



KL-001

KAJIAN DOSIS PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF SEBAGAI UPAYA PENETAPAN PROGRAM PENGANGKUTAN DI PRTRR

DOSE ASSESSMENT ON RADIOPHARMACEUTICAL TRANSPORT AS AN EFFORT TO DETERMINE TRANSPORT PROGRAM IN PRTRR

Bisma Barron Patrianesha, Didik Setiaji, Fath Priyadi, dan Hadirahman

ABSTRAK

Telah dilakukan sebuah kajian dosis pada kegiatan pengangkutan zat radioaktif di Pusat Riset dan Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PRTRR), Serpong, Indonesia. Zat radioaktif yang diangkut adalah zat radioaktif yang diproduksi oleh PRTRR berbentuk radiofarmaka yang digunakan di rumah sakit. Bagian terpenting dari kajian dosis ini adalah data radiologi pada pengangkutan normal (*incident-free*) radiofarmaka. Data radiologi tersebut adalah paparan radiasi pada personel pengangkut dan pekerja yang melakukan bongkar-muat bungkusan. Parameter yang digunakan dalam melakukan kajian dosis ini adalah jumlah dan tipe bungkusan, kategori bungkusan dan Indeks Angkut, zat radioaktif yang dikirim, frekuensi pengiriman, durasi penyimpanan dan pengangkutan, laju dosis bungkusan, waktu paparan, jarak/pemisahan, dan pengaturan *shielding*. Data-data pengangkutan yang digunakan untuk menghitung dosis efektif berdasarkan parameter kajian dosis adalah data pengangkutan selama tahun 2020. Berdasarkan data-data tersebut didapatkan dosis efektif bagi petugas pengangkut dan petugas bongkar muat selama tahun 2020 adalah 0,047 mSv. Nilai ini masih jauh di bawah 20 mSv per tahun yang merupakan batas yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Dengan dosis efektif sebesar 0,047 mSv, pengangkutan zat radioaktif di PRTRR tidak diwajibkan untuk melakukan pemantauan dosis personel dan/atau pemantauan daerah kerja. Hal ini disebabkan karena kewajiban pengirim dalam melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau pemantauan paparan daerah kerja pada dosis efektif di bawah 1 mSv tidak diatur secara jelas dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2020. Hasil kajian ini dapat dijadikan panduan untuk membuat program proteksi dan keselamatan radiasi khusus kegiatan transportasi sebagai manual untuk melaksanakan kegiatan pengangkutan zat radioaktif.

Kata Kunci: Kajian Dosis; Pengangkutan Zat Radioaktif; *Incident-free*; Radiofarmaka; Dosis Efektif.

B. B. Patrianesha, D. Setiaji, F. Priyadi, & Hadirahman

*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN, e-mail: bism001@brin.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

B. B. Patrianesha, D. Setiaji, F. Priyadi, dan Hadirahman "Kajian dosis pengangkutan zat radioaktif sebagai upaya penetapan program pengangkutan di PRTRR," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 15, pp. 151–161, DOI: 10.55981/brin.690.c656
E-ISBN: 978-623-8372-02-7



ABSTRACT

A dose assessment has been conducted on the transport of radioactive materials at the Center for Radioisotope and Radiopharmaceutical Research and Technology (PRTRR), Serpong, Indonesia. Radioactive materials transported are radioactive materials produced by PRTRR in the form of radiopharmaceuticals used in hospitals. The most important part of this dose assessment is radiological data on normal transportation (incident-free) of radiopharmaceuticals in the form of radiation exposure to transport personnel and workers who carry out loading and unloading of packages. The parameters used in conducting this dose assessment were the number and type of packages, package category and Transport Index, radionuclides shipped, delivery frequency, storage and transport duration, package dose rate, exposure time, distance/separation, and shielding settings. The transportation data used to calculate the effective dose based on the dose study parameters are transportation data for 2020. Based on the data on these parameters, the effective dose during 2020 for transport officers and loading and unloading officers is 0,047 mSv, still far below 20 mSv per year. which is the limit set by (National Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia (BAPETEN). With an effective dose of 0,047 mSv, the transport of radioactive substances at PRTRR is not obliged to monitor personnel doses and/or monitor work areas. This is because the sender's obligation to monitor individual doses and/or monitor work area exposures at effective doses below 1 mSv is not clearly regulated in the Regulation of the Head of BAPETEN No. 7 Year 2020. The results of this study can be used as a guide to compile radiation protection and safety program for transportation as a manual for carrying out activities for radioactive material transport.

Keywords: Dose Assessment; Radioactive Material Transportation; Incident-Free; Radiopharmaceutical; Effective Dose.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di berbagai bidang makin meningkat seiring dengan perkembangan zaman. Salah satu teknologi yang makin banyak digunakan di Indonesia adalah teknologi nuklir dalam bentuk penggunaan zat radioaktif berupa radioisotop untuk penggunaan medis, non-medis, dan industri. Pusat Riset dan Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PRTRR) memiliki fungsi untuk melaksanakan pengembangan teknologi produksi radioisotop dan radiofarmaka dengan mengutamakan aspek keselamatan.

Hasil pengembangan yang telah dibuat oleh Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka dan dimanfaatkan di Rumah Sakit adalah Senyawa Bertanda ^{153}Sm -EDTMP, ^{131}I -MIBG Diagnosis, ^{131}I -MIBG Terapi, dan Kit Radiofarmaka MIBI, DTPA, MDP, Etambutol. Senyawa Bertanda merupakan produk radiofarmaka yang di dalamnya sudah memiliki zat radioaktif sehingga kegiatan pemanfaatannya diawasi oleh BAPETEN.

Senyawa bertanda yang telah diproduksi oleh PRTRR memerlukan tahap pengangkutan zat radioaktif agar dapat digunakan oleh rumah sakit. Di dalam prosesnya, persetujuan pengangkutan dari BAPETEN diperlukan untuk dapat melakukan pengangkutan zat radioaktif.



Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif dan Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif, salah satu persyaratan yang diperlukan adalah melakukan kajian dosis untuk menentukan program pengangkutan yang diperlukan dalam tata laksana pengangkutan zat radioaktif. Tujuan dilakukannya kajian ini adalah sebagai upaya untuk memenuhi ketentuan keselamatan dan tata laksana pengangkutan Zat Radioaktif sesuai dengan amanah pada Peraturan BAPETEN No.7 Tahun 2020. Selanjutnya, kajian ini dapat digunakan untuk menentukan apakah pengirim wajib melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau melakukan pemantauan daerah kerja dalam pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif. Hasil tersebut dapat dituangkan dalam Program Pengangkutan. Dengan program pengangkutan berbasis pada kajian ini maka diharapkan tindakan proteksi radiasi yang akan dilakukan sudah berdasarkan risiko yang diperoleh sehingga tujuan keselamatan radiasi dalam melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya radiasi pada kegiatan pengangkutan zat radioaktif dapat tercapai dengan efisien.

METODE PERCOBAAN

Metode yang digunakan dalam kajian dosis tercantum dalam Lampiran XIV Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2021 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif, yaitu:

1. menggunakan perhitungan software komputer/*computer code*;
2. memperkirakan dengan menggunakan asumsi skenario dan laju dosis dari bungkusan;
3. memperkirakan berdasarkan nilai TI (*Transport Index*);
4. menggunakan data dari pengukuran langsung.

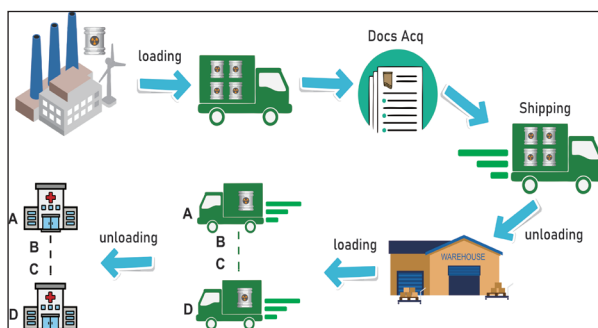
Pada kajian ini metode yang digunakan adalah kombinasi dari metode di atas. Beberapa data telah didapatkan, yaitu data-data pengangkutan radiofarmaka selama tahun 2020. Sebagai upaya dalam membuat kajian secara akurat mengenai dosis yang didapatkan pekerja diperlukan parameter-parameter berikut ini yang tercantum dalam Peraturan BAPETEN Nomor 7 Tahun 2020 Lampiran XIV, yaitu:

1. jumlah dan tipe bungkusan;
2. kategori bungkusan dan Indeks Angkut;
3. radionuklida yang dikirim;
4. frekuensi pengiriman;
5. durasi penyimpanan dan pengangkutan;
6. laju dosis bungkusan;
7. waktu paparan;
8. jarak/pemisahan;
9. pengaturan *shielding*.



Parameter tersebut didapatkan dari data dalam pengangkutan normal (*incident-free*) pada bulan Januari sampai dengan Desember tahun 2020 tanpa mengambil data kecelakaan. Data pada pengangkutan normal tersebut diolah untuk mendapatkan total laju dosis pada permukaan dan Indeks Angkut. Hasilnya yang merupakan dosis tahunan kemudian dibandingkan dengan nilai batas dosis 20 mSv yang mengacu kepada IAEA.

Pengangkutan yang dijalankan selama tahun 2020 adalah pengangkutan zat radioaktif menggunakan jasa ekspedisi via jalur darat. Produk radioisotop biasanya selesai dilakukan *packaging* menjelang pukul 15.00 WIB, proses *loading* dan administrasi berlangsung rata-rata 1 jam yang dilakukan oleh 1 orang. Selanjutnya, pengangkutan dilakukan menuju lokasi kantor penyedia jasa pengangkutan radiofarmaka. Proses penyimpanan ke gudang dilakukan oleh pengemudi tidak melibatkan pekerja lainnya. Bungkus disimpan mempertimbangkan waktu perjalanan dan waktu buka layanan kedokteran nuklir di rumah sakit tujuan. Pengemudi yang ditugaskan untuk melakukan pengiriman adalah 1 orang untuk satu rumah sakit. Deskripsi alur pengangkutan di atas tergambar pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pengangkutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengangkutan zat radioaktif di PRTRR pada tahun 2020 hanya terkonsentrasi di Pulau Jawa dengan menggunakan jalan darat menggunakan mobil boks. Pengguna produk PRTRR tahun 2020 merupakan Rumah Sakit yang memiliki layanan dan fasilitas kedokteran nuklir, di antaranya Rumah Sakit dr. Hasan Sadikin, Bandung; Rumah Sakit Umum Pusat dr. Kariadi, Semarang; Rumah Sakit Kanker Dharmas, Jakarta; dan MRCCC Siloam Hospital, Jakarta. Dari data ini tidak didapatkan kejadian kecelakaan karena PRTRR berupaya untuk menjamin pelaksanaan pengangkutan secara layak melalui prosedur pemeriksaan kelayakan sebelum perjalanan. Pemeriksaan kelayakan dalam pengangkutan ini sangat penting guna menjamin agar proses pengangkutan tidak menimbulkan dampak merusak radiologi bagi pekerja dan publik [1]. Keseluruhan kegiatan ini artinya dikategorikan sebagai pengangkutan normal. Pengangkutan Normal (*incident-free*) adalah pengangkutan



yang tidak terdapat kejadian kecelakaan, kelainan pengemasan atau penanganan, dan serangan jahat [2]. Selama pengangkutan berjalan normal, wadah tidak rusak, dan potensi paparan yang dipertimbangkan adalah paparan eksternal [3].

Jumlah dan Tipe Bungkusan

Pada tahun 2020, seluruh produk yang berjumlah 180 buah dikemas dalam bungkusan tipe A. Bungkusan Tipe A untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif diuji dengan metode uji semprot air, uji tembus, uji tumpuk, dan uji jatuh bebas [4],[5]. Bungkusan tipe A harus mampu menahan kondisi pengangkutan normal dan rutin tanpa kehilangan isinya atau tanpa membiarkan peningkatan tingkat radiasi permukaan luar lebih dari yang ditentukan [4].

Kategori Bungkusan dan Indeks Angkut

Produk yang berjumlah 180 buah dikemas dalam Bungkusan Tipe A tersebut teridentifikasi sebagai bungkusan kategori II-Kuning dengan nilai indeks angkut per kendaraan adalah 0,073. Bungkusan dengan kategori II-Kuning atau lebih yang akan berpengaruh pada kontribusi dosis pada pekerja yang terlibat dalam bongkar muat dan pengangkutan [7]. Secara agregat, nilai indeks angkut selama tahun 2020 adalah sebesar 4,04. Data lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Informasi Utama Bungkusan Terkirim Tahun 2020

No	Deskripsi	Jumlah
1	Aktivitas ^{153}Sm -EDTMP yang dikirim (mCi)	16307,24
2	Aktivitas ^{131}I -MIBG yang dikirim (mCi)	389,57
3	Bungkusan ^{153}Sm -EDTMP dan ^{131}I -MIBG terkirim	180
4	Paket per kendaraan (rata-rata)	3,27
5	Pengiriman	55
6	Pekerja	4

Radionuklida yang dikirim dan Frekuensi Pengiriman

Zat Radioaktif yang dikirim ke rumah sakit adalah dalam bentuk Radiofarmaka ^{153}Sm -EDTMP dan ^{131}I -MIBG. ^{153}Sm -EDTMP dikirimkan sebanyak 43 kali dalam 166 bungkusan dengan total aktivitas sebesar 16.307,24 mCi dan ^{131}I -MIBG yang dikirimkan sebanyak 12 kali dalam 14 kali pengiriman dengan total aktivitas 389,57 mCi. Data lengkap disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 2.** Informasi Kajian Dosis Yang Telah Dilakukan

No.	Deskripsi	Destinasi				Total
		RSUP dr. Kariadi, Semarang	RSUP dr. Hasan Sadikin, Bandung	RSK Dharmais, Jakarta	MRCCC Siloam Hospital, Jakarta	
1	Pengiriman ^{153}Sm -EDTMP	22	7	6	8	43
2	Pengiriman ^{131}I -MIBG	0	3	5	4	12
2	Bungkusan ^{153}Sm -EDTMP	132	10	6	18	166
3	Bungkusan ^{131}I -MIBG	0	3	5	6	12
4	Durasi tiap perjalanan (jam)	12	10,5	2	2	26,5
5	Durasi tiap penyimpanan (jam)	0	7	12	12	31
6	Σ Indeks Angkut yang terkirim	2,18	0,32	0,22	1,32	4,04
7	Indeks Angkut per kendaraan	0,10	0,03	0,02	0,11	0,07
8	Σ Laju dosis permukaan yang terkirim ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	1419,57	77,61	114,96	584,40	2196,54
9	Durasi <i>loading-unloading</i> (jam)	0,5	0,5	0,5	0,5	2

Waktu Paparan, Durasi Pengiriman

Rumah Sakit yang menjadi tujuan pengiriman radiofarmaka terpusat di Pulau Jawa. Moda pengangkutan darat yang digunakan adalah mobil boks. Pembangunan jalan fisik jalan tol yang sudah makin baik di Pulau Jawa dan berkurangnya pengguna jalan pada masa pandemi membuat pengiriman radiofarmaka relatif lebih lancar dibandingkan sebelum pandemi. Hal ini dipengaruhi oleh menurunnya jumlah kendaraan karena aturan pembatasan kegiatan yang ditetapkan oleh Pemerintah [8]. Kendaraan pengangkut bungkusan radiofarmaka biasanya sampai di Rumah Sakit sebelum jam layanan dibuka sehingga harus menunggu pegawai layanan kedokteran nuklir hadir dan melakukan serah-terima radiofarmaka. Durasi perjalanan dapat dilihat jelas pada Tabel 2.

Laju Dosis Bungkusan

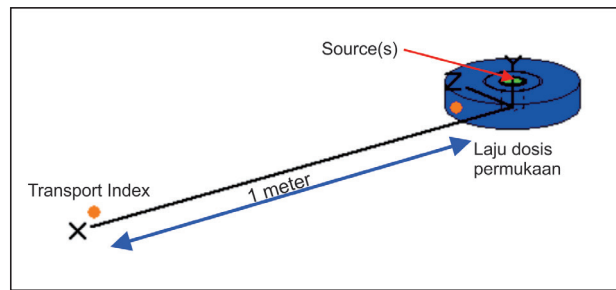
Keberadaan bungkusan zat radioaktif di dalam kendaraan selama proses pengangkutan menjadi potensi bahaya bagi petugas pengangkut yang memberikan kontribusi adanya penerimaan dosis baik bagi petugas pengangkut maupun masyarakat. Besarnya dosis yang diterima petugas pengangkut sangat tergantung dari lamanya proses pengangkutan [9].

Laju dosis dari permukaan atau di luar wadah tergantung pada konsentrasi radioaktivitas, geometri dan bahan wadah. Bahan pelindung yang umum diper-timbangkan termasuk timbal dan tungsten. Timbal memiliki efisiensi perisai yang sangat baik karena nomor atomnya yang tinggi ($Z = 82$), tetapi memiliki kelemahan sebagai bahan logam berat yang berbahaya bagi tubuh manusia dan lingkungan. Tungsten memiliki kinerja pelindung sekitar 1,5 kali lebih tinggi daripada timbal karena kepadatannya yang lebih tinggi, tetapi kurang ekonomis karena biayanya yang



tinggi [10]. Berdasarkan hal tersebut, kontainer pada bungkus yang digunakan untuk mengurangi laju dosis pada tahun 2020 menggunakan bahan timbal (Pb) dengan ketebalan 28,3 mm dan berlapis baja luar-dalam setebal 4 mm. Material bungkus lainnya adalah kaleng, dan kardus yang tidak terlalu berdampak pada reduksi paparan radiasi. Bungkus ini telah dilakukan uji bungkus dan dinyatakan lolos uji pada tahun 2012.

Untuk mengetahui laju dosis pada permukaan dan jarak 1 meter pada bungkus perlu disimulasikan dengan menggunakan *software* Microshield 7.02. Proyeksi simulasi tersebut tersaji pada Gambar 2 dan dapat dijadikan gambaran awal mengenai potensi laju dosis permukaan dan indeks angkut bungkus yang digunakan dalam pengangkutan. Hasil simulasi tersebut untuk variasi produk dengan aktivitas Sm-153 sebesar 50 mCi, 75 mCi, dan 100 mCi; dan I-131 2 mCi, 3 mCi, dan 100 mCi akan menghasilkan laju dosis permukaan dan *transport index* yang tersaji pada Tabel 3 dan 4.



Gambar 2. Simulasi Microshield 7.02 pada Kontainer

Tabel 3. Hasil Simulasi Laju Dosis Permukaan dan 1 Meter Radiofarmaka ^{153}Sm -EDTMP

No	Aktivitas (mCi)	Laju Dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	
		Permukaan	1 m
1	50	1e-01	6e-02
2	75	6,3e-04	4,2e-04
3	100	1,34e-01	8,5e-04

Tabel 4. Hasil Simulasi Laju Dosis Permukaan dan 1 Meter Radiofarmaka ^{131}I -MIBG

No	Aktivitas (mCi)	Laju Dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	
		Permukaan	1m
1	2	3,6	2,2e-2
2	3	5,5	3,3e-02
3	100	18,39	1,1



Hal tersebut mengindikasikan bahwa berdasarkan nilai Indeks Angkut pengiriman ^{153}Sm -EDTMP, secara radiologi menggunakan kontainer timbal (Pb) ini masih sangat aman dan tidak memerlukan proteksi radiasi tambahan, namun nilai Indeks Angkut akan (relatif) tinggi pada pengiriman ^{131}I -MIBG sehingga perlu mendapatkan perhatian lebih dan bila perlu rekayasa tambahan dapat ditambahkan untuk mengendalikan risiko yang mungkin didapatkan.

Jarak Pemisahan, penyimpanan, dan pengaturan *shielding*

Bungkusan radiofarmaka dipisahkan dari pengemudi dan publik. Sebelum pengangkutan dilakukan, bungkusan radiofarmaka diberi jarak dari pengemudi sejauh 3 meter. Hal ini akan memperkecil dosis bagi pengemudi berdasarkan *Inverse Square Law*, yaitu nilai laju dosis radiasi akan turun 9 kali dari nilai Indeks Angkut (paparan radiasi 1m). Dalam studi di Korea Selatan, pada saat proses *loading-unloading* jarak rata-rata antara petugas dan sumber radioaktif dapat diasumsikan 0,1 m [2].

Selama proses pengangkutan, penyimpanan dilakukan hanya di gudang penyedia jasa pengangkut untuk menunggu waktu angkut yang mempertimbangkan ketersediaan armada angkut dan jadwal layanan dari masing-masing rumah sakit. Penyimpanan tersebut dilakukan di luar jam kerja sehingga tidak ada interaksi antara bungkusan radiofarmaka dan pegawai/publik, kecuali pengemudi yang melakukan *unloading*. Dinding gudang juga berfungsi sebagai *shielding* dengan ketebalan 15 cm yang akan memberikan faktor reduksi paparan radiasi Sm-153 sebesar 30. Berdasarkan informasi ini dapat diasumsikan bahwa tidak ada dosis radiasi bagi publik umum. Dosis pengemudi dalam pemisahan ini akan diakumulasikan pada kegiatan *loading-unloading*.

Kajian Dosis

Penilaian terhadap kinerja *shielding*, kontribusi dosis pada pengangkutan zat radioaktif terjadi pada kegiatan *loading*, perjalanan, dan *unloading* [11]. Kegiatan tersebut merupakan interaksi secara langsung antara pekerja pelaksana pengangkutan dan bungkusan. Hasil perhitungan didapatkan dosis pada proses *loading-unloading* adalah 10,97 μSv , dan dosis selama proses perjalanan adalah 36,15 μSv . Data dosis pada pengangkutan per rumah sakit tersaji pada Tabel 5. Dosis tertinggi adalah dosis pekerja yang melakukan pengiriman ke Rumah Sakit Umum Pusat dr. Kariadi karena jumlah nilai laju dosis permukaan dan Indeks Angkut yang terkirim paling tinggi di antara pengiriman ke rumah sakit lainnya. Destinasi MRCCC Siloam Hospital memiliki dosis cukup tinggi sebesar 5,85 μSv dengan total bungkusan. Hal ini dipengaruhi oleh nilai laju dosis permukaan dan Indeks Angkut dari bungkusan ^{131}I -MIBG dengan aktivitas $\pm 100 \text{ mCi}$. Destinasi lainnya sangat kecil untuk berkontribusi dosis bagi para pekerja, namun tetap diperhitungkan sebagai akumulasi pada dosis kolektif.

**Tabel 5.** Dosis Kolektif Tahun 2020

No	Destinasi	Dosis Pengemudi Jarak 3m (μSv)	Dosis <i>Loading- Unloading</i> Jarak 0,1m (μSv)	Dosis Pekerja (μSv)
1	PRTRR - RSUP dr. Kariadi	31,49	7,09	38,58
2	PRTRR - RSUP dr. Hasan Sadikin	1,24	0,39	1,63
3	PRTRR - RSK Dharmais	0,49	0,57	1,06
4	PRTRR – MRCCC Siloam Hospital	2,93	2,92	5,85
5	Dosis Kolektif Total (μSv)			47,14
6	Dosis rata-rata individu (μSv)			11,78
7	Dosis Efektif Tahun 2020 (μSv)			47,14
8	Batas Dosis per Tahun (μSv)			20.000

Dengan nilai laju dosis permukaan total sebesar 2,2 mSv dan nilai Indeks Angkut sebesar 4,04 pada Tabel 2, dosis kolektif pada pengangkutan (normal) periode tahun 2020 adalah sebesar 47,14 μSv dan dosis individu pekerja secara rata-rata adalah 11,78 μSv . Dosis tersebut sangat aman karena masih jauh dari batas dosis yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 sebesar 20 mSv selama 1 tahun. Studi serupa pernah dilakukan di Irak bahwa hasil penilaian keselamatan dalam transportasi dibanding dengan nilai batas dosis yang mengacu ke standard IAEA sebesar 20 mSv [12].

Hasil dosis kolektif ini sesuai dengan apa yang telah dinyatakan dalam sebuah studi di Inggris bahwa pada pengangkutan zat radioaktif untuk keperluan industri dan medik yang menggunakan moda angkut darat, total dosis efektif 1 mSv/tahun tidak mungkin terlampaui untuk pekerja yang menangani pengangkutan zat radioaktif dengan nilai index angkut 300 per tahun [4]. Nilai dosis 0,047 mSv ini merupakan nilai dosis efektif tertinggi yang mungkin dicapai oleh pekerja pada proses pengangkutan di PRTRR. Nilai dosis efektif di bawah 1 mSv tidak diatur secara jelas dalam Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 mengenai kewajiban pengirim dalam melakukan prosedur pemantauan dosis perorangan dan/atau pemantauan paparan daerah kerja sehingga pemegang izin terbebas dari kewajiban melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau pemantauan paparan daerah kerja.

Hasil kajian ini dapat dijadikan landasan untuk mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi pada kegiatan transportasi yang merupakan amanah Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 tentang Ketentuan Keselamatan dan Tata Laksana Pengangkutan Zat Radioaktif. Program tersebut dapat dijadikan manual untuk menjalankan kegiatan pengangkutan di tahun-tahun berikutnya selama nilai akumulasi Indeks Angkut tidak berubah secara signifikan. Apabila suatu saat terjadi kenaikan Indeks Angkut secara signifikan maka kajian dosis dapat dilakukan kembali.



KESIMPULAN

Setelah dilakukannya kajian dosis pengangkutan zat radioaktif di PRTRR, salah satu kewajiban PRTRR sebagai pengangkut dalam Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 telah dipenuhi. Bungkus radiofarmaka yang berjumlah 180 memiliki nilai Indeks Angkut sebesar 4,04 yang dikirimkan ke beberapa rumah sakit di Indonesia akan memberikan nilai dosis efektif tertinggi sebesar 0,047 mSv bagi petugas pengangkutan. Nilai ini masih jauh di bawah Nilai Batas Dosis (NBD) 20 mSv dalam 1 tahun. Oleh karena itu, dosis efektif di bawah 1 mSv tidak diatur secara jelas dalam Peraturan BAPETEN No. 7 Tahun 2020 mengenai kewajiban proteksi radiasi pengirim, pengirim tidak diwajibkan untuk melakukan pemantauan dosis perorangan dan/atau melakukan pemantauan daerah kerja area pengangkutan. Kedua tindakan pemantauan tersebut tidak wajib untuk dimasukkan ke dalam program pengangkutan zat radioaktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada rekan-rekan Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah yang telah melakukan pengemasan dan pengambilan data pengangkutan radiofarmaka pada tahun 2020, dan rekan-rekan di Bidang Teknologi Radioisotop dan Teknologi Radiofarmaka yang telah menyiapkan produk radiofarmaka dengan sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Muhammad, R. D. RPS, dan Susyati, "Kelayakan pengangkutan produk generator Tc-99m ke rumah sakit dengan kendaraan darat," dalam *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, No. November, pp. 187–192, Nov. 2017.
- [2] J. Jeong dkk., "Radiological safety assessment of transporting radioactive wastes to the gyeongju disposal facility in Korea," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 48, no. 6, pp. 1368–1375, 2016, doi: 10.1016/j.net.2016.05.003.
- [3] M. Seo dkk., "Preliminary assessment of radiological impact on the domestic railroad transport of high level radioactive waste," *J. Nucl. Fuel Cycle Waste Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 381–390, 2017, doi: 10.7733/jnfcwt.2017.15.4.381.
- [4] G. Vieru, "Risk and safety evaluation in radioactive waste transport in Romania," *Int. J. Radioact. Mater. Transp.*, vol. 10, no. 2, pp. 105–112, 1999, doi: 10.1179/rmt.1999.10.2.105.
- [5] IAEA, "SSR-6 (Rev.1) - Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material," *IAEA Saf. Stand. Prot. people Environ.*, vol. 6, 2018.
- [6] IAEA, "Radiation Protection Programmes for the Transport of Radioactive Material Safety Guide," *IAEA Saf. Guid. No. TS-G-1.3*, pp. 1–93, 2007.
- [7] D. L. Rodrigues dan G. M. A. A. Sordi, "Radiological Impact from the Transport of Radiopharmaceuticals of the IPEN," 2009.
- [8] M. Fauzi, "Analisis Jumlah Kendaraan Angkutan Kota dengan Metode Headway DLLAJ dan BOK BEP di Masa Pandemi Covid-19," *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri* vol. 16, no. 2, pp. 85–92, 2021.



- [9] S. Muhammad dan R. D. RPS, "Sistem manajemen dosis pada pengangkutan zat radioaktif dengan kendaraan darat," dalam Pros. Penelit. dan Pengelolaan Perangkat Nukl., pp. 133–137, 2016.
- [10] S. H. Shin dkk., "Radiological analysis of transport and storage container for very low-level liquid radioactive waste," *Nucl. Eng. Technol.*, no. June, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1016/j.net.2021.06.024.
- [11] D. Zhuang dkk., "Measurements and assessments on shielding performance of FCTC10 ^{60}Co transport container," *J. Radiat. Prot. Res.*, vol. 41, no. 3, pp. 310–314, 2016, doi: 10.14407/jrpr.2016.41.3.310.
- [12] A. T. Al-qaraghuli, "The safe transport of radioactive waste by using SAFRAN program," *JMAUC*. pp. 222–235, 2019.