



**PEDOMAN TEKNIS
PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF
DI FASILITAS KEDOKTERAN NUKLIR**

**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120
Telp. (62-21) 63858269 – 70, Fax. (62-21) 63858275



**PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

LEMBAR PENGESAHAN

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Disusun oleh :	1. Endang Kunarsih		9 September 2022
	2. Iswandarini		9 September 2022
	3. Zulfahmi		9 September 2022
Diperiksa oleh :	Rusmanto		23 September 2022
Disetujui oleh :	Taruniyati Handayani		30 September 2022

KONTRIBUTOR

Yekti Nastiti	AFISMI
Rini Shintawati	RS Hasan Sadikin
Siti Akbari Pandaningrum	RS Kariadi
Kartutik	RS Kariadi
Leily Savitri	BAPETEN
Titik Kartika	BAPETEN
IGBP Pratama	BAPETEN
Sudradjat	BAPETEN
Hermansyah	BAPETEN

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : i



**PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**


Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

LEMBAR DISTRIBUSI

Nomor	Jenis	Sifat	Bentuk	Penerima
01	Salinan	Terkendali	Cetak	Deputi Bidang Pengkajian Keselamatan Nuklir
02	Salinan	Terkendali	Cetak	Direktur Pengaturan Pengawasan FRZR
03	Salinan	Terkendali	Cetak	Kepala Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan FRZR
04	Salinan	Terkendali	Cetak	Perpustakaan BAPETEN
05	Salinan	Tidak terkendali	Fail digital	Seluruh pengguna
	Asli	Terkendali	Cetak	Koordinator Pengkajian Kesehatan

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : ii

	<p align="center">PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR</p> <p align="center">Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275</p>
<p>Jenis Rekaman : Judul :</p>	<p>Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir</p>

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan karunia-Nya sehingga Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir ini dapat diselesaikan.


Pedoman teknis ini penting untuk dibuat dan disediakan untuk fasilitas kedokteran nuklir dalam mengelola limbah radioaktif yang ditimbulkan dari penggunaan zat radioaktif dalam layanan kedokteran nuklir.

Pedoman teknis ini memuat panduan dan rekomendasi mengenai praktik pengelolaan limbah radioaktif di fasilitas kedokteran nuklir yang sesuai dengan regulasi dan persyaratan keselamatan radiasi. Diharapkan pedoman teknis ini akan mempermudah pengguna dalam menerapkan penanganan limbah radioaktif sehingga memenuhi aspek proteksi dan keselamatan radiasi dalam layanan kedokteran nuklir di fasilitasnya.

Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi hingga terbitnya pedoman ini. Kami mengharapkan masukan dan saran demi penyempurnaan pedoman selanjutnya melalui email: p2stpfrzr@bapeten.go.id.

Jakarta, 30 September 2022

Kepala P2STPFRZR



Taruniyati Handayani

NIP 19660531199103 2 001

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : iii



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR DISTRIBUSI	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1
LATAR BELAKANG	1
TUJUAN.....	2
SASARAN DAN MANFAAT	2
RUANG LINGKUP	3
SISTEMATIKA DOKUMEN	3
DEFINISI.....	4
BAB II. TINJAUAN UMUM KEDOKTERAN NUKLIR	5
JENIS KEDOKTERAN NUKLIR.....	6
LIMBAH KEDOKTERAN NUKLIR.....	7
BAB III. PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF KEDOKTERAN NUKLIR	9
PENGUMPULAN DAN PENGELOMPOKAN	9
PENYIMPANAN SEMENTARA HINGGA KLIERENS.....	13
PEMBUANGAN LIMBAH SETELAH KLIERENS	20
BAB IV. PENUTUP	21
DAFTAR PUSTAKA	22

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : iv



**PUSAT PENKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

BAB I. PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

- I.1. Kedokteran nuklir adalah kegiatan pelayanan kedokteran yang menggunakan zat radioaktif terbuka dari peluruhan inti berupa radionuklida dan/atau Radiofarmaka untuk tujuan diagnostik, terapi, dan penelitian medik klinik, yang didasarkan pada proses fisiologik, patofisiologik, dan metabolisme. Penggunaan zat radioaktif terbuka pada layanan kedokteran nuklir memberikan potensi risiko paparan radiasi yang tidak perlu pada pekerja, masyarakat, dan lingkungan, antara lain melalui kontaminasi tumpahan zat radioaktif, paparan radiasi dari pasien, dan paparan radiasi atau kontaminasi dari limbah radioaktif yang dihasilkan.
- I.2. Untuk memastikan keselamatan radiasi dalam penggunaan kedokteran nuklir, BAPETEN telah menerbitkan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir yang didalamnya mengatur salah satunya tentang persyaratan keselamatan radiasi dalam kegiatan pelayanan kedokteran nuklir. Saat ini Perka BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 sedang direvisi dalam rangka menjawab tantangan perkembangan ilmu dan teknologi di kedokteran nuklir serta mengharmonisasikan dengan regulasi lain terkait ketenaganukliran.
- I.3. Pelayanan kedokteran nuklir juga mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 008/MENKES/SK/I/2009 tentang Standar Pelayanan Kedokteran Nuklir di Sarana Pelayanan Kesehatan yang memuat ketentuan ruangan, peralatan, ketenagaan, kebijakan dan prosedur, pendidikan, keselamatan radiasi, monitoring dan evaluasi, penjaminan mutu, pencatatan dan pelaporan.
- I.4. Di samping aspek keselamatan radiasi terhadap penggunaan dan pelayanan kedokteran nuklir, pengelolaan limbah radioaktif yang dihasilkan juga harus diperhatikan. Untuk itu guna menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja dan masyarakat serta perlindungan lingkungan hidup, maka sebagaimana yang ditetapkan di dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 1



**PUSAT PENKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

Limbah Radioaktif dan dirincikan dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Perka BAPETEN) Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang, pemegang izin selaku pihak penghasil limbah wajib melakukan prapengolahan dan penyimpanan sementara limbah radioaktif yang dihasilkannya sampai mencapai tingkat klierens untuk kemudian dilepaskan ke lingkungan. Hal ini juga dicakup dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit, yang salah satunya mengatur pengelolaan limbah radioaktif di rumah sakit.

- I.5. Namun, dalam menerapkan ketentuan-ketentuan tersebut pengguna memerlukan panduan praktis agar pengelolaan limbah radioaktif dapat dilaksanakan secara benar, selamat dan aman sesuai dengan peraturan perundangan. Dengan demikian, dipandang perlu untuk menyusun Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Kedokteran Nuklir.


TUJUAN

- I.6. Pedoman teknis ini disusun untuk memberikan panduan dan rekomendasi yang mampu terap mengenai praktik pengelolaan limbah radioaktif di fasilitas kedokteran nuklir yang sesuai dengan regulasi dan persyaratan keselamatan radiasi.

SASARAN DAN MANFAAT

- I.7. Pedoman teknis ini ditujukan bagi:
- a) Manajemen fasilitas kedokteran nuklir yang bertanggungjawab terhadap keselamatan radiasi dan mengelola sumber daya untuk memenuhi persyaratan keselamatan radiasi;
 - b) Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dan/atau pekerja radiasi yang melakukan tindakan/prosedur terkait pengelolaan limbah radioaktif di fasilitas kedokteran nuklir; dan
 - c) Pemangku kepentingan dalam pengelolaan limbah radioaktif di kedokteran nuklir, antara lain evaluator perizinan BAPETEN, inspektur keselamatan nuklir BAPETEN, unit/bagian kesehatan lingkungan rumah sakit.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 2

	PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275
Jenis Rekaman : Judul :	Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

I.8. Penerapan pedoman ini diharapkan mampu memastikan bahwa praktik pengelolaan limbah radioaktif di fasilitas kedokteran nuklir berlangsung dengan aman dan selamat sehingga dapat menjamin keselamatan pekerja dan masyarakat, serta perlindungan lingkungan hidup.

RUANG LINGKUP

- I.9. Pedoman teknis ini menguraikan ketentuan dan praktik pengelolaan limbah radioaktif di fasilitas kedokteran nuklir, mulai dari pengelolaan di fasilitas (pengumpulan, pengelompokan, penyimpanan) hingga penetapan klierens dan pelepasan/pembuangan ke lingkungan.
- I.10. Jenis limbah yang dicakup dalam pedoman ini adalah limbah padat (benda terkontaminasi) dan limbah cair yang dikelola di dalam fasilitas kedokteran nuklir dan tidak termasuk limbah yang berupa sumber radioaktif yang tidak digunakan lagi (yang akan dikirim ke pusat pengelolaan limbah) dan kontainer zat radioaktif (yang akan dikembalikan ke vendor) serta limbah yang ditimbulkan dari sisa produksi radiofarmaka melalui siklotron.

SISTEMATIKA DOKUMEN

- I.11. Pedoman ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:
- a) Bab I. Pendahuluan, yang berisi antara lain latar belakang dari aspek legal dan aspek teknis terkait diperlukannya panduan dalam pengelolaan limbah radioaktif di kedokteran nuklir, tujuan, sasaran dan manfaat pedoman.
 - b) Bab II. Tinjauan Umum, yang berisi tentang diskripsi umum dalam hal pelaksanaan kedokteran nuklir dan proteksi radiasi termasuk limbah yang berpotensi dihasilkan.
 - c) Bab III. Pengelolaan limbah, yang mencakup mulai dari pengumpulan/pengelompokan, penyimpanan hingga penetapan klierens, dan pelepasan/pembuangan setelah klierens.
 - d) Bab IV. Penutup.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 3



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**


Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

DEFINISI

- I.12. Keselamatan Radiasi Penganon yang selanjutnya disebut Keselamatan Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi.
- I.13. Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi.
- I.14. Paparan Radiasi adalah penyinaran radiasi yang diterima oleh manusia atau materi, baik disengaja atau tidak, yang berasal dari radiasi interna maupun eksterna. paparan darurat adalah paparan yang diakibatkan terjadinya kondisi darurat nuklir dan radiologik.
- I.15. Radiofarmaka adalah senyawa bertanda radioaktif dan memenuhi persyaratan farmakologis untuk digunakan dalam diagnostik, terapi, dan penelitian medik klinik.
- I.16. Tingkat Klierens adalah nilai yang ditetapkan oleh BAPETEN dan dinyatakan dalam konsentrasi aktivitas, yang mana pada atau di bawah nilai tersebut zat radioaktif terbuka, limbah radioaktif, atau material terkontaminasi atau teraktivasi dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN.
- I.17. Zat Radioaktif Terbuka adalah zat radioaktif berbentuk padat, cair, atau gas yang tidak berada dalam suatu struktur perisai radiasi khusus, sehingga berpotensi menimbulkan kontaminasi dan menyebar ke lingkungan hidup.
- I.18. Limbah Radioaktif adalah zat radioaktif dan/atau bahan, serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi.
- I.19. Radioaktivitas adalah jumlah inti radioaktif yang mengalami proses peluruhan per satuan waktu.
- I.20. Pengelolaan Limbah Radioaktif adalah pengumpulan, pengelompokan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan, dan/atau pembuangan limbah radioaktif.
- I.21. Penghasil Limbah Radioaktif adalah pemegang izin pemanfaatan sumber radiasi penganon atau bahan nuklir dan/atau izin pembangunan, pengoperasian dan dekomisioning instalasi nuklir yang karena kegiatannya menghasilkan limbah radioaktif.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 4

	<p style="text-align: center;">PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR</p> <p style="text-align: center;">Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275</p>
<p>Jenis Rekaman : Judul :</p>	<p>Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir</p>

BAB II. TINJAUAN UMUM KEDOKTERAN NUKLIR

- II.1. Kedokteran nuklir merupakan salah satu bidang keahlian dalam ilmu kedokteran yang menggunakan zat radioaktif terbuka untuk mendapatkan informasi tentang fungsi organ tubuh tertentu (diagnostik) dan/atau pengobatan penyakit (terapi). Zat radioaktif terbuka tersebut dimasukkan ke dalam tubuh manusia dan dengan bantuan senyawa pembawa (*carrier*) akan menuju ke organ target melalui sistem metabolisme tubuh.
- II.2. Dewasa ini peranan kedokteran nuklir cukup besar dalam menunjang diagnosis penyakit-penyakit secara tepat, cepat dan seringkali lebih dini. Hampir semua cabang ilmu kedokteran dapat memanfaatkan peranan kedokteran nuklir. Dalam prakteknya, kedokteran nuklir biasa digunakan untuk menunjang diagnosis penyakit-penyakit antara lain:
- a) Tumor;
 - b) Hiper atau hipo-fungsi kelenjar yang memproduksi hormon (misalnya kelenjar gondok, pankreas, anak ginjal, dan lainnya);
 - c) Kelainan penyediaan atau aliran darah pada suatu organ tubuh (misalnya otot jantung, paru-paru, ginjal, dan lainnya); dan
 - d) Kelainan fungsi motorik organ tubuh (misalnya transit makanan dalam lambung, refluks urin, dan lainnya).
- II.3. Selain untuk keperluan diagnostik, kedokteran nuklir juga berperan dalam terapi atau penyembuhan penyakit pasien, misalnya kanker kelenjar gondok, hiperfungsi kelenjar gondok yang sulit sembuh dengan pemberian obat-obatan biasa, keganasan sel darah merah, inflamasi sendi yang sulit dikendalikan dengan menggunakan terapi obat-obatan biasa.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 5



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

JENIS KEDOKTERAN NUKLIR

Kedokteran Nuklir Diagnostik In Vitro

- II.4. Kedokteran nuklir diagnostik *in Vitro*, dilakukan dengan cara mereaksikan radionuklida dan/atau radiofarmaka dengan sampel spesimen biologis pasien yang dilakukan di luar tubuh pasien guna mengetahui kandungan zat tertentu dalam tubuh misalnya hormon insulin atau tiroksin, obat jantung (*digitalis*), dan lainnya.
- II.5. Contoh pemeriksaan yang termasuk *in vitro* antara lain: teknik RIA (*radio immunoassay*), uji proliferasi limfosit, uji sitotoksik dan sitolitik, dan lainnya.
- II.6. Informasi diagnostik akan diperoleh melalui Teknik *Sample Counting*, yaitu teknik pengukuran untuk menghitung aktivitas radioisotop yang terdapat dalam sampel spesimen biologis pasien dengan menggunakan pencacah gamma (*gamma counters*).

Kedokteran Nuklir Diagnostik In Vivo

- II.7. Kedokteran nuklir diagnostik *in Vivo*, dilakukan dengan cara memasukkan radionuklida dan/atau radiofarmaka ke dalam tubuh pasien melalui cara diminum/dimakan, disuntikkan, dihirup dan diteteskan pada mata.
- II.8. Kedokteran nuklir diagnostik *in Vivo* bertujuan untuk:
- Mendapatkan data klinis berdasarkan distribusi radiofarmaka yang mencerminkan kombinasi aliran darah, permeabilitas kapiler dan ekstraksi jaringan tubuh.
 - Mendapatkan rekaman citra distribusi aktivitas untuk menentukan fungsi organ tubuh.
- II.9. Informasi diagnostik dari metode ini akan diperoleh melalui:
- a) Teknik *Imaging*, yaitu teknik untuk mendapatkan citra/gambar dari organ atau cairan tubuh pasien menggunakan modalitas pencitraan.
 - b) Teknik *External Body Counting*, yaitu teknik pengukuran dengan menggunakan *gamma counter probe* yang menghasilkan kurva-kurva kinetika radioisotop dalam organ atau bagian tubuh tertentu dan angka-angka yang menggambarkan akumulasi aktivitas radioisotop dalam organ atau bagian tubuh tertentu.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 6



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir


Kedokteran Nuklir Terapi

- II.10. Kedokteran nuklir terapi dilakukan dengan cara memasukkan radionuklida dan/atau radiofarmaka ke dalam tubuh pasien, melalui cara diminum dan disuntikkan.
- II.11. Terapi kedokteran nuklir bertujuan untuk memberikan dosis radiasi tertentu kepada jaringan target untuk pengobatan penyakit misalnya mendapatkan efek pengurangan ukuran tumor (kanker), pengurangan aktivitas organ (hiper tiroid) dan pengurangan nyeri (kanker tulang). Kemajuan efek pengobatan terapi pada umumnya akan dideteksi melalui cara diagnostik.

LIMBAH KEDOKTERAN NUKLIR

- II.12. Limbah radioaktif dari kegiatan kedokteran nuklir diagnostik maupun terapi berupa berbagai jenis limbah yang dihasilkan selama proses persiapan radiofarmaka, pemberian radiofarmaka kepada pasien, hingga perawatan pasien.
- II.13. Beberapa contoh jenis limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan kedokteran nuklir adalah:
- Limbah padat yang berupa bahan dan peralatan yang terkontaminasi permukaan, misalnya sarung tangan, masker, *cap*, *shoe cover*, *sputit*, *vial*, kardus pembungkus luar, label bungkus, *packaging foam*, kertas tisu, pembungkus *syringe*, *syringe* tanpa jarum suntik, kapas bekas, generator radionuklida, selimut dan baju pasien terapi, alat makan minum disposal, dan benda padat lainnya yang terkontaminasi radioaktif. Umumnya, barang-barang tersebut hanya terkontaminasi sedikit atau bahkan terukur kontaminasinya kecil tetapi dikelompokkan sebagai limbah radioaktif karena dihasilkan dari daerah pengendalian (*controlled area*).
 - Jenis limbah radioaktif cair yang dihasilkan tergantung teknik yang digunakan dalam kedokteran nuklir diagnostik atau untuk terapi. Sebagian besar radionuklida yang digunakan untuk kebutuhan diagnostik memiliki waktu paro sangat pendek (kurang dari 10 hari). Limbah cair, misalnya sisa radiofarmaka, air bekas pencucian peralatan, hasil ekskresi pasien, dan lainnya.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 7

	<p style="text-align: center;">PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR</p> <p style="text-align: center;">Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275</p>
<p>Jenis Rekaman : Output Unit Kerja Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir</p>	

- II.14. Pada penggunaan kedokteran nuklir yang berpotensi menghasilkan limbah radioaktif dalam bentuk gas, umumnya sangat sedikit dan jumlahnya kecil. Opsi pembuangan langsung ke udara terbuka dimungkinkan asal memenuhi ketentuan peraturan atau pedoman yang ada. Pada beberapa kasus, tidak diperlukan adanya pengolahan tambahan untuk limbah gas. Hal ini karena penggunaan radionuklida di kedokteran nuklir tidak banyak dan memiliki waktu paruh pendek.
- II.15. Berdasarkan klasifikasi limbah radioaktif dalam PP Nomor 61 Tahun 2013, limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan kedokteran nuklir ini dapat masuk dalam kategori limbah radioaktif tingkat rendah, dan mengikuti ketentuan pengelolaan berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan pelayanan kedokteran nuklir umumnya memiliki waktu paruh pendek, sehingga pengolahan yang dilakukan berupa penyimpanan limbah di fasilitas penghasil limbah hingga aktivitasnya meluruh pada tingkat yang aman untuk dilepaskan. Namun apabila penghasil tidak memiliki sumber daya yang memadai untuk pengelolaan limbah kedokteran nuklir maka dapat dilimbahkan ke Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif (IPLR) di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
- II.16. Meskipun dalam regulasi telah tersedia ketentuan dan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi dalam penanganan dan pengelolaan limbah radioaktif, produksi limbah harus diminimalkan, antara lain melalui perencanaan yang baik untuk kegiatan kedokteran nuklir termasuk dalam pemilihan radionuklida (mempertimbangkan waktu paruh, tipe radiasi, aktivitas, dan lainnya) dan penerapan prosedur kerja yang baik (mempertimbangkan jumlah kegiatan dan bahan yang digunakan untuk preparasi, resiko kontaminasi dan lainnya).

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 8



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

BAB III. PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF KEDOKTERAN NUKLIR

PENGUMPULAN DAN PENGELOMPOKAN

- III.1. Pengumpulan dan pengelompokan dimulai dengan pemilahan bahan terkontaminasi yang dibedakan menjadi 2 (dua), jika memungkinkan, yaitu bahan terkontaminasi yang masih dapat digunakan dan bahan terkontaminasi yang tidak dapat digunakan.
- III.2. Bahan terkontaminasi yang masih dapat digunakan seperti pakaian/baju pasien, selimut, *bed cover*, dan lainnya dipisahkan dari bahan terkontaminasi lain yang tidak dapat digunakan lagi.
- III.3. Bahan terkontaminasi yang masih dapat digunakan selanjutnya diproses dekontaminasi dengan pencucian menggunakan sabun dan air. Pencucian dilakukan pada tempat khusus dekontaminasi dan sisa air pencucian masuk ke saluran khusus bersama dengan saluran air terkontaminasi radioaktif. Setelah didekontaminasi, bahan-bahan tersebut masuk atau dikirim ke bagian sanitasi di rumah sakit untuk diproses lebih lanjut.
- III.4. Bahan terkontaminasi yang tidak dapat digunakan lagi, harus dikumpulkan, dikelompokkan, dan ditempatkan pada wadah atau kontainer khusus.
- III.5. Wadah atau kontainer yang digunakan untuk menampung limbah harus tersedia di lokasi di mana limbah akan dihasilkan. Wadah atau kontainer tersebut harus memiliki karakteristik:
 - a) terbuat dari bahan yang tidak mudah rusak;
 - b) sesuai dengan sifat dan karakteristik limbah radioaktif;
 - c) memberikan pengungkungan yang memadai; dan
 - d) memberi proteksi yang memadai dari bahaya radiasi dan nonradiasi.
- III.6. Wadah atau kontainer harus diberi tanda radiasi dan label yang memuat informasi, paling kurang meliputi:
 - a) nomor identifikasi tiap wadah atau kontainer;
 - b) jenis radionuklida;
 - c) aktivitas dan tanggal pengukuran aktivitas;

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 9



**PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman	: Output Unit Kerja
Judul	: Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

- d) laju paparan pada permukaan dan pada jarak 1 (satu) meter dari permukaan;
- e) asal limbah;
- f) kuantitas; dan
- g) massa atau volume.

III.7. Kegiatan pengumpulan dan pengelompokan sebagaimana disebutkan pada III.1 dilakukan berdasarkan:

- a) asal limbah radioaktif;
- b) sifat radiologi, yang paling kurang meliputi:
 - i. jenis radionuklida;
 - ii. waktu paruh;
 - iii. aktivitas dan konsentrasi aktivitas;
 - iv. jenis pemancar radiasi;
 - v. kontaminasi permukaan;
 - vi. faktor dosis yang terkait dengan radionuklida; dan
 - vii. produk peluruhan.
- c) sifat biologi, yang paling kurang meliputi:
 - i. bioakumulasi; dan
 - ii. potensi bahaya biologi.
- d) sifat fisika, yang paling kurang meliputi:
 - i. fase (limbah radioaktif padat dan limbah radioaktif cair);
 - ii. massa dan volume;
 - iii. daya pemampatan (kompaktibilitas);
 - iv. daya penyebaran (dispersibilitas);
 - v. daya penguapan;
 - vi. daya larut; dan
 - vii. kadar air.
- e) sifat kimia, yang paling kurang meliputi:
 - i. komposisi kimia;
 - ii. daya larut;
 - iii. potensi bahaya kimia;



**PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

- iv. ketahanan terhadap korosi;
 - v. kandungan organik;
 - vi. sifat mudah terbakar;
 - vii. reaktivitas kimia dan potensi pembesaran (*swelling potential*);
 - viii. pelepasan gas; dan
 - ix. daya serap radionuklida.
- f) volume;
- g) bahaya nonradiasi, yang paling kurang meliputi:
- i. racun;
 - ii. patogenik;
 - iii. penularan;
 - iv. genotoxic;
 - v. biologi; dan
 - vi. farmasi.
- h) cara pengolahan dan penyimpanan yang akan dilakukan.

III.8. Pada pengumpulan dan pengelompokan limbah radioaktif padat harus mempertimbangkan karakteristik limbah radioaktif yang paling kurang meliputi:

- a) mudah dibakar atau tidak mudah dibakar;
- b) mudah dimampatkan atau tidak mudah dimampatkan;
- c) logam atau nonlogam; dan/atau
- d) terkontaminasi permukaan secara tetap atau tidak tetap.

Limbah padat dalam kegiatan kedokteran nuklir sebagian besar bersifat mudah dibakar dan sebagian kecil dikategorikan sebagai limbah yang dapat dikompres (kompresibel).

III.9. Pada pengumpulan dan pengelompokan limbah radioaktif cair harus mempertimbangkan kandungan kimia dan radionuklida, terutama apabila:

- a) limbah radioaktif cair tersebut bersifat organik; dan
- b) pencampurannya dapat menghasilkan reaksi kimia tidak terkendali yang menghasilkan panas, aerosol, dan endapan.




**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

- III.10. Limbah yang telah dikumpulkan di dalam wadah/kontainer kemudian dikirimkan ke ruang penyimpanan limbah sementara.
- III.11. Limbah cair yang berasal dari hasil ekskresi pasien dibuang melalui toilet khusus dan ditampung dalam bak penampung/*septic tank* khusus hingga meluruh pada tingkat yang aman untuk dilepaskan ke lingkungan.
- III.12. Pemindahan limbah radioaktif antar ruangan/lokasi (*in house transport*) di fasilitas kedokteran nuklir merupakan hal yang penting untuk diperhatikan terutama jika ruang penyimpanan limbah terletak berjauhan dengan ruang penggunaan/pelayanan kedokteran nuklir sebagai tempat penghasil limbah.
- III.13. Pada prinsipnya, dalam mengangkut dan/atau memindahkan limbah radioaktif harus dipastikan bahwa zat radioaktif tidak keluar dari wadahnya dalam kondisi apapun dan paparan radiasi harus terkendali secara efektif pada tingkat yang aman.
- III.14. Dalam melakukan proses pemindahan, hendaknya:
- dilakukan oleh personel yang memahami proteksi radiasi dan memahami prinsip penanganan zat radioaktif. Personel tersebut harus mengenakan alat proteksi diri yang sesuai dan mengenakan dosimeter perorangan;
 - memonitor potensi terjadinya kontaminasi pada diri personel menggunakan monitor kontaminasi yang dilakukan sebelum dan setelah proses pemindahan berlangsung;
 - memilih jalur terdekat dan waktu tempuh tersingkat menuju ruangan yang dituju; dan
 - mengemas limbah sedemikian rupa sehingga tidak mengeluarkan paparan radiasi atau mengontaminasi personel dan jalur pemindahan.
- III.15. Setelah proses pemindahan limbah radioaktif selesai dilakukan, petugas menelusuri kembali jalur tersebut untuk memastikan tidak ada kontaminasi pada jalur yang telah dilalui.
- III.16. Dalam konteks limbah radioaktif cair, limbah dipindahkan melalui saluran khusus. Oleh karena itu, fasilitas harus memastikan bahwa desain saluran pembuangan telah memenuhi kaidah keselamatan radiasi sedemikian hingga tidak memungkinkan

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 12


	PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275
Jenis Rekaman : Judul :	Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

adanya kebocoran cairan ke lingkungan. Pemantauan paparan radiasi di sekitar jalur pembuangan harus dilakukan.

PENYIMPANAN SEMENTARA HINGGA KLIERENS

- III.17. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari kedokteran nuklir umumnya digolongkan sebagai limbah yang tidak dikondisikan (*unconditioned waste*) atau limbah yang tidak diolah (*untreated waste*).
- III.18. Limbah yang tidak dikondisikan umumnya akan disimpan pada tempat atau fasilitas dimana limbah tersebut dihasilkan. Limbah menjalani proses pemisahan dan penyimpanan untuk peluruhan radioaktif sampai dilakukan perlakuan lebih lanjut seperti pengangkutan ke fasilitas pengelolaan limbah radioaktif terpadu atau dibuang sesuai rute pembuangan yang dipilih.
- III.19. Manajemen harus memastikan adanya ruang khusus untuk penyimpanan sementara limbah radioaktif. Ruangan tersebut harus dikunci, diberi tanda radiasi dan berventilasi. Akses terhadap ruangan tersebut dibatasi hanya untuk petugas yang berwenang. Demikian pula untuk lokasi bak penampung limbah cair.
- III.20. Fasilitas penyimpanan limbah untuk limbah radioaktif cair dan padat yang tidak dikondisikan (*unconditioned waste*) harus memenuhi syarat berikut:
- a. Kemudahan operasional, dalam hal ini adanya kemudahan dan penghematan dari segi biaya yang dibutuhkan untuk fasilitas penyimpanan, perawatan, transportasi dan jalur pembuangan;
 - b. Aman dan terjamin selama periode waktu yang memadai untuk limbah dapat mengalami peluruhan sebelum langkah pengelolaan lebih lanjut, misalnya menyimpan limbah kontaminasi berumur pendek sebelum di kirim ke fasilitas pengelolaan limbah terpadu atau dibuang ke lingkungan setelah memenuhi kriteria pengecualian atau klierens;
 - c. Efisiensi operasi penyimpanan, dengan melakukan pemisahan/pengelompokan limbah sesuai kategorinya, pencatatan, dan mudah dalam pengambilan sampel dan limbah; dan
 - d. Mudah dalam verifikasi dan/atau pengecekan.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 13

	PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275
Jenis Rekaman : Judul :	Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

- III.21. Limbah radioaktif padat harus disimpan dengan rapi dan ditempatkan dalam drum, keranjang, rak, palet atau *skid* yang telah direncanakan dengan baik untuk meminimalkan risiko penyebaran kontaminasi. Ruang penyimpanan harus memberikan lorong atau area selasar dengan sisa jarak lebih dari 1 (satu) meter dari drum, rak, dan lainnya agar personel petugas dapat tetap maksimal menjaga jarak dari limbah.
- III.22. Pengaturan harus dibuat untuk penerimaan atau penyimpanan limbah secara *first in first out* atau sistem yang mengharuskan limbah pertama masuk ke tempat penyimpanan dan harus menjadi limbah yang pertama kali keluar dari tempat penyimpanan. Hal ini diperlukan kehati-hatian untuk perputaran jenis limbah tertentu secara teratur, sehingga paket limbah yang seharusnya sudah saatnya dikeluarkan dari penyimpanan tidak dikeluarkan sehingga tersimpan dalam waktu yang lebih lama, atau sebaliknya.
- III.23. Kapasitas penyimpanan limbah radioaktif harus memadai untuk menampung limbah sesuai yang diperkirakan. Akses ke penyimpanan limbah harus dirancang agar aman, dengan penyediaan pembatasan otomatis (jika tersedia) untuk personel yang berwenang. Selain itu, desain tempat penyimpanan limbah harus memperhitungkan risiko insiden kejadian dari internal atau eksternal, seperti banjir, kebakaran, angin kencang atau cuaca buruk lainnya.
- III.24. Penyimpanan untuk peluruhan sangat penting untuk klierens limbah radioaktif yang mengandung radionuklida berumur pendek. Klierens merupakan pembebasan atau pelepasan zat radioaktif terbuka, limbah radioaktif, atau material yang terkontaminasi dari pengawasan BAPETEN asal konsentrasi radionuklidanya di bawah tingkat klierens. Ada banyak radionuklida yang digunakan di kedokteran nuklir memiliki waktu paruh mulai orde beberapa jam sampai dengan beberapa hari.
- III.25. Periode penyimpanan peluruhan harus cukup untuk mengurangi aktivitas radionuklida awal ke tingkat aktivitas yang lebih rendah dari tingkat klierens. Masa penyimpanan untuk peluruhan sangat bergantung pada aktivitas awal dan waktu paruh radionuklida. Oleh karena itu, untuk setiap sumber tertentu, pengukuran dan

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 14



**PUSAT PENKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

perhitungan harus dilakukan secara berurutan untuk menentukan periode penyimpanan untuk peluruhan yang tepat.

III.26. Pengalaman praktis telah menunjukkan bahwa penyimpanan untuk peluruhan biasanya cocok untuk semua jenis limbah radioaktif yang padat, cair dan gas dengan waktu paruh sekitar 100 hari atau kurang. Misalnya, limbah radioaktif dari kedokteran nuklir, seperti limbah yang mengandung Tc-99m (waktu paruh sekitar 6 jam), dapat disimpan untuk peluruhan dan selanjutnya dibuang. Limbah yang mengandung radionuklida dengan waktu paruh lebih lama juga dapat disimpan dengan aman untuk peluruhan ke tingkat yang tidak signifikan dan pertimbangan harus dilakukan kasus per kasus untuk penyimpanan limbah tersebut dalam rangka peluruhan.

III.27. Penyimpanan limbah untuk peluruhan pada kedokteran nuklir berdasarkan waktu paruh sangat berguna untuk memfasilitasi penentuan periode lamanya limbah tersebut disimpan dan dibuang. Secara umum, penurunan tingkat aktivitas radionuklida pada limbah kedokteran nuklir mencapai tingkat yang diperbolehkan untuk di buang adalah setelah melewati 10 kali waktu paruh.

III.28. Pada penggunaan radionuklida dengan konsentrasi radioaktivitas 3,7 sampai 37 MBq/m³ (0,1 sampai 1 mCi/m³), penyimpanan untuk peluruhan selama 10 (sepuluh) waktu paruh akan memberikan reduksi konsentrasi aktivitas yang lebih besar dari 1000 kali dan berada di bawah batas pelepasan atau pembuangan tanpa syarat.

Tabel 1 di bawah ini menunjukkan pengurangan aktivitas dengan faktor 10 sampai dengan 10⁶ (sepuluh pangkat 6).

Tabel 1. Waktu untuk beberapa radionuklida meluruh sampai aktivitas tertentu

Radionuklida	Konstanta Peluruhan (tahun ⁻¹)	Waktu (tahun) untuk reduksi aktivitas dengan faktor:					
		10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
P-32	1,80E+01	1,28E-01	2,56E-01	3,84E-01	5,12E-01	6,40E-01	7,68E-01
Ca-45	1,5E+00	1,54E+00	3,07E+00	4,61E+00	6,14E+00	7,68E+00	9,21E+00
Mo-99	9,20E+01	2,50E-02	5,01E-02	7,51E-02	1,00E-01	1,25E-01	1,50E-01
TC-99m	1,00E+03	2,30E-03	4,61E-03	6,91E-03	9,21E-03	1,15E-02	1,38E-02
I-125	4,10E+00	5,62E-01	1,12E+00	1,68E+00	2,25E+00	2,81E+00	3,37E+00



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

Radionuklida	Konstanta Peluruhan (tahun ⁻¹)	Waktu (tahun) untuk reduksi aktivitas dengan faktor:					
		10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
I-131	3,20E+01	7,20E-02	1,44E-01	2,16E-01	2,88E-01	3,60E-01	4,32E-01
Ir-192	3,40E+00	6,77E-01	1,35E+00	2,03E+00	2,71E+00	3,39E+00	4,06E+00
C-11	17,61E+03	1,31E-04	2,62E-04	3,92E-04	5,23E-04	6,54E-04	7,85E-04
O-15	17,67E+04	1,30E-05	2,61E-05	3,91E-05	5,21E-05	6,52E-05	7,82E-05
F-18	3,33E+03	6,92E-04	1,38E-03	2,08E-03	2,77E-03	3,46E-03	4,15E-03
Na-24	3,99E+02	5,77E-03	1,15E-02	1,73E-02	2,31E-02	2,88E-02	3,46E-02
P-33	9,96E+00	2,31E-01	4,62E-01	6,94E-01	9,25E-01	1,16E+00	1,39E+00
Ga-67	7,66E+01	3,00E-02	6,01E-02	9,01E-02	1,20E-01	1,50E-01	1,80E-01
Ga-68	5,27E+03	4,37E-04	8,74E-04	1,31E-03	1,75E-03	2,19E-03	2,62E-03
Se-57	2,11E+00	1,09E+00	2,18E+00	3,28E+00	4,37E+00	5,46E+00	6,55E+00
Rb-82m	9,66E+02	2,38E-03	4,77E-03	7,15E-03	9,54E-03	1,19E-02	1,43E-02
Y-90	9,37E+01	2,46E-02	4,92E-02	7,37E-02	9,83E-02	1,23E-01	1,47E-01
I-123	4,54 E+02	5,08E-03	1,02E-02	1,52E-02	2,03E-02	2,54E-02	3,05E-02
Xe-133	4,77E+01	4,82E-02	9,65E-02	1,45E-01	1,93E-01	2,41E-01	2,89E-01
Sm-153	1,33E+02	1,73E-02	3,46E-02	5,19E-02	6,92E-02	8,65E-02	1,04E-01
Er-169	2,72E+01	8,47E-02	1,69E-01	2,54E-01	3,39E-01	4,23E-01	5,08E-01
Au-198	9,37E+01	2,46E-02	4,92E-02	7,37E-02	9,83E-02	1,23E-01	1,47E-01
Tl-201	8,43E+01	2,73E-02	5,46E-02	8,19E-02	1,09E-01	1,37E-01	1,64E-01
Lu-177	3,77E+01	6,11E-02	1,22E-01	1,83E-01	2,44E-01	3,05E-01	3,66E-01

Keterangan:

Nilai-nilai di atas di cari menggunakan rumus $T = \frac{\ln(R)}{\lambda}$, dengan T adalah waktu dalam tahun, R adalah faktor reduksi 10 sampai 10⁶, dan λ adalah konstanta peluruhan.

III.29. Pada Tabel 1 di atas, faktor reduksi yang besar dan dicapai dalam waktu singkat adalah untuk radionuklida yang berumur sangat pendek, seperti Tc-99m yang mencapai faktor 10⁶ dalam 5 (lima) hari ($1,38 \times 10^{-2}$ tahun).

III.30. Pada radionuklida berumur pendek menunjukkan bahwa tidak akan ada masalah dengan pencapaian batas pelepasan pada tingkat klierens. Periode penyimpanan yang sangat singkat memberikan peluruhan yang memadai, bahkan pada batas klierens yang lebih rendah. Masalah akan muncul untuk radionuklida dengan waktu paruh antara sekitar 6 (enam) minggu sampai 1 (satu) tahun, namun pengurangan aktivitas ini merupakan faktor yang harus dipertimbangkan.



**PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

III.31. Contoh untuk radionuklida Ca-45, dengan waktu paruh 0,45 tahun akan memerlukan waktu sampai 9 (sembilan) tahun untuk pengurangan sampai faktor 10^6 . Penyimpanan dalam jangka waktu yang lama ini merupakan hal yang tidak tepat karena risiko yang dikaitkan dengan jangka waktu penyimpanan yang lama menjadi tidak signifikan.

III.32. Pengalaman praktis menunjukkan bahwa penyimpanan untuk peluruhan di lokasi penghasil limbah lebih cocok untuk limbah terkontaminasi radionuklida dengan waktu paruh hingga 100 hari. Jika limbah radioaktif berumur pendek dihasilkan dalam volume yang besar maka akan lebih mudah untuk memilahnya sesuai dengan waktu paruh.

Tabel 2. Contoh rekaman penyimpanan peluruhan limbah sampai klierens

No. limbah	Tanggal datang	Nuklida	Aktivitas saat penerimaan	Deskripsi	Lokasi penyimpanan	Tanggal pembuangan atau klierens	Pengesahan (tanda tangan)
1	1 April 2022 (tanda tangan manajer)	P-32	10 MBq	Tisu, kapas, kertas terkontaminasi yang diwadahi kantong plastik di tali dengan berat 1 kg.	Kotak 1 drum 3	1 September 2022 ke pembuangan sampah RS	
2

III.33. Tabel 2 mengilustrasikan catatan rekaman yang perlu dibuat untuk mengidentifikasi limbah yang akan disimpan dan dibuang. Pada saat penerimaan limbah, perlu dicatat waktu penerimaan dan aktivitas awal. Selanjutnya durasi penyimpanan harus dievaluasi disesuaikan dengan perhitungan pada Tabel 1 dan tingkat klierens dari radionuklida limbah.

III.34. Pada Tabel 2 di atas, sebagai contoh adalah limbah padat dengan kontaminan P-32 dan mengacu pada Tabel 1, maka 10 MBq per 1 kg atau 10.000 kBq/kg atau 10 kBq/g limbah yang mengandung P-32 setelah disimpan selama 46,7 hari ($1,28 \times 10^{-1}$ tahun), limbah akan berada di bawah 1 kBq/g. Dengan demikian, dengan nilai tingkat



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

klierens untuk P-32 adalah 1000 Bq/g atau 1 kBq/g, limbah tersebut dalam waktu 46,7 hari sudah memenuhi tingkat klierens dan dapat dibuang ke tempat pembuangan sampah medis lainnya.

III.35. Berdasarkan pada Perka BAPETEN Nomor 16 Tahun 2012, limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan kedokteran nuklir, dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN apabila:

- a) konsentrasi aktivitas radionuklida kurang dari atau sama dengan tingkat klierens yang telah ditetapkan di Lampiran I, untuk kandungan jenis radionuklida tunggal yang dapat diidentifikasi;
- b) tingkat kontaminasi permukaan kurang dari atau sama dengan 1 Bq/cm² untuk kandungan jenis radionuklida campuran yang dapat diidentifikasi; dan
- c) tingkat kontaminasi permukaan kurang dari atau sama dengan 0,1 Bq/cm² atau konsentrasi aktivitas kurang dari atau sama dengan 0,1 Bq/g, untuk kandungan jenis radionuklida yang tidak dapat diidentifikasi.

Limbah tersebut kemudian dapat digabungkan dengan limbah rumah sakit lainnya untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut hingga siap dilepaskan ke lingkungan.

III.36. Teknik pengukuran untuk tujuan klierens dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu

- a) pengukuran kontaminasi permukaan;
- b) pengukuran konsentrasi aktivitas secara langsung; dan
- c) pengumpulan sampel untuk dianalisis di laboratorium.

Pengukuran kontaminasi permukaan dan pengukuran konsentrasi aktivitas merupakan metode yang tepat jika komposisi radionuklida yang terkandung atau melekat dalam material limbah telah diketahui.

III.37. Menurut ISO 7503-1:2016 dan IAEA SRS 67, teknik pengukuran kontaminasi permukaan dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu cara langsung dan cara tidak langsung.

- a) Pengukuran cara langsung, digunakan alat ukur untuk mengukur langsung tingkat kontaminasi permukaan dari material. Pada metode ini, probe monitor digerakkan di sekitar permukaan, dengan sisi aktif probe berada pada jarak



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

minimal 3 mm dari permukaan, pergerakan probe harus dijaga seimbang agar mendapatkan akurasi yang cukup.

- b) Pengukuran cara tidak langsung, dilakukan pemindahan material yang terkontaminasi ke media perantara, kemudian media perantara tersebut diukur menggunakan alat ukur. Sebagai contoh, dilakukan tes usap untuk bagian material terkontaminasi, kemudian hasil tes usap tersebut diukur dan dihitung untuk mendapatkan nilai tingkat kontaminasi permukaan dengan memperhatikan efisiensi usap dan efisiensi pencacahan.

III.38. Dalam metode pengukuran, khususnya pengukuran langsung, perlu diperhatikan kondisi pengukuran, diantaranya: jarak pengukuran, faktor kalibrasi alat ukur, dan nilai bacaan untuk kondisi *background*.

III.39. Apabila fasilitas tidak memiliki alat ukur yang mampu membaca hasil ukur dengan satuan Bq/g atau Bq/cm² maka dapat menggunakan alat ukur lain yang relevan untuk kemudian hasil bacaan alat dikonversi sesuai satuan yang dibutuhkan.

III.40. Pada fasilitas kedokteran nuklir, umumnya frekuensi penimbunan limbah cukup sering dan masa simpan limbah relatif singkat, sehingga proses klierens berpotensi akan sering dilakukan. Kondisi ini akan tidak efektif apabila harus melakukan permohonan persetujuan penetapan klierens ke BAPETEN berkali-kali. Oleh karena itu, direkomendasikan bahwa permohonan persetujuan penetapan klierens dilakukan 1 (satu) kali pada saat pengajuan permohonan izin operasi kedokteran nuklir. Uraian terkait permohonan persetujuan klierens dicantumkan pada dokumen “Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi” pada subbab atau bagian “Pemantauan Paparan Radiasi dan/atau Kontaminasi Daerah Kerja” dengan merincikan prosedur/metode pengukuran dan metode perhitungan/analisis yang akan diterapkan. Prosedur kerja dan jenis rekaman yang dihasilkan dalam proses klierens juga harus dicantumkan dalam “Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi” pada subbab “Rekaman dan Laporan”.

III.41. Pada setiap proses klierens yang dilakukan, pemegang izin harus membuat dan menyimpan berita acara atau laporan pelaksanaan klierens, yang paling kurang memuat: identitas limbah yang diukur, tanggal pengukuran, hasil pengukuran, dan

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 19



**PUSAT PENKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

hasil perhitungan, acuan metode pengukuran/perhitungan, dan pelaksana atau penganggung jawab pelaksanaan klierens. Salah satu contoh sederhana untuk rekaman pelaksanaan penyimpanan dan pelaksanaan klierens dapat dilihat pada Tabel 1 di atas.

- III.42. Laporan pelaksanaan klierens tersebut juga merupakan salah satu kelengkapan dokumen yang harus dicantumkan dalam “Laporan Verifikasi Keselamatan” pada subbab “Pemantauan dan Pengukuran Parameter Keselamatan di Daerah Kerja” yang disampaikan ke BAPETEN setiap tahun sekali.
- III.43. Penghasil limbah diperbolehkan mengajukan penetapan klierens yang nilainya lebih tinggi dari tingkat klierens yang ditetapkan BAPETEN, namun harus dilengkapi dengan:
- hasil analisis skenario paparan radiasi yang memperhitungkan jalur paparan radiasi, jenis radionuklida, konsentrasi aktivitas dan kontaminasi permukaan; dan
 - hasil perhitungan dosis efektif terhadap kelompok tertentu (*representative person*) yang menunjukkan bahwa tidak melebihi 100 μ Sv dalam 1 (satu) tahun.

PEMBUANGAN LIMBAH SETELAH KLIERENS

- III.44. Limbah radioaktif padat dan cair yang berasal dari kegiatan kedokteran nuklir dapat digabungkan dengan limbah rumah sakit lainnya untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut apabila radioaktivitas telah berada di batas aman sebagaimana kriteria yang disebutkan di atas.
- III.45. Rekaman atau catatan atau laporan atau berita acara harus tersedia sebagai bukti bahwa limbah radioaktif padat dan cair tersebut telah diyakini berada pada batas aman.
- III.46. Berita acara terkait serah terima limbah dari fasilitas kedokteran nuklir ke fasilitas pengelolaan limbah rumah sakit harus dibuat dan disimpan.
- III.47. Inventarisasi limbah radioaktif harus diperbarui apabila limbah yang telah bebas radioaktif telah diserahkan ke unit pengolahan limbah rumah sakit.
- III.48. Pengelolaan limbah rumah sakit mengikuti pengaturan yang berlaku.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 20



**PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN
FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**


Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120
Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275

Jenis Rekaman : Output Unit Kerja
Judul : Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

BAB IV. PENUTUP

- IV.1. Limbah radioaktif dari kegiatan kedokteran nuklir pada umumnya masuk dalam kategori tingkat rendah sampai tingkat sedang sehingga dapat dikelola di dalam fasilitas hingga aktivitasnya meluruh di batas aman.
- IV.2. Limbah radioaktif dari kegiatan kedokteran nuklir dapat digabungkan dengan limbah rumah sakit lainnya untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut apabila telah dipastikan radioaktivitas berada di batas aman melalui penentuan klierens.
- IV.3. Pengukuran laju paparan terhadap limbah radioaktif perlu memperhatikan status kinerja alat dan metode pengukuran serta metode perhitungan/analisis.
- IV.4. Permohonan persetujuan klierens limbah radioaktif kedokteran nuklir cukup dilakukan 1 (satu) kali bersamaan dalam pengajuan izin operasi operasi dan laporan pelaksanaan klierens disampaikan dalam laporan verifikasi keselamatan.
- IV.5. Rekaman sebagai bukti bahwa limbah telah berada pada batas aman harus tersedia sebelum dilakukan serah terima kepada instalasi pengolah limbah rumah sakit (bagian kesehatan lingkungan rumah sakit).
- IV.6. Inventarisasi limbah radioaktif yang dikelola oleh fasilitas kedokteran nuklir harus selalu diperbarui setiap ada tambahan limbah ataupun pelepasan limbah.


Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 21

	<p align="center">PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR</p> <p align="center">Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275</p>
<p>Jenis Rekaman : Judul :</p>	<p>Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir</p>

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2] Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- [3] Kementerian Kesehatan, Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 008/MENKES/SK/I/2009 tentang Standar Pelayanan Kedokteran Nuklir di Sarana Pelayanan Kesehatan.
- [4] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir.
- [5] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah Dan Tingkat Sedang.
- [6] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens.
- [7] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [8] Kementerian Kesehatan, Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit.
- [9] International Atomic Energy Agency (IAEA), Safety Standards Series, GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011.
- [10] International Atomic Energy Agency (IAEA), Safety Reports Series No. 40, Applying Radiation Safety Standards In Nuclear Medicine, IAEA, Vienna, 2005.
- [11] International Atomic Energy Agency (IAEA), Safety Reports Series No. 67, Monitoring For Compliance With Exemption And Clearance Levels, IAEA, Vienna, 2012.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 22

	PUSAT PENGAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275
Jenis Rekaman : Judul :	Output Unit Kerja Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Radioaktif di Fasilitas Kedokteran Nuklir

- [12] International Organization for Standardization, ISO 7503-1:2016, Measurement of Radioactivity – Measurement And Evaluation Of Surface Contamination, ISO, Switzerland, 2016.
- [13] Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA), Safety Guide, Radiation Protection in Nuclear Medicine, Radiation Protection Series Publication No. 14.2, the Radiation Health & Safety Advisory Council, 2008, https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/rps/rps14_2.pdf.
- [14] International Atomic Energy Agency (IAEA), Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-46, 2018, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1775_web.pdf.
- [15] International Atomic Energy Agency (IAEA), Handling and Processing of Radioactive Waste from Nuclear Applications, Technical Reports Series No. 402, 2001, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS402_scr.pdf.
- [16] International Atomic Energy Agency (IAEA), Predisposal Management of Radioactive Waste from the Use of Radioactive Material in Medicine, Industry, Agriculture, Research and Education, Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-45, 2019, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1758_web.pdf
- [17] International Atomic Energy Agency (IAEA), Storage of Radioactive Waste, Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-6.1, 2006, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1254_web.pdf.
- [18] International Atomic Energy Agency (IAEA), Selection of Technical Solutions for the Management of Radioactive Waste, IAEA TECDOC Series, IAEA-TECDOC-1817,2017, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1817_web.pdf.
- [19] Nabakhtiani, G., Giorgadze, I. and Ojovan, M.I. (2021) IAEA-assisted treatment of liquid radioactive waste at the Saakadze site in Georgia. Processes, 9(9). 1679. ISSN 2227-9717, <https://eprints.whiterose.ac.uk/178787/1/processes-09-01679.pdf>, <https://doi.org/10.3390/pr9091679>.

Nomor : PRK/PD/1/00/2022	Tanggal : 30 September 2022
Revisi : 0	Halaman : 23