbul pada fasilitas nuklir tertentu berdasarkan informasi tentang organisasi terlarang atau subversif, karyawan yang tidak puas, atau informasi lain yang terkait dengan wilayah sekitar fasilitas nuklir.

## B. Rekomendasi IAEA Terkait PKM

Untuk menjalankan misi dan memberikan layanan kepada negara anggota, IAEA menerbitkan berbagai dokumen terkait dengan keamanan nuklir dalam seri yang disebut *Nuclear Security Series* (NSS). NSS terbagi dalam hierarki dari dokumen fundamental, rekomendasi, hingga panduan implementasi dan petunjuk teknis. Khusus terkait dengan PKM (juga dalam kaitannya dengan ancaman orang dalam), dokumen-dokumen IAEA yang dapat digunakan sebagai acuan, antara lain, IAEA NSS No. 20 (IAEA, 2013), NSS No. 13 (IAEA, 2011), NSS No. 11-G Rev. 1 (IAEA, 2019), dan NSS No.8-G (IAEA, 2020).

Dokumen IAEA NSS No. 20 (IAEA, 2013) merupakan publikasi dengan hierarki tertinggi berisi tujuan dan elemen penting untuk membangun rezim keamanan nuklir yang berkelanjutan. Dokumen ini tepat digunakan untuk pembuat kebijakan nasional, badan legislatif, otoritas yang berwenang, lembaga, dan individu yang terlibat dalam perumusan, pelaksanaan, pemeliharaan, atau keberlanjutan rezim keamanan nuklir suatu negara. Salah satu hal penting dalam dokumen tersebut yang terkait dengan PKM adalah pada elemen penting (*essential element*) ke-12, butir (g). Elemen dan butir tersebut berisi bahwa setiap pihak yang bertanggung jawab terhadap keamanan nuklir harus berkontribusi terhadap rezim keamanan nuklir yang berkelanjutan, salah satunya dengan menetapkan dan menerapkan upaya atau langkah untuk meminimalkan ancaman keamanan nuklir dari orang dalam.

Di sisi lain, dokumen IAEA NSS No. 13 (IAEA, 2011), merekomendasikan dilakukannya penilaian kejujuran personel (*trustworthiness*) atau secara umum PKM. Beberapa rekomendasi tersebut terangkum pada Tabel 10.1.

**Tabel 10.1** Rekomendasi Program Keandalan Manusia

Aspek	Rekomendasi
<p>Unsur rezim sistem proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir suatu negara</p> <p>Kerangka Legislatif dan Regulasi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membuat kebijakan penilaian kejujuran (<i>trustworthiness policy</i>) dan melaksanakannya secara pendekatan bertingkat (<i>graded approach</i>) dengan mempertimbangkan undang-undang, peraturan, atau kebijakan mengenai privasi pribadi dan persyaratan pekerjaan.</li> <li>• Dalam mengimplementasikan kebijakan tersebut, negara harus memastikan bahwa proses untuk penilaian kejujuran terhadap orang yang memiliki akses resmi ke informasi sensitif atau, sebagaimana berlaku, untuk bahan nuklir atau fasilitas nuklir telah disiapkan.</li> </ul>
<p>Kerahasiaan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manajemen sistem proteksi fisik harus membatasi akses ke informasi sensitif kepada mereka yang telah melalui penilaian kejujuran sesuai dengan kepekaan informasi dan kepada yang memang memerlukan informasi tersebut untuk tugasnya.</li> </ul>
<p>Persyaratan tindakan untuk mencegah pemindahan tidak sah bahan nuklir pada saat digunakan dan penyimpanan</p>	
<p>Persyaratan Bahan Nuklir Kategori I dan II</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya individu yang berwenang yang boleh memiliki akses ke daerah proteksi (<i>protected area</i>). Langkah kontrol akses harus diambil untuk memastikan dapat dilakukannya deteksi dan pencegahan akses yang tidak sah. Jumlah individu yang berwenang masuk daerah proteksi harus dijaga seminimal mungkin. Individu yang diizinkan memiliki akses tanpa pengawasan ke daerah proteksi harus dibatasi hanya untuk orang yang telah melalui penilaian kejujuran. Bagi individu yang belum melalui penilaian kejujuran, seperti petugas perbaikan sementara, pekerja jasa atau konstruksi, dan pengunjung harus dikawal.</li> </ul>

Aspek	Rekomendasi
<p>Persyaratan Untuk Bahan Nuklir Kategori I</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya individu yang berwenang yang boleh memiliki akses ke area dalam (<i>inner area</i>). Tindakan pengendalian akses yang efektif harus dilakukan untuk memastikan deteksi dan pencegahan akses tidak sah. Jumlah individu yang berwenang memasuki area dalam harus dijaga seminimal mungkin. Individu yang memiliki akses resmi ke area dalam, harus dibatasi pada mereka yang telah melalui penilaian kejujuran. Dalam keadaan luar biasa dan untuk jangka waktu tertentu, individu yang belum melalui penilaian kejujuran harus diberikan akses hanya apabila dikawal.</li> </ul>
<p>Persyaratan tindakan untuk mencegah sabotase fasilitas nuklir dan bahan nuklir pada saat digunakan dan penyimpanan</p>	
<p>Persyaratan untuk fasilitas konsekuensi tinggi, termasuk PLTN</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya individu yang diberi otorisasi yang boleh memiliki akses ke daerah proteksi. Langkah kontrol akses harus diambil untuk memastikan dapat dilakukan deteksi dan pencegahan akses tidak sah. Jumlah individu yang berwenang masuk daerah proteksi harus dijaga seminimal mungkin. Akses resmi tanpa pengawasan ke daerah proteksi harus dibatasi untuk individu yang telah melalui penilaian kejujuran. Bagi individu yang belum melalui penilaian kejujuran, seperti petugas perbaikan sementara, pekerja jasa atau konstruksi, dan pengunjung, harus dikawal</li> <li>• Hanya individu berwenang yang boleh memiliki akses ke area vital. Tindakan pengendalian akses yang efektif harus diambil untuk memastikan dapat dilakukannya deteksi dan pencegahan akses tidak sah. Jumlah individu yang berwenang memasuki area vital harus dijaga seminimal mungkin. Akses resmi ke area vital harus dibatasi pada individu yang telah melalui penilaian kejujuran. Pada keadaan luar biasa dan untuk jangka waktu terbatas, individu yang belum ditentukan kepercayaannya harus diberikan akses hanya apabila dikawal.</li> </ul>
<p>Persyaratan untuk mencegah pemindahan tidak sah dan sabotase terhadap bahan nuklir selama pengangkutan</p>	
<p>Persyaratan umum untuk pengangkutan bahan nuklir</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteksi fisik terhadap kemungkinan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah selama pengangkutan harus mencakup penilaian kejujuran untuk individu yang terlibat pengangkutan bahan nuklir sebelum pelaksanaan kegiatan.</li> </ul>

Aspek	Rekomendasi
Persyaratan untuk bahan nuklir kategori I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perlu ada pusat kendali pengangkutan yang bertujuan melacak posisi terkini dan status keamanan pengiriman bahan nuklir, memperingatkan pasukan respons jika terjadi serangan, dan menjaga kontinuitas komunikasi suara dua arah dengan petugas pengiriman dan pasukan respons. Pusat kendali pengangkutan harus dilindungi agar fungsinya dapat terus berlanjut apabila ada ancaman. Saat pengiriman sedang berlangsung, pusat kontrol pengangkutan harus dikelola oleh pengirim yang memenuhi syarat atau yang ditunjuk oleh negara, yang telah melalui proses penilaian kejujuran sebelumnya.</li> </ul>

Sumber: IAEA (2011)

Mengacu pada Tabel 10.1, rekomendasi terkait PKM dapat dirangkum sebagai berikut:

- 1) dimasukkan dalam kerangka legislasi dan regulasi, undang-undang, kebijakan, dan menjamin tersedianya prosedur pelaksanaannya;
- 2) menjadi bagian dalam pengaturan prinsip kerahasiaan;
- 3) menjadi persyaratan tindakan untuk mencegah pemindahan tidak sah bahan nuklir saat digunakan dan penyimpanan, khususnya pada bahan nuklir kategori I dan II untuk daerah proteksi, serta persyaratan untuk bahan nuklir kategori I untuk area dalam;
- 4) menjadi persyaratan tindakan untuk mencegah sabotase fasilitas nuklir dan bahan nuklir saat digunakan dan disimpan, khususnya persyaratan untuk fasilitas dengan konsekuensi tinggi, termasuk PLTN pada area dalam dan area vital; serta
- 5) menjadi persyaratan untuk mencegah pemindahan tidak sah dan sabotase terhadap bahan nuklir selama pengangkutan dan untuk mengakses pusat kendali pengangkutan.

Untuk implementasi PKM pada fasilitas dan kegiatan terkait penggunaan dan penyimpanan zat radioaktif, dokumen IAEA NSS

No. 11-G (IAEA, 2019) merekomendasikan pentingnya negara dalam memberikan tanggung jawab keamanan nuklir pada satu atau lebih otoritas yang kompeten untuk menjalankan fungsi yang ditugaskan. Selain itu, beberapa hal terkait PKM yang harus diterapkan untuk bahan radioaktif dan fasilitasnya adalah sebagai berikut.

- 1) Implementasi PKM dapat melibatkan penegak hukum.
- 2) Adanya kerangka regulasi dan peraturan sampai panduan pelaksanaan PKM.
- 3) Operator (pengelola fasilitas) berkewajiban untuk merancang, menerapkan, dan memelihara sistem keamanan untuk zat radioaktif.
- 4) Manajemen keamanan harus mencakup upaya untuk penilaian kejujuran serta memastikan tingkat kejujuran (*trustworthiness*) dan keandalan (*reliability*) individu.
- 5) Penilaian kejujuran individu harus dilakukan melalui pemeriksaan latar belakang secara menyeluruh dan berkala.

Di sisi lain, berdasarkan NSS No. 8-G (IAEA, 2020), penilaian kejujuran dilakukan sejak saat rekrutmen pekerja, saat bekerja, saat pindah, saat berhenti bekerja, atau pensiun.

Kegiatan PKM mencakup, antara lain,

- 1) verifikasi identitas (detail pribadi dari individu dan keluarga);
- 2) verifikasi data pribadi (riwayat pekerjaan, latar belakang pendidikan, dan kepemilikan keahlian/kompetensi); dan
- 3) penilaian kejujuran.

Verifikasi yang dimaksudkan harus meninjau beberapa faktor, antara lain,

- 1) kepatuhan individu terhadap hukum;
- 2) kepatuhan terhadap aturan fasilitas;
- 3) perilaku atau faktor motivasi sesuai aspeknya, seperti

- a) keuangan dan problemnya (misalnya utang dan pemotongan upah);
  - b) kepatuhan terhadap ideologi;
  - c) keinginan membalas dendam (misalnya ketidakadilan yang dirasakan terhadap individu);
- 4) kesehatan fisik, mental, psikologis/kejiwaan (misalnya obat-obatan, alkohol, seks), atau kondisi kejiwaan;
  - 5) ketidakpuasan yang dalam dengan kehidupan pribadi atau profesional (pekerjaan);
  - 6) kinerja individu/pegawai; dan
  - 7) faktor-faktor lain yang menyebabkan seseorang dapat dipaksa untuk berkomitmen melakukan kejahatan (*malicious act*).

Faktor motivasi dapat diidentifikasi dengan memeriksa kembali informasi, seperti catatan kriminal, referensi pribadi dan profesional, riwayat pekerjaan masa lalu, catatan keuangan, aktivitas di media sosial, catatan medis atau laporan kinerja pekerjaan, serta informasi dari rekan kerja tentang pelaporan perubahan perilaku.

Kegiatan PKM memperkuat penerapan keamanan nuklir dengan dilengkapi adanya prosedur pengawalan untuk pegawai kontrak, administratif, atau pegawai yang belum ditentukan kejujurannya yang akan memasuki daerah dalam dan vital. Selain itu, PKM juga perlu didukung dengan adanya program kesadaran keamanan, kerahasiaan, dan program kajian terhadap kepuasan pegawai.

Dalam rangka penguatan pelaksanaan IAEA NSS No 8-G, pada Konferensi Internasional Keamanan Nuklir tahun 2016 yang diselenggarakan oleh IAEA, Amerika Serikat dan 26 negara anggota IAEA mengesahkan IAEA Information Circular, INFCIRC/908, "Joint Statement on Mitigating *Insider Threats*". Langkah ini merupakan upaya bersama untuk mencegah ancaman orang dalam di fasilitas nuklir, fasilitas radiasi, dan fasilitas terkait lainnya (IAEA, 2017).

### C. Dasar Hukum Peraturan Nasional

UU No. 10 (1997) menyatakan dalam pertimbangannya bahwa demi keselamatan, keamanan, ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup, pemanfaatan tenaga nuklir dilakukan secara tepat dan hati-hati serta ditujukan untuk maksud damai dan keuntungan sebesar-besarnya bagi kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Dari pertimbangan tersebut, jelas aspek keamanan menjadi hal yang sangat penting. Oleh karena itu, pada PP No. 54 (2012) pasal 2 menegaskan bahwa keamanan instalasi nuklir ditujukan untuk mencegah penyimpangan terhadap pemanfaatan bahan nuklir dari tujuan damai serta mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan merespons tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan sabotase instalasi dan bahan nuklir.

Pengaturan lebih lanjut terkait PKM tercantum pada pasal 60 yang menyatakan manajemen keselamatan dan keamanan instalasi nuklir mempertimbangkan faktor manusia. Pemegang Izin, dalam menjamin faktor manusia, wajib melaksanakan analisis keandalan manusia. Analisis tersebut berupa analisis terhadap kemungkinan terjadinya kesalahan dan kelalaian manusia yang dapat memengaruhi keselamatan dan keamanan instalasi nuklir dan bahan nuklir dengan mempertimbangkan

- 1) kualifikasi personel yang akan dipekerjakan di fasilitas nuklir;
- 2) faktor kesehatan;
- 3) analisis tugas; dan
- 4) faktor ergonomi dan faktor antarmuka mesin.

Pada Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN N. 1 (2009) pada pasal 24, 32, dan 40, dinyatakan bahwa akses ke daerah proteksi, daerah dalam, atau daerah penggunaan dan/atau penyimpanan bahan nuklir hanya diberikan kepada orang yang telah mendapatkan legitimasi dan kepercayaan. Selain itu, pada pasal 76, untuk memastikan tercapainya tujuan sistem proteksi fisik terhadap sabotase instalasi dan bahan

nuklir selama penggunaan dan penyimpanan, salah satu indikatornya adalah dengan melakukan penentuan tingkat kepercayaan terhadap semua pekerja yang diizinkan masuk ke daerah vital tanpa pengawal. Penggunaan persyaratan harus telah mendapat legitimasi dan kepercayaan atau melakukan penentuan tingkat kepercayaan dalam pasal-pasal yang telah disebut di atas, sama artinya dengan telah melalui penilaian kejujuran yang dinyatakan dalam Perka BAPETEN Nomor 6 (2015) dan tidak lain adalah proses yang ada dalam PKM. Ketentuan mengenai persyaratan keamanan sumber radioaktif diatur lebih lanjut pada Perka BAPETEN Nomor 6 (2015) yang menyatakan upaya keamanan sumber radioaktif untuk memenuhi fungsi pencegahan dilaksanakan, salah satunya melalui pemeriksaan latar belakang yang bertujuan untuk menilai kejujuran, menetapkan kewenangan akses ke sumber radioaktif, dan mengidentifikasi perilaku yang tidak diinginkan.

Pemeriksaan latar belakang dilakukan terhadap Petugas Keamanan Sumber Radioaktif (PKSR), operator, supervisor kegiatan sesuai pemanfaatan, dan orang yang memiliki akses, antara lain, petugas kebersihan, petugas keamanan fasilitas, pengemudi, petugas pemuatan dan pembongkaran sumber radioaktif dan pengunjung. Pemeriksaan latar belakang dilakukan secara berkala paling sedikit satu kali dalam setahun atau bila sewaktu-waktu terdapat indikasi ancaman internal atau eksternal terhadap keamanan sumber radioaktif, atau terjadinya gangguan keamanan sumber radioaktif. Pemeriksaan latar belakang dilaksanakan melalui pemeriksaan dokumen, antara lain, kartu tanda penduduk, kartu keluarga, akta kelahiran atau sejenisnya, surat keterangan catatan kepolisian, dan surat keterangan dari tempat bekerja terdahulu. Selain pemeriksaan dokumen, dilakukan wawancara yang kurang lebih meliputi pengalaman kerja, kondisi keuangan, serta latar belakang dan kondisi keluarga.

#### **D. Penerapan PKM di BATAN**

Berdasarkan peraturan nasional, rekomendasi IAEA dan praktik di negara-negara yang telah berkembang pemanfaatan teknologi nu-

klirnya, BATAN telah menerapkan PKM di fasilitas nuklir dan fasilitas yang memanfaatkan zat radioaktif yang dikelolanya (Keputusan Kepala BATAN No. 213, 2018). Pedoman penerapannya mengacu pada Perka BAPETEN No. 6 (2015) dan juga dokumen IAEA NSS No 8-G (IAEA, 2020). Selain itu, pelatihan yang dilaksanakan bekerja sama dengan IAEA dan institusi lain, seperti US-Department of Energy (US-DoE), sangat membantu personel BATAN, yang ditugaskan melaksanakan penerapan PKM, dalam memahami dengan baik konsep dasar, strategi, dan metode penerapan PKM. Pemahaman tentang PKM mutlak diperlukan untuk melaksanakan kegiatan PKM dengan baik dan tidak kontraproduktif karena strategi yang salah akan menimbulkan kesalahpahaman dari pegawai yang harus mengikuti PKM.

PKM disiapkan pada beberapa fasilitas nuklir yang memiliki bahan nuklir kategori II dan fasilitas radioaktif dengan tingkat keamanan A, B, dan C sebagai berikut (Perka BATAN No. 14, 2013):

- 1) Reaktor GA Siwabessy yang dikelola oleh Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG),
- 2) Reaktor TRIGA 2000 yang dikelola Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT),
- 3) Reaktor Kartini yang dikelola Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA),
- 4) Fasilitas radiasi berupa iradiator yang dikelola oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), dan
- 5) Fasilitas radiografi industri yang dikelola oleh PAIR, Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat), Biro Sumber Daya Manusia dan Organisasi (BSDMO), dan Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN).

PKM di BATAN telah dilaksanakan sejak 2015 secara pendekatan bertingkat (*graded approach*), yaitu sesuai dengan kategori dan kerentanan fasilitas, dari kategori fasilitas pemanfaatan radioaktif untuk radiografi industri sampai fasilitas reaktor riset. Uji coba pertama dilakukan di Pusdiklat BATAN (Keputusan Kepala BATAN No. 213,

2018) . Hasil uji coba di Pusdiklat BATAN ini sangat bermanfaat untuk merancang organisasi PKM di BATAN dan teknis pelaksanaan di masing-masing unit kerja yang telah disiapkan.

Mengingat bahwa panduan IAEA ataupun peraturan nasional yang ada belum memberikan detail teknis pelaksanaan PKM, tim PKM BATAN menyusun konsep penerapan secara mandiri, di antaranya berbekal dari hasil pelatihan yang diberikan oleh US-DoE. Pada dasarnya, konsep yang diterapkan di BATAN banyak mengacu pada pelaksanaan HRP di Amerika Serikat. Penerapan HRP di Amerika Serikat sudah matang dan teruji karena telah diterapkan pada instalasi PLTN, lembaga penelitian pengembangan, serta lembaga pemerintahan lainnya seperti US-DoE, US-Department of State (US-DoS), dan US-Nuclear Regulatory Commission (US-NRC). Selain itu, dokumen peraturan dan pedoman yang ada dari USDoE, USDoS dan USNRC tersedia dan dapat digunakan secara terbuka. Penerapan PKM juga merupakan pelaksanaan dan tindak lanjut dari program kerja sama pengembangan kapasitas dan pengembangan sumber daya manusia (SDM) keamanan nuklir antara BATAN dan US-Partnership for Nuclear Security (PNS-US-DoS).

## 1. Pengelolaan PKM BATAN

Kegiatan pengelolaan PKM mencakup kegiatan bersifat manajerial yang meliputi pembentukan organisasi, perencanaan program, pelaksanaan program, dan pelaporan yang dapat dilihat pada Gambar 10.1.



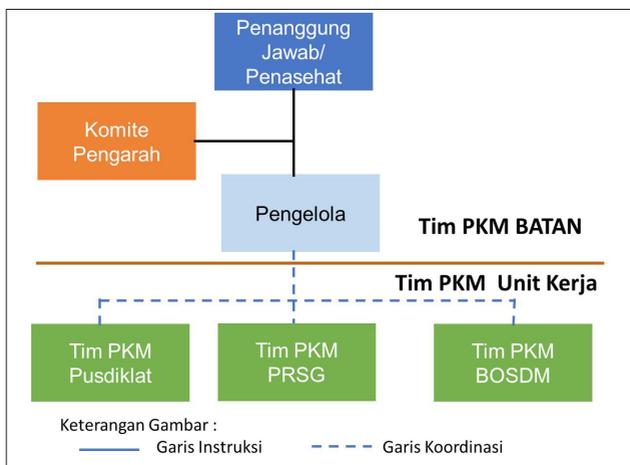
**Gambar 10.1** Pengelolaan Program Keandalan Manusia

### a. Organisasi PKM

Guna penerapan PKM di BATAN, dibentuk organisasi/tim PKM tingkat BATAN dan tingkat unit kerja atau fasilitas yang merencanakan menerapkan PKM, seperti Pusdiklat, PRSG, PSTNT, dan PSTA. Meskipun disiapkan di beberapa unit kerja dan/atau fasilitas, pada periode pengembangan penerapan awal, PKM dilaksanakan terlebih dahulu di tiga unit kerja/fasilitas, yaitu Pusdiklat BATAN untuk fasilitas radiografi (tingkat keamanan sumber radioaktif kategori B), fasilitas reaktor nuklir di PRSG (bahan nuklir Kategori II), serta pelaksanaan PKM untuk pegawai baru oleh BSDMO. Di ketiga unit kerja inilah dibentuk tim PKM tingkat unit kerja masing-masing.

Organisasi PKM tingkat BATAN meliputi penanggung jawab sekaligus sebagai penasehat, komite pengarah (*steering committee*) dan tim pengelola/pelaksana PKM. Komite Pengarah terdiri dari para Kepala Pusat: Kepala PRSG, Biro Hukum, Humas dan Kerja sama (BHHK), Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN), Pusdiklat, Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN), dan BSDMO. Komite Pengarah bertugas mengarahkan pelaksanaan dan evaluasi hasil PKM serta mengusulkan tim pelaksana PKM.

Tim pelaksana PKM di tingkat BATAN dipilih dari manajer senior dengan keahlian tertentu, yang terdiri dari ahli keselamatan nuklir, ahli keamanan nuklir, psikolog, tenaga medis, dan sistem manajemen. Tim pelaksana tingkat BATAN ini juga bertugas membantu pelaksanaan PKM di tingkat fasilitas sesuai keahliannya masing-masing seperti, pengajar, pewawancara, dan tenaga ahli pemberi solusi dari permasalahan dalam penerapan PKM. Untuk memperoleh pengetahuan dan kemampuan dalam pelaksanaan PKM, tim pelaksana PKM BATAN diberikan pelatihan dari serangkaian penyelenggaraan *workshop* terkait, antara lain, ancaman orang dalam dan PKM, implementasi PKM di reaktor riset, teknik interviu dan uji obat-obatan, serta observasi perilaku. Skema tim PKM BATAN dan hubungannya dengan tim PKM di unit kerja ditunjukkan pada Gambar 10.2.



Sumber: Diolah dari Keputusan Kepala BATAN Nomor 213 (2018)

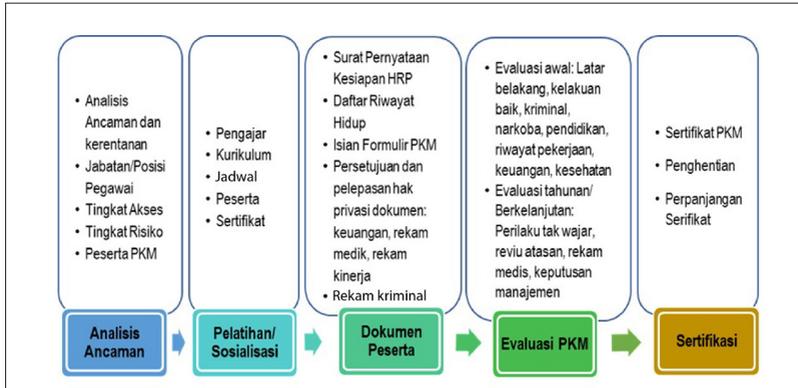
**Gambar 10.2** Organisasi PKM BATAN

#### b. Penyusunan Program

Tim PKM BATAN maupun PKM fasilitas (unit kerja) menyusun kerangka acuan kerja (KAK) yang merupakan dokumen panduan yang mengatur bagaimana tim menjalankan misinya dalam melaksanakan PKM. Selain itu, perlu disiapkan pula dokumen lainnya, antara lain, dokumen rencana kerja atau program, panduan PKM, dokumen PKM termasuk prosedur, formulir, kebutuhan sumber daya, dan sertifikat. Para pemangku kepentingan (khususnya dari unit kerja yang akan menjalani PKM) akan memberikan masukan dan memastikan persyaratan khusus mereka terpenuhi. Penanggung jawab dan komite pengarah PKM BATAN meninjau dan menyetujui rencana dan dokumen hasil evaluasi PKM yang diusulkan tim PKM karena dokumen tersebut sangat penting untuk keberhasilan program PKM serta memastikan kesesuaian dan kecukupan sesuai dengan peraturan perundangan.

### c. Pelaksanaan PKM

Proses utama pelaksanaan PKM meliputi analisis ancaman dan penentuan posisi PKM, pelatihan dan sosialisasi untuk calon peserta PKM, penyiapan seluruh kelengkapan dokumen peserta, evaluasi PKM, dan penerbitan sertifikat yang secara rinci dapat dilihat pada Gambar 10.3.



**Gambar 10.3** Proses Pelaksanaan PKM

### d. Pelaporan PKM

Seluruh kegiatan dan hasil PKM harus didokumentasikan dengan baik sesuai dengan tata kelola sistem manajemen mutu. Beberapa dokumen yang bersifat rahasia dan terbatas, seperti rekaman dan catatan medis, catatan kriminal dan pelanggaran, catatan kinerja dan penilaian perilaku, catatan keamanan dan keselamatan harus didokumentasikan, dipelihara dan disimpan dengan aman dan terkendali, termasuk formulir isian PKM, sertifikat PKM, persetujuan untuk berpartisipasi dalam PKM, otorisasi dan persetujuan untuk melepaskan catatan sehubungan dengan PKM. Pelaporan dilakukan secara berjenjang dari pelaksana tingkat fasilitas ke PKM BATAN dan setelah dilakukan revidu oleh komite pengarah, dilaporkan ke Kepala BATAN. Pelaporan juga dilakukan setiap tahun sebagai bukti kegiatan dan akuntabilitas kinerja yang dipersyaratkan.

## 2. Proses Pelaksanaan PKM

Tim PKM fasilitas melaksanakan proses PKM. Proses pelaksanaan PKM merupakan kegiatan kunci yang dimulai dari kegiatan analisis ancaman dan kerentanan sampai penerbitan sertifikat PKM seperti digambarkan secara detail pada Gambar 10.3.

### a. Analisis Ancaman dan Posisi PKM

Penerapan PKM sangat bergantung dari jenis dan ukuran fasilitas nuklir; penilaian terhadap ancaman keamanan nuklir, baik internal dan eksternal; daya tarik dan kerentanan dari target (bahan nuklir atau radioaktif) terhadap ancaman keamanan nuklir; karakteristik bahan nuklir, bahan radioaktif, fasilitas dan kegiatan terkait; serta potensi konsekuensi bahaya (yang biasanya sudah dibuat di dalam dokumen analisis ancaman dan kerentanan fasilitas). Pengelola fasilitas nuklir harus mempertimbangkan kemungkinan ancaman orang dalam dari mulai tahap desain, evaluasi, implementasi, dan pemeliharaan sistem keamanan nuklir di tingkat fasilitas. Orang dalam boleh jadi memiliki pengetahuan, akses, dan wewenang terhadap sistem proteksi fisik yang dapat disalahgunakan untuk membantu musuh. Orang dalam bisa berperan pasif, sebatas memberikan informasi ke musuh, ataupun secara aktif membantu saat musuh menyusup, menyerang, atau menyabotase perangkat sistem proteksi fisik.

PKM tidak ditugaskan kepada setiap pegawai dalam suatu fasilitas nuklir, tetapi hanya untuk beberapa orang terpilih yang bekerja di posisi kritis atau disebut juga posisi PKM. Sebelum memulai PKM, perlu dilakukan analisis karakteristik fasilitas nuklir apakah merupakan fasilitas bahan nuklir kategori I, II, III, atau fasilitas zat radioaktif kategori 1, 2, atau 3 dan dilanjutkan penilaian daerah sensitif, ancaman, dan jabatan/posisi kritis atau posisi PKM.

Posisi atau jabatan PKM merupakan jabatan pegawai yang memiliki posisi kritis atau vital yang berpotensi menimbulkan kerusakan parah pada fasilitas. Posisi atau jabatan PKM memiliki akses terhadap fasilitas ataupun informasi sensitif. Adapun jabatan yang memungkinkan masuk dalam posisi PKM, antara lain, sebagai berikut.

- 1) personel yang terlibat secara langsung dalam pengelolaan operasi fasilitas nuklir, seperti operator, supervisor, dan manajer (akses ke sistem dan komponen kritis);
- 2) personel keamanan (kontrol atas aspek akses atau informasi material yang sensitif);
- 3) personel teknologi informasi (TI) (akses ke catatan otorisasi akses personel, jadwal acara, dan lain-lain);
- 4) personel kontrol dan akuntabilitas bahan nuklir (akses ke catatan inventaris);
- 5) staf transportasi bahan radioaktif (akses ke catatan pengiriman);
- 6) personel dengan akses tanpa pengawalan ke ruang kendali operasi reaktor (akses pribadi untuk tindakan sabotase);
- 7) personel dengan akses tanpa pengawalan ke bahan nuklir (kemampuan untuk mengalihkan bahan nuklir);
- 8) petugas proteksi radiasi (PPR) dan staf fisika kesehatan (keselamatan radiasi) (kemampuan untuk memalsukan nilai pengujian);
- 9) petugas responss, misalnya petugas pemadam kebakaran (kemampuan untuk mengalihkan material selama kejadian darurat);
- 10) inspektur keselamatan (kemampuan untuk melaporkan situasi yang menciptakan kondisi tidak aman atau melakukan sabotase sistem keselamatan);
- 11) personel pemeliharaan preventif (kemampuan untuk menciptakan kondisi tidak aman atau melakukan sabotase sistem keselamatan);
- 12) personel yang mengeluarkan akses portal (kemampuan untuk membuat kredensial palsu);
- 13) personel yang bertanggung jawab atas keselamatan nuklir (kemampuan untuk membuat prosedur yang memungkinkan pengalihan jika dikompromikan atau untuk kondisi tidak aman).

## b. Pelatihan dan Sosialisasi PKM

Setelah peserta PKM ditentukan, dilaksanakan pelatihan atau *workshop* PKM untuk peserta agar PKM dapat dilaksanakan secara transparan, sekaligus memastikan bahwa semua pihak yang terlibat memiliki persepsi yang sama tentang PKM. Materi pelatihan peserta PKM berbeda dengan pelatihan tim PKM, tetapi harus mencakup materi, antara lain, ancaman orang dalam, tujuan PKM, tanggung jawab posisi PKM, proses evaluasi berkelanjutan, dan aspek positif dari program, dokumentasi PKM, proses PKM, pelaporan perilaku tak wajar, dan kepuasan kerja. Pada pelatihan harus dipastikan peserta PKM mengetahui tugas dan tanggung jawabnya, antara lain,

- 1) mengisi dan menandatangani surat pernyataan, persetujuan, dan pelepasan hak privasi terhadap dokumen PKM serta menyampaikan apabila ada kondisi atau gangguan mental atau fisik yang memerlukan pengobatan atau perawatan;
- 2) memberikan jawaban lengkap dan benar terhadap pertanyaan yang relevan tentang PKM sehingga memungkinkan pewawancara atau tim PKM membuat keputusan terkait sertifikasi PKM atau sertifikasi ulang;
- 3) melaporkan setiap kondisi pegawai yang bersertifikat PKM atau dinyatakan jujur/ terpercaya dan anda, l yang teramati atau terbukti bertindak sesuatu yang dapat menimbulkan masalah pada keandalan dan kejujuran serta masalah keselamatan atau keamanan; serta
- 4) melaporkan kondisi diri yang dapat mempengaruhi kemampuan dalam melaksanakan tugas, terutama yang berdampak terhadap keselamatan dan keamanan.

Pelatihan dapat diberikan oleh tenaga ahli, dalam hal ini tim PKM tingkat BATAN atau fasilitas yang telah memiliki kompetensi atau mengikuti *workshop* atau dapat mengundang tenaga ahli (*expert*) dari komunitas keamanan nuklir internasional.

### c. Pengumpulan Dokumen PKM

Tim PKM melakukan pengumpulan dokumen peserta PKM. Dokumen yang harus diisi dan dilengkapi oleh peserta PKM adalah sebagai berikut:

- 1) surat pernyataan dan persetujuan untuk berpartisipasi dalam PKM yang telah diisi dan ditandatangani;
- 2) surat pernyataan, persetujuan dan pelepasan hak privasi terhadap dokumen PKM yang telah diisi dan ditandatangani, serta disampaikan apabila ada kondisi atau gangguan mental atau fisik yang memerlukan pengobatan atau perawatan;
- 3) dokumen yang harus dilengkapi sebagai bagian dokumentasi kegiatan PKM, seperti daftar riwayat hidup, rincian daftar gaji pegawai, hasil pemeriksaan kesehatan pegawai, formulir perjanjian kerja atau sasaran kinerja pegawai (SKP), dan penilaian kinerja pegawai;
- 4) formulir isian PKM, berupa angket berisi 10 pertanyaan yang harus dijawab oleh kandidat minimal 100 kata, meliputi loyalitas, ideologi, keamanan nuklir, kesehatan (termasuk penggunaan narkoba dan alkohol), tanggung jawab keuangan, perilaku jujur, interaksi sosial, stabilitas emosi/sosial, serta kelemahan dan kekuatan diri.

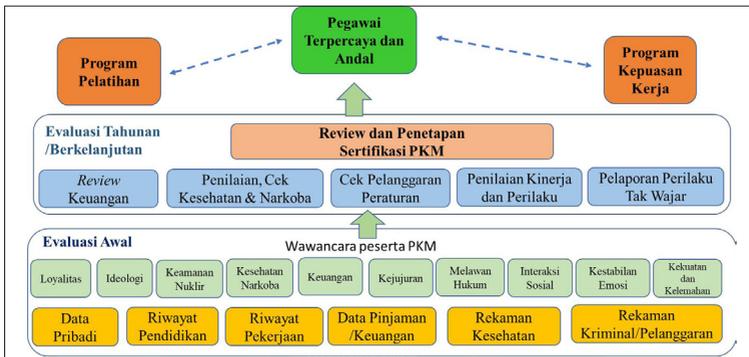
Dokumen-dokumen PKM tersebut harus disimpan selama seseorang bekerja di organisasi/fasilitas, terlepas dari apakah pegawai tersebut aktif atau tidak aktif dalam PKM. Setelah seseorang tidak lagi bekerja, catatan harus disimpan di lokasi yang aman untuk jangka waktu yang ditentukan sebelum dimusnahkan sesuai dengan peraturan nasional dan kebijakan serta prosedur organisasi/fasilitas. Dokumen PKM yang bersifat rahasia, pengelolaan dan penyimpanannya dijaga kerahasiannya dan mengikuti prosedur dokumen rahasia.

### d. Evaluasi PKM

Dalam tahapan awal evaluasi PKM, tim perlu memastikan bahwa peserta telah melengkapi dokumen PKM. Selanjutnya, tim PKM

mengevaluasi data/catatan/rekaman pegawai yang meliputi data pribadi, daftar riwayat keluarga, riwayat pendidikan dan pekerjaan, penilaian kinerja karyawan, gaji karyawan, riwayat hasil pemeriksaan kesehatan, pemeriksaan bebas narkoba, dan informasi lain dari berbagai sumber yang dapat memengaruhi kinerja seorang pegawai. Jika diperlukan, Tim PKM membuat ringkasan dan catatan khusus pada dokumen masing-masing peserta, terutama bila terdapat hal-hal yang perlu dilakukan pendalaman lebih lanjut pada evaluasi awal, termasuk wawancara mendalam dengan peserta. Proses evaluasi PKM secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 10.4.

Mengacu pada Gambar 10.4, evaluasi PKM meliputi evaluasi awal, termasuk di dalamnya terdapat wawancara untuk mendalami dokumen calon peserta PKM. Penetapan sertifikasi PKM dilakukan dari setelah keseluruhan reviu aspek keuangan, kesehatan (termasuk penggunaan narkoba), kriminal dan pelanggaran peraturan, penilaian kinerja dan perilaku, serta pelaporan perilaku tak wajar sampai dilakukan penetapan sertifikasi PKM dan penerbitan sertifikat pegawai terpercaya dan Andal. Pegawai bersertifikat terpercaya dan andal akan terus dapat dipertahankan dan dilakukan peningkatan secara terus-menerus apabila didukung program peningkatan kompetensi, pelatihan, penegarannya, serta penerapan program kepuasan kerja.



Sumber: Diadaptasi dari Coates dan Eisele (2013)

**Gambar 10.4** Proses Evaluasi PKM

Buku ini tidak diperjualbelikan

### 1) Evaluasi Awal PKM

Evaluasi awal digunakan untuk menentukan apakah seseorang dapat dipertimbangkan untuk masuk ke dalam PKM. Persyaratan awal PKM hampir sama dengan persyaratan awal masuk menjadi pegawai negeri sipil, seperti Surat Kelakuan Baik atau Surat Keterangan Catatan Kepolisian (SKCK), surat bebas narkoba, serta surat keterangan pemeriksaan medis sehat secara fisik maupun mental. Evaluasi awal ini dirancang untuk menentukan apakah ada informasi yang menunjukkan pola yang meragukan atau perilaku yang tidak stabil secara emosional dari calon peserta PKM. Proses ini meliputi langkah sebagai berikut.

- 1) Pemeriksaan kondisi latar belakang  
Pemeriksaan latar belakang dilakukan berdasarkan dokumen yang dikumpulkan, seperti daftar riwayat hidup (termasuk verifikasi dokumen, antara lain, KTP, Kartu Keluarga atau Akte Kelahiran) dan formulir isian PKM, termasuk melalui wawancara pribadi, seperti kondisi keluarga, karakter, kepribadian, gaya hidup, ideologi, wawasan kebangsaan, stabilitas emosi/sosial, serta kelemahan dan kekuatan diri.
- 2) Verifikasi riwayat pendidikan  
Verifikasi dilakukan pada seluruh jenjang pendidikan, termasuk aktivitas selama melaksanakan kuliah. Selain itu, perlu dilakukan pendalaman tentang pengembangan kompetensi dan sertifikasi yang merupakan hal sangat penting untuk menentukan apakah orang yang bersangkutan memiliki kompetensi yang dibutuhkan sesuai kualifikasi di posisinya.
- 3) Verifikasi riwayat pekerjaan  
Surat keterangan dari tempat kerja sebelumnya dan motivasi pindah perlu mendapatkan pendalaman pada saat wawancara, termasuk penilaian kinerja dengan memeriksa pencapaian target tahunan. Penilaian tidak hanya mencakup target kinerja, tetapi juga mencakup loyalitas, disiplin kerja, kerja sama tim, ke-

terampilan komunikasi, serta perilaku kepatuhan pada prosedur keamanan dan keselamatan selama bekerja.

- 4) Verifikasi rekaman kesehatan dan narkoba  
Pemeriksaan kesehatan mutlak diperlukan. Hasil rekomendasi dari dokter dan hal terkait gangguan kesehatan perlu mendapatkan pendalaman, termasuk kebiasaan hidup sehat, tidak mengonsumsi minuman keras, merokok, atau penggunaan narkoba. Pengujian narkoba dilakukan karena kecanduan narkoba dapat memengaruhi kinerja seseorang dan akan berimplikasi pada keselamatan dan keamanan fasilitas. Jika seorang calon PKM dites positif narkoba, mereka akan secara otomatis dipindahkan dari posisi vital/kritis. Selain itu, tes alkohol secara acak harus dilakukan kepada seluruh calon PKM dengan latar belakang ras dan agama apa pun karena kecanduan alkohol memengaruhi kinerja seseorang.
- 5) Pemeriksaan catatan kriminal dan pelanggaran  
Dokumen yang diperlukan pada pemeriksaan ini adalah surat keterangan catatan kepolisian dan catatan kriminalitas serta pelanggaran lain, khususnya terkait tindakan kriminal dan pelanggaran, baik di tempat kerja maupun lingkungannya. Selain itu, pola interaksi sosial dan perilaku jujur juga dilakukan pendalaman. Jika seorang pekerja pernah melakukan pencurian, penggelapan, pemalsuan, atau pelanggaran berat, mereka akan dikeluarkan dari pekerjaan.
- 6) Pemeriksaan keuangan dan pinjaman  
Pemeriksaan diperlukan untuk melacak kebiasaan utang atau penggunaan kredit calon PKM. Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi tentang gaya hidup seseorang, hutang yang melebihi kemampuan seseorang, dan kebiasaan penggunaan kartu kredit. Kebiasaan utang atau penggunaan kredit yang berlebihan dapat menyebabkan seseorang tidak dapat membayar hutang atau kreditnya tepat waktu. Akibat selanjutnya adalah orang tersebut berpotensi mengalami pemerasan. Apabila peserta memiliki kondisi masalah keuangan dan gagal bayar sesuai kri-

teria yang ditetapkan, peserta tidak dapat ditoleransi dan dapat diskualifikasi dari posisi PKM.

- 7) Tanggung jawab keamanan dan keselamatan  
Pemahaman peserta tentang keamanan umum maupun keamanan nuklir dan keselamatan merupakan faktor penting bagi pekerja. Oleh karena itu, dilakukan evaluasi sikap dan tindakan pekerja dalam bekerja di lapangan, misalnya dengan wawancara atau melihat rekaman video close circuit television (CCTV) di tempat kerja. Program pelatihan juga dapat diberikan untuk menyegarkan dan meningkatkan kesadaran dan pemahaman pekerja, baik tentang keamanan maupun keselamatan atau tentang fasilitas secara umum.

Hasil evaluasi dokumen dan wawancara pada kegiatan evaluasi awal dibuatkan ringkasan dan laporannya akan digunakan pada rapat manajemen PKM untuk membahas dan menetapkan sertifikat PKM. Penetapan sertifikat PKM dilakukan di dalam rapat manajemen PKM yang dipimpin oleh ketua atau penanggungjawab PKM dan penanggung jawab fasilitas (kepala Unit Kerja) beserta manajer K3, manajer keamanan, manajer SDM (yang merupakan anggota Tim PKM) dan anggota Tim PKM lainnya sehingga ditetapkan pegawai yang mendapat sertifikat PKM atau yang tidak bisa mendapatkan sertifikat PKM sesuai kriteria yang telah ditetapkan.

## 2) Proses Evaluasi Tahunan dan Berkelanjutan

Setelah pegawai melewati evaluasi awal dan mendapatkan sertifikasi PKM, untuk menjamin kelayakan pemegang sertifikasi PKM maka dilakukan evaluasi tahunan dan berkelanjutan. Sebagai bagian dari proses tahunan dan berkelanjutan ini, setiap pemeriksaan atau pengujian awal dapat dievaluasi kembali. Karyawan bersertifikat PKM akan dipantau dan dievaluasi sebagai berikut.

- 1) Penilaian medis (cek kesehatan, narkoba, dan alkohol)  
PKM mengharuskan karyawan untuk menjalani evaluasi status kesehatan dan faktor risiko kesehatan melalui tinjauan riwayat medis, pemeriksaan fisik, tes laboratorium, tes narkoba dan

alkohol secara acak, serta evaluasi psikologis dan psikiatri dan keterkaitannya dengan pelaksanaan tugas dan kinerja pegawai.

- 2) Reviu keuangan dan pinjaman  
Reviu keuangan dilakukan untuk melihat apakah pegawai memiliki masalah keuangan ataupun gagal bayar terhadap pinjaman. Apabila hal ini terjadi dan memengaruhi kinerja maka karyawan dapat didiskualifikasi atau dihentikan dan dicabut sertifikat PKM-nya.
- 3) Penilaian kinerja dan perilaku  
Penilaian kinerja dan perilaku biasanya dilakukan minimal setahun sekali oleh pejabat struktural secara berjenjang, termasuk supervisor. Dalam penilaian kinerja dan perilaku, aspek keselamatan dan keamanan dalam melaksanakan tugas juga harus dimasukkan.
- 4) Pelaporan perilaku tak wajar  
Salah satu kegiatan yang direkomendasikan untuk dilakukan dalam memperkuat pelaksanaan PKM adalah pelaporan perilaku tak wajar. Oleh karena itu, pelatihan pengamatan perilaku tak wajar juga dimasukkan ke dalam materi pelatihan bagi peserta PKM, manajer, dan supervisor. Tim PKM juga telah mendapatkan pelatihan tersebut sebelum ditetapkan sebagai tim PKM. Selain itu, tim PKM telah menetapkan prosedur dan menyosialisasikan pelaksanaannya sehingga pemantauan dan pelaporan perilaku tak wajar dilaksanakan secara efektif oleh semua yang terkait.

Para manajer atau kepala bidang/koordinator yang bertanggung jawab terhadap penilaian medis, penilaian kinerja dan perilaku, serta keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dan keamanan membuat rekomendasi untuk menyetujui atau tidak menyetujui pegawai pada posisi vital/kritis untuk memperpanjang sertifikat PKM. Selanjutnya, hasil rekomendasi akan dibahas pada rapat tim PKM untuk penetapan resertifikasi PKM. Penetapan resertifikasi PKM dilakukan di dalam rapat manajemen PKM yang dipimpin oleh ketua atau penanggung jawab PKM—dan juga sebagai penanggung jawab fasilitas beserta

manajer K3—, manajer keamanan, manajer SDM (yang merupakan anggota tim PKM), dan anggota tim PKM lainnya.

e. Uji Coba Penerapan PKM di Unit Kerja Terpilih

BATAN mengembangkan PKM dengan mengujicobakan penerapannya pertama kali di Pusdiklat untuk fasilitas zat radioaktif, khususnya fasilitas radiografi yang merupakan kategori sumber radioaktif 2. Kemudian, uji coba penerapan PKM diterapkan pada saat evaluasi awal calon pegawai negeri sipil (CPNS) BATAN melalui BOSDM dan fasilitas reaktor riset yang dikelola oleh PRSG.

1) Penerapan PKM di Pusdiklat

Pusdiklat melakukan uji coba penerapan PKM pada tahun 2015 hingga 2016. Penerapan PKM di Pusdiklat sebagai uji coba pertama PKM di BATAN. Penerapan ini memiliki kekuatan pada pengembangan dokumen PKM, pengembangan prosedur, meningkatkan kompetensi dan pengalaman tim PKM BATAN dalam melaksanakan proses PKM. Tim PKM Pusdiklat dibentuk berdasarkan Surat Keputusan Kepala Pusdiklat No. 214/PDL/VI/2016. Proses wawancara PKM di Pusdiklat menggunakan 7 indikator, yaitu keamanan nuklir, penggunaan narkoba dan alkohol, tanggung jawab keuangan, perilaku kejujuran, perbuatan kriminal melawan hukum/prosedur, tanggung jawab sosial, dan kestabilan mental. Kegiatan PKM ini mendapatkan bimbingan dan supervisi dari tenaga ahli dari IAEA, Oaks Ridge National Laboratory (ORNL), PNS-US-DoS, US-DoE, dan US-NRC. Berdasarkan analisis risiko posisi PKM, tim PKM Pusdiklat telah mengidentifikasi terdapat 7 jabatan sebagai posisi kritis dan 7 pegawai yang terkait langsung dengan pengelolaan sumber radioaktif yang direkomendasikan mengikuti proses PKM. Pegawai yang direkomendasikan telah mengikuti proses PKM. Setelah dilakukan penelitian dokumen, wawancara, rekomendasi manajer sesuai fungsi PKM, serta penetapan manajemen maka dilaporkan bahwa keseluruhan pegawai yang berjumlah 7 orang tersebut ditetapkan sebagai pegawai tersertifikasi PKM.

## 2) Penerapan PKM di PRSG

Penerapan PKM yang lebih kompleks diujicobakan di PRSG. Penerapan PKM di PRSG merupakan penerapan PKM untuk insulasi nuklir yang memiliki bahan bakar nuklir kategori II dan memiliki pegawai berjumlah 187 orang. Kegiatan PKM di PRSG berlangsung dari tahun 2016 hingga 2018. Tim PKM PRSG dibentuk berdasarkan Surat Keputusan Kepala PRSG No. 52/RSG/II/2018.

Berdasarkan analisis posisi PKM di PRSG, telah diidentifikasi posisi PKM dan pegawai yang memegang jabatan tersebut. Untuk kegiatan uji coba pertama, telah dipilih 20 orang yang ditetapkan berdasarkan tanggung jawab dan senioritas, terdiri dari manajer senior operasi dan pemeliharaan. Seluruh pegawai peserta telah mengikuti kegiatan PKM secara lengkap dan telah diterbitkan sertifikat PKM (Kristuti et al., 2021).

Pada kegiatan PKM di PRSG, telah dilakukan modifikasi formulir wawancara PKM yang telah digunakan pada PKM di Pusdiklat, yaitu dari 7 indikator menjadi 10 indikator yang meliputi loyalitas, ideologi, keamanan nuklir, kesehatan (termasuk penggunaan narkoba dan alkohol), tanggung jawab keuangan, perilaku jujur, interaksi sosial, stabilitas emosi/sosial, serta kekuatan dan kelemahan pribadi.

## 3) Evaluasi Awal PKM untuk CPNS

Berbeda dengan pelaksanaan PKM di Pusdiklat dan PRSG, penerapan PKM di BSDMO dilaksanakan hanya untuk tahapan evaluasi awal PKM bagi CPNS BATAN yang diterima pada tahun 2017 dengan jumlah 93 peserta. Kegiatan utama adalah pembentukan tim (dengan Surat Keputusan Kepala BATAN No. 76/KA/II/2018) dan menyebarkan kuesioner wawancara PKM yang terdiri dari 11 parameter. Metode yang digunakan adalah mengecek latar belakang, angket, wawancara, dan analisis hasil (Kristuti, 2018). Laporan PKM CPNS diserahkan ke Kepala BATAN, BHHK (sebagai unit kerja yang menangani masalah keamanan), dan ke masing-masing unit kerja untuk digunakan sebagai data awal pegawai dalam pelaksanaan PKM. Kegiatan PKM evaluasi awal untuk CPNS juga dilakukan pada tahun 2019 dengan jumlah 173 peserta dan tahun 2021 dengan jumlah 147 peserta.

## E. Penutup

BATAN sejauh ini telah mengembangkan dan menerapkan PKM dalam rangka mendapatkan dan menjamin SDM yang menempati jabatan atau posisi vital/kritis pada fasilitas nuklir dan fasilitas yang memanfaatkan zat radioaktif, merupakan pegawai yang terpercaya dan andal sehingga fasilitas nuklir bisa beroperasi secara aman dan selamat. Selain mendapatkan hasil personel yang tersertifikasi PKM, penerapan PKM juga memberikan indikasi tingkat kepuasan pegawai terhadap kondisi kerja. Hal ini dapat digunakan oleh manajemen BATAN dalam memperbaiki pengelolaan dan pengembangan SDM, seperti sistem penghargaan, kesempatan melanjutkan pendidikan, atau perlunya konseling bagi pegawai. Sejauh ini, terdapat beberapa catatan dalam pelaksanaan PKM yang perlu diperbaiki atau ditingkatkan, antara lain, masih banyak yang menyalahartikan kegiatan PKM sehingga dalam beberapa hal ada resistensi; koordinasi yang rumit karena melibatkan banyak SDM, baik dari luar maupun dalam unit kerja dan bidang kompetensi/kerja (bidang keamanan, keselamatan, kesehatan, keuangan, atasan langsung dan bagian kepegawaian); tim belum memiliki pemahaman yang sama dan sedikit pengalaman dalam kegiatan rinci PKM; dan PKM masih bersifat kegiatan tambahan bagi anggota tim sehingga belum diprioritaskan dan diintegrasikan dengan tugas fungsi unit kerja. Upaya peningkatan secara berkelanjutan pelaksanaan PKM dapat dilaksanakan dengan peningkatan kompetensi SDM, pengamatan perilaku tak wajar, program kepuasan kerja, dan pengembangan budaya keamanan dan keselamatan.

Penerapan PKM ini perlu dilanjutkan dan mendapatkan perhatian serius, terutama setelah pengintegrasian BATAN ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), khususnya pada instalasi nuklir dan fasilitas radioaktif yang dikelola oleh Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK) dan Direktorat Pengelolaan Laboratorium dan Kawasan Sains Terpadu (DPLKST) serta Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN). Hal ini karena penerapan PKM adalah salah satu kewajiban sebagai pemegang izin. Dengan ini, BRIN dapat

menunjukkan komitmennya dalam melaksanakan dan meningkatkan program budaya keselamatan dan keamanan secara berkelanjutan. Selain itu, dengan penerapan PKM ini diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan dan akseptabilitas publik terhadap pengelolaan fasilitas nuklir sehingga ke depannya dapat mendukung suksesnya program pemerintah Indonesia dalam pembangunan dan pengoperasian PLTN.

Di sisi lain, pada dasarnya PKM dapat diterapkan pada bidang kegiatan lain karena ancaman orang dalam dapat terjadi pada semua jenis usaha atau industri dan konsekuensi insiden akibat orang dalam bisa signifikan untuk perusahaan atau industri tersebut. Lebih khusus, PKM penting diterapkan pada industri yang berhubungan dengan bahan berbahaya (bahan kimia dan biologi) atau yang memiliki dampak kepada masyarakat jika faktor keamanan dan keselamatan tidak dijaga. Perusahaan atau industri berbasis teknologi informasi yang rentan terhadap ancaman orang dalam juga perlu mempertimbangkan penerapan PKM. Berkaitan dengan hal ini, pengalaman penerapan PKM di BATAN/BRIN dapat dijadikan sebagai salah satu benchmark bagi pihak lain yang akan mulai menerapkan.

## Daftar Referensi

- Arifin, M., Rahayu, P., Ristianah, Juwita, F., & Nurmalasari, E. (2021). *Analisis kasus pengeboman di Hotel JW Marriot* [Makalah tidak diterbitkan]. Universitas Bengkulu.
- Baba, M. S. Chowdhury, I., Nidhi, V., Shah, A. K., & Chirayath, S. S. (2022). A review of human reliability programs for nuclear security. *Journal of Nuclear Materials Management*, 49(4), 64–77.
- Cahya, K. D. (2015, 29 Oktober). Teroris Mall Alam Sutera berniat sebar gas beracun pada bom pertama. *Kompas.com*. <https://megapolitan.kompas.com/read/2015/10/29/18104831/Teroris.Mall.Alam.Sutera.Berniat.Sebar.Gas.Beracun.pada.Bom.Pertama>
- Cambridge University Press & Assessment (t.t). Trustworthy. Cambridge Dictionary. Diakses pada 1 Maret 2024, dari <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/trustworthy>
- Coates, C.W., & Eisele, G. R. (2013). Roadmap to a sustainable structured trusted employee program (STEP). ORNL/TM-2013/303. *Oak Ridge National Laboratory*. <https://doi.org/10.2172/1091660>

- Coates, C.W., & Eisele, G. R. (2014). Human reliability implementation guide. ORNL/TM-2014/292. *Oak Ridge National Laboratory*. <https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub50899.pdf>
- Insider Threat Defense Group. (t.t.). *Insider threat*. Diakses pada 22 Juli 2022, dari <https://www.insiderthreatdefense.us/insider-threat/>
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc225revision-5>
- International Atomic Energy Agency. (2013). Objective and essential elements of a state's nuclear security regime. *IAEA Nuclear Security Series No. 20*. <https://www.iaea.org/publications/10353/objective-and-essential-elements-of-a-states-nuclear-security-regime>
- International Atomic Energy Agency. (2017). Joint statement on mitigating insider threats. *INFCIRC/908*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/2017/infcirc908.pdf>
- International Atomic Energy Agency. (2019). Security of radioactive material in use and storage and of associated facilities. *Nuclear Security Series No. 11-G (Rev. 1)*. <https://www.iaea.org/publications/12360/security-of-radioactive-material-in-use-and-storage-and-of-associated-facilities>
- International Atomic Energy Agency. (2020). Preventive and protective measures against insider threats. *IAEA Nuclear Security Series No. 8-G (Rev. 1)*. <https://www.iaea.org/publications/12354/preventive-and-protective-measures-against-insider-threats>
- Keputusan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 213/KA/VI/2018 tentang Pembentukan Tim Program Keandalan Manusia Badan Tenaga Nuklir Nasional 2018. (2018).
- Keputusan Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN Nomor 214/PDL/VI/2016 tentang Pembentukan Tim Human Reliability Program Pusat Pendidikan dan Pelatihan. (2016).
- Kristuti, E. (2018). Penerapan program keandalan manusia pada calon pegawai negeri sipil (CPNS) BATAN. Dalam *Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir: Inovasi SDM dan Iptek Nuklir untuk Mendukung Revolusi Industri 4.0* (157–164). Badan Tenaga Nuklir Nasional. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/7403/1/Prosiding%20SDMTN%202018.pdf>

- Kristuti, E., Basuki, F., & Jatmiko, D. T. (2021). Analisis hasil wawancara pegawai pada program keandalan manusia (PKM) di Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG). Dalam *Prosiding Seminar Nasional SDM dan Teknologi Nuklir 2020*. Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Office of Environment, Health, Safety & Security, US Department of Energy. (t.t.). *Human reliability program handbook*. Diakses pada 8 Juli, 2022, dari <https://www.energy.gov/ehss/human-reliability-program-handbook>
- Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-1-tahun-2009-tentang-ketentuan-sistem-proteksi-fisik-instalasi-dan-bahan-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif. (2015). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-6-tahun-2015-tahun-2015-tentang-keamanan-sumber-radioaktif>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2013).
- Pope, N. G., & Hobbs, Ch. (2015). *Insider threat case studies at radiological and nuclear facilities*. Los Alamos National Laboratory. <https://doi.org/10.2172/1177991>
- Tambunan, P. M., (2022, 16 April). Polisi sita barbut pencurian emas di areal Freeport, istri sempat viral pamer harta di TikTok. *Tribun-Papua.com*. <https://papua.tribunnews.com/2022/04/16/polisi-sita-barbut-pencurian-emas-di-areal-freeport-istri-sempt-viral-pamer-harta-di-tiktok>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. (1997). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/undang-undang-republik-indonesia-nomor-10-tahun-1997-tentang-ketenaganukliran>

## BAB XI

# Budaya Keamanan Nuklir

Anhar R. Antariksawan & Khairul \_\_\_\_\_

### A. Pendahuluan

Penerapan teknologi dalam berbagai bidang kehidupan yang sangat maju dewasa ini tetap memerlukan peran manusia yang merancang, mengoperasikan, ataupun mengawasinya. Berbagai kegagalan penerapan teknologi yang muncul dalam bentuk kecelakaan suatu fasilitas ataupun sistem, diketahui sering disebabkan oleh kesalahan manusia. Dalam bidang teknologi nuklir pun demikian; faktor manusia menjadi salah satu faktor penting dalam keselamatan fasilitas nuklir. Kecelakaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Chernobyl Unit 4 mendapat perhatian khusus tentang pentingnya faktor manusia (Antariksawan & Juarsa, 2018). Oleh karena itu, Badan Tenaga Atom Internasional (International Atomic Energy Agency, IAEA) perlu mengeluarkan rekomendasi tentang penguatan faktor manusia dalam

---

Anhar R. Antariksawan\* & Khairul

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: anha001@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Antariksawan, A. R., & Khairul. (2024). Budaya keamanan nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (277–303). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c999, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

meningkatkan keselamatan melalui penerapan budaya keselamatan (IAEA, 1991).

Hal serupa juga terjadi di bidang keamanan. Penerapan teknologi nuklir harus dilandasi dengan komitmen bahwa bahan nuklir dan zat radioaktif serta fasilitas nuklir dan radiasi harus dijamin aman, tidak mengalami gangguan keamanan seperti pencurian, sabotase, akses ilegal dan kejahatan lainnya yang dapat membahayakan masyarakat dan lingkungan. Berbagai kejadian gangguan keamanan di berbagai negara pada awal tahun 2000, membuat banyak negara anggota IAEA mendorong introduksi “budaya keamanan nuklir” dalam implementasi sistem keamanan terhadap fasilitas dan bahan nuklir serta zat radioaktif. Setelah melalui beberapa kali pembahasan dalam berbagai tingkat di IAEA, pada tahun 2005 semua negara pihak Konvensi Proteksi Fisik Material Nuklir (Convention on the Physical Protection on Nuclear Material, CPPNM) setuju secara konsensus amandemen CPPNM, termasuk untuk memasukkan klausul budaya keamanan nuklir dalam Prinsip Fundamental F sebagai berikut (Inventory of International Nonproliferation Organizations and Regimes, t.t.; IAEA, 2006):

*“Budaya Keamanan: Seluruh organisasi yang terlibat di dalam implementasi proteksi fisik harus memberikan prioritas yang memadai pada budaya keamanan; pada perkembangan dan pemeliharannya yang diperlukan untuk menjamin implementasi yang efektif di keseluruhan organisasi.”*

Selain itu, harus dicatat bahwa Kode Etik IAEA mengenai keselamatan dan keamanan sumber radioaktif (IAEA, 2004) berisi prinsip-prinsip dasar berikut:

*“Dalam rangka untuk melindungi individu, masyarakat, dan lingkungan hidup, setiap negara harus mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk menjamin penumbuhkembangan budaya keselamatan dan budaya keamanan terkait dengan sumber-sumber radioaktif.” [Prinsip Dasar 7(b)]*

Seiring dengan konvensi CPPNM beserta Amandemennya (CPPNM/A) dan Kode Etik tersebut, untuk memberikan panduan terkait penerapan dan penguatan Budaya Keamanan Nuklir, pada tahun 2008 IAEA menerbitkan dokumen panduan implementasi budaya keamanan nuklir (IAEA, 2008).

Secara umum, diyakini bahwa penerapan budaya keamanan nuklir yang kuat adalah penting untuk membangun sistem keamanan yang tangguh dan efektif. Oleh karena itu pula, pada Nuclear Security Summit ketiga pada tahun 2014 di Den Haag, negara peserta menyepakati, seperti tertuang dalam The Hague Communiqué, bahwa sistem keamanan fasilitas nuklir perlu menerapkan budaya keamanan nuklir selain proteksi fisik dan akuntansi bahan nuklir (The Hague, 2014)

Indonesia, sebagai negara pihak dalam CPPNM telah mengesahkan CPPNM/A melalui Peraturan Presiden (Perpres) Republik Indonesia Nomor 46 Tahun 2009 (Perpres No. 46, 2009). Selanjutnya, melalui Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 54 (2012), Pemerintah mewajibkan setiap Pemegang Izin bahan nuklir dan instalasi nuklir harus menetapkan dan menerapkan sistem manajemen keselamatan dan keamanan instalasi nuklir yang di antaranya memuat budaya keselamatan dan keamanan. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebagai Pemegang Izin instalasi nuklir menerapkan kewajiban tersebut, termasuk menuangkan pelaksanaan dan peningkatan berkelanjutan Budaya Keamanan dalam Pedoman Persyaratan Sistem Manajemen Keamanan (Peraturan Kepala [Perka] BATAN No. 153, 2010). Di negara yang sudah maju dalam pengembangan teknologi nuklir, seperti di Tiongkok dan Jepang, budaya keamanan nuklir juga ditempatkan sebagai prioritas untuk menjamin keamanan nuklir di instalasi nuklir dan fasilitas yang memiliki bahan nuklir (Zhang, H., 2014; Eguchi, N., 2016).

## **B. Model dan Karakteristik Budaya Keamanan Nuklir**

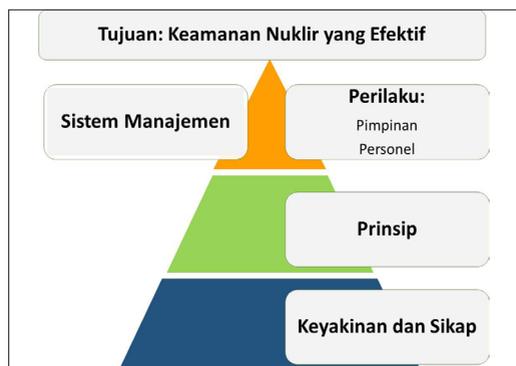
Dari sisi kata, budaya menurut KBBI (Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa, t.t.) adalah: (1) pikiran, akal budi; (2) adat istiadat;

(3) sesuatu mengenai kebudayaan yang sudah berkembang (beradab, maju); (4) sesuatu yang sudah menjadi kebiasaan dan sukar diubah. Dalam hal ini, budaya sangat erat kaitannya antara individu dan lingkungannya. Sementara itu jika dikaitkan dengan budaya keamanan, sesuai dengan penjelasan pada PP No. 54 (2012) disebutkan: "Budaya Keamanan adalah paduan sifat dan sikap organisasi dan individu dalam organisasi yang memberikan perhatian dan prioritas utama pada masalah keamanan instalasi nuklir". Di sisi lain, dalam artikel IAEA (2008), "Nuclear Security Culture: Implementing Guide" seri *IAEA Nuclear Security Series No. 7*, Budaya Keamanan Nuklir didefinisikan sebagai: "Keseluruhan karakteristik, sikap, dan perilaku para individu, organisasi, dan institusi yang berfungsi sebagai sarana untuk mendukung dan meningkatkan keamanan nuklir".

Dari semua batasan dan penjelasan tersebut, pengertian budaya keamanan nuklir secara umum adalah pikiran dan cara pandang yang menjadi sikap dan terwujud dalam tindakan atau perilaku dan kebiasaan, baik individu maupun organisasi, yang senantiasa memberikan perhatian dan mengutamakan keamanan sehingga mampu menjaga dan meningkatkan keamanan instalasi nuklir.

Budaya sering dipandang sebagai sesuatu yang abstrak. Oleh karena itu, diperlukan suatu model untuk dapat digunakan sebagai cara menganalisis dan mengkaji tingkat budaya, khususnya dalam konteks budaya keamanan nuklir. Untuk itu, IAEA (2008) mengadopsi model budaya organisasi dari Schein (2004) yang telah dikenal luas. Seperti halnya pada budaya organisasi, budaya keamanan nuklir dibedakan dalam tiga tingkat (Gambar 11.1). Gambaran dari model tersebut seperti piramida, yang bagian puncaknya mengarah pada sebuah tujuan akhir dari budaya keamanan, yaitu keamanan nuklir yang efektif. Setiap tingkat dari piramida tersebut disebut sebagai karakteristik. Selanjutnya, setiap karakteristik tersebut diuraikan ke dalam elemen atau atribut. Berbagai contoh elemen tersebut secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 11.1 (IAEA, 2008). Keterangan lengkap setiap elemen dapat ditemukan di IAEA (2008). Elemen tersebut pada dasarnya adalah hal yang dapat berlaku umum di berbagai organisasi. Namun,

organisasi tertentu dapat memiliki elemen yang spesifik dan berbeda dari contoh tersebut. Sebagai contoh, forum industri nuklir di Inggris memberikan panduan 8 elemen atau atribut kunci untuk terciptanya budaya keamanan nuklir yang prima (*excellent security culture*) di industri nuklir Inggris (Department of Energy and Climate Change & The National Skills Academy Nuclear, 2013). Contoh lain, Miller et al. (2020) mengajukan model budaya keamanan nuklir yang berbeda setelah melakukan survei pada 8 fasilitas nuklir di Amerika Serikat. Pendekatannya empiris dan lebih pada tataran praktis.



Sumber: IAEA (2008)

**Gambar 11.1** Model Budaya Keamanan Nuklir

Tingkat dalam model budaya organisasi menggambarkan dari yang paling dapat dilihat (di bagian paling atas) ke bagian yang paling dalam (tidak terlihat, tapi justru inti dari budaya ada di bagian paling bawah) (Schein, 2004). Dalam hal budaya keamanan nuklir, IAEA mengadopsi model tersebut. Tingkat paling dasar adalah karakteristik yang disebut keyakinan dan sikap, tingkat kedua merupakan prinsip (atau lebih lengkap adalah prinsip yang memandu pengambilan keputusan dan perilaku), dan tingkat ketiga adalah karakteristik sistem manajemen dan perilaku (pimpinan dan personel). Model piramida tersebut juga dapat dibayangkan sebagai sebuah gunung es yang berada di lautan, dengan dua tingkat di bawah adalah bagian gunung es yang terendam yang pada umumnya volumenya lebih besar,

Buku ini tidak diperjualbelikan

sedangkan tingkat ketiga merupakan puncak gunung es yang terlihat karena berada di atas permukaan air. Hal tersebut menggambarkan bahwa keyakinan dan sikap serta prinsip sebagai karakteristik yang tidak tampak karena ada dalam keyakinan dan pikiran sehingga sulit untuk dapat diukur, tetapi merupakan karakteristik yang sangat penting dan mendasari budaya keamanan nuklir. Berbeda dengan itu, sistem manajemen dan perilaku merupakan karakteristik yang tampak dan lebih dapat diukur dengan menggunakan metode tertentu. Tingkat ketiga piramida ini disebut juga artefak yang merupakan hasil dari apa yang diyakini (tingkat pertama) dan prinsip yang diikuti (tingkat kedua).

**Tabel 11.1** Karakteristik dan Contoh Elemen Budaya Keamanan Nuklir

Karakteristik	Keyakinan dan Sikap	Prinsip	Sistem Manajemen dan Perilaku	
			Sistem Manajemen	Perilaku
Elemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ancaman itu nyata</li> <li>• Keamanan nuklir penting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivasi</li> <li>• Kepemimpinan</li> <li>• Komitmen dan tanggungjawab</li> <li>• Profesionalisme dan kompetensi</li> <li>• Belajar dan perbaikan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kebijakan keamanan yang terlihat</li> <li>• Peran dan tanggungjawab yang jelas</li> <li>• Pengukuran kinerja</li> <li>• Lingkungan kerja</li> <li>• Pelatihan dan kualifikasi</li> <li>• Manajemen kerja</li> <li>• Keamanan informasi</li> <li>• Operasi dan perawatan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pimpinan</li> <li>• Ekspektasi</li> <li>• Penggunaan wewenang</li> <li>• Pengambilan keputusan</li> <li>• Pengawasan manajemen</li> <li>• Keterlibatan staf</li> <li>• Komunikasi</li> <li>• Peningkatan kinerja</li> <li>• Motivasi</li> <li>• Personel</li> <li>• Etika profesional</li> </ul>

Karakteristik	Keyakinan dan Sikap	Prinsip	Sistem Manajemen dan Perilaku	
			Sistem Manajemen	Perilaku
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem penentuan tingkat sifat dapat dipercaya (trustworthiness) staf</li> <li>• Jaminan kualitas</li> <li>• Manajemen perubahan</li> <li>• Proses umpan balik</li> <li>• Rencana kontingensi</li> <li>• Penilaian diri</li> <li>• Hubungan dengan regulator</li> <li>• Koordinasi dengan organisasi lain</li> <li>• Dokumentasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akuntabilitas</li> <li>• Kepatuhan pada prosedur</li> <li>• Kerja sama</li> <li>• Kewaspadaan</li> </ul>

Sumber: IAEA (2008)

Fondasi dari budaya keamanan nuklir adalah keyakinan dan sikap bahwa ancaman terhadap keamanan instalasi dan bahan nuklir itu nyata dan oleh karenanya keamanan nuklir itu penting dan perlu menjadi salah satu prioritas. Keyakinan dan sikap yang terbentuk di pikiran manusia setelah beberapa lama menjadi faktor penentu dalam manusia berperilaku dan memengaruhi bagaimana seseorang merespons isu-isu dan kejadian keamanan. Dalam suatu organisasi, keyakinan ini dimulai oleh para pimpinan (manajer). Ketika keyakinan ini disampaikan oleh para pimpinan dan diterima oleh seluruh personel dalam organisasi, keyakinan ini menjadi keyakinan organisasi.

Dalam budaya keamanan nuklir, keyakinan bahwa ancaman itu nyata dan keamanan nuklir itu penting, merupakan hal mendasar yang harus tumbuh dalam setiap individu dalam organisasi sehingga membentuk sikap setiap individu untuk memperhatikan keamanan nuklir. Sebaliknya jika tidak ada keyakinan tersebut, individu akan bersikap lebih ceroboh atau bahkan abai terhadap keamanan nuklir. Keyakinan ini membentuk fondasi dari budaya keamanan nuklir dan sangat penting karena hal tersebut memengaruhi perilaku yang pada akhirnya juga memengaruhi efektivitas tercapainya tujuan keamanan nuklir. Tanpa dasar keyakinan dan sikap yang kuat, budaya keamanan nuklir yang efektif tidak akan tercipta. Keamanan nuklir harus menjadi perhatian semua orang yang bekerja di fasilitas, organisasi, atau lokasi terkait—termasuk pada tingkatan tertentu anggota masyarakat—dan bukan hanya menjadi perhatian staf keamanan saja.

Keyakinan dan sikap tersebut akan menjadi dasar prinsip dan nilai yang diyakini dan ditanamkan sebagai dasar dalam kebijakan serta pengambilan keputusan dalam organisasi, khususnya yang mengelola instalasi dan bahan nuklir. Prinsip-prinsip ini harus dijelaskan dan diinternalisasikan kepada para staf untuk selanjutnya dilaksanakan secara konsisten ke seluruh bagian organisasi. Konsistensi dan kinerja individu dalam keamanan nuklir sangat dipengaruhi oleh dorongan dan penguatan motivasi yang diterima dari para pimpinan, rekan sejawat, dan bawahan. Dalam konteks, ini kepemimpinan dari pimpinan sangat mendukung upaya internalisasi prinsip budaya keamanan nuklir sehingga semua orang mengambil tanggung jawab pribadi di dalam operasi sistem, begitu juga dengan bagaimana mereka melakukan pekerjaan mereka.

Mengingat ancaman berkembang dan berbeda dari masa ke masa, keamanan nuklir harus didukung oleh personel yang profesional dan terqualifikasi. Di sisi lain, sistem keamanan nuklir juga harus berkembang makin efektif. Selain dari aspek teknologi, harus muncul inovasi yang lebih adaptif terhadap perkembangan ancaman. Prinsip belajar dari pengalaman dan kemauan untuk melakukan perbaikan akan membantu penguatan keamanan nuklir. Serangan 11 September

atau Peristiwa Selasa Kelabu (juga disebut Serangan 9/11 atau hanya 9/11) yang terjadi di Amerika Serikat menjadi salah satu pembelajaran untuk memperhatikan kembali keamanan nuklir dan mendorong penguatan budaya keamanan. Di dalam negeri, kejadian gangguan keamanan juga pernah terjadi. Meskipun bukan menyangkut langsung keamanan nuklir, hal ini dapat menjadi dasar untuk penguatan keamanan nuklir yang efektif.

Implementasi prinsip dan nilai di lapangan yang dapat dilihat sebagai artefak meliputi dua karakteristik, yaitu sistem manajemen dan perilaku, baik perilaku pimpinan maupun personel. Sistem manajemen yang menunjukkan komitmen pada keamanan nuklir, otoritas, dan tanggung jawab yang jelas dari setiap pihak di dalam organisasi—dalam hal keamanan nuklir dan penyediaan sumber daya untuk mendukung keamanan nuklir—sangat diperlukan agar tujuan akhir keamanan nuklir yang efektif dapat tercapai. Proses manajemen perencanaan, implementasi, pengawasan atau kaji diri (*self-assessment*), dan tindakan perbaikan juga harus diterapkan. Elemen penting lain dalam sistem manajemen ini dapat dilihat pada Tabel 11.1. Di sisi lain, efektivitas keamanan nuklir bergantung pada perilaku dari seluruh pimpinan dan personel dalam organisasi. Beberapa elemen terpenting dari perilaku personel yang dapat mendukung keamanan nuklir yang efektif adalah etika profesional, akuntabilitas setiap personel, ketaatan pada prosedur yang telah ditetapkan, keterbukaan diri untuk bekerja sama dan bekerja dalam tim, serta kewaspadaan terhadap hal-hal yang menyangkut keamanan. Dari sisi pimpinan, ekspektasi terhadap target kinerja keamanan nuklir harus dikomunikasikan secara baik oleh pimpinan ke semua personel sekaligus melakukan supervisi dan pengawasan, serta mampu menggunakan otoritasnya secara tepat untuk memotivasi kinerja sesuai tugas dan tanggung jawab personel. Jika semua karakteristik tersebut dapat ditumbuhkembangkan dalam organisasi dan budaya keamanan nuklir menjadi bagian budaya organisasi, tujuan menciptakan keamanan nuklir yang efektif pasti tercapai. Hal tersebut ditandai dengan adanya program keamanan nuklir yang mampu menjalankan fungsi pencegahan, pendeteksian,

penundaan, dan responss terhadap berbagai gangguan keamanan seperti pencurian, sabotase, akses tanpa otorisasi, dan tindakan jahat lainnya yang berkaitan dengan bahan nuklir dan radioaktif dalam penggunaan, penyimpanan, ataupun selama dalam perjalanan (transportasi).

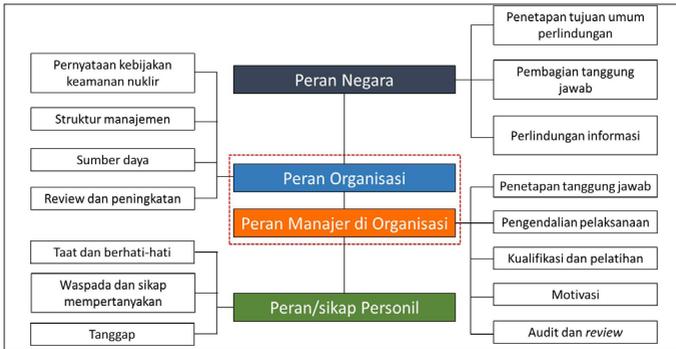
### C. Peran dan Tanggung Jawab Berbagai Institusi dan Individu

Sebagian besar negara di dunia telah memanfaatkan iptek nuklir dalam berbagai bentuk penggunaan bahan nuklir dan zat radioaktif, ataupun fasilitas radiasi di berbagai bidang industri dan kebutuhan kehidupan masyarakat. Di sisi lain, mengingat kandungan bahaya dari penggunaan bahan nuklir, zat radioaktif, dan fasilitas radiasi, tanggung jawab keamanan dan keselamatan di suatu negara melekat pada pemerintah negara tersebut. Di Indonesia pun demikian. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia juga telah berkomitmen untuk menggunakan iptek nuklir dengan tujuan kesejahteraan, perdamaian, serta menjaga keselamatan dan keamanan masyarakat dari bahaya radiologis. Komitmen tersebut ditunjukkan melalui penandatanganan dan ratifikasi berbagai traktat internasional yang diturunkan ke berbagai peraturan perundang-undangan nasional.

Di tataran internasional, IAEA (2013) merekomendasi agar setiap negara menerapkan rezim keamanan nuklir berkelanjutan (*sustainable nuclear security regime*). Penerapan dilakukan melalui penatakelolaan bahan nuklir dan zat radioaktif, baik yang dalam penggunaan, penyimpanan, maupun pengangkutan dengan tujuan melindungi individu, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya yang diakibatkan oleh kejadian terkait bahan nuklir dan zat radioaktif. Dalam konteks ini, rezim keamanan nuklir mencakup bahan nuklir dan zat radioaktif yang di dalam dan di luar kendali regulasi (*out of regulatory control*), dan fasilitas serta aktivitas terkait. Salah satu dari 12 elemen esensial rezim keamanan nuklir adalah budaya keamanan nuklir yang tangguh. Hal tersebut merupakan tanggung jawab dari

semua otoritas yang berkompeten dalam keamanan nuklir untuk mewujudkannya (IAEA, 2013).

Pada suatu negara, terdapat tiga pilar pihak yang memiliki tanggung jawab berbeda dalam penguatan budaya keamanan nuklir, tetapi tetap terhubung satu sama lain, yaitu negara, organisasi dan manajer yang terlibat, serta individu. Gambar 11.2 mengilustrasikan peran ketiga pilar dan hal-hal utama yang menjadi tanggung jawabnya.



Sumber: IAEA (2008)

**Gambar 11.2** Peran Pilar Utama Keamanan Nuklir

Pilar pertama yang memiliki tanggung jawab tertinggi di suatu negara adalah pemerintah negara tersebut, melalui berbagai kebijakan dan penetapan peraturan perundang-undangan (*legal framework*) yang terkait keamanan secara umum dan keamanan nuklir secara khusus. Secara spesifik, perlu ditetapkan kebijakan keamanan nasional yang juga akan menjadi payung keamanan nuklir di tingkat nasional. Selanjutnya, pemerintah juga perlu menetapkan pembagian tugas dan tanggung jawab pada berbagai institusi yang memiliki kaitan dengan berbagai aspek keamanan nuklir. Salah satu elemen penting dalam keamanan nuklir adalah keamanan informasi. Dalam hal ini, pemerintah juga perlu menetapkan kebijakan dalam keamanan informasi, khususnya keamanan informasi sensitif seperti yang terkait bahan nuklir. Tabel 11.2 berisi berbagai institusi yang berkaitan dengan keamanan, termasuk keamanan nuklir di tingkat

Buku ini tidak diperjualbelikan

nasional di Indonesia. Institusi-institusi tersebut berkaitan dengan peran sebagai penyusun kebijakan, politik luar negeri, penegakan hukum, keamanan dan pertahanan secara umum, regulator bidang ketenaganukliran, operator instalasi nuklir, serta kementerian dan badan yang menangani keamanan informasi. Khusus mengenai budaya keamanan nuklir, pemerintah juga perlu menetapkan lembaga atau badan yang memberikan panduan dan melakukan pengawasan. Di Indonesia, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) diberi tugas untuk melaksanakan pengawasan di bidang tenaga nuklir dan mewajibkan pemegang izin (pihak yang mendapat izin untuk mengelola instalasi dan bahan nuklir) untuk memberikan prioritas pada budaya keamanan (Perka BAPETEN No. 1, 2009).

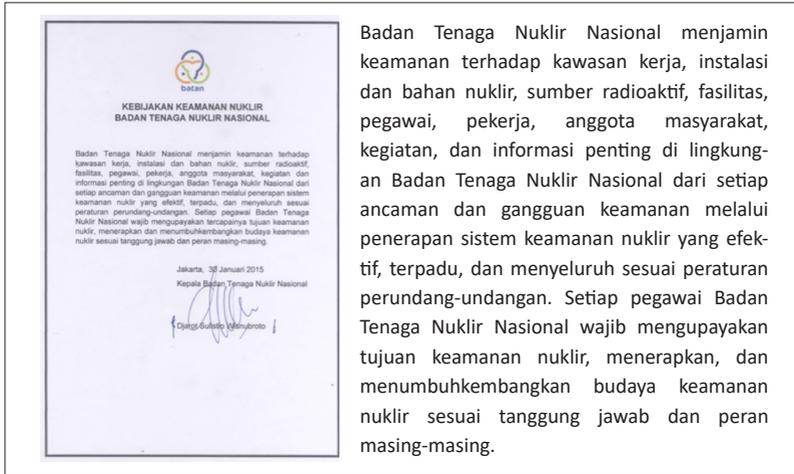
**Tabel 11.2** Contoh Institusi di Indonesia yang Terkait Keamanan Nuklir

No	Institusi	Peran
1.	Kementerian Koordinator Bidang Politik, Hukum, dan Keamanan	Koordinator semua pemangku kepentingan nasional dalam pertahanan dan keamanan
2.	Kementerian Luar Negeri-Direktorat Keamanan Internasional dan Perlucutan Senjata (KIPS)	Perumus kebijakan politik luar negeri dalam lingkup multilateral yang meliputi perdamaian dan keamanan internasional
3.	Kementerian Keuangan-Direktorat Bea dan Cukai	Pengawas keamanan ekspor dan impor barang, khususnya mencegah pengangkutan ilegal bahan nuklir dan radioaktif di perbatasan negara
4.	Tentara Nasional Indonesia (TNI)-Satuan Nuklir, Biologi, dan Kimia (Nubika), Zeni Angkatan Darat	<i>Responsder</i> ancaman bahaya yang diakibatkan oleh bahan (senjata) nuklir, biologi, dan kimia
5.	Kepolisian Republik Indonesia- Detasemen Kimia, Biologi, dan Radioaktif (KBR)	Penindak gangguan keamanan dan ketertiban masyarakat berintensitas tinggi, khususnya yang menggunakan bahan kimia, biologi, dan radioaktif
6.	BAPETEN	Pengawas dan pengatur penggunaan bahan dan instalasi nuklir (khususnya di tingkat fasilitas)

No	Institusi	Peran
7.	Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengguna/operator/pemegang izin bahan dan instalasi nuklir</li> <li>• Pelaksana riset dan pelatihan dalam ketenaganukliran</li> </ul>
8.	Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN)	Perumusan dan penetapan kebijakan teknis di bidang keamanan siber dan sandi

Keterangan: \*) sejak 28 April 2021 terintegrasi dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Pilar kedua adalah organisasi. Seperti ditunjukkan dalam Tabel 11.2, terdapat berbagai organisasi yang berkaitan dengan keamanan nuklir, hal yang sama juga dijumpai di berbagai negara lainnya. Di Indonesia, organisasi yang sangat spesifik berkaitan dengan tenaga nuklir adalah BAPETEN dan BATAN, sesuai dengan Undang-undang No. 10 (1997) merupakan badan pengawas dan badan pelaksana ketenaganukliran (setelah integrasi lembaga riset; sesuai Perpres No. 78 (2021), BRIN ditetapkan sebagai badan pelaksana. Dalam hal budaya keamanan nuklir, peran organisasi sangat penting. Sebagai ilustrasi, BAPETEN sebagai badan pengawas menetapkan regulasi dan mengawasi implementasi budaya keamanan nuklir. Sementara itu, sebagai pemegang izin, BATAN/BRIN wajib mengimplementasikan persyaratan terkait keamanan nuklir, termasuk menerapkan budaya keamanan nuklir. Di sisi lain, sebagai lembaga riset, BATAN/BRIN juga memiliki peran sebagai pelaksana riset terkait keamanan nuklir dan budaya keamanan nuklir serta melakukan pelatihan dalam keamanan nuklir. Oleh karena itu, BATAN melaksanakan berbagai hal spesifik, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.2, antara lain, menetapkan kebijakan keamanan nuklir, menyusun tata kelola terkait keamanan nuklir, menyiapkan sumber daya, melakukan internalisasi dan kaji diri (*self-asesment*) penerapan budaya keamanan nuklir, serta upaya penguatan budaya keamanan nuklir. Gambar 11.3 merupakan contoh deklarasi kebijakan keamanan nuklir di BATAN yang salah satu pernyataannya adalah komitmen untuk menerapkan dan menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir.



Badan Tenaga Nuklir Nasional menjamin keamanan terhadap kawasan kerja, instalasi dan bahan nuklir, sumber radioaktif, fasilitas, pegawai, pekerja, anggota masyarakat, kegiatan, dan informasi penting di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional dari setiap ancaman dan gangguan keamanan melalui penerapan sistem keamanan nuklir yang efektif, terpadu, dan menyeluruh sesuai peraturan perundang-undangan. Setiap pegawai Badan Tenaga Nuklir Nasional wajib mengupayakan tujuan keamanan nuklir, menerapkan, dan menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir sesuai tanggung jawab dan peran masing-masing.

**Gambar 11.3** Pernyataan Kebijakan Keamanan Nuklir BATAN

Di dalam suatu organisasi, peran para manajer dalam penguatan budaya keamanan nuklir sangat vital. Para manajer tersebut yang langsung berhadapan dengan pelaksana di lapangan, misalnya penjaga (*guards*), petugas proteksi fisik, penilai keamanan, dan setiap individu yang di dalam tanggung jawabnya. Setiap manajer harus membagi tanggung jawab para personel, mengawasi pelaksanaan, terus-menerus memberikan motivasi, serta melakukan evaluasi dan perbaikan yang diperlukan berdasarkan hasil evaluasi. Dalam praktiknya di BATAN, terdapat dua pihak yang secara langsung berkaitan dengan budaya keamanan nuklir, yaitu manajer teknis yang mengelola bahan dan instalasi nuklir dan manajer yang bertanggung jawab terhadap unit pengamanan nuklir. Kedua pihak bersinergi untuk membangun budaya keamanan nuklir yang kuat,

Pilar ketiga adalah individu. Di dalam suatu organisasi, budaya keamanan nuklir bukan hanya tanggung jawab yang mengelola bahan dan instalasi nuklir atau petugas pengamanan nuklir, tetapi seluruh individu sesuai dengan tanggung jawab dan peran masing-masing. Hal mendasar yang perlu dimiliki oleh setiap individu adalah sikap dan perilaku aman, di antaranya kepatuhan terhadap peraturan, regulasi dan prosedur, kewaspadaan terus-menerus, sikap mempertanyakan,

Buku ini tidak diperjualbelikan

dan tanggap terhadap hal-hal yang memiliki implikasi terhadap kerentanan sistem keamanan. Walaupun keamanan menjadi perhatian semua orang di fasilitas nuklir, personel yang memiliki tanggung jawab khusus seperti petugas keamanan dan proteksi radiasi harus benar-benar terlatih, dihargai, dan terus dimotivasi. Individu-individu ini harus diberikan kesempatan pengembangan karier, begitu juga kemungkinan penugasan kembali untuk menjaga jumlah sumber daya manusia dan kompetensinya.

Budaya tidak dapat tumbuh atau berubah dalam sekejap. Oleh karena itu, diperlukan komitmen dan konsistensi untuk memelihara dan meningkatkan budaya keamanan nuklir. Dalam hal ini, manajer memiliki tanggung jawab untuk senantiasa menunjukkan kepemimpinan dan panutan yang positif melalui perhatian dan kepatuhan mereka pada praktik-praktik keamanan nuklir.

#### **D. Penerapan Budaya Keamanan Nuklir di BATAN**

Kegiatan terkait budaya keamanan nuklir di BATAN dimulai pada tahun 2010, menyusul dipublikasikannya dokumen panduan implementasi budaya keamanan nuklir oleh *IAEA Nuclear Security Series No. 7* (Antariksawan & Khairul, 2016). Kegiatan tersebut diawali dengan acara sosialisasi kepada pimpinan dan staf tingkat manajer yang diberikan langsung oleh pakar dari IAEA dan Center for International Trade and Security (CITS), University of Georgia (UGA), Amerika Serikat. Setelah itu, diseminasi juga dilakukan pada staf yang berhubungan dengan bahan dan instalasi nuklir serta pemangku kepentingan lain yang berhubungan dengan keamanan. Setelah rangkaian acara tingkat nasional tersebut, pada tahun 2011, BATAN menjadi tuan rumah *workshop* regional budaya keamanan nuklir yang diselenggarakan oleh IAEA. Dalam acara tersebut, selain pakar dari IAEA dan CITS, beberapa staf dari BATAN ikut terlibat sebagai pemateri atau pengajar.

Setelah melakukan serangkaian sosialisasi dan internalisasi budaya keamanan nuklir di seluruh fasilitas nuklir di lingkungan BATAN, IAEA menawarkan pada BATAN untuk melakukan uji coba

metode kaji diri (*self-assessment*) penerapan budaya keamanan pada instalasi nuklir. BATAN menerima tawaran tersebut, yang merupakan kegiatan pertama kali yang dilakukan oleh IAEA dan melaksanakan kaji diri penerapan budaya keamanan nuklir di 3 fasilitas reaktor nuklir riset di BATAN pada tahun 2012 (Hermana et al., 2013). Kegiatan tersebut dilaksanakan dengan dukungan dari IAEA dan CITS. Hasil yang diperoleh, selain dimanfaatkan untuk mengevaluasi dan memperbaiki metode kaji diri, BATAN juga memanfaatkan IAEA untuk mengetahui status pemahaman dan penerapan budaya keamanan di ketiga instalasi pada khususnya dan BATAN pada umumnya.

Berbekal pengalaman dilakukannya kaji diri yang pertama tersebut, serta mempertimbangkan umpan balik dari berbagai mitra dalam keamanan nuklir, termasuk IAEA, pada tahun 2014, BATAN mendeklarasikan dibentuknya Center for Security Culture and Assessment (CSCA) (Purwanto, 2014). CSCA ini dibentuk dengan maksud menjadi *center of excellence* dalam promosi, pengembangan, dan kaji diri budaya keamanan nuklir. CSCA juga menjadi upaya dalam menginstitusionalisasikan keamanan nuklir di BATAN untuk menjadikan keamanan nuklir yang efektif dan berkelanjutan (Antariksawan et al., 2014). Melalui CSCA ini pula upaya kolaborasi dengan pemangku kepentingan dalam hal keamanan bahan nuklir dan radioaktif, dilakukan. Selain itu, dalam perkembangannya, kolaborasi juga dilakukan tidak hanya pada bidang keamanan nuklir, tetapi juga keamanan yang menyangkut penggunaan bahan kimia dan biologi yang dapat membahayakan masyarakat. Budaya keamanan nuklir serta metodologi kaji dirinya menjadi inspirasi pengembangan budaya keamanan yang berkaitan dengan bahan kimia dan biologi. CSCA juga telah dilibatkan dalam berbagai kampanye keamanan nuklir di tingkat regional ataupun internasional bersama mitra utamanya, CITS dan Department of States, Amerika Serikat (United States-Department of State, US-DoS). Kerja sama yang dibangun oleh CSCA, tidak hanya bagi pengguna bahan kimia dan biologi, tetapi juga kepada akademisi. Tujuannya agar kegiatan yang dilakukan mendapat sentuhan ilmiah. Sejumlah mahasiswa telah mengikuti program magang (*internship program*) selama 1 bulan, guna memahami keamanan nuklir dan

budaya keamanan nuklir, salah satu hasilnya telah dipublikasikan (Desviana et al., 2016).

Mengingat keselamatan dan keamanan harus sejalan dan upaya internalisasi harus dilakukan secara terus-menerus, secara rutin BATAN mengintegrasikan keduanya dalam acara sarasehan budaya keselamatan dan keamanan nuklir. Pertemuan secara rutin membahas keselamatan dan keamanan akan makin memaksimalkan interseksi keduanya dan pada saat yang sama dapat meminimalisir kontradiksi di antara keduanya (Gandhi & Kang, 2013).

Pada tahun 2015, BATAN kembali mengadakan kaji diri penerapan budaya keamanan nuklir. Pada kaji diri yang kedua ini, fokus ditekankan pada tiga fasilitas nuklir yang ada di Kawasan Nuklir Serpong, yaitu Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS), fasilitas bahan bakar nuklir, dan fasilitas pengolahan limbah. Kaji diri ini menggunakan metode IAEA yang telah disempurnakan, termasuk berdasarkan umpan balik dari kaji diri pertama yang dilakukan BATAN. Setelah itu, pada tahun 2018, dilakukan kaji diri yang ketiga dengan fokus pada fasilitas radiasi dan pengelolaan bahan radioaktif yang ada di Kawasan Nuklir Pasar Jumat, BATAN.

Sejalan dengan komitmen bahwa keamanan nuklir menjadi tanggung jawab setiap individu di BATAN, pegawai baru dalam masa orientasi mendapatkan sosialisasi tentang keamanan nuklir, termasuk di dalamnya hal yang menyangkut budaya keamanan nuklir. Hal ini bertujuan agar pegawai baru dapat mengenal keamanan nuklir, serta menumbuhkan keyakinan dan sikap bahwa ancaman itu nyata dan keamanan nuklir adalah penting.

## **E. Kaji Diri Budaya Keamanan Nuklir**

Seperi telah disinggung sebelumnya, untuk mengetahui bagaimana status penerapan budaya keamanan nuklir, BATAN telah melakukan tiga kali kaji diri penerapan budaya keamanan nuklir pada instalasi nuklir dan fasilitas radiasi. Keseluruhan kegiatan kaji diri tersebut menggunakan metode yang dikembangkan IAEA, bahkan kaji diri pertama dan kedua mendapatkan supervisi dari pakar IAEA dan

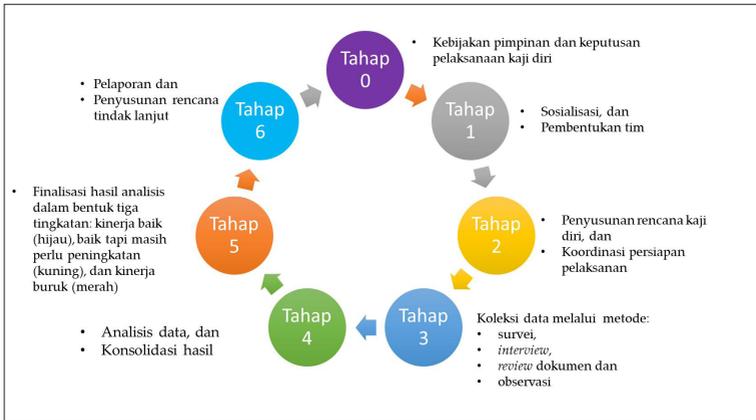
CITS-UGA. CSCA bertindak sebagai koordinator kegiatan kaji diri tersebut. Kaji diri seperti ini juga telah dilakukan oleh salah satu fasilitas PLTN di Bulgaria (Yankov, 2016) dan Korea Selatan (Yoo & Lee, 2015), fasilitas radiasi di salah satu rumah sakit di Malaysia (Khripunov, 2016), serta fasilitas radiologi lainnya (Alrammah & Aljouni, 2021). Kaji diri di beberapa negara tersebut tidak semuanya menggunakan metode IAEA, tetapi lebih banyak hanya berdasarkan survei.

Pada dasarnya, BATAN melakukan ketiga kaji diri tersebut berdasarkan tahapan dan metode dari IAEA (IAEA, 2017), meskipun pada kaji diri yang pertama, tidak sepenuhnya menggunakan metode IAEA yang pada saat tersebut masih dikembangkan. Tahapan dan metode kaji diri yang dimaksud, ditunjukkan pada Gambar 11.4. Setelah keputusan pelaksanaan kaji diri, terdapat 6 langkah lainnya, dari persiapan hingga pembuatan laporan. Untuk metode pengumpulan data, terdiri dari 4 cara, yaitu survei, wawancara, reviu dokumen, dan observasi terhadap penerapan di lapangan. Khusus untuk hasil survei, selain hasil kualitatif, kuantifikasi diberikan dalam rentang skor 1 hingga 7 dan hasil akhir dikelompokkan dalam kategori: kurang (zona merah, skor di bawah 4), baik tapi perlu perbaikan (zona kuning, skor antara 4 dan 5), dan baik (zona hijau, skor di atas 5 hingga 7).

Selain untuk mengevaluasi penerapan budaya keamanan, pelaksanaan kaji diri juga dapat berfungsi sebagai sarana pelatihan yang mirip dengan *on-the-job training*, baik bagi personel yang terlibat sebagai tim pengkaji maupun peserta survei dan interview. Berikut beberapa contoh mengapa pelaksanaan kaji diri dapat berfungsi sebagai sarana pelatihan mirip *on-the-job training* (Khripunov et al., 2016).

- 1) Saat penyusunan pernyataan untuk survei, tim akan mengeksplorasi kesesuaian indikator budaya keamanan yang tepat untuk organisasi tersebut. Dengan demikian anggota tim akan mencoba untuk memahami lebih baik budaya keamanan di organisasinya.
- 2) Pada saat mengikuti survei atau interview, saat membaca pernyataan dalam survei atau menjawab pertanyaan interview,

peserta akan “dipaksa” berpikir, memahami dan mengutarakan pandangan dan pengamatannya tentang keamanan berdasarkan apa yang diketahuinya sehingga peserta akan mengeksplorasi pengetahuannya



Sumber: IAEA (2017)

**Gambar 11.4** Tahapan dan Metode Kaji Diri

Ringkasan pelaksanaan ketiga kegiatan kaji diri diperlihatkan pada Tabel 11.3. Dalam tabel tersebut, diringkaskan beberapa informasi terkait pelaksanaan, yaitu waktu pelaksanaan, fasilitas yang menjadi objek kaji diri, metode pengumpulan data, jumlah dan komposisi tim pelaksana kaji diri, jumlah responssden survei dan wawancara, serta maksud pelaksanaan kaji diri. Selanjutnya, akan diuraikan hasil yang diperoleh pada kaji diri kedua (Antariksawan et al., 2018) karena menyangkut fasilitas nuklir riset penting di BATAN dan dilakukan dengan metode IAEA secara lengkap.

Dari keempat metode pengumpulan data, survei merupakan metode terpenting yang dijadikan dasar pelaksanaan pengumpulan data yang lain. Interview dilakukan berdasarkan hasil survei yang menunjukkan hasil cenderung negatif sehingga survei dimaksudkan untuk mendalami penyebabnya. Selain itu, survei juga dilakukan untuk mengelaborasi beberapa komentar yang dituliskan oleh responssden

Buku ini tidak diperjualbelikan

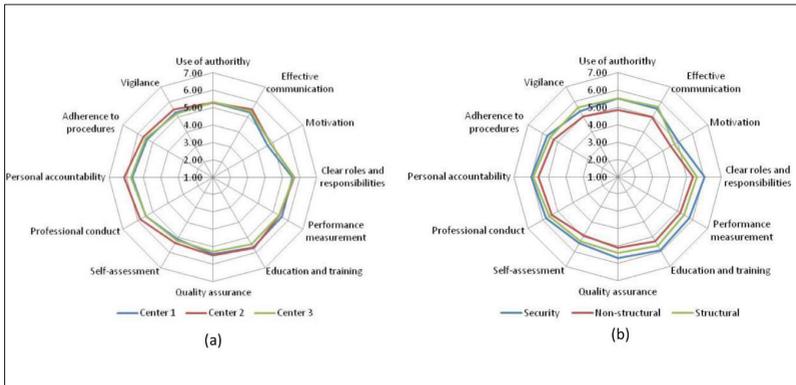
dalam survei. Perlu dicatat bahwa meskipun peserta pada kaji diri kedua lebih sedikit dari pada kaji diri pertama, komentar tertulis yang diperoleh pada kaji diri kedua lebih banyak, yaitu 35 berbanding 123 komentar. Hal ini menambah informasi bagi tim kaji diri untuk melakukan analisis hasil. Sementara itu, revidu dokumen dan observasi dimaksudkan untuk melihat apa yang terjadi di lapangan, baik dari segi dokumentasi tertulis maupun yang dilakukan individu yang terlibat langsung atau tak langsung yang berkaitan dengan keamanan. Keseluruhan ada 30 pernyataan survei yang menyangkut 12 elemen atau atribut budaya keamanan nuklir pada sistem manajemen, perilaku pimpinan, dan individu.

**Tabel 11.3** Ringkasan Kaji Diri Penerapan Budaya Keamanan Nuklir di BATAN

	Kaji Diri #1	Kaji Diri #2	Kaji Diri #3
Waktu	2012–2013	2015–2016	2018–2019
Fasilitas	RSG GAS, reaktor TRIGA Bandung, dan reaktor Kartini	RSG-GAS, fasilitas elemen bahan bakar nuklir, fasilitas limbah radioaktif	Kawasan Nuklir Pasar Jumat (fasilitas pengelola bahan radioaktif)
Metode	Survei dan interviu	Survei, interviu, revidu dokumen dan observasi, serta dengan validasi kuisioner survei	Survei, interviu, revidu dokumen dan observasi, serta dengan validasi kuisioner survei
Tim pengkaji	41 orang dengan latar belakang teknis	32 orang dengan latar belakang keahlian beragam	10 orang dengan latar belakang keahlian beragam
Responden	624 orang survei, 128 orang interviu	277 orang survei, 43 interviu	359 orang survei, 60 orang interviu
Maksud	Uji coba metode IAEA dan memperoleh data baseline	Mengetahui penerapan budaya keamanan nuklir di 3 fasilitas riset nuklir	Memperoleh gambaran penerapan budaya keamanan di Kawasan Nuklir Pasar Jumat

Dari semua hasil survei yang terkumpul, tidak ada satu elemen pun yang jatuh pada zona merah, hanya ada satu di zona kuning, dan yang lainnya masuk ke zona hijau dengan skor rerata 5,25. Satu atribut yang masuk ke zona kuning menyangkut perilaku pimpinan, yaitu motivasi. Berdasarkan komentar tertulis dan interviu hal tersebut, terkonfirmasi bahwa mayoritas responssden mengharapkan pimpinan/manajernya lebih banyak waktu untuk memotivasi personel. Hal ini agar senantiasa peduli dengan keamanan serta selalu waspada dengan setiap ancaman (luar dan dalam), termasuk memberikan sistem penghargaan bagi yang berkinerja baik dalam hal keamanan. Pentingnya dorongan motivasi dari manajer ini juga ditemui dari kesimpulan hasil survei budaya keamanan nuklir yang dilakukan oleh Yoo dan Lee (2015).

Di samping itu hasil survei juga dapat digunakan untuk mempelajari perbedaan pandangan responssden terhadap penerapan budaya di tiga fasilitas nuklir dan perbedaan pandangan latar belakang responssden: petugas pengamanan, personel yang memegang jabatan struktural, dan personel pejabat fungsional. Terkait dengan hasil, jika dikaitkan dengan responssden dari ketiga fasilitas nuklir, Gambar 11.5(a) memperlihatkan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti. Hasil tersebut memperlihatkan kecenderungan umum hasil keseluruhan. Di sisi lain, terkait perbedaan jabatan responssden, hasil survei memperlihatkan penilaian para pejabat fungsional lebih rendah di semua atribut budaya keamanan nuklir dari pada penilaian dari petugas pengamanan ataupun pejabat struktural (lihat Gambar 11.5 (b)). Pendalaman lebih lanjut dari komentar tertulis dan interviu menunjukkan masih adanya pemahaman bahwa keamanan hanya menjadi tanggung jawab petugas pengamanan. Bahkan, ada responssden yang belum pernah mengikuti sosialisasi tentang keamanan nuklir.



Keterangan: (a) tiga fasilitas nuklir dan (b) jabatan responsden

Sumber: Antariksawan et al., (2018)

**Gambar 11.5** Hasil Survei Kaji Diri Penerapan Budaya Keamanan Nuklir Kedua di BATAN

Sesuai dengan tujuan kaji diri budaya keamanan nuklir—bukan hanya sekadar kuantifikasi hasil survei, tapi lebih penting dari itu—, yaitu mengetahui elemen atau atribut budaya keamanan apa yang masih lemah dan perlu perbaikan maka beberapa hasil kaji diri di atas telah menjadi umpan balik bagi pimpinan dan manajer di BATAN untuk perbaikan kebijakan. Salah satu yang diterapkan adalah mengintegrasikan materi keamanan nuklir pada kegiatan lokakarya dan sarasehan keselamatan serta menjadikan salah satu materi pada orientasi pegawai baru. Pengintegrasian keselamatan dan keamanan juga penting dari sudut pandang bahwa keduanya, bersama dengan garda aman (safeguard) adalah tiga pilar seluruh aktivitas nuklir dan tidak ada dikotomi, meski ada beberapa perbedaan karakteristik di antara keduanya.

## F. Penutup

Faktor manusia menjadi faktor penting dalam keamanan nuklir, selain prosedur dan teknologi. Dalam hal ini, faktor manusia dipengaruhi oleh budaya yang dibentuk dari keyakinan, nilai, sikap, dan perilaku setiap individu serta organisasi yang berperan membentuk lingkungan

dan sistem budaya dalam setiap kebijakan dan aktivitasnya. Dalam konteks ini, budaya keamanan nuklir perlu ditumbuhkembangkan untuk membentuk keamanan nuklir yang efektif sehingga mampu melindungi masyarakat dan lingkungan dari bahaya akibat penggunaan bahan nuklir dan radioaktif.

BATAN yang selama ini menjadi badan pelaksana ketenaganukliran yang meliputi riset dan fungsi ketenaganukliran lainnya (sebelum berintegrasi ke dalam BRIN), telah menetapkan kebijakan keamanan nuklir. Salah satu komitmennya adalah menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir, diantaranya melalui sosialisasi dan sarasehan dengan seluruh pegawai secara rutin. Prinsip organisasi juga telah menetapkan keamanan nuklir sebagai salah satu landasan dalam seluruh manajemen kegiatannya. BATAN juga telah menetapkan standar untuk sistem manajemen keamanan. Sebagai bagian dari proses manajemen, kaji diri budaya keamanan nuklir telah dilakukan di BATAN untuk menilai penerapan keamanan nuklir. Selain menjadi pionir dalam penerapan kaji diri budaya keamanan, hasil kaji diri tersebut juga telah menjadi umpan balik bagi IAEA dalam mengembangkan metodologi kaji diri dan umpan balik untuk pimpinan dan manajer BATAN dalam memperkuat budaya keamanan dan meningkatkan efektivitas sistem keamanan nuklir.

BRIN yang saat ini berperan sebagai badan pelaksana ketenaganukliran harus tetap melanjutkan internalisasi dan penumbuhkembangan budaya keamanan nuklir karena budaya tidak dapat tumbuh dalam waktu singkat. Terlebih lagi, dengan lebih banyak pegawai baru yang bergabung dengan BRIN dari berbagai latar belakang, pemahaman, dan pengetahuan tentang keamanan nuklir yang beragam, upaya sosialisasi budaya keamanan nuklir harus dilanjutkan. Demikian pula halnya dengan kaji diri budaya keamanan nuklir, perlu dilakukan dalam periode tertentu untuk mengetahui sejauh mana efektivitas internalisasi dan penerapan keamanan nuklir, khususnya di semua fasilitas nuklir. CSCA yang telah menjadi salah satu model sekaligus rujukan oleh berbagai negara, termasuk IAEA, untuk pengembangan budaya keamanan nuklir juga sangat baik untuk dilanjutkan bahkan dikembangkan.

## Daftar Referensi

- Alammah, I., & Ajlouni, A-W. (2021). A framework and a survey analysis on nuclear security culture at various radiological facilities. *Annals of Nuclear Energy*, 158, Artikel e108924. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2021.108294>
- Antariksawan, A. R., Khripunov, I., Khairul, K., & Ebel, P. (2014). *Sustainable nuclear security culture through a multi-disciplinary and multi-stakeholder approach: The case of Indonesia* [Presentasi Makalah]. Conference: Annual Meeting of Institute of Nuclear Material Management (INMM), Indian Wells, Amerika Serikat.
- Antariksawan, A. R., & Khairul. (2016). Nuclear security culture and self-assessment: BATAN's Experience. *International Journal on Nuclear Security*, 2(2). <https://doi.org/10.7290/v7qc01db>
- Antariksawan, A. R., & Juarsa, M. (2018). Keselamatan reaktor nuklir: Kecelakaan dasar desain dan kecelakaan parah. BATAN Press. <https://penerbit.brin.go.id/press/catalog/book/572>
- Antariksawan, A. R., Khairul, K., Umbara, H., Kristuti, E., & Purnomo, B. (2018). Conducting nuclear security culture self-assessments in nuclear research facilities using the IAEA methodology. *International Journal of Nuclear Security*, 4(1). <https://doi.org/10.7290/ijns040104>
- Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa. (t.t.). *Budaya. KBBI daring*. Diakses pada 26 April 2022, dari <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/budaya>
- Inventory of International Nonproliferation Organizations and Regimes. (t.t). *Convention on Physical Protection on Nuclear Material (CPPNM)*. Center for Nonproliferation Studies. [https://media.nti.org/documents/cppnm\\_7eHleau.pdf](https://media.nti.org/documents/cppnm_7eHleau.pdf)
- Desviana, A., T., Rahmawati, A., Yasmine, H., Khairul, K., Purnomo, A., B., Umbara, H., & Antariksawan, A. R. (2016). *Recommendations by the Universitas Gadjah Mada's interns for survey and interview improvements from the 2nd batch of the self-assessment for security culture in Badan Tenaga Nuklir Nasional, Indonesia* [Presentasi Makalah]. Conference: Annual Meeting of Institute of Nuclear Material Management (INMM), Indian Wells, Amerika Serikat.
- Eguchi, N. (2016). *Efforts to enhance nuclear security culture in Japan* [Presentasi Makalah]. Second International Regulators Conference on Nuclear Security, Madrid, Spanyol.
- Gandhi, S., & Kang, J. (2013). Nuclear safety and nuclear security synergy. *Annals of Nuclear Energy*, 60, 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2013.05.002>

- Hermana, F., Khairul, K., Khripunov, I., & Nikonov, D. (2013, 1–5 Juli). *Nuclear security culture in practice* [Presentasi Makalah]. International Conference on Nuclear Security: Enhancing Global Efforts, Wina, Austria.
- International Atomic Energy Agency. (1991). Safety Culture. *Safety Series No. 75-INSAG-4*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub882\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub882_web.pdf)
- International Atomic Energy Agency. (2004). Code of conduct on the safety and security of radioactive sources. *Non-serial Publications IAEA/CODEOC/2004*. <https://www.iaea.org/publications/6956/code-of-conduct-on-the-safety-and-security-of-radioactive-sources>
- International Atomic Energy Agency. (2006). Amendment to the convention on the physical protection of nuclear material. *IAEA International Law Series No. 2*. <https://www.iaea.org/publications/7598/amendment-to-the-convention-on-the-physical-protection-of-nuclear-material>
- International Atomic Energy Agency. (2008). Nuclear security culture: Implementing guide. *IAEA Nuclear Security Series No. 7*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1347\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1347_web.pdf)
- International Atomic Energy Agency. (2013). Objective and essential elements of a state's nuclear security regime. *IAEA Nuclear Security Series No. 20*. <https://www.iaea.org/publications/10353/objective-and-essential-elements-of-a-states-nuclear-security-regime>
- International Atomic Energy Agency. (2017). Self-assessment of nuclear security culture in facilities and activities. *IAEA Nuclear Security Series No. 28-T*. <https://iaea.org/publications/10983/self-assessment-of-nuclear-security-culture-in-facilities-and-activities>
- Department of Energy and Climate Change, & The National Skills Academy Nuclear. (2013). Key attributes of an excellent nuclear security culture. (2013). *Nuclear Industry Safety Directors' Forum*, (1). [https://www.nuclearinst.com/write/MediaUploads/SDF%20documents/Security/Key\\_attributes\\_of\\_an\\_excellent\\_Nuclear\\_Security\\_Culture.pdf?msclid=ab0b7314d01f11ec8781348af7aca2c3](https://www.nuclearinst.com/write/MediaUploads/SDF%20documents/Security/Key_attributes_of_an_excellent_Nuclear_Security_Culture.pdf?msclid=ab0b7314d01f11ec8781348af7aca2c3)
- Khripunov, I., Kutchesfahani, S., Z., & Khairul, K. (2016). Security culture and its self-assessment as supplementary tools for nuclear security training. *International Journal of Nuclear Security*, 2(1). <https://doi.org/10.7290/v79884xk>
- Khripunov, I. (2016). Nuclear security culture: From concept to practice. Dalam B. Volders, & T. Sauer (Ed.), *Nuclear Terrorism* (197–214). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/>

- edit/10.4324/9781315679778-11/nuclear-security-culture-igor-khripunov
- Miller, J., Shaffer, M., & Hammond, D. (2020, 10–14 Februari). *A revised model for nuclear security culture* [Presentasi Makalah]. International Conference on Nuclear Security 2020, Wina, Austria.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 46 Tahun 2009 tentang Pengesahan *Amendment to the Convention on Physical Protection of Nuclear Material* (Perubahan Konvensi Proteksi Fisik Bahan Nuklir). (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-presiden-nomor-46-tahun-2009-tentang-pengesahan-amendment-to-the-convention-on-the-physical-protection-of-nuclear-material-perubahan-konvensi-proteksi-fisik-bahan-nuklir>
- Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/178084/perpres-no-78-tahun-2021>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-1-tahun-2009-tentang-ketentuan-sistem-proteksi-fisik-instalasi-dan-bahan-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 153/KA/VII/2010 tentang Pedoman Persyaratan Sistem Manajemen Keamanan. (2010)
- Purwanto, H. (2014, 29 September). Indonesia launches center to promote nuclear security culture. *Antara Indonesia News Agency*. <https://en.antaranews.com/news/95877/indonesia-launches-center-to-promote-nuclear-security-culture>
- Schein, E.H. (2004). *Organizational Culture and Leadership*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc.
- The Hague. (2014, 25 Maret). The hague nuclear security summit communiqué. <https://2009-2017.state.gov/documents/organization/237002.pdf>.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. (1997). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/undang-undang-republik-indonesia-nomor-10-tahun-1997-tentang-ketenaganukliran>

- Yankov, V. (2016). Return on Investment of conducting a security culture self-assessment. Dalam *1540 Compass, Issue 10*(22–26). The Center for International Trade & Security, University of Georgia in cooperation with the United Nations Office for Disarmament Affairs
- Yoo, H., & Lee, J. H. (2015). Results of nuclear security culture survey on personnel at nuclear power plants. *Annals of Nuclear Energy*, 85, 398–402. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2015.05.001>
- Zhang, H. (2014). *Enhancing security culture in China* [Presentasi Makalah]. The 14th PIIC Beijing Seminar on International Security: Strategic Stability and Cooperation, Hangzhou, China.



## BAB XII

# Sistem Manajemen Keamanan Nuklir: Untuk Menjaga Konsistensi, Kinerja dan Keberlanjutan Sistem Proteksi Fisik

A. Bayu Purnomo

---

## A. Pendahuluan

Setelah kejadian penyerangan menara World Trade Center (WTC) di Amerika Serikat pada 11 September 2001 (dikenal juga sebagai kejadian 9/11), perhatian dunia terhadap keamanan global makin meningkat, tidak terkecuali terkait dengan keamanan nuklir. Dalam konteks ini, keamanan terhadap bahan nuklir serta fasilitas nuklir menjadi perhatian karena risiko yang dapat ditimbulkan fatal jika dikuasai oleh pihak yang tidak bertanggung jawab dan digunakan untuk suatu tindak kejahatan (*malicious act*). Dalam lingkup ketenaganukliran, Indonesia sudah sejak akhir tahun 1950-an mengembangkan pemanfaatan teknologi nuklir di berbagai bidang dan memiliki berbagai fasilitas nuklir serta bahan nuklir yang sebagian besar dikelola oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Sejalan dengan pengembangan

---

A. Bayu Purnomo\*

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: agus051@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Purnomo, A. B. (2024). Sistem Manajemen Keamanan Nuklir: Untuk Menjaga Konsistensi, Kinerja dan Keberlanjutan Sistem Proteksi Fisik. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (305–327). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760. c1000, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

pemanfaatan teknologi nuklir tersebut, BATAN membentuk satuan pengamanan nuklir yang bertugas menjaga keamanan bahan nuklir dan fasilitas nuklir selain ketertiban umum dalam kawasan nuklir. Dari kejadian 9/11 tersebut dan kecenderungan perubahan ancaman keamanan global maka perhatian terhadap pengamanan nuklir di Indonesia dan BATAN pun makin meningkat. Berbagai persyaratan mengenai sistem pengamanan yang berstandar internasional mulai dikaji dan diterapkan, khususnya persyaratan keamanan instalasi nuklir yang diterbitkan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA). Persyaratan keamanan dari IAEA tersebut banyak yang kemudian diadopsi oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai regulator tenaga nuklir di Indonesia. Salah satu persyaratan tersebut adalah pengembangan sistem manajemen keamanan nuklir.

Sebelum tahun 2000-an, istilah sistem manajemen kurang begitu dikenal di BATAN karena istilah jaminan kualitas atau jaminan mutu (*quality assurance*) lebih dulu dikenal dan diterapkan, berkaitan dengan persyaratan badan regulasi. Popularitas ISO 9001 mendorong beberapa unit kerja selain fasilitas nuklir di BATAN untuk mengimplementasikan sistem manajemen mutu, sejak awal tahun 2000-an. Di sisi lain, fasilitas nuklir tetap memakai istilah jaminan mutu karena mengikuti persyaratan IAEA dan BAPETEN. Namun karena setiap fasilitas nuklir memiliki status sebagai Pemegang Izin (PI) tersendiri, penerapan jaminan mutu diselenggarakan secara terpisah-pisah antarfasilitas. Demikian juga dengan penyelenggaraan pengamanan nuklir, yang dilakukan oleh masing-masing fasilitas secara independen. Akibatnya, timbul perbedaan dalam hal kompetensi personel, peralatan pengamanan yang digunakan, ataupun prosedur keamanan pada masing-masing instalasi. Pelaksanaan sistem pengamanan yang bersifat parsial dan perbedaan implementasi tersebut, pada gilirannya menimbulkan inefisiensi organisasi dalam bentuk proses kegiatan yang saling tumpang tindih dan redundan (Merdisyam, 2006). Lebih jauh, Merdisyam (2006) berpendapat bahwa sistem pengamanan di instalasi nuklir sebaiknya juga memperhatikan dan berpedoman pada Pedoman Sistem Pengamanan Objek Vital Nasional (obvitnas). Dalam kaitan ini, perlu dicatat bahwa fasilitas nuklir merupakan kawasan,

bangunan, atau kegiatan yang berpengaruh pada keselamatan masyarakat luas. Dengan demikian, fasilitas nuklir tercakup dalam definisi obvitnas sesuai yang tercantum pada Keputusan Presiden (Keppres) tentang Pengamanan Objek Vital Nasional (Keppres No. 63, 2004), yaitu bahwa “ancaman dan gangguan terhadapnya mengakibatkan bencana terhadap kemanusiaan dan pembangunan.” Setelah terbitnya Keppres tersebut, Menteri Riset dan Teknologi menetapkan Kawasan Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Puspiptek) sebagai obvitnas, yang mencakup instalasi nuklir di dalamnya (Kepmenristek No. 112, 2004). Selanjutnya, BATAN juga menetapkan kawasan instalasi yang menyelenggarakan kegiatan nuklir sebagai obvitnas (Perka BATAN No. 174, 2015).

Perlu pula dicatat bahwa hingga tahun 2006, IAEA menggunakan istilah jaminan mutu (*quality assurance*) yang berfokus pada aspek keselamatan nuklir, tetapi tidak mencakup secara spesifik persyaratan keamanan. Setelah itu, pada tahun 2006, IAEA menerbitkan dokumen yang mengganti istilah jaminan mutu menjadi sistem manajemen (*management system*) (IAEA, 2006b). Perubahan ini dipicu oleh penggunaan istilah sistem manajemen mutu pada ISO 9001 di awal tahun 2000-an. Perubahan ini tidak terbatas pada nomenklatur saja, tetapi juga pada unsur-unsur yang tercakup dalam sistem manajemen; tidak hanya mutu, tetapi juga ditambahkan aspek keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, dan ekonomi. Hal ini menunjukkan bahwa IAEA menuntut perubahan penerapan sistem manajemen menjadi lebih menyeluruh pada berbagai aspek organisasi.

Dari aspek peraturan nasional, pada saat yang hampir bersamaan muncul persyaratan dari BAPETEN agar setiap Pengusaha Instalasi Nuklir (PIN) menerapkan suatu sistem manajemen untuk memastikan bahwa semua persyaratan proteksi fisik (pengamanan nuklir) diterapkan (Perka BAPETEN No. 1, 2009). Peraturan ini tidak secara spesifik menguraikan isi dari sistem manajemen yang dimaksud sehingga PIN dapat memilih sistem manajemen yang sesuai. Secara hampir bersamaan, *International Organization for Standardization* (ISO) juga menerbitkan standar ISO 28000:2007 terkait dengan keamanan

yang kemudian diadopsi oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI) (BSN, 2009). Dengan terbitnya dokumen ini, pimpinan BATAN mengambil kebijakan untuk mengadopsi standar tersebut menjadi Sistem Manajemen Keamanan (SMKam) Nuklir di BATAN melalui Peraturan Kepala (Perka) BATAN (Perka BATAN No. 153, 2010).

## B. Tujuan Sistem Manajemen Keamanan Nuklir

Dalam suatu fasilitas atau kegiatan yang berkaitan dengan ketenaganukliran, aspek kegiatan yang berdampak pada keamanan adalah aspek keuangan, manajemen informasi, produksi radioisotop dan bahan nuklir, pengoperasian fasilitas nuklir, serta penyimpanan dan pengangkutan bahan nuklir dan sumber radioaktif. Sistem manajemen keamanan nuklir bertujuan mengelola seluruh aspek kegiatan ini dengan mewujudkan suatu kerangka kerja untuk mengidentifikasi ancaman keamanan dari setiap kegiatan, menilai risiko setiap aspek, dan mengendalikan serta mengurangi akibat dari ancaman tersebut. Sistem manajemen keamanan nuklir juga bertujuan untuk menjamin keselarasan sistem keamanan dengan kebijakan manajemen secara keseluruhan serta untuk memperagakan kesesuaian penerapan standar sistem manajemen kepada pihak-pihak lain yang berkepentingan. Dengan menerapkan sistem manajemen keamanan tersebut, suatu organisasi akan mampu menjamin konsistensi, kinerja, dan keberlanjutan sistem proteksi fisik (SPF), sekaligus memenuhi persyaratan badan regulasi.

## C. Kerangka Kerja dengan Siklus PDCA

Kerangka kerja penerapan suatu sistem manajemen keamanan nuklir didasarkan pada siklus manajemen pada umumnya, yaitu *plan-do-check-act* (PDCA), atau rencanakan-lakukan-periksa-tindaki sehingga keamanan nuklir akan mencapai peningkatan berkelanjutan yang memperhatikan keseimbangan berbagai aspek di dalam organisasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.1. Dasar agar siklus PDCA berjalan baik adalah dengan adanya kebijakan keamanan yang ditetapkan oleh pimpinan organisasi.



Sumber: Perka BATAN No. 153 (2010)

**Gambar 12.1** Kerangka Kerja Peningkatan Berkelanjutan dengan Siklus PDCA

Kerangka kerja SMKam berdasarkan PDCA dijelaskan sebagai berikut.

### 1. *Plan*

Organisasi menetapkan kebijakan, tujuan, sasaran, kendali, proses, dan prosedur keamanan yang bertujuan meningkatkan keamanan sehingga organisasi mampu menghasilkan produk yang selaras dengan kebijakan dan sasaran organisasi secara keseluruhan. Salah satu bentuk perencanaan ini adalah program keamanan nuklir, termasuk rencana proteksi fisik, yang harus diterapkan dan ditinjau secara berkala agar selalu sesuai dengan tujuan organisasi.

Butir-butir dalam sistem manajemen keamanan terkait perencanaan, antara lain,

- 1) penilaian risiko,
- 2) tinjauan terhadap peraturan perundang-undangan,
- 3) sasaran dan target keamanan, dan
- 4) program manajemen keamanan.

Terkait dengan penilaian risiko keamanan nuklir, BATAN telah menetapkan dokumen Standar Penilaian Risiko Keamanan Nuklir

Buku ini tidak diperjualbelikan

(BATAN, 2016) yang menjadi acuan bagi seluruh kawasan nuklir di BATAN agar melakukan penilaian risiko secara seragam.

## **2. Do**

Organisasi menerapkan dan mengoperasionalkan kebijakan, kendali, proses dan prosedur keamanan. Butir-butir dalam sistem manajemen keamanan yang terkait penerapan dan operasi, yaitu

- 1) penetapan tanggung jawab dan kompetensi;
- 2) komunikasi;
- 3) dokumentasi;
- 4) pengendalian operasi; serta
- 5) kesiapsiagaan, tanggap darurat dan pemulihan keamanan.

Komunikasi antara personel pengamanan dengan setiap pengelola fasilitas nuklir, seluruh operator, serta periset yang berkaitan dengan bahan nuklir dan fasilitas nuklir, sangat penting agar dapat mengetahui setiap potensi ancaman yang mungkin timbul. Hal ini terkait juga dengan rencana proteksi fisik yang harus disiapkan oleh satuan pengamanan. Komunikasi dengan pihak eksternal, khususnya dengan pihak kepolisian setempat juga sangat diperlukan. Hal ini juga menyangkut pada kesiapsiagaan dan tanggap darurat (*emergency preparedness and responssses*) yang secara internal, di setiap kawasan nuklir di BATAN, dilakukan oleh tim penanggulangan kedaruratan nuklir, seperti yang disiapkan di Kawasan Nuklir Serpong (Perka BATAN No. 184, 2012)

## **3. Check**

Organisasi memantau dan mengkaji kinerja keamanan, melaporkannya kepada manajemen untuk ditinjau ulang, dan menentukan serta mengesahkan tindakan untuk memulihkan ataupun memperbaiki kinerja organisasi. Butir-butir dalam sistem manajemen keamanan terkait pengecekan, yaitu

- 1) pengukuran dan pemantauan;
- 2) evaluasi sistem;
- 3) ketidaksesuaian, tindakan perbaikan, dan pencegahan;

- 4) pengendalian rekaman; dan
- 5) audit.

Pemeriksaan terhadap kinerja sistem keamanan tidak hanya dilakukan secara internal, tetapi juga eksternal yang dilakukan oleh BAPETEN, bahkan khusus mengenai SPF juga dilakukan oleh IAEA.

#### **4. Act**

Organisasi mempertahankan dan meningkatkan sistem manajemen keamanan dengan cara mengambil tindakan perbaikan berdasarkan hasil tinjau ulang sistem manajemen dan/atau hasil inpeksi badan pengawas. Lalu, menyelaraskan lingkup sistem manajemen keamanan beserta kebijakan dan sarannya.

### **D. Pendekatan dalam Penerapan Sistem Manajemen Keamanan**

Untuk menerapkan SMKam, organisasi dapat melakukan dua pendekatan, yaitu (1) pendekatan dari sisi regulasi dan standar, atau (2) pendekatan dari sisi integratif dengan sistem manajemen yang sudah ada di organisasi tersebut. Pendekatan yang kedua ini membutuhkan prasyarat bahwa organisasi telah menerapkan atau tersertifikasi terhadap suatu sistem manajemen terlebih dahulu sehingga sistem manajemen keamanan nuklir dapat diintegrasikan ke dalamnya.

#### **1. Pendekatan Persyaratan Regulasi dan Standar**

Dengan beragamnya tujuan sistem manajemen keamanan nuklir, organisasi perlu melakukan pendekatan implementasi yang sesuai. Salah satunya adalah implementasi dari sisi persyaratan regulasi dan/atau standar. Salah satu sistem manajemen keamanan yang ada di Indonesia adalah sistem manajemen pengamanan (SMP) yang ditetapkan oleh Kepolisian Republik Indonesia (Polri) (Perka Polri No. 24, 2007). Jika suatu organisasi menerapkan SMP ini, kesesuaian penerapannya akan diaudit oleh Kepala Biro Bimbingan Masyarakat Polda setempat atas nama Kepala Polri. Di dalam SMP, terdapat 16 elemen yang bila dibandingkan dengan elemen-elemen dalam standar

ISO 28000 memiliki keselarasan yang baik. Standar internasional ISO 28000 adalah standar tentang spesifikasi sistem manajemen keamanan pada rantai pasokan, yang dapat diterapkan baik pada industri manufaktur, jasa, pergudangan maupun pengangkutan dari yang berskala kecil, besar, hingga organisasi berskala multinasional.

Elemen-elemen yang berkesesuaian dalam SMP ataupun ISO 28000 adalah sebagai berikut:

- 1) pemeliharaan dan pembangunan komitmen;
- 2) pemenuhan aspek peraturan perundang-undangan keamanan;
- 3) manajemen risiko pengamanan;
- 4) tujuan dan sasaran;
- 5) perencanaan dan program;
- 6) pelatihan, kepedulian, dan kompetensi pengamanan;
- 7) konsultasi, komunikasi, dan partisipasi;
- 8) pengendalian dokumen dan catatan;
- 9) penanganan keadaan darurat;
- 10) pengendalian proses dan infrastruktur;
- 11) pemantauan dan pengukuran kinerja;
- 12) pelaporan, perbaikan, dan pencegahan ketidaksesuaian;
- 13) pengumpulan dan penggunaan data;
- 14) audit;
- 15) kaji ulang manajemen; dan
- 16) peningkatan berkelanjutan.

Walaupun selaras dengan standar internasional, pada praktek penerapannya SMP harus mengikuti arahan dari Polri. Hal ini terungkap dari beberapa pertemuan dengan pihak Polri yang memberikan saran dan masukan berdasarkan pengalaman implementasi SMP di beberapa perusahaan pengamanan. Kajian lebih lanjut terkait rencana penerapan SMP di BATAN dalam *focus group discussion* (FGD) menyimpulkan bahwa sistem manajemen tersebut tidak cukup fleksibel untuk diterapkan di lembaga penelitian karena memang diarahkan untuk penerapan pada perusahaan pengamanan dan sejenisnya.

Pada kurun waktu yang sama, terbit regulasi lain yang berkaitan dengan implementasi sistem manajemen keamanan, yaitu peraturan

terkait SPF dalam rangka perizinan instalasi nuklir (Perka BAPETEN No 1, 2009). Dalam peraturan tersebut, setiap PIN diwajibkan untuk menerapkan suatu SPF. Lebih jauh lagi, diatur bahwa untuk memastikan pelaksanaan sistem proteksi fisik pada suatu instalasi nuklir, organisasi harus menerapkan suatu sistem manajemen. Oleh karena itu, di BATAN dilakukan kajian terhadap implementasi peraturan tersebut, segera setelah terbit.

Peraturan yang diterbitkan oleh BAPETEN menganut sistem *performance based* daripada *prescriptive based*. Hal ini berarti BAPETEN tidak membuat peraturan terlalu detail tentang implementasi sesuatu hal, tetapi lebih menekankan pada hasil atau kinerja yang terukur dari implementasi tersebut. Demikian juga untuk peraturan tentang SPF, secara khusus mengenai sistem manajemen keamanan nuklir yang dimaksud tidak mencantumkan persyaratan-persyaratan secara lebih detail. Dari kajian tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa BATAN harus memilih suatu sistem manajemen keamanan yang berlaku secara internasional, tetapi juga dapat diberlakukan secara nasional ataupun di lingkup instansi atau fasilitas.

Agar memenuhi dua regulasi tersebut, yaitu regulasi dari Polri dan regulasi dari BAPETEN, BATAN memutuskan untuk menerapkan standar internasional ISO 28000. Secara kebetulan, pada waktu yang bersamaan di tahun 2009, standar tersebut diadopsi oleh BSN menjadi Standar Nasional Indonesia (BSN, 2009). Lebih jauh, BATAN mengambil keputusan untuk mengadopsi standar nasional tersebut dengan modifikasi sebagian menjadi SMKam BATAN (Perka BATAN No. 153, 2010). Modifikasi terhadap standar nasional ini dimaksudkan agar lebih sesuai dan fleksibel dengan kondisi organisasi BATAN. Sejak saat itu, secara resmi BATAN mengadopsi standar internasional ISO 28000:2007 menjadi standar Sistem Manajemen Keamanan atau SMKam.

## **2. Pendekatan Penerapan Persyaratan secara Terintegrasi**

Penerapan sistem manajemen secara terintegrasi ditetapkan BATAN sejak 2012 dalam bentuk Sistem Manajemen BATAN (SMB) (Perka

BATAN No. 171, 2012). Hal ini salah satunya dipicu oleh peraturan yang terkait dengan perizinan instalasi nuklir dari BAPETEN tahun 2010, yang mewajibkan PIN untuk menerapkan Sistem Manajemen Fasilitas Dan Kegiatan (SMFK) pemanfaatan tenaga nuklir secara terintegrasi (Perka BAPETEN No. 4, 2010). Elemen-elemen yang diintegrasikan oleh SMB mencakup mutu, keselamatan, kesehatan, lingkungan, keamanan, dan ekonomi. Namun, pada saat itu, standar BATAN tentang SMKam masih diterapkan secara tersendiri oleh satuan kerja sehingga dinyatakan tetap berlaku. Klausul SMB yang lebih umum dibandingkan SMKam yang lebih detil menjadi alasan lain SMKam tetap diterapkan secara terpisah dari SMB.

Secara internasional, masyarakat industri juga mengalami kondisi yang sama, yakni menerapkan berbagai standar sistem manajemen dalam satu organisasi. Namun, hal ini menimbulkan kebingungan dan ketidakefisienan dalam kegiatan bisnis organisasi. Oleh karena itu, ISO menangkap dan menangani permasalahan ini dengan menerbitkan Annex SL yang berisi konsep struktur tingkat tinggi (*high level structure*, HLS) pada setiap standar sistem manajemen (ISO, 2021). Dengan tujuan mencapai konsistensi dan keselarasan berbagai standar sistem manajemen, HLS mewujudkan struktur dokumentasi yang seragam, dengan kerangka naskah yang identik, serta istilah dan definisi yang sama sehingga setiap standar sistem manajemen dapat selaras dan kompatibel. Tindak lanjut dari terbitnya Annex SL adalah dilakukannya revisi atas berbagai standar sistem manajemen. Unsur-unsur pokok yang tercakup dalam HLS dijelaskan sebagai berikut.

a. Pemikiran berbasis risiko

Setiap kegiatan organisasi pasti mengandung risiko, yaitu efek dari ketidakpastian personel, bahan, proses, dan lingkungan terhadap pencapaian sasaran organisasi. Pemikiran berbasis risiko mengenal tiga tahap penanganan, mulai dari identifikasi risiko, analisis risiko, hingga penanganan risiko. Risiko dapat berupa ancaman ataupun peluang, dan harus diidentifikasi penyebab dan sumbernya. Analisis risiko diterapkan pada semua persyaratan normatif. Persyaratan normatif ini adalah bagian dari

standar yang dinyatakan secara eksplisit harus dipenuhi tanpa pengecualian. Persyaratan yang pada umumnya dikenal dengan “tindakan pencegahan” dimasukkan ke dalam tahap perencanaan penanganan risiko. Dalam bidang keamanan, unsur ini sangat kuat, tecermin pada tahapan fungsi SPF, yaitu *deter-detect-delay-responsse* (tangkal-deteksi-tunda-responsss). Sementara itu, dalam bidang keselamatan, unsur ini lebih dikenal dengan tahapan HIRADC (*hazard identification, risk analysis, determine control*).

b. Konteks organisasi

Pengetahuan tentang konteks internal dan eksternal organisasi, serta kebutuhan dari pihak yang berkepentingan, mengarah ke perbaikan lebih menyeluruh atas penerapan sistem manajemen. Hal ini juga membantu organisasi untuk menganalisis dan menyediakan faktor-faktor kritis (internal dan eksternal) yang dapat memengaruhi kemampuan organisasi untuk mencapai hasil yang diinginkan. Contoh metode untuk mengenali faktor internal dan eksternal adalah analisis SWOT (*strength-weakness-opportunity-threat*). Dalam analisis SWOT, kekuatan dan kelemahan berasal dari faktor internal organisasi, sedangkan peluang dan ancaman berasal dari faktor eksternal organisasi. Pemahaman tentang konteks organisasi ini sangat penting untuk menerapkan pemikiran berbasis risiko karena analisis tentang peluang dan ancaman merupakan langkah awal bagi organisasi untuk mengidentifikasi risiko. Karena faktor internal dan eksternal selalu berubah, demikian juga dengan risikonya, konteks organisasi harus selalu diperbarui.

c. Kepemimpinan

Pemimpin merupakan unsur sentral dalam menggerakkan sistem manajemen secara efektif. Manajemen puncak harus menunjukkan kepemimpinan (*leadership*) dan komitmen agar penerapan sistem manajemen menjadi terintegrasi dalam proses manajemen strategik organisasi. Manajemen puncak harus mendorong perilaku pegawai dan membentuk karakter organisasi sehingga

dapat mencapai budaya organisasi yang kuat, termasuk budaya keamanan.

d. Perencanaan

Perencanaan organisasi harus memperhatikan secara saksama kondisi internal dan eksternal organisasi yang dinamis dan selalu berubah sehingga memungkinkan organisasi untuk menangkap peluang yang disajikan dalam konteks organisasi secara sigap dan berkelanjutan. Selain itu, organisasi harus menganalisis risiko yang terkait dan mengintegrasikan upaya pencegahan dampak negatif sebagai bagian dalam perencanaan bisnis organisasi. Dengan kata lain, perencanaan harus menerapkan unsur pemikiran berbasis risiko.

e. Informasi terdokumentasi

Media penyimpanan informasi selalu berkembang, demikian juga dengan jenis dan jumlah informasi yang harus disimpan selalu bertambah. Organisasi dapat memilih cara yang paling sesuai untuk menyiapkan dan memelihara dokumentasi yang berkaitan dengan operasional organisasi. Informasi terdokumentasi harus dikelola sehingga berbagai aspek kegiatan organisasi termasuk pengambilan keputusan dapat dilakukan dan dikendalikan berbasis data.

f. Manajemen pengetahuan

Manajemen pengetahuan dan keterampilan personel menjadi persyaratan karena dianggap sebagai elemen pokok untuk mencapai tujuan organisasi. Unsur manajemen pengetahuan mencakup pengalaman operasional organisasi, yang dianggap sebagai aset yang harus dikelola. Jadi, aset pengetahuan ini berisi praktik terbaik (*best practices*) organisasi, keahlian para pegawai, dan dokumentasi penting lainnya.

Mengikuti pedoman HLS tersebut, ISO 28000:2007 telah direvisi pada Maret tahun 2022 sehingga struktur dan isinya seragam dengan sistem manajemen lainnya (ISO, 2022). Sejatinya, standar BATAN tentang SMKam yang mengacu pada ISO 28000:2007 pun harus

direvisi mengikuti versi terbaru sehingga SMKam revisi dapat selaras dan konsisten dengan sistem manajemen terintegrasi di BATAN. Namun, meski SMKam tidak mengikuti HLS, SMKam telah diselaraskan dengan ISO 14001:2005, artinya beberapa unsur pokok yang disebutkan sebelumnya, seperti unsur pemikiran berbasis risiko, telah dimasukkan. Demikian juga dengan unsur-unsur lain yang tercakup dalam HLS, sebenarnya telah tercantum sebagai persyaratan dalam SMKam, meskipun belum mengikuti struktur dan kerangka isi yang seharusnya.

Hal lain yang perlu dicatat adalah hingga tahun 2021, saat integrasi BATAN ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), SMKam belum terintegrasi sepenuhnya ke dalam SMB, meskipun telah disepakati dalam kaji ulang manajemen (KUM) BATAN pada tahun 2020. Perlu dicatat pula bahwa SMB edisi 2012 telah direvisi menjadi SMB edisi 2018, yaitu Peraturan BATAN Nomor 3 (2018) agar memenuhi persyaratan untuk sertifikasi sehingga SMB telah mendapat pengakuan atas penerapan standar sistem manajemen ISO 9001, OHSAS 18001, dan ISO 14001 secara terintegrasi (Gambar 12.2).



MSMB/KN 09 06/SMN 3  
SISTEM MANAJEMEN BATAN  
Manual



Sumber: Peraturan BATAN No. 3 (2018)

**Gambar 12.2** Manual SMB edisi 2018 yang telah mengintegrasikan ISO 9001, OHSAS 18001, dan ISO 14001.

## E. Pengalaman Implementasi

Perka BATAN tentang SMKam berisi persyaratan yang harus diterapkan oleh setiap satuan kerja yang memiliki unit pengamanan nuklir. Sejak diterbitkan pada tahun 2010, Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) BATAN melakukan sosialisasi dan bimbingan teknis secara terus-menerus tentang penerapan peraturan ini agar seluruh jajaran di satuan kerja memahami dan tergerak untuk mulai mengimplementasikannya. Selanjutnya, setiap satuan kerja terkait, mulai menyusun konsep implementasi SMKam dalam ruang lingkup satuan kerja dan kawasan nuklir. Keberhasilan implementasi SMKam pada satuan kerja dibuktikan dengan sertifikasi internal yang diberikan oleh Komisi Standardisasi BATAN (KSB) (Perka BATAN No. 158, 2008). Sebagai contoh, penerapan SMKam di Kawasan Nuklir Yogyakarta telah dimulai pada tahun 2015, dan mendapat sertifikasi SMKam dari KSB pada tahun 2018 (Munadi, 2018). Skema sertifikasi internal tersebut sangat dirasakan manfaatnya untuk menjaga keterlibatan dan motivasi seluruh pegawai juga pimpinan sehingga terbangun budaya keamanan nuklir yang merata. Pendapat senada diberikan oleh Prabandari (2018), bahwa SMKam nuklir sangat penting untuk menunjang perkembangan dan keberlanjutan SPF di seluruh fasilitas nuklir. Selain itu, implementasi SMKam juga diperkuat dengan peraturan tentang Gugus Keamanan Nuklir (Peraturan BATAN No. 13, 2016) karena Gugus Keamanan Nuklir tersebut yang menjadi pilar utama penerapan SMKam.

Dari pengalaman penerapan SMKam oleh masing-masing satuan kerja sejak 2015 hingga sekarang, terdapat beberapa unsur yang perlu diperkuat implementasinya di tingkat organisasi BRIN, yang akan diuraikan sebagai berikut.

### 1) Kebijakan Keamanan Nuklir

Kebijakan keamanan nuklir harus menunjukkan perhatian, komitmen, dan konsistensi pimpinan tertinggi dalam menerapkan dan mengembangkan keamanan nuklir serta menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir. Kebijakan Keamanan Nuklir BATAN yang ditetapkan tahun 2015 adalah sebagai berikut:

*“Badan Tenaga Nuklir Nasional menjamin keamanan terhadap kawasan kerja, instalasi dan bahan nuklir, sumber radioaktif, fasilitas, pegawai, pekerja, anggota masyarakat, kegiatan, dan informasi penting di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional dari setiap ancaman dan gangguan keamanan melalui penerapan sistem keamanan nuklir yang efektif, terpadu, dan menyeluruh sesuai peraturan perundang-undangan. Setiap pegawai Badan Tenaga Nuklir Nasional wajib mengupayakan tujuan keamanan nuklir, menerapkan, dan menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir sesuai tanggung jawab dan peran masing-masing”*

Dengan terbitnya kebijakan ini, semangat untuk menerapkan SMKam di seluruh jajaran manajemen makin terdorong karena SMKam merupakan kerangka kerja untuk menjalankan dan mewujudkan kebijakan tersebut. Mengacu pada pengalaman tersebut, pembaruan pernyataan kebijakan ini dapat menjadi kebijakan BRIN yang perlu ditetapkan.

- 2) Pengukuran dan Pemantauan Kinerja Keamanan  
Pemantauan dilakukan dengan ukuran kinerja proaktif agar tetap sesuai dengan program manajemen keamanan dan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Contoh ukuran kinerja proaktif adalah ketaatan terhadap masa berlaku lisensi/izin, kecenderungan perilaku pegawai yang menaati prosedur keamanan, tindak lanjut hasil audit internal dan eksternal, dan lain-lain. Pengukuran kinerja reaktif dilakukan dalam bentuk jumlah penanganan atas kegagalan, kejadian, insiden, dan penurunan kinerja keamanan. Selama ini, pemantauan dan pengukuran kinerja keamanan telah berjalan, tetapi kemampuan dan konsistensi pegawai dalam menganalisis dan menindaklanjuti hasil pengukuran ini masih perlu ditingkatkan.
- 3) Kesiapsiagaan, Kedaruratan, dan Pemulihan Keamanan  
Rencana dan prosedur kedaruratan harus disediakan untuk semua fasilitas selama dan setelah insiden dan situasi darurat.

Beberapa prosedur kedaruratan telah disusun dengan menggabungkan antara aspek keamanan dan keselamatan. Selain pedoman internal seperti Perka BATAN No. 184 (2012), BAPETEN menerbitkan pedoman kesiapsiagaan dan kedaruratan yang dapat digunakan sebagai acuan (BAPETEN, 2017).

- 4) **Penilaian Risiko Keamanan Nuklir**  
Persyaratan SMKam yang mengatur tentang penilaian risiko keamanan tidak secara spesifik menyebutkan metode analisis ataupun klasifikasi risiko. Untuk membantu penerapan SMKam, diterbitkan standar BATAN tentang Penilaian Risiko Keamanan Nuklir, yang memuat jenis-jenis risiko dan ancaman serta klasifikasinya (BATAN, 2016).
- 5) **Budaya Keamanan Nuklir**  
Perilaku setiap pegawai dan organisasi ditata dan diarahkan dengan berbagai program dan prosedur sehingga mengalami tumbuh kembang untuk mendukung, meningkatkan, dan mempertahankan keamanan nuklir (IAEA, 2017). Model budaya keamanan nuklir menekankan bahwa salah satu aspek penting keamanan nuklir, selain perilaku pimpinan dan perilaku pegawai, adalah sistem manajemen, sebagaimana digambarkan pada Gambar 12.3.



Sumber: IAEA (2017)

**Gambar 12.3** Model Budaya Keamanan Nuklir IAEA

Selain penyempurnaan SMKam, opsi untuk mengintegrasikan SMKam ke dalam SMB juga menjadi perhatian. Upaya mengintegrasikan SMKam ke dalam Sistem Manajemen BATAN telah dilakukan, di antaranya melalui kajian terhadap berbagai dokumen keamanan nuklir dan melalui kegiatan FGD dengan pihak-pihak terkait pada tahun 2021. Dari hasil kajian dan diskusi tersebut, ditemukan beberapa unsur SMKam yang belum tercantum dalam SMB dan harus diintegrasikan. Salah satu unsur tersebut adalah bahwa audit pihak ketiga terhadap SMB perlu mencakup aspek keamanan sehingga akan menimbulkan rasa percaya diri yang tinggi dan rasa memiliki oleh seluruh jajaran organisasi dalam hal keamanan nuklir. Unsur lain yang perlu dimasukkan ke dalam SMB adalah aspek rezim keamanan nuklir yang tercantum dalam konvensi internasional tentang proteksi fisik (IAEA, 2006b).

Keselamatan dan keamanan nuklir merupakan hal penting dalam pengelolaan bahan nuklir dan fasilitas nuklir. Keduanya memiliki tujuan yang sama, yaitu melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Namun, dalam beberapa aspek, keduanya memiliki perbedaan karena pada dasarnya keselamatan menuntut

Buku ini tidak diperjualbelikan

keterbukaan, sedangkan keamanan pada kerahasiaan. Oleh karena itu, implementasi SMKam di lapangan harus disinergikan dengan sistem manajemen keselamatan. Dari sudut pandang regulasi, Pandi (2016) mengidentifikasi bahwa pengaturan antarmuka antara elemen keselamatan (*safety*), keamanan (*security*), dan garda aman (*safeguards*) atau yang dikenal sebagai 3S pada PI reaktor nuklir belum dilakukan. Prosedur yang berlaku mengatur aspek keselamatan, keamanan, dan garda aman masih secara terpisah. Menurut Gandhi & Kang (2013) yang dirujuk oleh Pandi (2016), sinergi 3S dapat dilakukan melalui:

- 1) peraturan perundang-undangan yang mengatur terwujudnya komitmen bersama;
- 2) tanggung jawab antara negara dan instalasi yang dibuat berjenjang sehingga terjadi komunikasi terus-menerus;
- 3) desain pertahanan berlapis yang memperhitungkan kepentingan 3S;
- 4) penguatan koordinasi 3S dalam prinsip-prinsip operasi;
- 5) pendekatan bertingkat yang tepat dan proporsional untuk pencegahan dan mitigasi kejadian;
- 6) respons tanggap darurat yang setara untuk personel pada setiap aspek 3S; serta
- 7) pendidikan dan pelatihan yang berimbang.

## F. Keterkaitan dengan Pihak Berkepentingan

Salah satu ciri sistem manajemen adalah pengelolaan hubungan kerja dan keterkaitan dengan pihak berkepentingan, baik internal maupun eksternal. Agar implementasi SMKam berjalan efektif, keterkaitan tersebut harus diidentifikasi dan dipelihara serta dikomunikasikan dengan baik agar selalu sesuai dengan kebutuhan pihak-pihak berkepentingan.

Kawasan Puspipstek Serpong telah ditetapkan sebagai lokasi obvitnas sehingga instalasi nuklir di dalamnya sudah tercakup (Kepmenristek No. 112, 2004). Oleh karena itu, kesesuaian dan

keselarasan SMKam dengan Sistem Manajemen Pengamanan perlu dikomunikasikan dan dikoordinasikan dengan pihak Polri. Demikian juga dengan lingkup tugas dan tanggung jawab pengamanan, saat ini unit pengamanan instalasi nuklir telah diintegrasikan dengan pengamanan kawasan Puspiptek. Jelas bahwa lingkup SMKam yang semula hanya berlaku untuk kawasan nuklir di BATAN, harus diperluas menjadi lingkup kawasan Puspiptek atau kawasan BRIN lainnya. Hal tersebut membutuhkan pendekatan dan koordinasi di antara para pihak di berbagai kawasan. Sebagai contoh, kompetensi terkait dampak radiasi dan mitigasi bencana perlu dibekali kepada petugas keamanan di luar BATAN. Demikian pula dengan kesadaran seluruh pegawai di kawasan Puspiptek tentang keamanan nuklir yang perlu ditingkatkan, dalam bentuk sosialisasi ataupun kegiatan lainnya sehingga terbentuk budaya keamanan nuklir di seluruh area. Oleh karena itu, pertimbangan zonasi area keamanan perlu ditetapkan agar tetap sesuai dengan peraturan keamanan nuklir dan pedoman pengamanan obvitnas yang berlaku.

Pihak lain yang perlu diperhatikan kepentingannya adalah BAPETEN, yang menginspeksi sistem manajemen PIN untuk memastikan konsistensi dan efektivitas SPF. Agar dapat diterima BAPETEN, penerapan SMKam harus selaras dengan SMFK. Sejak tahun 2015, Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN) BATAN, sebagai pengelola Kawasan Nuklir Serpong (KNS), telah menerapkan SMKam dan mendapat sertifikat kesesuaian internal dari BATAN. BAPETEN menggunakan SMKam pada PPIKSN sebagai pintu masuk untuk menginspeksi efektivitas dan konsistensi SPF di Kawasan Nuklir Serpong, termasuk instalasi nuklir di dalamnya. Kepentingan seperti inilah yang harus dijaga agar tetap berlanjut di BRIN.

Sama halnya dengan kepentingan BAPETEN, IAEA melakukan pengawasan terhadap efektivitas implementasi peraturan internasional mengenai proteksi fisik bahan nuklir dan fasilitas nuklir (IAEA, 2011). Kegiatan ini dilakukan dalam bentuk misi International Physical Protection Advisory Services (IPPAS). Pengelolaan SPF yang dijamin

melalui penerapan SMKam, pada gilirannya akan meyakinkan dan memudahkan pihak-pihak eksternal seperti IAEA akan efektivitas dan konsistensinya. Seperti yang diusulkan dalam FGD tentang Sistem Manajemen Keamanan di atas, inklusi rezim keamanan nuklir internasional, yakni Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revisi 5) (IAEA, 2011) dan The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (CPPNM) (IAEA, 2006a) ke dalam SMKam, akan membuktikan bahwa Indonesia tetap mematuhi hukum dan peraturan internasional.

## G. Penutup

Persyaratan SMKam telah diterbitkan BATAN sejak tahun 2010. Penerapan SMKam tersebut di satuan kerja dilakukan melalui pendekatan persyaratan regulasi dan standar juga melalui kebutuhan integrasi dengan sistem manajemen lain yang sudah berjalan, seperti sistem manajemen mutu, sistem manajemen keselamatan, dan sistem manajemen lingkungan. Penerapan SMKam yang selaras dengan standar nasional dan internasional memunculkan kepercayaan dari pihak nasional dan internasional tentang keamanan nuklir di Indonesia.

Untuk memberi keyakinan kepada para pihak mengenai implementasi SMKam, BATAN menerapkan skema sertifikasi internal terhadap satuan kerja sebagai jaminan kepatuhan terhadap persyaratan. Proses sertifikasi secara periodik setiap tahun telah berhasil mendorong organisasi untuk secara konsisten menerapkan konsep siklus PDCA terhadap SPF. Audit sertifikasi ini dilaksanakan oleh personel yang kompeten dalam hal keamanan nuklir dan bersifat objektif. Oleh karena itu, diyakini bahwa seluruh prosedur yang berkaitan dengan SPF telah dijalankan dengan taat asas.

Konsep PDCA dalam manajemen keamanan telah terbukti mendorong satuan kerja di BATAN untuk selalu meningkatkan kinerja SPF di lingkungan masing-masing. Oleh karena itu, konsistensi penerapan SMKam di BRIN diperlukan untuk menekan dan memitigasi risiko sehingga memunculkan rasa aman bagi pegawai dan masyarakat atas

fasilitas dan kegiatan di sektor nuklir. Dengan demikian, SMKam bermanfaat dalam mendorong kredibilitas organisasi dari sisi keamanannya. Peningkatan kinerja SPF secara nyata, yang dibuktikan dengan sertifikasi internal dan rasa aman di mata masyarakat, pada gilirannya akan mengangkat citra BRIN sebagai organisasi yang kredibel dan dapat dipercaya dalam menjalankan tugas dan fungsinya. Kinerja dan citra yang meningkat tersebut merupakan modal utama untuk menjamin keberlanjutan misi organisasi.

Merangkum dari semua hal tersebut, manfaat terbesar dari implementasi SMKam adalah terjaminnya konsistensi, kinerja, dan keberlanjutan SPF untuk keamanan nuklir yang pada akhirnya akan meningkatkan kepercayaan masyarakat pada seluruh instalasi nuklir, yang saat ini dikelola BRIN sebagai badan pelaksana ketenaganukliran. Oleh karena itu, meski telah terjadi perubahan organisasi akibat integrasi BATAN ke BRIN, sepatutnya SMKam tetap diterapkan dengan penyesuaian terhadap perubahan organisasi yang ada dan tetap mengikuti peraturan yang berlaku, baik di tingkat nasional maupun internasional.

## Daftar Referensi

- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2017). Pedoman Perencanaan Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Reaktor Nuklir. *RND/PD/DKKN/09/0*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). Spesifikasi Sistem Manajemen Keamanan pada Rantai Pasokan. *SNI ISO 28000:2009*.
- Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2016). Penilaian Risiko Keamanan Nuklir. *Standar BATAN-SB 009.1*.
- Gandhi, S., & Kang, J. (2013). Nuclear safety and nuclear security synergy. *Annals of Nuclear Energy*, 60, 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2013.05.002>
- International Atomic Energy Agency. (2006). Amendment to the convention on the physical protection of nuclear material. *IAEA International Law Series No. 2*. <https://www.iaea.org/publications/7598/amendment-to-the-convention-on-the-physical-protection-of-nuclear-material>
- International Atomic Energy Agency. (2006). The management system for facilities and activities. *IAEA Safety Standard Series no. GS-R-3*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1252\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1252_web.pdf)

- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc225revision-5>
- International Atomic Energy Agency. (2017). Self-assessment of nuclear security culture in facilities and activities. *IAEA Nuclear Security Series No. 28-T*. <https://iaea.org/publications/10983/self-assessment-of-nuclear-security-culture-in-facilities-and-activities>
- International Organization for Standardization. (2021). ISO/IEC Directives Part 1. Annex SL Harmonized Approach for Management System Standards. ISO.
- International Organization for Standardization. (2022). Security and Resilience-Security Management Systems – Requirements. *ISO 28000:2022*.
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2004 tentang Pengamanan Obyek Vital Nasional. (2004). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/55738/keppres-no-63-tahun-2004>
- Keputusan Menteri Riset dan Teknologi Nomor 112/M/Kp/IX/2004 tentang Obyek Vital Nasional Kementerian Riset dan Teknologi. (2004).
- Merdisyam. (2006). *Sistem pengamanan RSG GA. Siwabessy di kawasan Puspipstek Serpong* [Tesis]. Universitas Indonesia.
- Munadi, R. H. (2018). Studi penerapan sistem manajemen keamanan di Kawasan Nuklir Yogyakarta sesuai SB 009-BATAN:2010. Dalam *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir* (9–16). Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Pandi, L. Y. (2016). Kajian antarmuka dan kesinergian keselamatan, safeguards dan keamanan pada reaktor nuklir. Dalam *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2016*. Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-1-tahun-2009-tentang-ketentuan-sistem-proteksi-fisik-instalasi-dan-bahan-nuklir>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir. (2010). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/>

peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-4-tahun-2010-tentang-sistem-manajemen-fasilitas-dan-kegiatan-pemanfaatan-tenaga-nuklir

- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 158/KA/XI/2008 tentang Pelaksanaan Standardisasi Ketenaganukliran. (2008).
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 153/KA/VII/2010 tentang Standar BATAN 009-BATAN:2010 Persyaratan Sistem Manajemen Keamanan. (2010).
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 171/KA/VII/2012 tentang Sistem Manajemen Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2012).
- Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 174/KA/VIII/2015 tentang Obyek Vital Nasional Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2015).
- Peraturan Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 13 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Gugus Keamanan Nuklir. (2016).
- Peraturan Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 3 Tahun 2018 tentang Sistem Manajemen Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2018).
- Peraturan Kepala BATAN Nomor 184/KA/IX/2012 tentang Program Kesiapsiagaan Kawasan Nuklir Serpong. (2012) .
- Peraturan Kepala Kepolisian Republik Indonesia No 24 tahun 2007 tentang Sistem Manajemen Pengamanan Organisasi, Perusahaan dan/ atau Instansi/Lembaga Pemerintah (Satpam). (2007). <https://www.peraturanpolri.com/2007/02/peraturan-kapolri-nomor-24-tahun-2007.html>
- Prabandari, Y. (2018, 13–17 November). *Developing and sustaining the physical protection for nuclear facilities through application of nuclear security management system* [Presentasi]. International Conference on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities 2017 (IAEA-CN-254/57 1-6), Wina, Austria.



# Standar Penilaian Risiko Keamanan Nuklir

Sugiyarto

---

## A. Pendahuluan

Kegiatan pengembangan dan pengaplikasian teknologi nuklir di Indonesia diawali dari pembentukan Panitia Negara untuk Penyelidikan Radioaktivitet tahun 1954. Selanjutnya, melalui Peraturan Pemerintah Nomor 65 tahun 1958, pada tanggal 5 Desember 1958 dibentuklah Dewan Tenaga Atom dan Lembaga Tenaga Atom (LTA), yang kemudian disempurnakan menjadi Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) berdasarkan Undang-undang Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom (Wikipedia, t.t). Seiring perubahan kebijakan pemerintah untuk memisahkan antara badan pelaksana dan fungsi pengawasan ketenaganukliran, pada tahun 1997 diterbitkan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran yang memisahkan antara Badan Pelaksana

---

Sugiyarto\*

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: sugi034@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Sugiyarto. (2024). Standar penilaian risiko keamanan nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (329–349). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c1001, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

dan Badan Pengawas di bidang ketenaganukliran. Selanjutnya, sebagai tindak lanjut atas UU No. 10 Tahun 1997, diterbitkan Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013 yang menunjuk Badan Tenaga Nuklir Nasional (dengan singkatan tetap BATAN) sebagai badan pelaksana ketenaganukliran dengan tugas pokok melaksanakan tugas pemerintahan di bidang penelitian, pengembangan, dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) nuklir, sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan (Peraturan Preside [Perpres] No. 46, 2013). Pada akhirnya, terdapat perubahan kebijakan pemerintah yang mengintegrasikan seluruh kegiatan penelitian, termasuk bidang ketenaganukliran, yaitu dengan diterbitkannya Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang selanjutnya sebagai badan pelaksana ketenaganukliran.

Untuk mendukung tugas dan kegiatan penelitian, pengembangan, dan pendayagunaan iptek nuklir, telah dibangun beberapa fasilitas iptek nuklir yang tersebar di berbagai lokasi di Indonesia, yaitu Kawasan Nuklir Bandung, Kawasan Nuklir Pasar Jumat, Kawasan Nuklir Yogyakarta, Kawasan Nuklir Serpong, Stasiun Pemantauan Gempa Mikro dan Meteorologi di ujung Watu dan Ujung Lemah Abang Jepara, dan unit Penelitian Eksplorasi Penambangan Uranium di Kalan, Kalimantan Barat. Sebagaimana telah diketahui bahwa di dalam kawasan nuklir terdapat berbagai fasilitas nuklir yang sistem keamanannya rentan akan ancaman ataupun sabotase. Oleh karena itu, BATAN yang saat itu masih berperan sebagai badan pelaksana kegiatan ketenaganukliran dan sebagai Pemegang Izin penggunaan bahan nuklir dan fasilitas nuklir, diwajibkan menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir sesuai yang diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir (PP No. 54, 2012; Perka BAPETEN No. 1, 2009). Sebagai tindak lanjut ketentuan penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, BATAN selanjutnya menetapkan dan menerapkan Sistem Manajemen Keamanan yang mengacu pada Standar BATAN (SB)

009-BATAN:2010 yang berisi Pedoman tentang Persyaratan Sistem Manajemen Keamanan dengan tujuan penerapan meningkatkan keamanan di kawasan dan fasilitas nuklir yang dikelola (BATAN, 2010).

## **B. Penilaian Risiko Keamanan**

Sistem Manajemen Keamanan di BATAN mengacu pada Standar BATAN-SB 009 BATAN: 2010. Standar ini dikembangkan sebagai jawaban atas permintaan pemangku kepentingan BATAN untuk suatu standar manajemen keamanan nuklir, sekaligus pemenuhan atas kepatuhan terhadap peraturan pemerintah dan regulasi dari badan pengawas seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Sasaran akhir dari penerapan standar ini adalah untuk meningkatkan keamanan instalasi nuklir dengan tindakan mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan meresponss tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan sabotase instalasi dan bahan nuklir sebagaimana disebutkan dalam Perpres Nomor 46 Tahun 2013 tentang Badan Tenaga Nuklir Nasional.

Salah satu ancaman pada fasilitas nuklir yang di dalamnya menggunakan atau menyimpan bahan nuklir adalah adanya tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah atau upaya sabotase fasilitas nuklir sehingga dapat membahayakan pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Tindakan mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan meresponss tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan sabotase instalasi dan bahan nuklir ini dapat dilakukan dengan menerapkan berbagai tindakan pengendalian yang diperlukan pada setiap fasilitas nuklir, berdasarkan tingkat risiko yang ditimbulkan di setiap fasilitas nuklir bila terkena ancaman. Tingkat risiko sebagai dasar tindakan pengendalian untuk peningkatan keamanan pada setiap fasilitas nuklir dapat ditentukan dengan serangkaian penilaian risiko keamanan nuklir.

Serangkaian proses atau tata cara penilaian risiko keamanan nuklir ini juga menjadi salah satu persyaratan dalam penerapan SB 009-BATAN:2010, yaitu bahwa organisasi harus menetapkan dan memelihara standar/prosedur untuk identifikasi dan penilaian yang

berkelanjutan terhadap ancaman, tantangan, hambatan, gangguan keamanan, dan risiko, terkait dengan manajemen keamanan serta identifikasi dan penerapan tindakan pengendalian manajemen yang diperlukan. Cakupannya meliputi metode identifikasi, penilaian, pengendalian risiko, dan ancaman keamanan minimal sesuai dengan sifat dan skala operasional fasilitas. Oleh karena itu, sebagai perwujudan atas upaya mencapai tujuan peningkatan keamanan fasilitas nuklir dan untuk memenuhi persyaratan Sistem Manajemen Keamanan tersebut, BATAN menyusun suatu standar tentang Penilaian Risiko Keamanan Nuklir. Penilaian Risiko Keamanan Nuklir menguraikan persyaratan dan tata cara dalam melakukan identifikasi risiko keamanan, analisis risiko keamanan, evaluasi risiko keamanan, pengendalian risiko keamanan, dan pemantauan risiko keamanan di fasilitas nuklir dengan memperhitungkan target dan konsekuensi keamanan serta ancaman dan kerentanannya untuk menentukan pengendalian risiko keamanan yang diperlukan.

### **C. Perumusan Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir**

Pada tahun 2008, Kepala BATAN menerbitkan Perka BATAN No. 158/KA/XI/2008 tentang Pelaksanaan Standardisasi Ketenaganukliran yang menjadi dasar pelaksanaan perumusan Standar BATAN. Standar BATAN atau SB adalah standar yang ditetapkan oleh Kepala BATAN sebagai hasil rumusan Tim Perumus Standar BATAN (TPSB) setelah dicapai kata sepakat oleh pihak terkait. TPSB merupakan tim yang ditetapkan oleh Kepala BATAN yang bertugas untuk melakukan pekerjaan teknis tertentu dalam rangka perumusan rancangan Standar BATAN dan/atau merevisi Standar BATAN dengan susunan keanggotaan TPSB yang mewakili 4 unsur dari pemangku kepentingan (wakil Pusat Standardisasi dan Jaminan Mutu Nuklir, PSJMN; dan/atau Biro Kerjasama Hukum dan Humas, BKHH, sebagai pengatur; wakil Tim Perumus Rancangan Standar, TPRS, sebagai pengusul/konseptor; wakil unit-unit kerja sebagai pengguna dan para pakar). Struktur TPSB terdiri dari ketua, wakil ketua, sekretaris, dan anggota.

TPSB dibentuk sesuai dengan bidang kompetensi BATAN. Terdapat 7 TPSB di BATAN, yaitu:

- 1) TPSB Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (ATIR);
- 2) TPSB Pembuatan Isotop dan Senyawa Bertanda (PISB);
- 3) TPSB Pengelolaan Limbah Radioaktif (PLR);
- 4) TPSB Rekayasa dan Pembuatan Perangkat Nuklir (RPPN);
- 5) TPSB Daur Bahan Bakar Nuklir (DBBN);
- 6) TPSB Reaktor Daya (RD); dan
- 7) TPSB Administrasi Manajemen dan Organisasi (AMO).

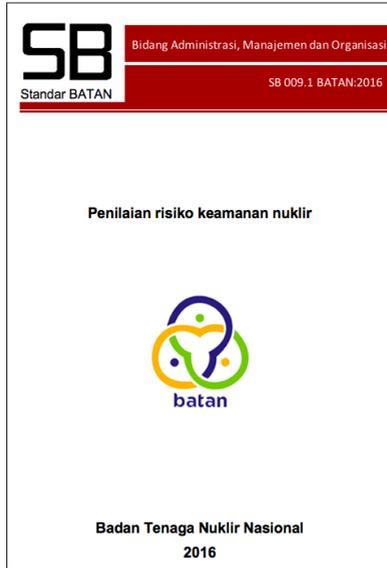
Perumusan Standar BATAN tentang Penilaian Risiko Keamanan Nuklir dilaksanakan oleh TPSB Bidang Administrasi Manajemen dan Organisasi (TPSB-AMO) dengan tahapan secara umum sebagai berikut.

- 1) Penyusunan konsep rancangan Standar BATAN  
Tahapan ini merupakan tahap penyusunan konsep rancangan standar yang disiapkan oleh konseptor dan/atau Tim Perumus Rancangan Standar (TPRS) di tingkat unit kerja (sebagai pengusul program) di BATAN berdasarkan program perumusan standar ketenaganukliran yang telah ditetapkan.
- 2) Perumusan rancangan Standar BATAN  
Tahapan ini merupakan tahap penyampaian rancangan Standar BATAN yang telah disusun oleh konseptor dan/atau TPRS di tingkat unit kerja kepada TPSB untuk dilakukan pembahasan lanjutan dalam forum rapat teknis, *public hearing*, dan rapat konsensus
- 3) Rapat teknis  
Tahapan ini merupakan tahapan pembahasan konsep rancangan standar yang dilakukan oleh TPSB untuk menyempurnakan substansi rancangan standar dari aspek teknis dan ilmiah. Hasilnya akan dibahas dan disepakati pada tahap selanjutnya, yaitu pada saat rapat konsensus oleh TPSB.

- 4) Penyebarluasan rancangan Standar BATAN (*public hearing*)  
Tahapan ini merupakan tahapan untuk menjangkau tanggapan dan masukan dari publik atau instansi lain yang berkepentingan, terhadap substansi rancangan standar BATAN. Tahap *public hearing* ini dilakukan dengan mengundang para calon pengguna standar secara umum dalam suatu forum sosialisasi agar mendapat masukan secara lisan ataupun tertulis. *Public hearing* juga dapat dilakukan dengan mengirimkan draf Standar BATAN ke unit-unit kerja pengguna agar dapat diberi tanggapan dan masukan secara tertulis.
- 5) Rapat konsensus Standar BATAN  
Tahapan ini merupakan tahapan pembahasan lanjutan substansi dari rancangan Standar BATAN hasil rapat teknis, dengan mempertimbangan masukan dari hasil *public hearing* untuk selanjutnya disepakati sebagai rancangan Standar BATAN yang sifatnya final. Selanjutnya, rancangan Standar BATAN fina; diusulkan untuk ditetapkan oleh Kepala BATAN menjadi Standar BATAN.

#### **D. Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir**

Standar Penilaian Risiko Keamanan Nuklir merupakan bagian turunan dari SB 009-BATAN:2008, yaitu Pedoman tentang Persyaratan Sistem Manajemen Keamanan. Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, tindak lanjut atas penerapan Sistem Manajemen Keamanan di BATAN adalah penyusunan suatu prosedur/standar oleh organisasi, untuk melakukan Penilaian Risiko Keamanan untuk fasilitas nuklir sehingga Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir yang ditetapkan tahun 2016 ini diberikan penomoran khusus sebagai SB 009.1 BATAN:2016 (Gambar 13.1).



Sumber: BATAN (2016)

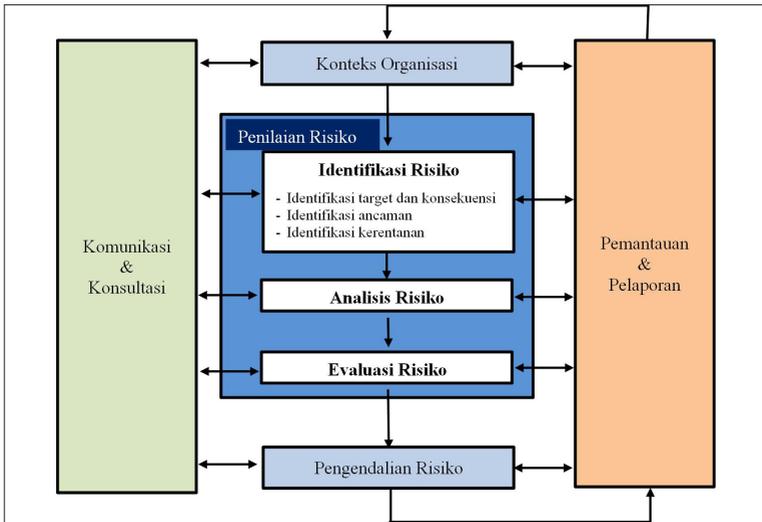
**Gambar 13.1** Halaman Muka SB 009.1  
BATAN: 2016

## 1. Lingkup Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir

Standar Penilaian Risiko Keamanan Nuklir disusun untuk menentukan tingkat risiko keamanan suatu organisasi dan cara pengendalian risiko keamanan. Standar ini berisi persyaratan dan tata cara dalam melakukan identifikasi risiko keamanan, analisis risiko keamanan, evaluasi risiko keamanan, pengendalian risiko keamanan, dan pemantauan risiko keamanan di fasilitas atau instalasi dengan memperhitungkan target dan konsekuensi keamanan serta ancaman dan kerentanannya. Ancaman risiko keamanan yang dinilai dalam standar ini terbatas pada ancaman pencurian dan sabotase yang bersumber dari pihak luar (eksternal) dan tidak mempertimbangkan ancaman keamanan yang berasal dari dalam (internal).

## 2. Penilaian Risiko Keamanan Nuklir

Penilaian risiko (*risk assessment*) secara umum adalah bagian dari Sistem Manajemen Risiko yang termuat dalam *International Organization for Standardization (ISO) 31000 (ISO, 2009)* seperti ditunjukkan dalam Gambar 13.2. Model sistem manajemen risiko, termasuk metode penilaian risiko ISO 31000, diadopsi ke dalam Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir.



Sumber: BATAN (2016)

**Gambar 13.2** Tahapan Penilaian Risiko Keamanan Nuklir

Pada Gambar 13.2, bagian yang warna biru menunjukkan tahapan penilaian risiko (*risk assessment*) yang secara umum mencakup 3 tahapan secara berurutan, yaitu identifikasi risiko (*risk identification*), analisis risiko (*risk analysis*) dan evaluasi risiko (*risk evaluation*). Hasil akhir dari penilaian risiko berfungsi sebagai dasar untuk menentukan pengendalian risiko (*risk treatment*). Pengendalian risiko, pemantauan dan pelaporan, komunikasi dan konsultasi merupakan unsur dalam sistem manajemen risiko keamanan yang saling berhubungan dengan proses penilaian risiko keamanan nuklir. Penjelasan lebih detail

mengenai tahap identifikasi risiko, analisis risiko, dan evaluasi risiko adalah sebagai berikut.

a. Identifikasi Risiko Keamanan

Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir menetapkan identifikasi risiko keamanan menjadi 3 aspek identifikasi, yang terdiri dari identifikasi target dan konsekuensi, identifikasi ancaman, dan identifikasi kerentanan. Ketiga aspek tersebut harus dilakukan oleh organisasi untuk mendapatkan nilai tingkat risiko, yaitu perkalian nilai dari ketiga aspek tersebut.

1) Identifikasi target dan konsekuensi (*Consequence, C*)

Identifikasi target dilakukan dengan menyusun daftar aset serta nilai konsekuensi yang ditimbulkan bila aset tersebut mengalami gangguan keamanan. Penentuan daftar aset yang dapat menjadi target ancaman dapat mempertimbangkan beberapa hal, yaitu (Communications Security Establishment & Royal Canadian Mounted Police, 2007):

- 1) nilai kerahasiaan,
- 2) nilai ketersediaan,
- 3) nilai integritas, dan
- 4) biaya penggantian.

Aset yang berpotensi menjadi target dapat mencakup personel, instalasi nuklir, komponen pendukung, dan sistem keamanan.

Identifikasi konsekuensi dilakukan untuk menentukan nilai skala konsekuensi berdasarkan akibat atau efek yang ditimbulkan apabila musuh berhasil melaksanakan ancamannya dalam mengganggu keamanan aset yang menjadi target musuh. Makin tinggi tingkat keparahan yang ditimbulkan, makin tinggi nilai skala konsekuensinya, seperti ditunjukkan dalam Tabel 13.1.

**Tabel 13.1** Skala Konsekuensi

No	Skala Konsekuensi	Keterangan
1	Sangat Rendah (1)	Tidak ada Kontaminasi
2	Rendah (2)	Kontaminasi pada daerah kecil atau kontaminasi sementara

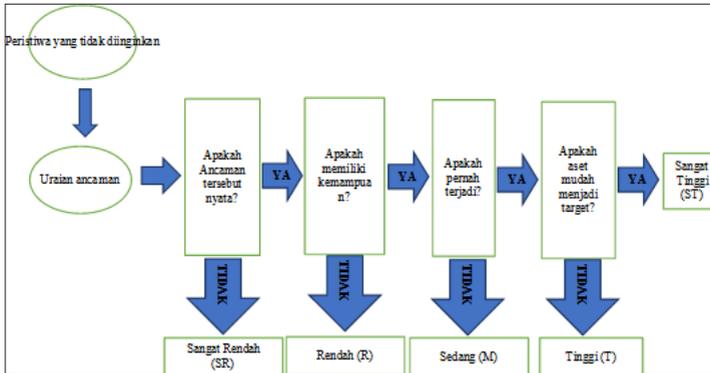
No	Skala Konsekuensi	Keterangan
3	Utama (3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontaminasi tinggi di dalam tapak</li> <li>• Ancaman bagi personel tapak</li> <li>• Hilangnya produktivitas</li> <li>• Denda berat atau peringatan hukum</li> </ul>
4	Tinggi (4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelepasan radioaktivitas keluar perimeter</li> <li>• Ancaman bagi kehidupan</li> <li>• Ancaman serius terhadap kegiatan</li> <li>• Implikasi serius terhadap hubungan masyarakat</li> </ul>
5	Parah (5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korban massal</li> <li>• Tingkat pelepasan radioaktivitas sangat tinggi</li> <li>• Gagalnya program/kegiatan</li> <li>• Berdampak besar terhadap hubungan masyarakat</li> </ul>

Sumber: BATAN (2016)

## 2) Identifikasi ancaman (*Threat*, T)

Identifikasi ancaman dilakukan untuk mengetahui nilai tingkat skala ancaman melalui pengumpulan pengorganisasian serta menilai informasi tentang ancaman yang pernah terjadi ataupun kemungkinan ancaman yang berpotensi terjadi.

Secara sederhana, metode untuk menentukan nilai skala ancaman dapat dilakukan secara kualitatif (Garcia, 2006) dengan mengikuti langkah-langkah yang ditunjukkan dalam Gambar 13.3.



Sumber: BATAN (2016)

**Gambar 13.3** Metode Kualitatif Penentuan Tingkat Ancaman

Metode kualitatif pada Gambar 13.3 merupakan metode sederhana untuk menentukan probabilitas serangan atau ancaman yang disajikan secara kualitatif, yang selanjutnya pada Standar Penilaian Risiko Keamanan Nuklir dilakukan konversi nilai dari kualitatif ke kuantitatif, yaitu menjadi nilai skala ancaman seperti yang ditunjukkan pada Tabel 13.2.

**Tabel 13.2** Tingkat dan Skala Ancaman

Tingkat Ancaman	Skala
Sangat rendah (SR)	1
Rendah (R)	2
Sedang (S)	3
Tinggi (T)	4
Sangat tinggi (ST)	5

Sumber: BATAN (2016)

### 3) Identifikasi kerentanan (*Vulnerability, V*)

Identifikasi kerentanan harus dilakukan untuk mengetahui nilai kerentanan pada berbagai titik/lokasi dari sistem keamanan sehingga menghasilkan peta kerentanan dari daerah kerja. Dalam Standar

Penilaian Risiko Keamanan Nuklir, metode untuk melakukan identifikasi kerentanan berupa analisis jalur musuh, yaitu analisis yang dilakukan untuk menentukan jalur-jalur terlemah yang paling mungkin diterobos oleh musuh dengan menganalisis seluruh jalur masuk dari luar target sampai ke dalam target. Analisis tersebut juga mempertimbangkan keberadaan peralatan pengamanan yang terpasang dalam setiap jalur (*detect*, *delay*, dan *responsse*). Analisis kerentanan mencakup pengumpulan data melalui uji kinerja keamanan, antara lain,

- 1) sistem deteksi penyusupan,
- 2) sistem alarm,
- 3) sistem kendali jalur masuk,
- 4) sistem atau jalur komunikasi status keamanan,
- 5) sistem penundaan (*delay*), dan
- 6) sistem respons.

Dari data tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan efektivitas sistem keamanan dengan formulasi (Garcia, 2006) sebagai berikut:

$$P_E = P_I \cdot P_N \quad (1)$$

Keterangan:

$P_E$  = Efektivitas sistem keamanan,

$P_I$  = Kemungkinan interupsi,

$P_N$  = Kemungkinan netralisasi.

Kemungkinan interupsi ( $P_I$ ) adalah jumlah kemungkinan deteksi di sepanjang jalur musuh, termasuk titik deteksi kritis (*critical point detection*, CPD) yang ditentukan berdasarkan prinsip deteksi waktu dan konsep CPD serta respons interupsi terhadap musuh. Kemungkinan netralisasi ( $P_N$ ) merupakan kemungkinan petugas pengamanan dalam mencegah keberhasilan musuh mencapai tujuannya, baik pencurian maupun sabotase, yang ditentukan berdasarkan simulasi, kejadian nyata, perhitungan angka, dan penilaian pakar. Tingkat kerentanan ( $V$ ) adalah nilai yang ditentukan berdasarkan perhitungan efektivitas sistem keamanan sesuai Tabel 13.3.

**Tabel 13.3.** Tingkat Kerentanan

Efektivitas Sistem Keamanan ( $P_e$ )	Skala Kerentanan (V)
$\leq 0,2$	5
$> 0,2-0,4$	4
$> 0,4-0,6$	3
$> 0,6-0,8$	2
$> 0,8$	1

Sumber: BATAN (2016)

### b. Analisis Risiko

Analisis risiko dilakukan untuk mengetahui secara rinci unsur-unsur yang berpengaruh pada tingkat risiko di suatu organisasi sehingga dapat ditentukan penanganan risiko yang tepat. Analisis risiko dilakukan dengan menghitung risiko secara kuantitatif, dengan mempertimbangkan tingkat ancaman, tingkat kerentanan, dan skala konsekuensi yang telah diuraikan sebelumnya. Analisis risiko dihitung dengan bentuk rumus perkalian ketiganya (tingkat ancaman, tingkat kerentanan, dan skala konsekuensi) dengan formulasi sebagai berikut (Garcia, 2006):

$$R = T \times V \times C. \quad (2)$$

Keterangan:

R = *Risk* (risiko),

T = *Threat* (tingkat ancaman),

V = *Vulnerability* (tingkat kerentanan),

C = *Consequence* (skala konsekuensi).

### c. Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko dilakukan untuk menentukan tingkat risiko berdasarkan hasil perhitungan risiko pada analisis risiko. Evaluasi risiko terbagi dalam 5 (lima) rentang hasil perhitungan risiko, seperti ditunjukkan pada Tabel 13.4.

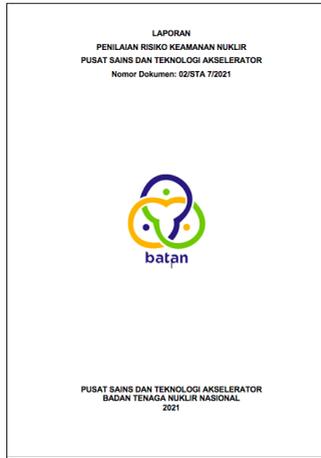
**Tabel 13.4** Penentuan Tingkat Risiko Keamanan

Hasil Perhitungan Risiko	Skala Kerentanan (V)
$\leq 0,2$	5
$> 0,2-0,4$	4
$> 0,4-0,6$	3
$> 0,6-0,8$	2
$> 0,8$	1

Sumber: BATAN (2016)

## E. Penerapan Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir

Sebagai tindak lanjut dari pengesahannya, Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir mulai diterapkan tahun 2016 di setiap Kawasan Nuklir BATAN oleh Unit Pengamanan Nuklir (UPN). Penerapan Standar BATAN diawali dengan melakukan sosialisasi dan *workshop* ke seluruh UPN yang bertugas di 5 Kawasan Nuklir. Sosialisasi dan *workshop* penerapan Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir ini dilakukan oleh unit kerja Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) dan Tim Perumus dengan menyampaikan pemahaman penerapan standar. Selanjutnya, setiap UPN kawasan melakukan *workshop* secara mandiri untuk menilai risiko keamanan berdasarkan standar, sesuai dengan fasilitas nuklir dan kondisi kawasan yang dikelola keamanannya sehingga tersusun bukti dokumentasi penerapan berupa laporan penilaian risiko keamanan nuklir. Bukti dokumentasi penerapan Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir ini berupa laporan Penilaian Risiko Penilaian Risiko Keamanan Nuklir yang disusun oleh UPN disetiap kawasan nuklir, seperti yang ditunjukkan Gambar. 13.4.



Ilustrasi: Dokumentasi BATAN (2021)

**Gambar 13.4** Halaman Muka Laporan Penilaian Risiko Keamanan Nuklir Kawasan Nuklir Yogyakarta

Evaluasi dan monitoring dilakukan dengan mekanisme audit internal sistem manajemen keamanan yang dilaksanakan oleh unit kerja yang bertanggungjawab terhadap pengelolaan keamanan di setiap kawasan nuklir. Unit kerja penanggungjawab keamanan di setiap kawasan nuklir di BATAN (sebelum menjadi BRIN) terdiri dari Pusat Aplikasi Isotop dan radiasi (PAIR), penanggung jawab keamanan Kawasan Nuklir Pasar Jumat; Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT), penanggung jawab keamanan Kawasan Nuklir Bandung; Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA), penanggung jawab keamanan Kawasan Nuklir Yogyakarta; Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN), penanggung jawab keamanan Kawasan Nuklir Serpong; dan Biro Umum (BU), penanggung jawab keamanan Kawasan Nuklir Kantor Pusat Jakarta. Selain melalui audit internal, evaluasi dan monitoring penerapan standar ini juga dilaksanakan secara independen oleh unit kerja Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) melalui proses audit dan surveilen terhadap unit kerja penanggungjawab keamanan

kawasan nuklir yang telah tersertifikasi Sistem Manajemen Keamanan oleh Komisi Standardisasi BATAN (KSB). Adapun unit kerja penanggungjawab keamanan kawasan nuklir yang telah tersertifikasi sistem manajemen keamanan oleh KSB adalah PSTA, PPIKSN, dan PSTNT.

### **1. Penyusunan Laporan Penilaian Risiko Keamanan Nuklir**

Dari hasil penerapan Standar BATAN ini, akan tersusun suatu laporan teknis Penilaian Risiko Keamanan Nuklir yang bersifat rahasia dengan susunan format laporan sebagai berikut.

#### **a. Ringkasan eksekutif**

Berisi pendahuluan yang menguraikan latar belakang penerapan Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir serta resume secara garis besar terkait jumlah risiko yang teridentifikasi.

#### **b. Konteks organisasi**

Berisi uraian informasi profil organisasi yang menerapkan Standar BATAN ini, uraian proses kegiatan, dampak keamanan yang mungkin muncul dan memengaruhi keamanan, uraian dasar hukum, serta prioritas keamanan dari setiap kegiatan atau aset dengan mempertimbangkan kerahasiaan, integritas, ketersediaan, dan biaya.

#### **c. Hasil penilaian risiko**

Berisi hasil perhitungan risiko yang dihasilkan dari perkalian nilai skala ancaman, kerentanan, dan konsekuensi sehingga hasilnya dapat dianalisis untuk menentukan tingkat risiko (Tabel 13.4). Hasil penilaian risiko tersebut sebagai dasar penentuan rekomendasi pengendalian yang diperlukan. Selanjutnya, dapat diperkirakan kembali penurunan nilai risiko yang kemungkinan terjadi setelah dilakukan pengendalian sesuai yang telah direkomendasikan, seperti tertuang dalam format Tabel 13.5.

**Tabel 13.5** Format Tabel Hasil Penilaian Risiko

No. Risiko	Uraian	Ancaman	Dampak	Skala				Rekomendasi Kendali	Risiko Sisa			
				Ancaman	Kerentanan	Konsekuensi	Hasil		Ancaman	Kerentanan	Konsekuensi	Hasil
R01.												
R02.												

Sumber: BATAN (2016)

#### d. Daftar pengendalian risiko

Daftar ini menguraikan jenis-jenis pengendalian yang ditetapkan untuk diperlukan dalam mencegah ancaman yang kemungkinan dapat terjadi. Daftar jenis-jenis pengendalian dapat dituangkan dengan format sesuai Tabel 13.6.

**Tabel 13.6** Daftar Pengendalian Risiko

No.	Nama	Uraian	Tujuan	Keterangan
C1.				
C2.				
C3.				

Sumber: BATAN (2016)

Jenis-jenis pengendalian yang diperlukan sesuai dengan tingkat risiko dapat disajikan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 13.7.

**Tabel 13.7** Jenis-Jenis Pengendalian Sesuai Tingkat Risiko

No	Jenis Pengendalian	Tingkat Risiko				
		1	2	3	4	5
1.	Kendali akses					

No	Jenis Pengendalian	Tingkat Risiko				
		1	2	3	4	5
	a. <i>RFID Verification</i>	A	A	A	A	A
	b. Biometrik	A	A	A	A	A
	c. Kombinasi a & b	NA	NA	A	A	A
	d. <i>X-ray</i>	NA	NA	A	A	A
	e. Portal Monitor radiasi	NA	NA	A	A	A
	f. <i>ID card</i>	A	A	A	A	A
	g. Pengendalian tamu	A	A	A dan pengawalan	A dan pengawalan	A dan pengawalan

Keterangan :

A : *Applicable* (berlaku)

NA : *Not applicable* (tidak berlaku)

Sumber: BATAN (2016)

Tabel 13.7 menunjukkan contoh jenis-jenis pengendalian untuk fungsi akses pada suatu fasilitas. Dari tabel tersebut, dapat diuraikan bahwa setiap jenis pengendalian dapat berlaku atau tidak berlaku sesuai dengan tingkat risiko. Seperti contoh, pemberlakuan kendali akses dengan cara RFID (radio frequency identification) Verification, Biometrik, dan ID card dapat dilakukan di semua fasilitas dengan skala tingkat risiko, mulai yang terendah (1) sampai yang tertinggi (5). Sementara itu, untuk *X-ray* dan portal monitor radiasi belum perlu diterapkan pada fungsi akses fasilitas dengan tingkat risiko mulai skala sangat rendah (1) dan skala rendah (2), tetapi harus diterapkan pada fungsi akses fasilitas dengan tingkat risiko mulai skala sedang (3) sampai skala sangat tinggi (5).

#### e. Peta pengendalian risiko

Berisi daftar resume seluruh risiko yang disertai dengan pengendalian yang ditetapkan dari hasil penilaian risiko keamanan. Peta pengendalian risiko dapat dituangkan dalam format tabel seperti ditunjukkan pada Tabel 13.8.

**Tabel 13.8** Peta Pengendalian Risiko

No	Pengendalian	Risiko

Sumber: BATAN (2016)

## 2. Kendala Penerapan

Dalam hal penerapan Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir ini terdapat beberapa kendala sebagai berikut.

- 1) Sesuai lingkungannya, Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir ini hanya dapat diterapkan untuk menilai risiko yang disebabkan oleh ancaman yang berasal dari luar, tidak untuk menilai risiko ancaman yang berasal dari dalam organisasi.
- 2) Perolehan informasi potensi ancaman yang berada di sekitar kawasan juga dapat menjadi kendala. Data ancaman sebagian berasal dari Dokumen Ancaman Dasar Desain. Hal ini dirasa belum mencukupi untuk menggambarkan kondisi ancaman yang nyata di lapangan atau ancaman yang menjadi tren saat ini.

## F. Penutup

Standar BATAN Penilaian Risiko Keamanan Nuklir disahkan tahun 2016, ditindaklanjuti dengan sosialisasi ke seluruh kawasan nuklir yang dikelola oleh BATAN. Selanjutnya, setiap kawasan menerapkan Standar BATAN ini untuk mengetahui nilai risiko dari potensi ancaman-ancaman yang kemungkinan terjadi. Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk pengembangan standar ini kedepannya adalah perlunya perluasan lingkup penilaian risiko keamanan yang bersumber dari internal organisasi sehingga standar ini dapat diterapkan untuk menilai risiko dari ancaman yang berasal dari dalam organisasi. Kemudian, dalam hal penerapan standar ini, sebaiknya UPN yang menerapkan standar ini dapat berkoordinasi dan berkomunikasi secara lebih intens dengan aparat kepolisian maupun perangkat desa/wilayah setempat di mana kawasan nuklir berada, untuk mendapatkan

informasi mengenai ancaman-ancaman terkini atau yang menjadi tren terjadi di sekitar kawasan nuklir.

Selanjutnya, dokumentasi akhir dari hasil penerapan standar ini adalah tersusunnya laporan Penilaian Risiko Keamanan Nuklir yang menguraikan identifikasi-identifikasi dan nilai skala dari target, konsekuensi, ancaman, dan kerentanan yang disimpulkan dalam satu Nilai Risiko akhir dari kombinasi perhitungan perkalian nilai-nilai skala tersebut. Diharapkan dari hasil Laporan Penilaian Risiko Keamanan Nuklir ini dapat menjadi pertimbangan oleh para pengambil kebijakan untuk memberikan tindakan pengendalian tambahan yang diperlukan pada setiap target dengan tingkat Nilai Risiko yang tinggi bila terkena ancaman.

Terakhir, sebagai ringkasan informasi dan saran bahwa Standar Penilaian Risiko Keamanan Nuklir ini merupakan standar yang dirumuskan oleh BATAN berdasarkan Peraturan Kepala BATAN No. 158/KA/XI/2008 tentang Pelaksanaan Standardisasi Ketenaganukliran dan berlaku secara internal dilingkungan BATAN. Penerapan standar ini telah terbukti dapat mengidentifikasi berbagai macam bahaya dan tingkatan risiko keamanan sehingga mampu meningkatkan kewaspadaan dalam menjamin keamanan nuklir. Oleh karena itu, kebutuhan penyempurnaan rumusan dan penerapan standar ini menjadi sangat penting dan diharapkan terus berlanjut di era perubahan organisasi sejak integrasi BATAN ke BRIN, baik melalui penerbitan kebijakan maupun pengaturan dari pimpinan untuk mempertegas dukungan atas keberlanjutan perumusan dan penerapan standar ini di lingkungan BRIN.

## Daftar Referensi

- Wikipedia (t.t.). Badan Tenaga Nuklir Nasional. Diakses pada 5 Maret 2024, dari [https://id.wikipedia.org/wiki/Badan\\_Tenaga\\_Nuklir\\_Nasional](https://id.wikipedia.org/wiki/Badan_Tenaga_Nuklir_Nasional)
- Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2010). Sistem Manajemen Keamanan. *Standar BATAN-SB 009*.
- Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2016). Penilaian Risiko Keamanan Nuklir. *Standar BATAN-SB 009.1*.

- Communications Security Establishment & Royal Canadian Mounted Police. (2007). *Harmonized threat and risk assessment (TRA) methodology*. Communications Security Establishment, Royal Canadian Mounted Police.
- Garcia, M. L. (2006). *Vulnerability assessment of physical protection system*. Elsevier-Butterworth-Heinemann.
- International Organization for Standardization. (2009). Risk Management-Principles and Guidelines. *ISO 31000: 2009*.
- Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. (2012). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 46 Tahun 2013 tentang Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2013). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/41416/perpres-no-46-tahun-2013>
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. (2009). <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-1-tahun-2009-tentang-ketentuan-sistem-proteksi-fisik-instalasi-dan-bahan-nuklir>



# Memperkuat Keamanan Nuklir

Anhar R. Antariksawan

---

Pemanfaatan energi nuklir pada berbagai bidang di banyak negara telah memberikan kontribusi besar bagi pertumbuhan ekonomi dan kemajuan suatu negara. Salah satu pemanfaatan energi nuklir sebagai pembangkit listrik, saat ini menyumbang 2.553,2 TWh yang datang dari 442 unit Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di seluruh dunia (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2021) atau sekitar 10% dari energi listrik yang dibangkitkan. Dari aspek ekonomi, kehadiran PLTN di Amerika Serikat telah mendorong penciptaan lapangan kerja dan pertumbuhan ekonomi. Dari 102 PLTN yang ada, pendapatan dari penjualan listriknya per tahun mencapai antara 40 hingga 50 milyar dolar AS dengan 100.000 pekerja terlibat di dalamnya (Nuclear Energy Institute [NEI], 2012). Di Korea Selatan,

---

Anhar R. Antariksawan\*

\* Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: anha001@brin.go.id

© 2023 Editor dan Penulis

Antariksawan, A. R. (2024). memperkuat keamanan nuklir. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (351–364). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c1002, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

hasil studi yang dilakukan IAEA bersama beberapa organisasi di Korea Selatan memperlihatkan kontribusi pembangunan dan operasi PLTN terhadap *gross domestic product* (GDP) sebesar 1,3% (IAEA, 2009). Kontribusi ekonomi pemanfaatan energi nuklir tidak hanya melalui PLTN, tetapi juga di berbagai bidang industri. Pada tahun fiskal 2005 di Jepang, pemanfaatan energi nuklir melalui industri iradiasi mencapai 4,1 triliun Yen (Namba, 2020).

Disamping itu, pemanfaatan energi nuklir—khususnya PLTN—juga memunculkan pro dan kontra. Salah satu yang menjadi perhatian publik tersebut adalah keamanan fasilitas dan bahan nuklir serta zat radioaktif. Publik mengaitkan penggunaan fasilitas dan bahan nuklir serta zat radioaktif dengan kemungkinan penyalahgunaannya, baik oleh suatu negara (*state actor*) maupun kelompok masyarakat tertentu (*non-state actor*), untuk pengembangan senjata atau bom kotor yang mengancam publik akibat dampak buruk yang akan ditimbulkannya. Oleh karena itu, di tingkat internasional diterbitkan berbagai traktat dan perjanjian yang terkait dengan komitmen negara untuk menjaga keamanan terhadap fasilitas dan bahan nuklir sehingga tidak ada pihak yang memanfaatkan bahan nuklir dalam berbagai bentuk untuk selain tujuan damai. Indonesia telah menjadi negara pihak pada Non-Proliferation Treaty, Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (CPPNM) and its Amendment, Convention on Nuclear Safety, Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT), International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism, dan IAEA Additional Protocol (Direktorat KIPS, 2017). Kebijakan Pemerintah Republik Indonesia untuk menjadi negara pihak di berbagai traktat tersebut menunjukkan komitmen Indonesia dalam hal keamanan nuklir.

Keamanan nuklir melingkupi aspek pencegahan, deteksi, dan responss terhadap tindakan kriminal atau tindakan tidak sah yang disengaja, yang melibatkan atau mengancam material nuklir, material radioaktif lain, serta fasilitas dan aktivitas yang terkait dengan bahan nuklir dan zat radioaktif tersebut. Karena keamanan nuklir menyangkut dengan keselamatan masyarakat dan menjadi bagian

dari keamanan nasional, tanggung jawab di suatu negara melekat pada pemerintah negara tersebut sendiri (IAEA, 2013). Mengingat bahwa keamanan nuklir adalah bidang multifaset, multidisiplin ilmu, wajar jika di tingkat negara banyak kementerian dan lembaga yang terkait sehingga perlu ada kementerian atau lembaga yang diberi tugas sebagai koordinator ataupun bertanggung jawab terhadap keamanan nuklir. Saat ini, dalam hal kebijakan politik luar negeri yang menyangkut keamanan internasional, termasuk keamanan nuklir, Pemerintah Republik Indonesia menugaskan Kementerian Luar Negeri, khususnya melalui Direktorat Keamanan Internasional dan Perlucutan Senjata (KIPS), untuk menjadi koordinator dalam perumusan dan pelaksanaan dan kebijakan di bidang penyelenggaraan hubungan luar negeri dan politik luar negeri. Lingkup kepentingan multilateral sebagai koordinator meliputi perdamaian dan keamanan internasional, senjata pemusnah massal dan senjata konvensional, penanggulangan kejahatan lintas negara, penanggulangan terorisme, dan keamanan siber (Peraturan Menteri Luar Negeri Republik Indonesia No. 6, 2021). Sementara itu, dalam hal teknis keamanan nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) ditugaskan melakukan pengawasan melalui penyiapan regulasi, persyaratan dan pelaksanaan perizinan, dan inspeksi (Peraturan Presiden [Keputusan Presiden [Keppres] No. 76, 1998). Sementara itu, dalam konteks keamanan nuklir ini, posisi Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), yang sesuai dengan Undang-Undang (UU) Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 dan Perpres Nomor 46 Tahun 2013 adalah badan pelaksana dalam bidang ketenaganukliran, memiliki kedudukan dan peran unik terkait dengan keamanan nuklir. Hal ini karena BATAN sebagai pengelola fasilitas nuklir yang harus memenuhi peraturan dan persyaratan terkait dengan keamanan nuklir, sekaligus menyelenggarakan penelitian dan pengembangan, termasuk di dalamnya penguasaan pengetahuan dan teknik keamanan nuklir. Selain itu, BATAN juga melaksanakan tugas untuk mendiseminasi dan meningkatkan pemanfaatan energi nuklir di Indonesia. Posisi ini yang selanjutnya harus dilanjutkan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai pelaksana fungsi ketenaganukliran yang baru (Perpres No. 78, 2021).

Sebagai konsekuensi menjadi negara pihak untuk beberapa traktat internasional dalam nonproliferasi dan keamanan nuklir, Indonesia telah menunjukkan komitmen dengan menerbitkan berbagai peraturan perundangan terkait dengan keamanan nuklir. Berbagai peraturan perundangan tersebut harus menjadi dasar semua pihak di tingkat nasional ataupun di tingkat fasilitas yang terlibat dalam hal keamanan nuklir dalam menerapkan dan memperkuat berbagai faset/aspek terkait keamanan nuklir. Dengan begitu, tujuan dasar dari keamanan nuklir dapat dicapai dan rezim (tata kelola) keamanan nuklir nasional berkelanjutan (*national sustainable nuclear security regime*) dapat terwujud. Peraturan perundangan tersebut telah diterapkan di tingkat fasilitas, khususnya milik BATAN. Dari uraian di bab-bab sebelumnya, dapat diketahui bahwa BATAN telah menerapkan dan mengembangkan sistem proteksi fisik, termasuk membentuk unit khusus, yaitu unit pengamanan nuklir, untuk melaksanakan dan mengelola sistem proteksi fisik, mengembangkan peralatan proteksi fisik, serta memasukkan sistem manajemen keamanan dan standar penilaian risiko keamanan nuklir dalam sistem manajemen organisasi. Upaya penguatan keamanan nuklir juga dilakukan dari sisi sumber daya manusia (SDM), dengan menerapkan Program Keandalan Manusia untuk mengurangi ancaman orang dalam serta menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir. Aspek keamanan nuklir juga diterapkan dalam kegiatan pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif serta yang menyangkut keamanan informasi. Bidang keamanan nuklir penting lainnya, yang telah mulai dikembangkan di BATAN adalah forensik nuklir yang sangat diperlukan untuk membantu pihak keamanan dalam hal kejahatan yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif. Pengalaman dan capaian penerapan berbagai aspek keamanan nuklir tersebut memang masih harus terus diperkuat dan dikembangkan, tetapi sejauh ini sudah dapat menjadi rujukan berbagai pihak.

Untuk memperkuat keamanan nuklir, Indonesia perlu meningkatkan kerja sama dengan berbagai negara dan institusi nasional, regional, dan internasional yang selama ini sudah terjalin. Hal ini

mengingat bahwa keamanan nuklir adalah persoalan lintas batas negara serta ancaman keamanan nuklir yang terus berubah, tidak hanya ancaman dari suatu negara, tapi juga ancaman dari kelompok dan individu. Dasar kebijakan politik keamanan internasional Indonesia terkait bahan nuklir selama ini sudah sangat tegas dan jelas serta telah disampaikan di berbagai forum internasional, salah satunya dalam setiap sidang umum (*general conference*) IAEA. Dalam forum internasional, disampaikan bahwa bahan nuklir hanya untuk tujuan damai dan kesejahteraan umat, penolakan terhadap proliferasi, pengembangan dan penggunaan senjata berbasis bahan nuklir, serta dorongan pelucutan senjata nuklir secara keseluruhan yang harus terus dilakukan.

Di tingkat nasional, penguatan keamanan nuklir masih perlu dilakukan, terutama dalam hal koordinasi dari semua pemangku kepentingan. Meski sejauh ini, di tingkat masing-masing pemangku kepentingan (tingkat organisasi atau fasilitas) telah dilakukan penerapan berbagai aspek keamanan nuklir, tetapi sinergi yang lebih kuat masih sangat diperlukan. Perlu dicatat bahwa keamanan nuklir juga menjadi bagian penting dalam hal pertahanan dan keamanan nasional. Selain itu, keamanan nuklir juga terkait erat dengan keamanan yang berhubungan dengan penggunaan bahan kimia dan biologi sebagai persenjataan. Penggunaan bahan kimia sebagai bahan peledak dalam aksi tindak kejahatan di Indonesia sudah terjadi beberapa kali (Fuaddah, 2020). Sejatinya, Indonesia adalah salah satu negara pihak dalam konvensi pelarangan senjata kimia. Oleh karena itu, Pemerintah Republik Indonesia telah menetapkan undang-undang yang melarang penggunaan bahan kimia sebagai senjata (UU No. 9, 2008) Sebagai salah satu tindak lanjutnya, Indonesia bahkan telah membentuk Otoritas Nasional Senjata Kimia yang salah satu tugas pokoknya adalah mengoordinasikan instansi pemerintah terkait dalam hal perencanaan, penyusunan, pelaksanaan dan evaluasi penggunaan bahan kimia, dan larangan penggunaan bahan kimia sebagai senjata (Perpres No. 19, 2017). Di sisi lain, pandemi Covid-19 juga memperlihatkan dan memberikan pelajaran bagaimana bahayanya bila bahan biologi

pada suatu saat dapat digunakan sebagai bagian persenjataan. Di Indonesia sudah ada berbagai kelompok akademisi dan masyarakat yang sangat menaruh perhatian terhadap keamanan terkait dengan bahan kimia, biologi, radioaktif, dan nuklir (KBRN). Hal ini tentunya merupakan hal yang positif. Jadi, upaya memperkuat keamanan nuklir dalam tingkat nasional perlu dilakukan dengan memperkuat sinergi di antara pemangku kepentingan dalam keamanan nuklir dan sinergi di antara bidang keamanan yang lain, khususnya yang menyangkut bahan kimia dan biologi. Peran Direktorat KIPS, Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia dan BAPETEN sangat penting dalam upaya memperkuat sinergi ini. Sekaligus, sinergi ini akan memperkuat tiga pilar Non-Proliferation Treaty (NPT), tidak hanya penggunaan nuklir untuk maksud damai, tetapi juga nonproliferasi dan pelucutan senjata.

Penguatan keamanan nuklir di tingkat organisasi/fasilitas tentu sangat bergantung pada komitmen manajemen puncak di setiap institusi. Untuk di Indonesia, seperti telah diuraikan di atas, kedudukan dan peran BATAN (saat ini telah terintegrasi menjadi BRIN) sangat penting karena BATAN/BRIN mengelola bahan nuklir dan zat radioaktif serta fasilitas nuklir dan radiasi, melaksanakan riset, dan meningkatkan pemanfaatan energi nuklir untuk berkontribusi dalam pembangunan. Berdasarkan pencapaian yang telah dicapai BATAN selama ini, BRIN dapat menjadi pusat keunggulan (*center of excellence*) dalam keamanan nuklir, tidak hanya di tingkat nasional, bahkan di tingkat regional. BRIN memiliki berbagai keunikan yang menjadikannya unggul dalam hal keamanan nuklir, disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut.

- 1) Sebagai pengelola bahan dan fasilitas nuklir serta zat radioaktif dan fasilitas radiasi, BRIN dapat secara langsung mempraktikkan penerapan semua persyaratan dan praktik terbaik di bidang proteksi fisik dan keamanan nuklir lainnya. Jika penerapan proteksi fisik oleh organisasi dan petugas pengamanan nuklir yang dididik dan dilatih secara profesional dilakukan dengan baik, dapat memberikan keyakinan dan contoh pada masyarakat

bahwa kegiatan yang melibatkan nuklir telah dikelola secara profesional serta memberikan jaminan keamanan bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan.

- 2) Sebagai lembaga riset, BRIN juga memiliki kemampuan untuk mengembangkan metode, teknik, dan peralatan yang terkait dengan keamanan nuklir. Tidak hanya itu, dalam konteks keamanan KBRN, seperti telah disinggung sebelumnya, BRIN yang memiliki periset dan berbagai fasilitas laboratorium di disiplin ilmu biologi, kimia, dan nuklir, dapat berperan besar khususnya sebagai institusi pendukung saintifik dan teknik (*scientific and technical support organization*).
- 3) Berdasarkan pengalaman penerapan dan hasil risetnya, BRIN dapat menjadi pusat pengembangan kapasitas manusia (*human capacity building*) di bidang keamanan nuklir, khususnya petugas pengamanan nuklir (proteksi fisik) dan proteksi radiasi. Hal ini sekaligus merupakan bentuk transfer pengetahuan (*transfer of knowledge*) dari BRIN ke institusi terkait atau ke masyarakat.
- 4) Dalam beberapa hal di bidang keamanan nuklir, Indonesia telah dipandang sebagai pionir dan menjadi benchmark bagi negara lain. Salah satu contohnya adalah pendirian *Center for Security Culture and Assessment* (CSCA) oleh BATAN dan didukung pemangku kepentingan keamanan nuklir lainnya (Hermana et al., 2013; Khripunov et al., 2016).

Perubahan organisasi setelah BATAN terintegrasi ke BRIN memberikan peluang untuk mengakses sumber daya yang lebih besar sehingga pencapaian tujuan keamanan nuklir dapat dilakukan secara lebih baik, sepanjang komitmen lembaga terhadap keamanan nuklir masih dipertahankan, bahkan ditingkatkan. Perubahan organisasi tersebut juga menjadi kesempatan untuk mereformulasi berbagai aspek penting keamanan nuklir yang selama di BATAN memang masih belum efektif. Namun, mengingat kemungkinan akses untuk riset ke fasilitas nuklir juga akan lebih banyak dikunjungi periset, hal tersebut memunculkan tantangan bagi sistem keamanan nuklir yang ada.

Seperti telah disampaikan sebelumnya bahwa keamanan nuklir adalah disiplin multifaset maka kegiatan di masing-masing bagian keamanan nuklir sangat mungkin dilakukan di beberapa unit atau bidang teknis yang berbeda, tetapi tetap harus ada yang bertanggung jawab mengintegrasikan semuanya agar tujuan keamanan nuklir yang efektif dapat tercapai. Sebagai ilustrasi, antara kegiatan yang menyangkut pengembangan metode atau peralatan/instrumen keamanan nuklir dan kegiatan yang melakukan tugas proteksi fisik, dilakukan oleh bagian atau unit teknis yang berbeda. Namun, keduanya sejatinya harus terhubung karena hasil riset dalam metode dan peralatan akan dapat digunakan oleh petugas proteksi fisik. Sebaliknya, pengalaman di lapangan petugas proteksi fisik dapat dijadikan umpan balik pada periset bidang keamanan nuklir untuk memunculkan inovasi yang sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

Sebagai bagian dari komitmen Indonesia dalam keamanan nuklir dan mewujudkan rezim keamanan nuklir berkelanjutan, BRIN yang juga memiliki tanggung jawab dalam keamanan nuklir harus memberikan kontribusinya melalui beberapa hal sebagai berikut (IAEA, 2013):

- 1) menerapkan, mempertahankan, dan mengembangkan sistem manajemen terintegrasi (keselamatan, keamanan, dan lingkungan), termasuk di dalamnya sistem manajemen mutu;
- 2) menunjukkan kepemimpinan yang kuat dalam hal terkait keamanan nuklir;
- 3) menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir yang tangguh;
- 4) mengalokasikan sumber daya manusia, anggaran, dan teknis untuk menjalankan tanggung jawab organisasi dalam keamanan nuklir; serta
- 5) secara rutin melakukan pemeliharaan, pengujian, pelatihan, dan evaluasi untuk menjamin efektivitas sistem keamanan nuklir.

Hal-hal tersebut juga sangat penting untuk menjadi bagian pertimbangan kebijakan BRIN karena tanggung jawab penerapan

proteksi fisik terhadap bahan nuklir dan fasilitas nuklir ada pada Pemegang Izin, sesuai yang diberikan oleh BAPETEN (IAEA, 2011).

Dari sisi kelembagaan keamanan nuklir, BRIN perlu mempertimbangkan rekomendasi IAEA (IAEA, 2018) bahwa tugas dan tanggung jawab keamanan nuklir perlu ditetapkan dalam kerangka sistem manajemen terintegrasi BRIN. Sisi kelembagaan keamanan nuklir dapat dibedakan dalam tiga kelompok atau unit yang saling melengkapi, yaitu sebagai berikut.

- 1) Unit manajemen keamanan nuklir yang memegang tanggung jawab keseluruhan proteksi fisik. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah manajer yang menjadi penghubung dengan otoritas keamanan nuklir nasional dan manajemen fasilitas (termasuk manajemen sumber daya manusia), perencana, perancang, dan analis sistem proteksi fisik.
- 2) Unit operasi keamanan yang melingkupi petugas proteksi fisik atau pengamanan nuklir, termasuk penjaga (*guards*) dan petugas stasiun pusat alarm (*central alarm station*) serta tim responss terhadap kejadian keamanan nuklir.
- 3) Unit keamanan teknis yang memiliki tugas teknis pemeliharaan, pengujian, dan pengembangan terkait dengan instrumentasi dan peralatan keamanan nuklir.

Untuk mendukung tugas ketiga unit tersebut, khususnya unit manajemen keamanan dan unit teknis keamanan, peran riset dalam sistem keamanan nuklir sangat krusial. Ancaman yang berubah dan kemajuan teknologi mengharuskan adanya pengembangan sistem keamanan nuklir yang sesuai, yang hanya dapat dipenuhi dengan riset dan inovasi terus-menerus pada sistem keamanan nuklir.

Di samping itu semua, salah satu kunci keamanan nuklir lainnya adalah sumber daya manusia sehingga pola pengembangan kompetensi sumber daya manusia keamanan nuklir perlu diperkuat. Selama ini, BATAN telah melakukan kerja sama dengan IAEA dan beberapa organisasi dari berbagai negara di dunia untuk mengembangkan kompetensi sumber daya manusia keamanan nuklir. Lingkup

pengembangan sumber daya manusia keamanan nuklir yang selama ini dikerjasamakan tersebut adalah di semua bidang teknis keamanan nuklir sehingga sangat baik untuk dilanjutkan oleh BRIN. Perlu dicatat bahwa pelaksana keamanan nuklir juga mencakup personel yang bertugas sebagai petugas proteksi fisik atau pengamanan nuklir yang sebelumnya terhimpun di Unit Pengamanan Nuklir (UPN). Hal ini karena para petugas ini adalah garda terdepan dalam penerapan sistem keamanan nuklir. Sejauh ini, selain memiliki pengetahuan pertahanan dan keamanan umum, para petugas UPN juga dibekali dengan pengetahuan dan kompetensi khusus dalam keamanan nuklir yang tidak dimiliki oleh petugas satuan pengamanan pada umumnya. Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan terkait dengan SDM petugas proteksi radiasi ini adalah keterbatasan jumlah dan rerata usia dari personel yang ada saat ini, serta pola karir, termasuk jabatan fungsional, yang lebih sesuai dengan karakteristik pekerjaan dan berbagai perubahan organisasi yang ada. Pola karier yang baik bagi petugas proteksi fisik adalah yang dapat memadukan tingkat kompetensi teknis dalam bidang keamanan nuklir dan jabatan fungsional yang ada, kecuali jika dipertimbangkan jabatan fungsional khusus.

Ketika mengaitkan faktor manusia dengan keamanan nuklir, aspek penguasaan dan pengembangan metode untuk mengantisipasi, mencegah, dan memitigasi dampak ancaman orang dalam (*insider threat*) perlu terus ditingkatkan. Terkait dengan hal tersebut, salah satu metode pendekatan yang telah dilakukan dan masih perlu terus diperkuat adalah melalui pelaksanaan Program Keandalan Manusia (PKM) dan internalisasi budaya keamanan nuklir pada seluruh pegawai, khususnya yang terkait dengan penyimpanan, penggunaan, dan pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif, serta pengelolaan fasilitas nuklir.

Upaya penguatan juga perlu dilakukan untuk beberapa bidang teknis seperti keamanan informasi, lebih spesifik informasi nuklir dan forensik nuklir serta keamanan dalam pengangkutan bahan nuklir dan zat radioaktif. Terkait kedua hal yang disebut terakhir, sangat berhubungan dengan pemangku kepentingan dalam pertahanan dan

keamanan lainnya. Khusus mengenai forensik nuklir, BRIN perlu membangun National Nuclear Forensic Laboratory (NNFL). Oleh karena itu, koordinasi dan kolaborasi dengan pemangku kepentingan lain tersebut juga perlu diperkuat, baik dalam hal pengembangan teknik, peralatan maupun implementasinya. Dari sisi pandang manajemen, seperti telah disinggung sebelumnya, penguatan keamanan nuklir harus didukung dengan komitmen yang kuat dari seluruh kepemimpinan yang ada, termasuk memperkuat sistem manajemen keamanan yang juga diintegrasikan ke dalam sistem manajemen organisasi BRIN.

Dari aspek riset, elemen dari berbagai bidang dalam keamanan nuklir terbuka untuk terus diteliti dan dikembangkan. Analisis untuk perancangan Sistem Proteksi Fisik (SPF), seperti yang dilakukan oleh Andiwijayakusuma et al. (2022) adalah salah satu contoh selain pengembangan rancangan dan piranti dalam bentuk berbagai sensor untuk SPF. Riset untuk penerapan teknologi terkini, seperti *internet of things* (IoT), *artificial intelligence* (AI), atau *machine learning system* (MLS) sudah saat nya dilakukan untuk membangun fungsi SPF dalam mendeteksi, menunda, dan memitigasi ancaman. Tidak hanya dari aspek sains dan teknik, tetapi juga aspek sosial dan humaniora dapat berperan dalam riset keamanan nuklir untuk penguatan konsep, metode, dan analisis di bidang budaya keamanan nuklir, keandalan manusia, dan ancaman orang dalam. Terkait dengan budaya keamanan nuklir, keberadaan CSCA perlu direvitalisasi dan dikembangkan serta menjadi *platform* riset dan kegiatan dalam budaya keamanan nuklir.

Syarat utama dari penguatan keamanan nuklir adalah komitmen dari pimpinan puncak yang diterjemahkan dalam kebijakan di tingkat pelaksana di bawahnya dan keterlibatan dari seluruh pegawai. Oleh karena itu, harus ada upaya untuk membangun keyakinan bahwa keamanan nuklir itu penting dan ancaman terhadap keamanan nuklir itu nyata.

Pada akhirnya, memperkuat keamanan nuklir di tingkat institusi, apalagi di BRIN yang mendapat amanah untuk melaksanakan fungsi ketenaganukliran, akan dapat berkontribusi besar dalam memperkuat

keamanan nuklir di tingkat nasional, regional, dan internasional. Di sisi lain, penguatan keamanan nuklir akan memberikan dampak pada upaya peningkatan pemanfaatan iptek nuklir untuk kesejahteraan masyarakat serta memberikan kontribusi pada penguatan pertahanan dan keamanan nasional. Hal ini karena akseptabilitas masyarakat terhadap energi nuklir juga akan meningkat seiring dengan penguatan keamanan nuklir. Masyarakat makin yakin bahwa bahan nuklir dan zat radioaktif serta fasilitas nuklir dan radiasi dikelola dengan keamanan yang baik sehingga semua pemanfaatan yang berkaitan dengan energi nuklir tidak menimbulkan kekhawatiran.

## Daftar Referensi

- Andiwijayakusuma, D., Setiadipura, T., Purqon, A., & Su'ud, Z. (2022). The development of easi-based multi-path analysis code for nuclear security system with variability extension. *nuclear engineering and technology*. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(10), 3604–3613. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.05.023>
- Fuaddah, M. N. (2020, 7 Agustus). Termasuk jadi bahan racikan bom bali 2002, simak kisah antara amonium nitrat dan aksi bom di Indonesia berikut ini. *Intisari Online*. <https://intisari.grid.id/read/032279491/termasuk-jadi-bahan-racikan-bom-bali-2002-simak-kisah-antara-amonium-nitrat-dan-aksi-bom-di-indonesia-berikut-ini>
- Hermana, F., Khairul, K., & Purnomo, A. B. (2013). Indonesia's pioneering effort to self-assess nuclear security culture. Dalam *1540 Compass, Issue 4*. The Center for International Trade & Security, University of Georgia in cooperation with the United Nations Office for Disarmament Affairs. [http://www.stcu.int/unodastcu/download/compass\\_4\\_web.pdf](http://www.stcu.int/unodastcu/download/compass_4_web.pdf)
- International Atomic Energy Agency. (2009). *Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea*. International Atomic Energy Agency.
- International Atomic Energy Agency. (2011). Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and facilities (INFCIRC/225/Revision 5). *IAEA Nuclear Security Series No. 13*. <https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc225revision-5>

- International Atomic Energy Agency. (2013). Objective and essential elements of a state's nuclear security regime. *IAEA Nuclear Security Series No. 20*. <https://www.iaea.org/publications/10353/objective-and-essential-elements-of-a-states-nuclear-security-regime>
- International Atomic Energy Agency. (2021). Nuclear power reactors in the world. *Reference Data Series No. 2*. <https://www.iaea.org/publications/15211/nuclear-power-reactors-in-the-world>
- International Atomic Energy Agency. (2018). Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (Implementation of INFCIRC/225/Revision 5). IAEA Nuclear Security Series No. 27-G. <https://www.iaea.org/publications/11092/physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-implementation-of-infcirc225revision-5>
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 76 Tahun 1998 tentang Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (1998). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/59185/keppres-no-76-tahun-1998>
- Direktorat KIPS (2017, 9 April). *Perlucutan senjata dan non-proliferasi senjata pemusnah massal*. Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia. [https://kemlu.go.id/portal/id/read/90/halaman\\_list\\_lainnya/perlucutan-senjata-dan-non-proliferasi-senjata-pemusnah-massal](https://kemlu.go.id/portal/id/read/90/halaman_list_lainnya/perlucutan-senjata-dan-non-proliferasi-senjata-pemusnah-massal)
- Khripunov, I., Kutchesfahani, S. Z., & Khairul, K. (2016). Security Culture and Its-Self-Assessment as Supplementary Tools for Nuclear Security Training. *International Journal of Nuclear Security*, 2(1). <https://doi.org/10.7290/v79884x>
- Namba, H. (2020, 2 Desember 2020). *Utilization of nuclear technology in industry, human health, agriculture and environment* [Presentasi]. Japan-Indonesia Joint Symposium (virtual).
- Nuclear Energy Institute. (2012). Nuclear energy's economic benefits—Current and future [White Paper]. <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/may2/docs/nei-apr12.pdf>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 46 Tahun 2013 tentang Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2013). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/41416/perpres-no-46-tahun-2013>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2017 tentang Otoritas Nasional Senjata Kimia. (2017). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/62175/perpres-no-19-tahun-2017>
- Peraturan Menteri Luar Negeri Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Luar Negeri. (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/218846/permenlu-no-6-tahun-2021>

- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2021). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/178084/perpres-no-78-tahun-2021>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2008 tentang Penggunaan Bahan Kimia dan Larangan Penggunaan Bahan Kimia sebagai Senjata Kimia. (2008). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39033/uu-no-9-tahun-2008>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. (1997). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/45931>

# DAFTAR SINGKATAN

ADD	:	ancaman dasar desain
BAPETEN	:	Badan Pengawas Tenaga Nuklir
BATAN	:	Badan Tenaga Nuklir Nasional
BBNB	:	bahan bakar nuklir bekas
Bq	:	Becquerel
BRIN	:	Badan Riset dan Inovasi Nasional
BSN	:	Badan Standardisasi Nasional
BSS	:	BATAN <i>Security System</i>
BSSN	:	Badan Siber dan Sandi Negara
CAS	:	<i>central alarm system</i>
CNS	:	Convention on Nuclear Safety
CPPNM	:	Convention on Physical Protection of Nuclear Material
CSCA	:	Center for Security Culture and Assessment
CSIRT	:	Computer Security Incident Reporting Team

DBT	:	<i>design basis threat</i>
FLO	:	<i>frontline officer</i>
GM	:	Geiger-Mueller
GPS	:	<i>global positioning system</i>
Guskamnuk	:	Gugus Keamanan Nuklir
Guskamtib	:	Gugus Keamanan dan Ketertiban
HEU	:	<i>high-enriched uranium</i>
HRP	:	Human Reliability Program
IAEA	:	International Atomic Energy Agency
I-CoNSEP	:	Indonesia Center of Excellence on Nuclear Security and Emergency Preparedness
IMO	:	International Maritime Organization
IND	:	<i>improvised nuclear device</i>
INFCIRC	:	Information Circular
IPPAS	:	International Physical Protection Advisory Services
ISO	:	International Organization for Standardization
IT	:	<i>information technology</i>
ITE	:	Informasi dan Transaksi Elektronik
KBRN	:	kimia, biologi, radioaktif, dan nuklir
KHIPS3	:	Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar nuklir Bekas
LEU	:	<i>low-enriched uranium</i>
NNFL	:	National Nuclear Forensic Library
NORM	:	<i>naturally-occurring radioactive material</i>
NPT	:	Non-Proliferation Treaty
NSS	:	<i>Nuclear Security Series</i>
Nubika	:	nuklir, biologi, dan kimia
Obvitnas	:	objek vital nasional
ORTN	:	Organisasi Riset Tenaga Nuklir
OT	:	<i>operational technology</i>
Pasmanin	:	Pasukan Pengamanan Instalasi Nuklir

PDCA	:	<i>plan-do-check-act</i>
PI	:	Pemegang Izin
PIN	:	Pengusaha Instalasi Nuklir
PKM	:	Program Keandalan Manusia
PKSR	:	Petugas Keamanan Sumber Radioaktif
PLTN	:	pembangkit listrik tenaga nuklir
PRD	:	<i>personal radiation detector</i>
Puspiptek	:	Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
RDD	:	<i>radiological dispersion device</i>
RED	:	<i>radiation exposure device</i>
RID	:	<i>radionuclide identification detector</i>
RPM	:	<i>radiation portal monitor</i>
SMB	:	Sistem Manajemen BATAN
SMFK	:	Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan
SMKam	:	Sistem Manajemen Keamanan
SPF	:	sistem proteksi fisik
SPRKK	:	sistem pemantau radiasi untuk keselamatan dan keamanan
TRACE	:	Tool for Radiation Alarm and Commodity Evaluation
UN	:	United Nations
UPN	:	Unit Pengamanan Nuklir
Waspam	:	Pengawasan dan Pengamanan
WMD	:	<i>weapon mass destruction</i>



# GLOSARIUM

- alarm : peralatan teknis yang digunakan untuk memberi peringatan adanya penyusupan atau gangguan.
- ancaman dasar desain (*design basis threat*) : sifat dan karakteristik musuh dari dalam ataupun luar yang digunakan sebagai fondasi atau alasan untuk merancang dan mengevaluasi sistem proteksi fisik.
- aset digital sensitif : aset informasi sensitif dalam bentuk atau bagian dari sistem berbasis komputer.
- aset informasi sensitif : peralatan atau komponen yang digunakan untuk menyimpan, memproses, mengontrol, atau mengirimkan informasi sensitif.
- bahan nuklir (*nuclear material*) : bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai.

benda terkontaminasi permukaan	:	benda padat yang tidak bersifat radioaktif, tetapi terdapat zat radioaktif yang tersebar pada permukaan dalam jumlah $> 0,4 \text{ Bq/cm}^2$ untuk pemancar beta, gama, dan pemancar alfa toksisitas rendah, atau $0,04 \text{ Bq/cm}^2$ untuk pemancar alfa lainnya.
daerah dalam	:	suatu daerah atau lokasi di dalam Daerah Proteksi, tempat bahan nuklir Golongan I digunakan atau disimpan, dan yang dilengkapi dengan tindakan proteksi tambahan.
daerah proteksi	:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) lokasi penilaian tempat bahan nuklir golongan I atau II berada, dan/atau daerah vital yang dikelilingi penghalang fisik.</li> <li>2) suatu daerah di dalam Daerah Akses Terbatas yang di dalamnya terdapat bahan nuklir golongan I atau II, dan/atau target sabotase yang dibatasi dengan penghalang fisik serta dilengkapi dengan tindakan proteksi tambahan.</li> </ol>
daerah akses terbatas	:	suatu daerah tertentu yang di dalamnya terdapat fasilitas nuklir atau bahan nuklir, yang akses masuknya dikendalikan dan dibatasi untuk tujuan tindakan proteksi fisik.
daerah vital	:	suatu daerah di dalam Daerah Proteksi yang di dalamnya terdapat peralatan, sistem, atau bahan nuklir yang apabila mengalami sabotase, akan secara langsung atau tak langsung mengakibatkan konsekuensi radiologis besar (high radiological consequences).
deteksi penyusupan ( <i>intrusion detection</i> )	:	cara menemukan dan menentukan keberadaan sesuatu atau seseorang yang dicurigai, yang dilakukan oleh orang atau sistem, yang terdiri atas sensor, medium transmisi, dan panel kontrol untuk membunyikan alarm.

- forensik nuklir : pengujian bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, atau suatu barang bukti yang terkontaminasi oleh radionuklida, dalam konteks proses hukum di bawah hukum nasional atau internasional yang menyangkut dengan keamanan nuklir.
- informasi sensitif : informasi dalam bentuk apapun, termasuk perangkat lunak, yang jika diungkapkan, digunakan, atau dimodifikasi secara tidak sah, akan mengancam keamanan nuklir.
- kronometri : teknik atau analisis penentuan umur suatu bahan.
- musuh (*adversary*) : setiap individu yang melakukan atau mencoba melakukan tindakan jahat.
- orang dalam (*insider*) : 1) individu yang memiliki akses sah ke fasilitas atau kegiatan atau informasi penting atau aset informasi atau aset informasi sensitif, dan dapat melakukan atau memudahkan dilakukannya tindakan kriminal atau tindakan lain tidak diizinkan, yang melibatkan atau mengarah pada bahan nuklir, bahan radioaktif, fasilitas terkait, atau kegiatan terkait lain yang memberikan dampak buruk pada keamanan nuklir.
- 2) satu atau lebih individu dengan akses sah ke fasilitas nuklir atau bahan nuklir dalam pengangkutan yang dapat melakukan upaya pemindahan tidak sah atau sabotase, atau yang dapat memberikan bantuan pada musuh dari luar untuk melakukan tindakan tidak sah atau sabotase tersebut.

- 3) individu dengan akses sah ke fasilitas (terkait bahan nuklir dan bahan radioaktif) atau aktivitas (terkait bahan nuklir dan bahan radioaktif) atau informasi sensitif atau aset informasi sensitif yang dapat melakukan atau memudahkan tindakan jahat.
- pemegang izin : Orang atau badan yang telah menerima izin pemanfaatan tenaga nuklir dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).
- pendekatan bertingkat (*graded approach*) : 1) penerapan tindakan keamanan nuklir secara proporsional dengan potensi konsekuensi suatu tindakan jahat, misalnya sabotase.
- 2) penerapan tindakan keamanan nuklir secara proporsional dengan tindakan kriminal atau tindakan yang tidak dibenarkan, yang terencana melibatkan atau ditujukan pada bahan nuklir, bahan radioaktif, fasilitas yang berkaitan, atau kegiatan yang berkaitan lainnya, yang ditetapkan oleh negara bahwa berdampak buruk pada keamanan nuklir.
- penghalang fisik : pagar, dinding, atau sejenisnya yang dipasang untuk kendali akses dan penundaan penyusupan.
- pengusaha instalasi nuklir : orang perseorangan atau badan hukum yang bertanggung jawab dalam pengoperasian instalasi nuklir.
- penjaga (*guard*) : seseorang yang dipercaya mengemban tanggung jawab untuk patroli, pemantauan, penilaian, pengawalan individu atau transportasi, pengendalian akses, dan/atau peresponsss awal.

penundaan akses	:	elemen sistem proteksi fisik yang dirancang untuk menambah waktu yang dibutuhkan oleh musuh yang berusaha masuk atau keluar dari fasilitas nuklir atau alat transportasi.
pertahanan berlapis	:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) kombinasi berbagai tingkat lapisan sistem dan tindakan yang harus diatasi atau dielakkan sebelum suatu target dapat diakses.</li> <li>2) kombinasi sistem dan tindakan yang berurutan untuk memberikan perlindungan pada suatu target dari ancaman keamanan nuklir.</li> <li>3) suatu konsep yang digunakan untuk mendesain sistem proteksi fisik dalam upaya mengatasi musuh, dengan rintangan yang berlapis, baik bentuknya sama maupun berbeda.</li> </ol>
Program Keandalan Manusia (PKM)	:	suatu kegiatan yang dilakukan untuk menjamin pegawai yang bekerja dan memiliki akses terhadap bahan nuklir, sumber radioaktif, fasilitas nuklir, atau program yang sensitif memenuhi persyaratan standar yang tinggi pada keandalan, kejujuran (dapat dipercaya), serta stabil secara fisik dan mental.
proteksi fisik	:	upaya yang ditujukan untuk mendeteksi dan mencegah pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan mencegah sabotase instalasi nuklir.
radiasi pengion	:	gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan yang, karena energi yang dimilikinya, mampu mengionisasi media yang dilaluinya.

rezim keamanan nuklir : suatu rezim yang terdiri dari:

- 1) kerangka legislatif, regulasi, dan sistem administratif serta tindakan-tindakan untuk mengatur keamanan bahan nuklir, bahan radioaktif, fasilitas terkait, dan aktivitas terkait;
- 2) institusi dan organisasi di dalam negara yang bertanggung jawab untuk menjamin diterapkannya kerangka legislatif, regulasi, dan sistem administrasi keamanan nuklir;
- 3) sistem keamanan nuklir dan tindakan keamanan nuklir untuk mencegah, mendeteksi, dan merespons kejadian keamanan nuklir.

① kata rezim di sini digunakan dari kata regime dalam bahasa Inggris yang digunakan dalam *nuclear security regime*, yang dapat diartikan sebagai sistem atau tata kelola.

sabotase : setiap tindakan melawan hukum yang sengaja dilakukan atau ditujukan terhadap instalasi nuklir atau bahan nuklir yang digunakan, disimpan atau diangkut, yang mengakibatkan bahaya radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung.

sistem proteksi fisik : kumpulan dari peralatan, instalasi, personel, dan prosedur yang secara bersama-sama memberikan proteksi fisik terhadap instalasi nuklir dan bahan nuklir.

sumber radioaktif : zat radioaktif berbentuk padat yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat.

- zat radioaktif : 1) setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis  $> 70 \text{ kbq/kg}$  ( $2 \text{ nci/g}$ ).
- 2) setiap bahan yang menurut peraturan perundang-undangan atau badan pengawas ditetapkan sebagai subjek regulasi karena sifat radioaktivitasnya.
- ① dalam banyak hal juga merupakan sinonim dari bahan radioaktif (*radioactive material*).
- zat radioaktif aktivitas jenis rendah : zat radioaktif yang dalam penanganannya tidak memerlukan perisai radiasi karena sifatnya memiliki aktivitas jenis terbatas atau zat radioaktif yang terhadapnya berlaku nilai batas aktivitas jenis rata-rata.
- zat radioaktif bentuk khusus : zat radioaktif padat yang tidak dapat menyebar, atau kapsul terbungkus yang berisi zat radioaktif.
- zat radioaktif daya sebar rendah : zat radioaktif padat atau zat radioaktif padat dalam kapsul terbungkus, yang memiliki daya sebar terbatas dan tidak berbentuk serbuk.



## TENTANG EDITOR



### **Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan, S.T., DEA. IPU**

**Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan, S.T., DEA. IPU** lahir di Semarang 6 November 1962. Editor menempuh Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas yang diselesaikan di Semarang. Kemudian, editor melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Nuklir, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada pada tahun 1981 serta memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tahun 1986 dan Insinyur pada

tahun 2022. Sejak tahun 1986, editor bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Editor melanjutkan pendidikan S-2 dan S-3 di Prancis sejak tahun 1987 hingga 1993 di Ecole National Supérieure de Physique de Grenoble (ENSPG), Institut National Polytechniques de Grenoble (INPG). Setelah menyelesaikan program doktoral, editor

Buku ini tidak diperjualbelikan

kembali ke BATAN dan bekerja di Pusat Penelitian Teknologi dan Keselamatan Reaktor (PPTKR). Editormenggeluti riset di bidang keselamatan reaktor, khususnya analisis kecelakaan reaktor, baik secara eksperimental maupun simulasi numerik. Selain itu, editor terlibat dalam kegiatan keamanan nuklir sejak tahun 2014. Editor sempat memegang beberapa jabatan struktural, yang terakhir adalah sebagai Kepala BATAN dari 2019 hingga 2021. Sebagai pejabat fungsional peneliti, editor memperoleh gelar Profesor Riset pada 2018. Dalam kegiatan profesional lainnya, editor berpengalaman sebagai editor dan reviewer di jurnal nasional dan internasional. Pengalaman lainnya, di antaranya mengikuti berbagai kegiatan di tingkat internasional dan regional, juga berbagai kegiatan di International Atomic Energy Agency (IAEA), Association of South East Asian Nations (ASEAN) di bidang energi, Regional Cooperative Agreement (RCA), Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA), dan pada 2023, ditunjuk sebagai anggota IAEA Standing Advisory Group on Nuclear Energy (SAGNE) VIII term (2023–2026). Saat ini editor bekerja sebagai peneliti di Pusat Riset Teknologi Akselerator (PRTA), Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). E-mail: [anha001@brin.go.id](mailto:anha001@brin.go.id)

## TENTANG PENULIS



### **Drs. Yaziz Hasan, M.M**

**Drs. Yaziz Hasan, M.M.** lahir di Lagadi, Sulawesi Tenggara pada tanggal 12 Mei 1965. Penulis menyelesaikan studi S-1 Fisika di Universitas Hasanuddin, Makassar (1991) dan S-2 Ilmu Manajemen di Universitas Pamulang, Tangerang Selatan (2014). Penulis telah mengabdikan diri di bidang ketenaganukliran sejak 1992. Penulis memulai pengabdian sebagai staf Bidang Sains Dasar, Pusat Pengkajian Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional (1992–1999), kemudian sebagai pejabat struktural pada Bidang Perjanjian Kerja Sama, Pusat Pemasarakatan Iptek Nuklir dan Kerja Sama, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) (1999–2006); Bagian Perjanjian, Biro Kerja Sama, Hukum, dan Hubungan Masyarakat, BATAN (2006–2014); Bagian Keamanan dan Pengamanan Nuklir, Biro

Buku ini tidak diperjualbelikan

Hukum, Hubungan Masyarakat dan Kerja Sama (BHKK), BATAN (2014–2019); dan Bagian Kerja Sama, BHKK-BATAN (2019–2020), serta selanjutnya sebagai Pranata Nuklir Ahli Madya BHKK-BATAN (2020–2021). Beberapa karya ilmiah yang ditulis oleh Penulis bersama para pakar di bidang fisika reaktor, fisika komputasi, sistem proteksi fisik, keamanan nuklir, dan kerangka legal ketenaganukliran telah diterbitkan dalam beberapa prosiding. Beberapa buku terjemahannya telah diterbitkan, yaitu Fisika (Erlangga, 1996), Mekanika Teknik (Prentice Hall Indonesia, 1997), dan Analisis Struktur (Prentice Hall Indonesia, 2002), serta buku karya tulis Fisika (Polyama Widya Pustaka, 1997) dan Energi dan Penggunaannya (BATAN Press, 2015). Penulis aktif sebagai anggota Komite Nasional Indonesia-World Energy Council (KNI-WEC) (1995–sekarang), Government and Regulatory Infrastructure Topical Group-Asian Nuclear Safety Network (GRITG-ANSN) (2010–2020), dan Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI) (2019–sekarang), dan HIMNI (2019–sekarang). Penulis aktif mengikuti berbagai seminar, workshop, simposium, konferensi, pendidikan, dan pelatihan, termasuk di bidang export control dan nonproliferasi Chemical Biological Radiological and Nuclear (CBRN), sistem proteksi fisik, dan keamanan nuklir. Pada 2014–2019, penulis berpartisipasi dalam penyusunan dokumen teknis IAEA di bawah proyek bertajuk The INPRO Case Study for the Deployment of a Factory Fuelled Small Modular Reactor. Saat ini, Penulis sebagai fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Madya pada Kelompok Riset Keamanan Nuklir dan *Safeguards*, Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, selain meluangkan waktu membaca fisika lanjutan, khususnya teori medan. E-mail: yazi001@brin.go.id



## Khairul, S.Kom

**Khairul, S.Kom.** berasal dari Bukittinggi, Sumatera Barat, tetapi dibesarkan dan lahir di Pekan Baru, Riau tanggal 21 September 1963. Sejak tahun 1986, Penulis bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan menekuni bidang keamanan nuklir yang terdapat di Kawasan Pusat Penelitian Pengembangan Industri Nuklir (PPIN) Serpong. Penulis mengikuti pelatihan kursus pengamanan dan pencegahan Angkatan VI di Sekolah Intelejen Strategis

(SIS-BAIS), Bogor tahun 1988 aambil bekerja melanjutkan pendidikan S-1 pada Universitas Budi Luhur Jakarta, lulus pada tahun 2005. Setelah menyelesaikan S-1, Penulis tetap bekerja di Unit Pelaksana Teknis-Manajemen Pengembangan Industri Nuklir (UPT-MPIN). Penulis memperoleh beberapa pelatihan keamanan nuklir, baik di dalam maupun di luar negeri yang diadakan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA). Penulis mengikuti pelatihan untuk instruktur (train-the-trainers) di Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat), BATAN, dan di Amerika Serikat. Penulis menjadi Pengajar Tamu pada Pelatihan Keamanan Nuklir di Amerika Serikat, 2012 dan di IAEA-International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Italia tahun 2017. Penulis menjadi tim pakar IAEA yang tergabung dalam misi International Physical Protection Advisory Services (IPPAS) di Thailand tahun 2005, di Australia tahun 2013, dan di Jepang tahun 2015. Penulis mengikuti IAEA-Technical Meeting (TM) dan Consultancy Meeting (CM). Penulis berkontribusi dalam penyempurnaan draf pedoman penilaian diri budaya keamanan (IAEA-NSS 28-T, 2017). Penulis menjadi panitia International Conference on Nuclear Security tahun 2013 (Abu Dhabi, Arab Saudi), tahun 2020 (Vienna, Austria), dan tahun 2022 (Vienna, Austria). Penulis menjadi Ketua Center for Security Culture and Assessment (CSCA)-BATAN tahun 2014–2018. Selain itu, Penulis berperan sebagai pengajar pada keg-

iatan National/Regional Workshop on Nuclear Security Culture and *Self-Assessment* yang diadakan oleh IAEA. Penulis sebagai anggota tim internal *Coordinated Research Project* (CRP) IAEA dengan topik CRP Trustworthiness dan CRP Nuclear Forensics. Project Leader Security and Safeguard-Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA) 2018–2022. Saat ini, Penulis bekerja sebagai fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Madya di Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN), Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Purnabakti dari BRIN per 1 Oktober 2023 dan saat ini bergabung dengan PT. Citra Indonesia Magna (Global Transport & Training). E-mail: khairulk63@gmail.com



### **Teguh Asmoro, S.Kom.**

**Teguh Asmoro, S.Kom.** lahir di Jakarta pada tanggal 16 Mei 1967. Penulis mulai bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sejak tahun 1989, ditempatkan di Unit Pelaksanaan Teknis Manajemen Pembangunan Instalasi Nuklir (UPT-MPIN). Penulis pernah mengikuti pelatihan kursus pengamanan pencegahan di Sekolah Intelegen Strategis (SIS) di Bogor selama 3 bulan. Pada tahun 1992, sambil bekerja, Penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Universitas Budiluhur, jurusan Teknik Informatika. Setelah lulus pada tahun 1996, Penulis bertugas melakukan pengoperasian, pemeliharaan, dan perawatan peralatan BATAN Safety and Security System (BSS) yang merupakan early warning system untuk sistem keselamatan dan keamanan dan berfungsi sebagai pusat komando untuk kedaruratan nuklir di Kawasan Nuklir Serpong (KNS). Penulis mengikuti berbagai pelatihan tentang nuclear security tingkat nasional, regional, dan internasional yang diselenggarakan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA). Penulis menjadi fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Muda dan diminta membantu Pusat

Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat), BATAN untuk membuat desain dan pengembangan Nuclear Security Support Center (NSSC) yang berfungsi sebagai sarana untuk meningkatkan kompetensi sumber daya manusia yang ahli di bidang proteksi fisik tingkat nasional, regional Asia Pasifik, serta untuk mendukung kegiatan pemeliharaan dan peralatan sistem proteksi fisik. NSSC telah diresmikan pada tahun 2019 dan telah dimanfaatkan untuk kegiatan pelatihan Sistem Proteksi Fisik (SPF) dan Keamanan Sumber Radioaktif (KSR) dan Penulis menjadi pengajar pada pelatihan tersebut. Penulis pernah menjadi Subkoordinator Pengamanan di KNS pada tahun 2020 dan sejak Juni 2022, Penulis menjadi Koordinator Pelaksana Fungsi Pengamanan di Direktorat Pengelola Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). E-mail: tegu006@brin.go.id



### **Usup Sudiawan, S. Sos.**

**Usup Sudiawan, S. Sos.** lahir di Tangerang pada tanggal 7 April 1963. Penulis mulai bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sejak tahun 1985, ditempatkan di Unit Pelaksanaan Teknis Manajemen Pembangunan Instalasi Nuklir (UPT-MPIN) sebagai Pengamanan Nuklir. Penulis bertugas melakukan pengamanan pembangunan Reaktor Nuklir Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS), dan terlibat dalam mendesain sistem proteksi fisik RSG-GAS, Kawasan

Nuklir Serpong (KNS). Penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Tinggi Ilmu Administrasi (STIA-LAN) pada tahun 1990 di Jakarta dan mendapat gelar sarjana Sosial di Jurusan Administrasi Negara. Pada tahun 2006, Penulis diangkat menjadi kepala Unit Pengamanan Nuklir (UPN) RSG-GAS sampai dengan 2013. Tahun 2013–2019, Penulis menjadi Kepala UPN Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN) KNS. Pada tahun 2019–2020, Penulis diangkat menjadi kepala Bagian Keamanan dan Pengamanan

Nuklir BATAN. Pada tahun 2021, Penulis diangkat menjadi Pejabat Fungsional Paranata Nuklir Ahli Madya dan diberi tugas sebagai koordinator pengamanan nuklir BATAN. Pada masa transisi BATAN bergabung ke Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Penulis diangkat sebagai pejabat fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Madya dan diberi tanggung jawab sebagai Koordinator Keamanan Nuklir di Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK) sampai dengan Juni 2022. Penulis mengikuti pelatihan kursus pengamanan pencegahan (SUSPAM CEGAH ANGKATAN V) di Sekolah Intelejen Strategis (SIS) di Bogor selama 4 bulan pada tahun 1985. Pada tahun 2003, Penulis mendapat pelatihan Reserse Intel (Resintel) dari Badan Reserse Kriminal (Bareskrim) Kepolisian Republik Indonesia (Polri), mengikuti International training Course For International Physical Protection Advisory Services (IPPAS) Team Member, Vienna, Austria (2014). Pelatihan lain yang diikuti oleh Penulis, yaitu Regional Training Course (RTC) on the Physical Protection of Nuclear Installations di Mumbai, India (2004), RTC on The Security of Nuclear Research Facilities di Sydney, Australia (2006), Vital Installation Security Course yang diselenggarakan oleh U.S. Departement of State (DS-ATA) (2009), International Training Course on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, Albuquerque, New Mexico, Amerika Serikat (2012), mengikuti International training Course For International Physical Protection Advisory Services (IPPAS) Team Member, Vienna, Austria (2014), International Workshop on Nuclear Security Measures and Emergency Responssse Arrangements for Major Public Events Washington D.C., Amerika Serikat (2017), pelatihan Detection of Radiological and Nuclear Material Border Crosings (2018), dan International Porshop on Manajement of the Responssse to a Nuclear Event at Nuclear Facilities, Daejeon, Korea Selatan (2019). Penulis memasuki masa purnabakti dari BRIN pada 1 Mei 2023. E-mail: usudiawan@gmail.com



## **Dr. Jan Setiawan, S.Si, M.Si**

**Dr. Jan Setiawan, S.Si, M.Si** lahir di Jakarta pada tanggal 21 Juni 1980. Pendidikan S-1 ditempuh oleh Penulis di Program Studi Fisika, Institut Pertanian Bogor pada tahun 1998, yang diselesaikan pada tahun 2003, studi S-2 di Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia dan diselesaikan pada 2010, dan tahun 2012 melanjutkan studi S-3 di Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia yang diselesaikan pada 2015. Penulis mengawali karir sebagai

pegawai negeri sipil (PNS) di BATAN tahun 2003, di Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang (P2TBUDU) sebagai periset di Bidang Teknologi Daur Ulang dan Pasca Iradiasi (BTDUPI) yang berlokasi di Kawasan Nuklir Serpong (KNS). Sebelum integrasi menjadi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), P2TBUDU telah berganti nama menjadi Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) dan BTDUPI berganti nama Bidang Uji Radiometalurgi (BUR). Mulai April 2022, Penulis ditempatkan sebagai periset di Pusat Riset Material Maju (PRMM), di bawah Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material (ORNM), BRIN. Penulis berkarir dalam jabatan fungsional peneliti mulai tahun 2012, dan pada tahun 2019 menjabat sebagai Peneliti Ahli Madya dengan bidang kepakaran teknik material. Kegiatan riset yang dilakukan oleh Penulis terkait bahan bakar nuklir, bahan kelongsong, dan struktur dukung. Pada tahun 2015, Penulis bergabung dengan tim forensik nuklir, tahun 2018 melanjutkan kegiatan forensik nuklir sebagai penanggungjawab kegiatan hingga September 2021. Pada tahun 2017, Penulis mengikuti Regional Training Course on Practical Introduction to Nuclear Forensics di Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO), Australia. Pada 2019, Penulis mengikuti Nuclear Security Workshop for Scientist, Technicians, and Engineers di Malaysia. Selain itu, di tahun 2019, Penulis menjadi Principal Investigator untuk kegiatan

*Coordinated Research Project (CRP)* dengan pendanaan dari International Atomic Energy Agency (IAEA) untuk kegiatan Web-Based NF Library for Evidence Database Platforms. Akhir tahun 2020, Penulis mengikuti The Nuclear Researcher Exchange Program tahun 2020 dari Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Jepang di Universitas Tokyo, Jepang dengan tema Materials Development of Nuclear Fuel Cladding selama 3 bulan. Penulis aktif sebagai pengelola Jurnal Teknologi Bahan Nuklir hingga tahun 2015 dan Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir hingga tahun 2022. Selain itu, Penulis juga dipercaya menjadi mitra bestari di jurnal nasional terakreditasi dan internasional bereputasi. E-mail: jans002@brin.go.id



### **Ir. Agus Sumaryanto, M.S.M**

**Ir. Agus Sumaryanto, M.S.M** lahir di Magelang, 4 Maret 1965. Penulis menempuh pendidikan S-1 di Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran, Yogyakarta yang diselesaikan pada tahun 1991, pendidikan S-2 di Program Studi Ilmu Manajemen, Universitas Indonesia yang selesai tahun 2013. Penulis berkarir sebagai pegawai negeri sipil (PNS) di BATAN sejak tahun 1992 dengan penempatan di Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir. Se-

lama di BATAN, Penulis berkarir sebagai pejabat struktural hingga memperoleh amanat sebagai Sekretaris Utama BATAN tahun 2021. Saat proses peleburan dengan BRIN, diberi amanat sebagai Plt. Kepala Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) hingga Maret 2022. Saat ini, Penulis menjabat sebagai fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Utama, di Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif, ORTN, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan pelatihan terkait material radioaktif forensik nuklir dan teknologi reaktor nuklir, baik yang

diselenggarakan di dalam negeri maupun di tingkat internasional. Selain itu, Penulis juga menjalin beberapa kegiatan kolaboratif terkait pengolahan bahan tambang dan radioaktif, baik dengan mitra dalam negeri maupun luar negeri. E-mail: agus029@brin.go.id



## **Dwi Agus Wrihatno, S.Kom**

**Dwi Agus Wrihatno, S.Kom** lahir di Jakarta, tanggal 14 Agustus 1965. Penulis mulai bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sejak tahun 1986, ditempatkan di Biro Bina Program bagian Pengawasan Pengamanan sebagai Pengamanan Nuklir. Penulis bertugas melakukan pengamanan Instalasi Nuklir Kuningan, Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer pada tahun 1991 di Jakarta

dan mendapat gelar Sarjana Komputer, Jurusan Teknik Informatika pada tahun 1996. Pada tahun 2018, Penulis diangkat menjadi Kepala Subbagian Persuratan, Kepegawaian Dokumentasi dan Ilmiah, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. Tahun 2019, Penulis diangkat menjadi Kepala Unit Pengamanan Nuklir pada Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN). Pada tahun 2021, Penulis diangkat menjadi Pejabat Fungsional Pranata Nuklir Ahli Muda dan merangkap tugas sebagai Subkoordinator Pengamanan Nuklir PTBBN. Pada masa transisi BATAN bergabung ke BRIN, Penulis diangkat sebagai Pejabat Fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Muda dan bertugas sebagai Subkoordinator Pengamanan Nuklir Kawasan Pasar Jumat, Jakarta di Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFF) hingga saat ini. Selama bertugas di Pengamanan Nuklir, Penulis telah mengikuti pelatihan, antara lain, Pelatihan Pengamanan dan Pencegahan (SUSPAM CEGAH ANGKATAN VI) di Sekolah Intelejen Strategis (SIS) di Bogor selama 3 bulan pada tahun 1987. Pada tahun 2012, Penulis mengikuti International Training Course on Nuclear Material

Accounting and Control (NMAC) for Nuclear Security at Facilities di Beijing, China. Pada tahun 2014, Penulis mengikuti Regional Training Course on Information and Computer Security Advanced Practices for Nuclear Security di Mumbai, India. Pada tahun 2019, Penulis mengikuti 24th INSA International Training Course-Introduction to Strategic Trade Controls di Daejeon, Korea Selatan. Saat ini, Penulis sedang merancang dan membuat Sistem Informasi Manajemen Pengamanan Nuklir (E-Security) berbasis website, yang direncanakan digunakan oleh Pengamanan Nuklir di DPFK, BRIN, baik yang ada di Jakarta, Bandung, maupun Yogyakarta. Penulis memasuki masa purnabakti dari BRIN pada 1 September 2023. E-mail: [dwiagusjks@gmail.com](mailto:dwiagusjks@gmail.com)



### **Ir. Kristedjo Kurnianto, M.Eng.Sc.**

**Ir. Kristedjo Kurnianto, M.Eng.Sc.** lahir di Purbalingga, tanggal 26 Desember 1967. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar sampai Sekolah Menengah Pertama di Purbalingga, dan Sekolah Menengah Atas di Yogyakarta. Penulis menyelesaikan S-1 di Jurusan Teknik Nuklir, Universitas Gadjah Mada pada tahun 1992. Penulis mulai bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sejak tahun 1992 dan ditempatkan di Pusat Reaktor Serbaguna

(PRSG) GA Siwabessy sebagai staf bidang Teknologi Reaktor, menangani sistem instrumentasi dan kendali reaktor. Penulis melanjutkan S-2 melalui beasiswa dari pemerintah Australia, lewat program AusAID, di jurusan Ilmu Komputer, The University of Queensland pada tahun 2000–2002. Pada tahun 2005–2009, Penulis menjadi fungsional peneliti di Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN). Pada tahun 2010, Penulis ditugaskan di Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) sebagai Kepala Bidang Instrumentasi Reaktor dan Industri (2010–2014) dan Kepala Bidang Elektromekanik dan

Kendali (2014–2019). Pada tahun 2020–2022, Penulis menjadi Kepala Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, sebelum akhirnya menjadi pejabat fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Utama (2022) di Pusat Riset Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir (PRTDRAN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis mengikuti berbagai pertemuan teknis International Atomic Energy Agency (IAEA), bidang instrumentasi nuklir tingkat regional dan internasional. Penulis mengikuti School of Nuclear Knowledge Management (NKM) di International Center for Theoretical Physics (ICTP) di Trieste, Italia dan aktif sebagai anggota tim NKM di BATAN sejak tahun 2015, serta menjadi anggota IAEA Technical Working Group on Nuclear Knowledge Management periode 2019–2022. Penulis mengikuti Technical Meeting on Advanced Radiation Portal Monitor Testing and Configuration Techniques di Seibersdorf dan Vienna, Austria (2019) serta aktif dalam beberapa pertemuan teknis dan sebagai *expert* dalam beberapa Consultancy Meeting divisi Nuclear Security di IAEA, khususnya pada bagian sistem deteksi dan pengukuran radiasi. Penulis sebagai Chief Scientific Investigator dalam IAEA *Coordinated Research Project* (CRP) “Imaging Technologies for Process Investigation and Components Testing” (2018–2023) dan Second Scientific Investigator pada IAEA CRP “Advancing Maintenance, Repair, and Calibration of Radiation Detection Equipment” (2019–2023), serta sebagai Designated Team Member (DTM) IAEA TC RAS-1026 “Strengthening Nuclear Instrumentation Capacity in the Area of Nuclear Sciences and Application” (2020–2022). Sejak tahun 2020 hingga saat ini, Penulis mengoordinasikan kegiatan Prioritas Riset Nasional Sistem Peman-tauan Radiasi untuk Keselamatan dan Keamanan (SPRKK). Penulis aktif mengajar dalam berbagai diklat dan sebagai narasumber dalam beberapa pertemuan di lingkungan BATAN dan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dalam bidang instrumentasi nuklir dan manajemen pengetahuan nuklir. E-mail: kris004@brin.go.id



## **Moch Romli, S.ST., M.K.K.K.**

**Moch Romli, S.ST., M.K.K.K.** lahir di Jayapura, tanggal 2 Juni 1987. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di Jayapura, Papua. Setelah itu, Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama dan Sekolah Lanjutan Tingkat Atas di Pati, Jawa Tengah. Selanjutnya, Penulis melanjutkan Pendidikan Diploma IV Teknofisika Nuklir di Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta tahun 2005–2009. Sejak tahun 2009, Penulis

diterima bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan mendapatkan beasiswa untuk melanjutkan pendidikan S-2 pada tahun 2013 hingga 2015 pada program studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia. Sejak diterima di BATAN, Penulis ditugaskan di Bidang Keselamatan dan Lingkungan, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif. Pada tahun 2017, Penulis diangkat menjadi Kepala Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi, dan sejak Januari 2022 Penulis dipercaya untuk menjadi Koordinator Pelaksana Fungsi Keselamatan Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif, Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Untuk mengembangkan kompetensi keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif, khususnya yang berhubungan dengan pengelolaan limbah radioaktif, berbagai training dan workshp nasional serta internasional telah diikuti oleh Penulis. Pada beberapa kesempatan, Penulis juga mewakili Indonesia dalam forum dan technical meeting yang diselenggarakan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA) dan Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA). E-mail: [moch.romli@brin.go.id](mailto:moch.romli@brin.go.id)



## **Intan Savitri, S.Kom., M.Eng.**

**Intan Savitri, S.Kom., M.Eng.** lahir di Jakarta, tanggal 11 Desember 1980. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas di Jakarta. Kemudian, Penulis melanjutkan pendidikan D-3 dan S-1 di Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2000 dan memperoleh gelar Sarjana Komputer pada tahun 2006. Sejak tahun 2008, Penulis bekerja di Badan

Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Penulis melanjutkan pendidikan S-2 pada Program Studi Teknik Elektro (Teknologi Informasi), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada pada 2013 dan lulus pada tahun 2015. Sejak masuk BATAN, Penulis sudah aktif berkecimpung dalam kegiatan keamanan siber, dan mulai secara khusus menggeluti keamanan siber di fasilitas nuklir sejak tahun 2016. Penulis rutin mengoordinasikan dan menjadi pemateri pada acara tahunan Bimtek Keamanan Informasi di BATAN. Saat menjadi pejabat struktural tahun 2019, Penulis disertai tanggung jawab menjaga keamanan informasi di BATAN. Pada tahun 2020, Penulis ditunjuk sebagai Ketua Tim cyber security, BATAN. Saat ini, Penulis bekerja sebagai pranata komputer di Pusat Data dan Informasi (Pusdatin), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan menjabat sebagai narahubung Computer Security Insiden Responssse Team (CSIRT). E-mail: intan.savitri@brin.go.id



## **Wenseslaus Roland**

**Wenseslaus Roland** lahir di Rantepao, Tana Toraja, pada tanggal 19 Maret 1972. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar hingga menengah atas di Rantepao. Penulis sempat mengenyam pendidikan tinggi di Teknik Elektro, Universitas Hasannudin selama setahun, sebelum akhirnya mengikuti program beasiswa Science, Technology and Industrial Development (STAID) dari pemerintah untuk belajar di Department of Information Engineering,

Utsunomiya University di Jepang. Penulis kembali ke Indonesia tahun 1998 dan bekerja pada Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) di Pusat Pengembangan Informatika, yang kemudian berubah nama menjadi Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN). Penulis sering menjadi pemateri pada acara tahunan Bimtek Keamanan Informasi di BATAN. Penulis memiliki sertifikasi Certified Network Defender (CND) dari EC Council, dan menjadi anggota tim Computer Security Insiden Responssse Team (CSIRT) BATAN sejak tahun 2019. Saat ini Penulis bekerja di Pusat Data dan Informasi (Pusdatin), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). E-mail: wenseslaus.roland@brin.go.id



## **Alim Mardhi**

**Alim Mardhi** lahir di Palembang, tanggal 5 November 1981. Penulis menyelesaikan S-1 di bidang Teknik Mesin (2004), Universitas Sriwijaya, Palembang dan S-2 program Master of Science di bidang Teknologi Nuklir terkait Keamanan Nuklir dan Safeguard di Chulalongkorn University, Thailand. Penulis bergabung di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

sejak tahun 2008 sebagai peneliti pertama yang bertanggung jawab untuk meneliti integritas struktur dan komponen reaktor, terutama pada penilaian keselamatan mekanik. Pada bidang ini, Penulis pernah menjadi Kepala Laboratorium Pengujian Mekanik selama 4 tahun dan terlibat dalam beberapa proyek seperti Manajemen Penuaan Reaktor Penelitian, Pengembangan Material Baru untuk Reaktor Suhu Tinggi, dan Desain Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Sejak tahun 2016, Penulis dilibatkan dalam program pengamanan nuklir di BATAN dengan tanggung jawab utama melakukan evaluasi sistem proteksi fisik di reaktor riset dan fasilitas nuklir. Pada tahun 2019, Penulis menjadi salah satu anggota yang menggagas untuk mendirikan laboratorium sistem proteksi fisik. Pada tahun yang sama (2019), Penulis terlibat sebagai anggota Center of Nuclear Security Culture Assessment (CSCA) dan Tim Nasional Human Reliability Program Assessment untuk fasilitas nuklir. Jabatan Penulis saat ini adalah Peneliti Muda. Sejak 2019, Penulis menjadi Chief Investigator, di International Atomic Energy Agency (IAEA), *Coordinated Research Project (CRP) J02010 #20963*. Setelah BATAN bergabung menjadi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pada September 2021, Penulis menjadi Koordinator Grup Riset Keamanan Nuklir dan Safeguard di Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir. E-mail: alim005@brin.go.id



### **Ir. Fatmuanis Basuki, M.Si**

**Ir. Fatmuanis Basuki, M.Si** lahir di Tegal, pada tanggal 18 Juni 1966. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 di Teknik Nuklir, Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 1991 dan Pasca Sarjana Jurusan Ilmu Kimia, Universitas Indonesia pada tahun 2000. Penulis berprofesi lebih dari 30 tahun sebagai trainer, pengelola, dan manajer pelatihan, serta pada tahun 2020–2021 diberikan tanggungjawab sebagai Kepala Pusat Pendidikan dan

Buku ini tidak diperjualbelikan

Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Penulis mewakili BATAN pada pertemuan tahunan Nuclear Security Support Center (NSSC) di Austria dan Pakistan (2016–2020). Penulis mengikuti Train of the Trainer (TOT) untuk Keamanan Sumber Radioaktif di Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO,) Australia (2010) dan beberapa workshop terkait keamanan nuklir, seperti Proteksi Fisik, Budaya Keamanan, *Insider Threat* dan Human Reliability Program, Penggerak Penerapan Budaya Keamanan Nuklir, Penanggung Jawab uji coba penerapan Program Keandalan Manusia (PKM) di Pusdiklat, BATAN dan penggerak penerapan PKM BATAN (2016–2020). Saat ini, Penulis bekerja sebagai trainer dan pejabat fungsional Pengembang Teknologi Nuklir di Direktorat Pengembangan Kompetensi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). E-mail: fatm001@brin.go.id



### **Agustinus Bayu Purnomo, M.Eng**

**Agustinus Bayu Purnomo, M.Eng** lahir di Yogyakarta, tanggal 20 September 1967. Sejak 1986, Penulis bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sekaligus mendapat beasiswa untuk sarjana S-1 di Universitas Tokyo, Jepang yang diselesaikan pada tahun 1992. Kemudian, Penulis kembali bekerja di BATAN dari 1992 hingga 1999, sebelum mendapat beasiswa kembali untuk gelar Master of Engineering yang diselesaikan di University of South Australia pada tahun 2001. Dari 2001 hingga 2021, Penulis bekerja di Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir, di bidang Jaminan Mutu dan Perumusan Standar, termasuk Standar BATAN dan Standar Nasional Indonesia dalam ruang lingkup Rekayasa Energi Nuklir. Standar BATAN yang pernah dirumuskan mencakup Sistem Manajemen Mutu, Sistem Manajemen Keamanan, Sistem Manajemen Laboratorium, dan Penilaian Risiko Keamanan

Nuklir. Saat ini, Penulis aktif sebagai Ketua Komite Teknis 27-01 untuk perumusan SNI bidang Rekayasa Energi Nuklir. Penulis mulai terlibat dalam berbagai kegiatan keamanan sejak tahun 2012, antara lain, mempersiapkan penilaian budaya keamanan nuklir di BATAN, yang selanjutnya menangani kegiatan penilaian diri budaya keamanan di Center for Security and Culture Assessment (CSCA) sejak 2014. Penulis aktif sebagai narasumber budaya keamanan nuklir secara nasional dan internasional hingga sekarang. Saat ini, Penulis bekerja sebagai Pelaksana Fungsi Jaminan Mutu Fasilitas Ketenaganukliran, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Jabatan fungsional yang dipangku sekarang oleh Penulis adalah Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Madya. E-mail: agus051@brin.go.id



### **Sugiyarto, S.T.**

**Sugiyarto, S.T.** lahir di Gunungkidul, tanggal 9 September 1984. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 pada 2008 di Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, Yogyakarta jurusan Teknik Mesin. Penulis mulai bekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) tahun 2011 di Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN). Sampai tahun 2021, Penulis berkecimpung di bidang standardisasi dan jaminan mutu nuklir sebagai Penelaah Standar Mutu

Bahan dan Peralatan Nuklir (2014), Analisis Perumusan Standar Iptek Nuklir (2018), Fungsional Pranata Nuklir Ahli Pertama (2019), serta pernah menduduki jabatan Struktural Kepala Subbidang Program Jaminan Mutu Nuklir (2020) dan sebagai Fungsional Pranata Nuklir Ahli Muda (2021). Berbagai aktivitas kegiatan berkaitan dengan tugas dan fungsi standardisasi telah dilakukan oleh Penulis, di antaranya sebagai konseptor dan editor dalam perumusan Standar Nasional Indonesia (SNI) di bidang Iptek Nuklir melalui keanggotaan dalam Komite Teknis (Komtek) Perumusan SNI bidang Peralatan Kesehatan

Berbasis Iptek Nuklir dan Anggota Komtek Perumusan SNI bidang Uji Tak Rusak. Penulis terlibat dalam perumusan Standar BATAN sebagai anggota tim perumus Standar BATAN bidang Administrasi Manajemen dan Organisasi serta bidang Rekayasa Pembuatan Perangkat Nuklir. Penulis juga terlibat di berbagai aktivitas kegiatan lain di antaranya sebagai Auditor dalam Tim Audit Internal Sistem Manajemen BATAN, Tim Audit Internal PSMN, dan Tim Audit Internal Lembaga Sertifikasi Personil (LSP) BATAN serta pengajar dalam Diklat Sistem Manajemen BATAN. Pendidikan dan pelatihan profesi yang pernah diikuti oleh Penulis di antaranya pelatihan Lead Auditor ISO 9001, Lead Auditor ISO 45001, Asesor Kompetensi dari BNSP serta pelatihan Konseptor dan Editor SNI dari BSN. Pelatihan profesi keahlian yang pernah diikuti oleh Penulis, yaitu pelatihan Radiografi Level 1 dan Radiografi Level 2 serta pelatihan sebagai Petugas Iradiator. Hingga terakhir mulai tahun 2022, Penulis menduduki jabatan fungsional Pengembang Teknologi Nuklir Ahli Muda dan bertugas sebagai pelaksana penelitian di Pusat Riset Teknologi Akselerator (PRTA) dibawah Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). E-mail: sugi034@brin.go.id

# INDEKS

- aktivitas, 4, 6, 8, 16, 18, 32, 101,  
111, 112, 117, 126, 127,  
128, 129, 135, 156, 158,  
159, 160, 182, 202, 228,  
248, 254, 267, 288, 300,  
352, 371, 373, 374, 375
- alarm palsu, 136, 137
- analisis risiko, 217, 271, 315, 332,  
335, 336, 337, 341
- Ancaman Dasar Desain, 347
- ancaman orang dalam, 181, 184,  
213, 215, 217, 219, 220,  
222, 223, 224, 225, 227,  
231, 232, 233, 234, 235,  
236, 241, 242, 247, 248,  
249, 254, 259, 262, 264,  
274, 354, 360, 361
- aset digital sensitif, 177, 207
- audit, 191, 203, 311, 312, 320, 322,  
343
- bahan nuklir 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,  
10, 15, 17, 18, 21, 22, 23,  
24, 25, 27, 28, 29, 30, 32,  
34, 37, 38, 39, 40, 41, 42,  
43, 45, 48, 49, 51, 52, 56,  
57, 58, 59, 60, 61, 62, 63,  
65, 66, 67, 68, 69, 70, 71,  
72, 73, 74, 78, 79, 80, 82,  
85, 86, 87, 88, 89, 90, 91,  
93, 94, 95, 96, 99, 100, 101,  
102, 103, 104, 105, 106,  
107, 108, 109, 110, 111,  
113, 115, 116, 117, 118,  
119, 123, 124, 125, 126,  
132, 133, 141, 142, 150,  
152, 157, 161, 162, 163,  
167, 176, 178, 181, 182,  
183, 192, 207, 208, 214,

- 215, 230, 234, 235, 245,  
 246, 247, 248, 250, 251,  
 252, 255, 256, 257, 259,  
 262, 263, 280, 281, 285,  
 286, 288, 289, 290, 292,  
 294, 301, 305, 306, 308,  
 310, 319, 322, 324, 330,  
 331, 352, 354, 355, 356,  
 359, 361, 362, 370, 371,  
 372, 373, 374
- BAPETEN**, 5, 6, 37, 41, 42, 43, 44,  
 45, 46, 47, 61, 63, 64, 65,  
 66, 67, 69, 71, 72, 73, 74,  
 81, 83, 86, 88, 89, 93, 101,  
 116, 117, 118, 125, 129,  
 142, 145, 150, 151, 153,  
 154, 155, 156, 157, 166,  
 201, 202, 204, 248, 255,  
 256, 257, 290, 291, 306,  
 307, 311, 313, 314, 320,  
 323, 324, 330, 353, 356,  
 359, 365, 372
- BATAN**, xiv, 3, 6, 7, 8, 9, 45, 46,  
 51, 61, 63, 64, 65, 66, 67,  
 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85,  
 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,  
 93, 94, 95, 96, 117, 118,  
 119, 126, 131, 135, 141,  
 142, 143, 144, 163, 164,  
 165, 166, 167, 168, 203,  
 204, 205, 206, 207, 231,  
 232, 233, 234, 235, 236,  
 237, 241, 242, 243, 245,  
 257, 258, 259, 260, 261,  
 264, 271, 272, 273, 274,  
 275, 276, 281, 290, 291,  
 292, 293, 294, 295, 296,  
 297, 298, 300, 301, 302,  
 306, 307, 308, 309, 310,  
 313, 314, 317, 318, 319,  
 320, 321, 323, 324, 325,  
 326, 327, 329, 330, 331,  
 332, 333, 334, 335, 336,  
 337, 338, 339, 341, 342,  
 343, 344, 345, 346, 347,  
 348, 349, 353, 354, 356,  
 357, 358, 360, 365, 367
- Becquerel**, 159, 365
- bom atom**, 1
- bom kotor**, 5, 60, 246, 352
- BRD**, 130, 135, 140
- BRIN** 1, 3, 7, 8, 10, 15, 51, 63, 64,  
 65, 66, 74, 83, 93, 95, 96,  
 118, 120, 126, 141, 143,  
 144, 145, 167, 207, 242,  
 274, 291, 301, 317, 319,  
 320, 323, 324, 325, 330,  
 343, 348, 354, 356, 357,  
 358, 359, 360, 361, 362, 365
- BSS**, 67, 81, 87, 88, 90, 365
- budaya keamanan**, 8, 24, 49, 62, 73,  
 81, 91, 92, 194, 199, 219,  
 223, 229, 230, 235, 237,  
 238, 241, 273, 280, 281,  
 282, 283, 284, 285, 286,  
 287, 288, 289, 290, 291,  
 292, 293, 294, 295, 296,  
 298, 299, 300, 301, 316,  
 319, 321, 323, 354, 358,  
 360, 361
- CAS**, 67, 87, 88
- CNS**, 19, 365
- CPPNM**, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 28,  
 30, 32, 33, 34, 48, 49, 50,  
 56, 59, 61, 63, 64, 74, 176,  
 207, 280, 281, 302, 324,

- 352, 365
- CSCA, 91, 92, 235, 294, 296, 301, 357, 361, 365
- Daerah Akses Terbatas, 370
- Daerah dalam, 69, 370
- Daerah Proteksi, 71, 370
- daerah vital, 69, 72, 214, 231, 256, 370
- Deteksi, 56, 130, 135, 136, 137, 140, 141, 154, 370
- detektor, 108, 125, 129, 130, 132, 135, 145
- Detektor Pengidentifikasi Radionuklida (RID), 132
- Detektor Radiasi Personal (PRD), 132
- detektor radiasi ransel, 130
- evaluasi risiko, 249, 332, 335, 336, 337
- fasilitas nuklir 3, 4, 5, 6, 8, 9, 17, 21, 23, 24, 25, 29, 30, 34, 37, 45, 48, 49, 50, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 70, 73, 74, 88, 89, 96, 103, 106, 123, 125, 126, 136, 144, 145, 175, 178, 181, 182, 184, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 199, 201, 202, 205, 206, 207, 208, 213, 214, 215, 230, 233, 234, 241, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 257, 262, 273, 274, 279, 280, 281, 293, 295, 297, 299, 300, 301, 305, 306, 307, 308, 310, 319, 322, 324, 330, 331, 332, 334, 342, 353, 356, 358, 359, 361, 362, 370, 371, 372, 373
- fermentasi,
- flavonoid,
- forensik nuklir, 7, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 156, 354, 361
- garda aman, 4, 5, 16, 29, 37, 40, 43, 45, 50, 55, 78, 79, 118, 156, 300, 322
- GuskamnuK, 81, 84, 89, 92, 94, 366
- Guskamtib, 80, 366
- HEU, 2, 3, 214, 247, 366
- hukum nuklir, 16, 51
- IAEA, 1, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 43, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 73, 74, 75, 86, 87, 88, 91, 92, 96, 99, 101, 102, 107, 113, 114, 117, 118, 120, 125, 126, 127, 134, 136, 139, 146, 149, 152, 153, 159, 160, 166, 167, 168, 175, 176, 178, 180, 181, 183, 189, 191, 192, 194, 195, 198, 199, 201, 204, 208, 209, 210, 215, 229, 230, 234, 235, 236, 243, 248, 249, 250, 252, 253, 254, 257, 258, 271, 275, 279, 280, 281, 282, 283, 285, 288, 289, 293, 294, 295,

296, 297, 298, 301, 302,  
 303, 306, 307, 311, 321,  
 322, 324, 326, 328, 351,  
 352, 353, 355, 358, 359,  
 360, 363, 366  
 identifikasi risiko, 315, 332, 335,  
 336, 337  
 IPPAS, 65, 67, 73, 75, 88, 324, 366  
 ISO, 306, 307, 308, 312, 313, 314,  
 317, 318, 326, 336, 349, 366  
 jaminan mutu, 24, 37, 49, 306, 307  
 kaji diri, 8, 91, 92, 287, 291, 294,  
 295, 296, 297, 298, 300, 301  
 kaji ulang manajemen, 312, 317  
 KBRN, 356, 357, 366  
 keamanan, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,  
 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24,  
 28, 29, 31, 33, 34, 35, 37,  
 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44,  
 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51,  
 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62,  
 63, 64, 65, 66, 67, 69, 72,  
 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80,  
 81, 82, 84, 86, 87, 88, 89,  
 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,  
 97, 100, 101, 102, 105, 106,  
 108, 116, 117, 118, 119,  
 120, 123, 124, 125, 128,  
 129, 130, 132, 133, 136,  
 142, 144, 145, 147, 152,  
 153, 154, 155, 156, 157,  
 158, 160, 161, 162, 163,  
 164, 165, 166, 167, 168,  
 169, 173, 174, 175, 177,  
 178, 179, 180, 181, 182,  
 183, 184, 190, 191, 192,  
 193, 194, 195, 196, 198,  
 199, 200, 201, 202, 203,  
 204, 205, 206, 207, 208,  
 213, 214, 215, 216, 217,  
 219, 220, 222, 223, 229,  
 230, 232, 234, 235, 237,  
 238, 241, 242, 245, 246,  
 247, 248, 249, 252, 253,  
 254, 255, 256, 257, 258,  
 259, 261, 262, 263, 264,  
 265, 268, 269, 270, 271,  
 272, 273, 274, 276, 280,  
 281, 282, 283, 284, 285,  
 286, 287, 288, 289, 290,  
 291, 292, 293, 294, 295,  
 296, 297, 298, 299, 300,  
 301, 304, 305, 306, 307,  
 308, 309, 310, 311, 312,  
 313, 314, 315, 316, 319,  
 320, 321, 322, 323, 324,  
 325, 327, 331, 332, 335,  
 336, 337, 339, 340, 341,  
 342, 343, 344, 346, 347,  
 348, 349, 352, 353, 354,  
 355, 356, 357, 358, 359,  
 360, 361, 362, 367, 371,  
 372, 373, 374  
 Kebijakan keamanan, 284, 319  
 kedaruratan nuklir, 40, 67, 90, 93,  
 94, 310  
 keselamatan, 4, 5, 7, 8, 11, 15, 16,  
 17, 19, 27, 31, 34, 37, 38,  
 39, 40, 42, 43, 44, 45, 50,  
 55, 59, 67, 76, 78, 82, 84,  
 87, 88, 93, 97, 120, 123,  
 124, 125, 130, 137, 138,  
 142, 144, 145, 152, 156,  
 161, 164, 165, 166, 167,  
 175, 176, 191, 192, 193,  
 195, 199, 202, 222, 232,  
 234, 245, 246, 247, 248,

- 255, 259, 261, 263, 264,  
268, 269, 270, 273, 274,  
276, 279, 280, 281, 288,  
295, 300, 304, 307, 314,  
315, 320, 322, 324, 327,  
349, 352, 358, 367
- kinerja proaktif, 320
- kinerja reaktif, 320
- LEU, 2, 366
- Limbah Radioaktif, 38, 46, 165, 333
- motivasi, 182, 184, 185, 216, 217,  
218, 228, 231, 236, 254,  
267, 286, 292, 299, 319
- nilai D, 126, 127
- NNFL, 115, 116, 119, 361, 366
- nonproliferasi, 2, 50, 354, 356, 363
- NPT, 2, 3, 9, 10, 28, 43, 58, 59,  
356, 366
- Nubika, 96, 290, 366
- obvitnas, 70, 306, 307, 323
- operator, 48, 63, 64, 65, 67, 72, 81,  
191, 196, 197, 202, 203,  
216, 220, 223, 235, 256,  
262, 290, 310
- orang dalam, 7, 181, 184, 199, 213,  
214, 215, 216, 217, 218,  
219, 220, 221, 222, 223,  
224, 225, 226, 227, 228,  
229, 230, 231, 232, 233,  
234, 235, 236, 241, 242,  
243, 246, 247, 248, 249,  
254, 259, 262, 264, 274,  
354, 360, 361
- ORTN, 118, 274, 366
- otoritas kompeten, 9, 201, 202
- PDCA, 308, 309, 325, 367
- pegawai terpercaya dan Andal, 266
- pemegang izin, 5, 41, 48, 49, 50,  
56, 64, 65, 66, 72, 167, 208,  
274, 290, 291
- Pengusaha Instalasi Nuklir, 307,  
367, 372
- penilaian kejujuran, 236, 248, 250,  
251, 252, 253, 256
- penilaian risiko, 8, 63, 194, 309,  
310, 320, 331, 336, 342,  
344, 346, 347, 354
- penundaan, 46, 57, 89, 129, 153,  
155, 190, 194, 287, 340, 372
- PKM, 72, 230, 247, 248, 249, 250,  
252, 253, 254, 255, 256,  
257, 258, 259, 260, 261,  
262, 264, 265, 266, 267,  
268, 269, 270, 271, 272,  
273, 274, 276, 360, 367, 373
- PLTN, 2, 3, 15, 56, 213, 245, 248,  
251, 252, 258, 274, 279,  
296, 351, 352, 367
- plutonium, 32, 162
- Portal Monitor Radiasi (RPM), 133
- PRD, 130, 132, 133, 135, 136, 137,  
147, 367
- prescriptive based, 313
- proteksi fisik, 5, 6, 21, 22, 23, 24,  
27, 29, 30, 37, 39, 40, 41,  
45, 46, 47, 48, 49, 50, 56,  
57, 58, 59, 60, 61, 62, 63,  
64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,  
71, 72, 73, 74, 78, 79, 81,  
83, 85, 86, 87, 88, 89, 90,  
91, 94, 95, 108, 157, 162,  
163, 164, 178, 181, 194,  
208, 213, 217, 222, 234,  
250, 256, 262, 280, 281,  
292, 307, 308, 309, 310,

- 313, 322, 324, 354, 356,  
357, 358, 359, 360, 367,  
369, 370, 372, 373, 374
- proteksi radiasi, 42, 43, 67, 83, 103,  
141, 142, 165, 263, 293,  
357, 360
- radiasi, 4, 7, 16, 18, 28, 31, 32, 34,  
38, 42, 43, 44, 45, 67, 82,  
83, 103, 108, 111, 112, 119,  
124, 125, 129, 130, 131,  
132, 133, 134, 135, 136,  
137, 138, 139, 140, 141,  
142, 144, 145, 149, 156,  
157, 161, 162, 164, 165,  
170, 171, 254, 257, 263,  
280, 288, 293, 295, 296,  
323, 343, 346, 356, 357,  
360, 362, 367, 374, 375
- RDD, 18, 367
- reaktor riset, 15, 56, 65, 66, 67, 74,  
150, 235, 248, 258, 259, 271
- Reflektor, 165
- regulasi, 3, 5, 6, 9, 34, 50, 62, 65,  
74, 81, 150, 151, 153, 166,  
167, 200, 201, 210, 252,  
253, 288, 291, 292, 306,  
308, 311, 313, 322, 324,  
331, 353, 373, 374
- rezim keamanan nuklir, 9, 17, 18,  
19, 24, 33, 34, 35, 65, 175,  
177, 193, 199, 249, 288,  
322, 324, 358
- RID, 130, 132, 133, 135, 136, 144
- risiko, 4, 8, 17, 31, 63, 152, 153,  
154, 155, 181, 193, 194,  
199, 203, 213, 217, 241,  
248, 249, 270, 271, 305,  
308, 309, 310, 312, 315,  
316, 317, 320, 321, 325,  
331, 332, 335, 336, 337,  
341, 342, 344, 345, 346,  
347, 348, 354
- RPM, 100, 130, 133, 135, 136, 137,  
139, 141, 142, 144
- sabotase, 4, 5, 17, 18, 23, 24, 30,  
38, 40, 45, 49, 56, 57, 59,  
63, 65, 70, 78, 86, 89, 94,  
154, 161, 183, 185, 188,  
189, 192, 213, 214, 215,  
218, 219, 225, 233, 234,  
246, 247, 248, 251, 252,  
255, 256, 263, 280, 288,  
330, 331, 335, 340, 370,  
371, 372, 373
- sertifikasi, 142, 202, 204, 264, 266,  
267, 269, 317, 318, 325
- siber, 7, 145, 174, 175, 180, 181,  
182, 183, 184, 190, 191,  
192, 193, 194, 195, 199,  
201, 202, 203, 204, 205,  
207, 208, 210, 291, 353
- sistem berbasis komputer, 174, 176,  
177, 180, 181, 184, 190,  
193, 194, 195, 198, 199,  
203, 207, 369
- sistem manajemen, 8, 42, 199, 259,  
261, 281, 283, 284, 287,  
298, 301, 306, 307, 308,  
309, 310, 311, 312, 313,  
314, 315, 316, 317, 321,  
322, 323, 324, 327, 336,  
343, 344, 354, 358, 359, 361
- Sistem Manajemen Keamanan, 76,  
281, 304, 305, 308, 311,  
314, 324, 326, 327, 330,  
331, 332, 334, 344, 348, 367

SPE, 56, 57, 58, 61, 65, 67, 68, 70,  
 71, 72, 73, 74, 234, 308,  
 311, 313, 315, 319, 324,  
 325, 361, 367  
 SPRKK, 142, 143, 367  
 Standar BATAN, 72, 74, 326, 327,  
 331, 332, 333, 334, 335,  
 336, 337, 342, 344, 347,  
 348, 349  
 Sumber Radioaktif, 20, 21, 30, 31,  
 38, 45, 75, 85, 129, 147,  
 157, 158, 161, 169, 256,  
 276, 367  
 supervisor, 256, 262, 270  
 target, 58, 74, 90, 181, 182, 183,  
 187, 192, 220, 221, 224,  
 228, 229, 231, 245, 262,  
 267, 287, 309, 332, 335,  
 337, 340, 348, 370, 372, 373  
 tempat kejadian perkara, 103, 106  
 Terorisme, 20, 24, 28, 33, 47, 237  
 thorium, 157, 162, 171  
 tingkat risiko, 154, 193, 331, 335,  
 337, 341, 344, 345, 346  
 trace, 120  
 uranium, 2, 46, 104, 105, 113, 114,  
 120, 138, 157, 162, 170,  
 171, 214, 247, 366  
 WMD, 26, 367  
 X-ray, 110, 111, 345, 346  
 zat radioaktif, 4, 7, 9, 10, 17, 19, 25,  
 38, 39, 46, 60, 67, 69, 80,  
 82, 93, 99, 100, 101, 102,  
 103, 106, 108, 109, 113,  
 115, 117, 118, 119, 123,  
 124, 125, 126, 127, 128,  
 132, 133, 136, 138, 140,  
 144, 150, 151, 152, 153,  
 154, 155, 156, 157, 165,  
 166, 167, 168, 178, 181,  
 235, 245, 248, 253, 257,  
 262, 271, 273, 280, 288,  
 352, 354, 356, 361, 362,  
 370, 371, 375

Kata nuklir bagi sebagian orang sangatlah erat dengan hal-hal yang sangat membahayakan. Artinya, masih banyak orang yang belum memahami bagaimana teknologi nuklir dapat bermanfaat bagi kehidupan dan kesejahteraan masyarakat. Padahal, teknologi nuklir dapat diterapkan dengan risiko minimal jika *safety*, *security*, dan *safeguards* (keamanan, keselamatan, dan garda aman) dijalankan dengan baik.

Oleh karena itu, buku *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* bertujuan untuk meningkatkan kesadaran terkait keselamatan serta keamanan nuklir. Pemanfaatan nuklir serta berbagai aspek penerapannya termasuk forensik nuklir, sistem manajemen nuklir dan ancaman orang dalam dibahas secara lengkap di buku ini. Belum banyak buku yang membahas secara spesifik mengenai penerapan keamanan teknologi nuklir, khususnya di fasilitas nuklir yang ada di Indonesia.

Buku ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber referensi bagi peneliti atau akademisi untuk pembelajaran terkait berbagai aspek keamanan nuklir.

BRIN Publishing  
*The Legacy of Knowledge*

Diterbitkan oleh:  
**Penerbit BRIN**, anggota Ikapi  
Gedung BJ, Habibie Lt. 8,  
Jln. M.H. Thamrin No. 8,  
Kota Jakarta Pusat 10340  
E-mail: penerbit@brin.go.id  
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.760



ISBN 978-623-8372-75-1

