

## 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

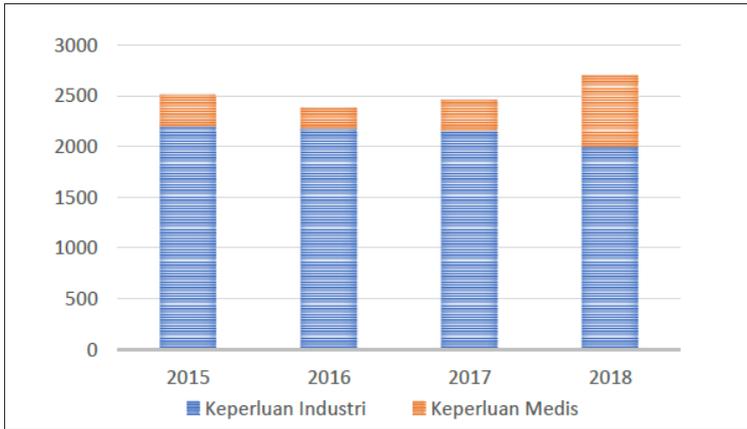
Romli, M. (2024). Keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif. Dalam Antariksawan, A. R. (Ed.), *Memperkuat Keamanan Nuklir Untuk Meningkatkan Pemanfaatan Iptek Nuklir* (149–171). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.760.c995, E-ISBN: 978-623-8372-75-1

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.

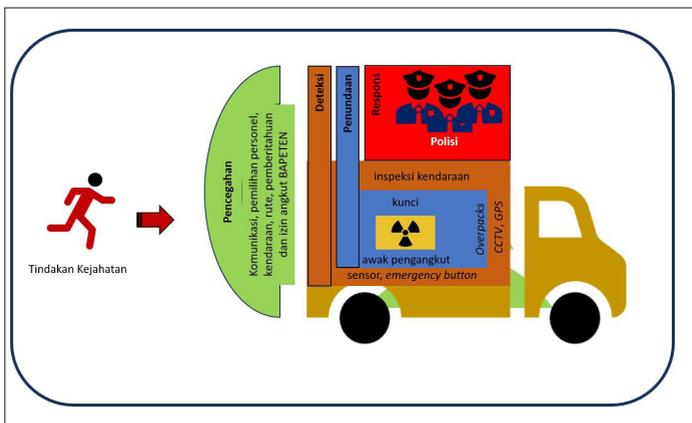
Hermawan (2019) menyatakan, selain aspek keselamatan, aspek keamanan pengangkutan zat radioaktif mulai diperhatikan sebagai responss kejadian penyerangan terhadap Menara Kembar World Trade Center di New York pada 11 September 2011. Sebagai tindakan pengendalian terhadap risiko keamanan dalam pengangkutan 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 bungkus 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

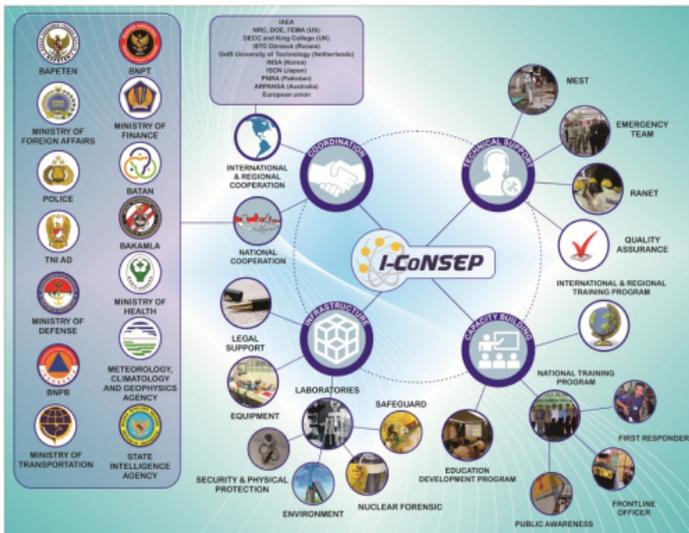
Tindakan respons harus dilakukan setelah diketahui adanya ancaman keamanan dalam pengangkutan zat radioaktif. Tindakan respons dapat dilakukan oleh awak pengangkut dan juga otoritas setempat sebagai satuan persepsi, seperti kepolisian. Badan pengawas harus mewajibkan pengirim, pengangkut, penerima, dan 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.

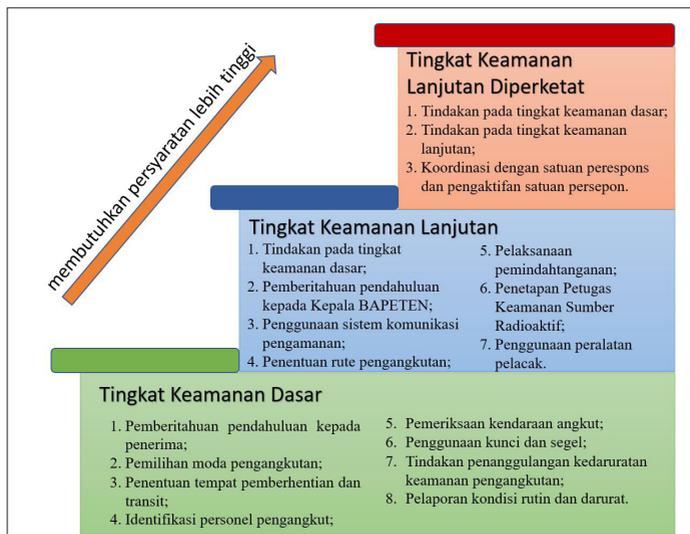
Suatu perusahaan memiliki 30 unit sumber radioaktif Am-241 yang masing-masing aktivitasnya adalah 55,5 GBq dan 5 unit sumber Cs-137 dengan masing-masing aktivitas 65 GBq untuk keperluan *well logging*. Dari contoh ini, kategori sumber radioaktif ditetapkan sebagai berikut:

- 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	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