

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, kewanu 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
- 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
- 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
- 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.