

BAB XIV

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

Buku ini tidak diperjualbelikan

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 menumbuhkan 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
- 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
- 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>