



PEDOMAN TEKNIS

ANALISIS DOSIS MINERAL IKUTAN RADIOAKTIF

TAHUN ANGGARAN 2025

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

Jalan Gajah Mada Nomor 8 Jakarta 10120

Telepon (62-21) 63858269 - 70, Faksimile (62-21) 63858275

Dokumen ini diterbitkan dalam bentuk elektronik menggunakan sistem elektronik yang diterbitkan BSR/E
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120. Telp. (+62-21) 6385 8269-70, 630 2164, 630 2485 Fax. (+62-21) 6385 8275 Po Box. 4005 Jkt 10040

Homepage : www.bapeten.go.id, E-mail: info@bapeten.go.id

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LEMBAR PENGESAHAN
PEDOMAN TEKNIS ANALISIS DOSIS MINERAL IKUTAN RADIOAKTIF
TAHUN ANGGARAN 2025

Disusun oleh:	Tino Sawaldi Adi Nugroho, S.T., M.Sc.  NIP 197908302005011002
Tanggal	29 Desember 2025
Diperiksa oleh:	Koordinator KF Pengkajian Instalasi Nuklir Non Reaktor Dr. Petit Wiringgali, B.Eng., M.Sc.  NIP 197805171997021001
Tanggal	30 Desember 2025
Disahkan oleh:	Kepala P2STPIBN, #
Tanggal	31 Desember 2025

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : i dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

**Kontributor Kegiatan Penyusunan Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan
Radioaktif Tahun Anggaran 2025**

1.	Dr. Petit Wiringgali, B.Eng., M.Sc.	P2STPIBN-BAPETEN
2.	Tino Sawaldi Adi Nugroho, S.T., M.Sc.	P2STPIBN-BAPETEN
3.	Dr. Lilis Susanti Setianingsih, S.T., M.S.	P2STPIBN-BAPETEN
4.	Decky Dendy Dharmaperwira, S.Mat.	P2STPIBN-BAPETEN
5.	Dewi Novitasari, S.ST.	P2STPIBN-BAPETEN
6.	Aris Sanyoto, S.K.M., SP.1.	DP2FRZR-BAPETEN
7.	Wita Kustiana, S.Si	DPIBN-BAPETEN
8.	Sinta Tri Habsari, S.T., M.Eng.	DPIBN-BAPETEN
9.	Asystasia S. Cindananti S.H.	DP2IBN-BAPETEN

**Narasumber Kegiatan Penyusunan Pedoman Teknis
Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif
Tahun Anggaran 2025**

1.	Zhiwen Fan	IAEA Dep. of Nuclear Safety & Security
2.	Wahab Yusof	Former Dir. General of Malaysian Nuclear Agency
3.	Keith Baldry	Environment Protection Authority, South Australia
4.	Dadong Iskandar	Badan Riset dan Inovasi Nasional

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : ii dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LEMBAR DISTRIBUSI

No. Salinan Dokumen	Nama Jabatan
4	Deputi Bidang Pengkajian Keselamatan Nuklir
4.4	Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
3.2	Direktur Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir
3.4	Direktur Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir
2.1	Kepala Biro Perencanaan
2.4	Kepala Inspektorat
4.2.1	TU Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : iii dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Pengasih, yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif ini dengan baik. Penyusunan pedoman ini merupakan bagian dari upaya untuk meningkatkan keselamatan dalam pengelolaan mineral ikutan radioaktif, serta mendukung pelaksanaan pengawasan dan pengelolaan sumber daya alam secara aman dan berkelanjutan.

Pedoman ini disusun sesuai dengan alokasi anggaran dan waktu yang tersedia, dengan tetap mengacu pada prinsip-prinsip keselamatan, standar nasional dan internasional yang berlaku, serta praktik terbaik dalam pengelolaan mineral ikutan radioaktif. Kami menyadari bahwa analisis dosis dalam pengelolaan mineral ikutan radioaktif merupakan tahapan yang sangat krusial, sehingga diperlukan panduan teknis yang komprehensif dan aplikatif bagi para pemangku kepentingan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak, seluruh rekan kerja di Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN) dan Unit Kerja terkait di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) serta narasumber dari luar BAPETEN yang telah berkontribusi dalam penyusunan pedoman ini, baik melalui sumbangan pemikiran, data, maupun masukan teknis.

Harapan kami pedoman ini dapat menjadi acuan yang bermanfaat bagi internal BAPETEN, pengusaha pertambangan dan industri penghasil mineral ikutan radioaktif, dan semua pihak yang terlibat dalam pelaksanaan analisis dosis mineral ikutan radioaktif, walaupun kami menyadari masih terdapat

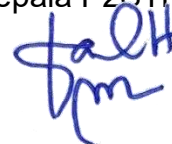
No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : iv dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

kekurangan dalam pelaksanaannya. Kami juga terbuka terhadap segala bentuk saran dan masukan untuk penyempurnaan pedoman ini di masa yang akan datang.

Jakarta, 31 Desember 2025

Kepala P2STPIBN,



Dra. Taruniyati Handayani, M.Sc.

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : v dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KONTRIBUTOR DAN NARASUMBER	ii
LEMBAR DISTRIBUSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Dasar Hukum	4
1.5 Definisi dan Istilah	4
BAB II ANALISIS DOSIS MIR	5
2.1 Identifikasi Jenis Material dan Radionuklida.....	8
2.2 Prosedur Perhitungan.....	11
2.2.1 Paparan Gamma Eksternal.....	12
2.2.2 Paparan Inhalasi Debu Radioaktif.....	13
2.2.3 Paparan Inhalasi Radon dan Turunannya.....	14
2.2.4 Konsumsi Makanan dan Air Lokal.....	15
2.2.5 Prosedur Evaluasi Dosis.....	16
2.2.6 Parameter dan Faktor Pendukung.....	17
2.2.7 Prinsip Konservatif dan Ketentuan Umum.....	18
BAB III PENUTUP.....	20
3.1 Simpulan.....	20
3.2 Rekomendasi.....	20
3.3 Tindak Lanjut.....	21
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	24

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : vi dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Daftar Kegiatan yang Berpotensi Menghasilkan MIR	6
Tabel 2	Jenis Material dan Radionuklida yang Harus Dianalisis	8

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : vii dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon (021) 63858269 – 70, Faksimile (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Parameter Paparan Umum	24
Lampiran II	Parameter Inhalasi debu Radioaktif	25
Lampiran III	Parameter Radon dan Produk Peluruhnya	27
Lampiran IV	Parameter Konsumsi (Makanan, Air, Tanah)	28
Lampiran V	Nilai Latar Alam	31

No. Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : viii dari viii

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran menetapkan bahwa BAPETEN bertanggung jawab dalam melaksanakan pengawasan terhadap seluruh kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Kegiatan tersebut mencakup penelitian dan pengembangan, penyelidikan umum, serta eksplorasi dan eksploitasi bahan galian nuklir. Dalam pelaksanaannya, BAPETEN memiliki kewajiban untuk melindungi masyarakat dari potensi dampak pemanfaatan tenaga nuklir dan menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja serta lingkungan, sebagai bagian dari tujuan utama penyelenggaraan pengawasan ketenaganukliran di Indonesia.

Ketentuan lebih lanjut mengenai bahan galian nuklir diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir yang mengatur aspek pada seluruh pertambangan bahan galian nuklir yang meliputi keselamatan pertambangan bahan galian nuklir, keamanan pertambangan bahan galian nuklir, dan manajemen keselamatan dan keamanan pertambangan bahan galian nuklir. Pertambangan bahan galian nuklir sendiri dikelompokkan atas pertambangan Mineral Radioaktif, pengolahan Mineral Ikutan Radioaktif (MIR), dan penyimpanan Mineral Ikutan Radioaktif (MIR).

Berdasarkan Rancangan Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengelolaan MIR yang merupakan peraturan teknis turunan dari PP Nomor 52 Tahun 2022, Pelaku Usaha yang akan menyimpan dan/atau mengolah material yang berpotensi MIR harus melakukan analisis potensi bahaya radiasi. Dalam hal hasil penilaian menunjukkan material yang berpotensi MIR mencapai nilai

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 1 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

batasan MIR, Pelaku Usaha dapat melakukan analisis dosis untuk mendapatkan ketetapan pengecualian MIR, jika hasil analisis dosis menunjukkan potensi dosis yang diterima masyarakat kurang dari 1 mSv/tahun (satu millisievert per tahun).

Sebagai lembaga pengawas tenaga nuklir, BAPETEN memiliki mandat untuk memastikan bahwa seluruh kegiatan pengelolaan mineral ikutan radioaktif dilaksanakan sesuai ketentuan keselamatan nuklir dan radiasi. Untuk itu, diperlukan suatu pedoman teknis yang memberikan arahan praktis bagi pelaku usaha, konsultan, dan instansi terkait dalam melaksanakan analisis dosis. Pedoman ini juga menjadi acuan bagi BAPETEN dalam proses evaluasi dokumen analisis keselamatan, penilaian perizinan, serta pelaksanaan pengawasan berkelanjutan terhadap fasilitas.

Dengan tersusunnya pedoman teknis ini, diharapkan pelaksanaan analisis dosis dapat dilakukan secara konsisten, terukur, dan transparan, serta menghasilkan keluaran yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perizinan dan pengawasan. Pedoman ini juga menjadi bagian dari upaya memperkuat budaya keselamatan di sektor industri dan pertambangan yang berpotensi menghasilkan MIR, meningkatkan kesadaran akan pentingnya perlindungan radiasi, serta mendukung komitmen nasional terhadap pengelolaan sumber daya alam yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.

1.2 Maksud dan Tujuan

Pedoman teknis analisis dosis MIR ini disusun untuk membantu para pelaku usaha sektor industri dan pertambangan yang berpotensi menghasilkan mineral ikutan radioaktif dalam melakukan analisis dosis yang dipersyaratkan oleh Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan dan

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 2 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

Keamanan dalam Pengelolaan Mineral Ikutan Radioaktif yang selaras dengan kepentingan pengawasan keselamatan nuklir dan radiasi oleh BAPETEN.

Adapun tujuan dari pedoman ini adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan standar metodologi dalam evaluasi risiko radiasi pada pelaksanaan analisis dosis mineral ikutan radioaktif.
2. Menyediakan panduan penerapan prinsip-prinsip keselamatan radiasi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
3. Mendorong penerapan proteksi dan keselamatan radiasi yang sistematis, efektif, dan berkelanjutan dalam pelaksanaan analisis dosis mineral ikutan radioaktif.
4. Menyediakan dasar teknis bagi penyusunan dokumen perizinan, pengawasan, serta pelaporan hasil analisis dosis mineral ikutan radioaktif.
5. Meminimalkan dampak paparan radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan.

1.3 Ruang Lingkup

Pedoman ini disusun dengan merujuk pada ketentuan pada Rancangan Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengelolaan MIR yang menyatakan bahwa Pelaku Usaha yang memiliki MIR bisa mendapatkan ketetapan pengecualian MIR, jika hasil analisis dosis menunjukkan potensi dosis yang diterima masyarakat kurang dari 1 mSv/tahun (satu millisievert per tahun).

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 3 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

Ruang lingkup pedoman mencakup aspek teknis dan administratif yang berkaitan dengan analisis dosis yang meliputi hal sebagai berikut.

1. Identifikasi jenis material yang harus diambil sampelnya;
2. Identifikasi radionuklida yang harus dianalisis; dan
3. Prosedur perhitungan.

1.4 Dasar Hukum

Penyusunan pedoman ini didasarkan pada peraturan perundang-undangan nasional yang berlaku sebagai berikut.

- a. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran;
- b. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
- c. Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir;
- d. Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Zat Radioaktif;
- e. Peraturan BAPETEN Nomor 5 Tahun 2025 tentang Standar Kegiatan Usaha dan/atau Standar Produk/Jasa pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran; dan
- f. Rancangan Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengelolaan Mineral Ikutan Radioaktif.

1.5 Definisi dan Istilah

Beberapa istilah penting yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 4 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

1. Mineral Ikutan Radioaktif (MIR) adalah mineral ikutan dengan konsentrasi aktivitas paling sedikit 1 Bq/g (satu becquerel per gram) pada salah satu unsur radioaktif anggota deret uranium dan torium atau 10 Bq/g (sepuluh becquerel per gram) pada unsur kalium yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan mineral dan batubara, minyak dan gas bumi, dan industri lainnya.
2. Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang selanjutnya disebut Badan adalah lembaga pemerintah nonkementerian yang melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengawasan tenaga nuklir.
3. Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi manusia dan lingkungan hidup dari akibat paparan radiasi pengion.
4. Analisis Keselamatan adalah proses sistematis untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan mengevaluasi risiko terkait dengan kegiatan tertentu, serta menentukan langkah-langkah mitigasi yang diperlukan.
5. Paparan Radiasi adalah proses yang individu atau lingkungan terkena radiasi ionisasi, baik dari sumber eksternal maupun internal.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 5 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

BAB II ANALISIS DOSIS MIR

Berdasarkan Peraturan BAPETEN Nomor 5 Tahun 2025 tentang Standar Kegiatan Usaha dan/atau Standar Produk/Jasa pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran dan Rancangan Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengelolaan Mineral Ikutan Radioaktif berikut adalah kegiatan pertambangan dan industri yang berpotensi menghasilkan MIR. Daftar kegiatan pada Tabel 1 didapat berdasarkan dari referensi internasional, sehingga ke depannya dapat dilakukan perubahan jika data baseline dan inventori dari kegiatan ini di Indonesia telah teridentifikasi secara rinci.

Tabel 1. Daftar Kegiatan yang Berpotensi Menghasilkan MIR

No	Kegiatan	Kode KBLI
1.	Pertambangan batu bara	05100
2.	Pertambangan minyak bumi	06100
3.	Pertambangan gas alam	06201
4.	Pengusahaan tenaga panas bumi	06202
5.	Pertambangan pasir besi	07101
6.	Pertambangan bijih besi	07102
7.	Pertambangan bijih timah	07291
8.	Pertambangan bijih timah hitam	07292
9.	Pertambangan bijih bauksit	07293
10.	Pertambangan bijih tembaga	07294
11.	Pertambangan bijih nikel	07295
12.	Pertambangan bijih mangan	07296
13.	Pertambangan bahan galian lainnya yang tidak mengandung bijih besi	07299

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 6 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

14.	Pertambangan emas dan perak	07301
15.	Pertambangan bijih logam mulia lainnya	07309
16.	Pertambangan fosfat	08912
17.	Pertambangan mineral, bahan kimia, dan bahan pupuk lainnya	08919
18.	Pertambangan dan penggalian lainnya ytdl	08999
19.	Industri air kemasan	11051
20.	Industri produk dari batu bara	19100
21.	Industri bahan bakar dari pemurnian dan pengilangan minyak bumi	19211
22.	Industri produk dari hasil kilang minyak bumi	19291
23.	Industri pupuk alam/non sintetis hara makro primer	20121
24.	Industri pupuk buatan tunggal hara makro primer	20122
25.	Industri pupuk buatan majemuk hara makro primer	20123
26.	Industri pupuk buatan campuran hara makro primer	20124
27.	Industri pupuk hara makro sekunder	20125
28.	Industri pupuk hara mikro	20126
29.	Industri Bata, Mortar, Semen, dan Sejenisnya yang Tahan Api	23911
30.	Industri barang galian bukan logam lainnya Ytdl	23990
31.	Industri pembuatan logam dasar mulia	24201
32.	Industri pembuatan logam dasar bukan besi	24202
33.	Jasa industri untuk berbagai pengerjaan khusus logam dan barang dari logam	25920
34.	Reparasi kapal, perahu, dan bangunan terapung	33151
35.	Pembangkitan tenaga listrik (hanya untuk pltu batubara dan pltp panas bumi)	35111
36.	Pembangkit, transmisi, distribusi, dan penjualan tenaga listrik dalam satu kesatuan usaha (hanya untuk pltu batubara dan pltp panas bumi)	35115

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 7 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

37.	Pembangkit, transmisi, dan penjualan tenaga listrik dalam satu kesatuan usaha (hanya untuk PLTU batubara dan PLTP panas bumi)	35116
38.	Pembangkit, distribusi, dan penjualan tenaga listrik dalam satu kesatuan usaha (hanya untuk PLTU batubara dan PLTP panas bumi)	35117
39.	Pengadaan gas alam dan buatan	35201
40.	Penampungan, penjernihan, dan penyaluran air minum	36001
41.	Penyimpanan minyak dan gas bumi	52104

2.1 Identifikasi Jenis Material dan Radionuklida

Berdasarkan referensi internasional diperoleh daftar jenis material untuk masing-masing kegiatan yang perlu diambil sampelnya untuk dilakukan pengukuran konsentrasi aktivitas serta radionuklida yang perlu dianalisis dari sampel tersebut. Jenis material dan radionuklida yang harus dianalisis pada Tabel 2 ke depannya dapat dilakukan perubahan jika data baseline dan inventori dari kegiatan ini di Indonesia telah teridentifikasi secara rinci.

Tabel 2. Jenis Material dan Radionuklida yang Harus Dianalisis

No	Kegiatan	Jenis Material	Radionuklida
1.	Pertambangan batu bara	Scale	Ra-226, Ra-228
2.	Pertambangan minyak bumi	Scale, Sludge	Ra-226
3.	Pertambangan gas alam	Scale, Sludge	Ra-226
4.	Pengusahaan tenaga panas bumi	-	-
5.	Pertambangan pasir besi	Pasir Besi	U-238, Th-232
6.	Pertambangan bijih besi	Bijih Besi	U-238, Th-232
7.	Pertambangan bijih timah	Bijih Timah	U-238, Th-232
8.	Pertambangan bijih timah hitam	Bijih Timah Hitam	U-238, Th-232

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 8 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

9.	Pertambangan bijih bauksit	Bijih Bauksit	Th-232
10.	Pertambangan bijih tembaga	Bijih Tembaga	U-238, Th-232
11.	Pertambangan bijih nikel	Bijih Nikel	U-238, Th-232
12.	Pertambangan bijih mangan	Bijih Mangan	U-238, Th-232
13.	Pertambangan bahan galian lainnya yang tidak mengandung bijih besi	Bahan Baku, Slag, Residu, Debu, Konsentrat	U-238, Th-232
14.	Pertambangan emas dan perak	Emas dan Perak	U-238, Th-232
15.	Pertambangan bijih logam mulia lainnya	Bahan Baku	U-238, Th-232
16.	Pertambangan fosfat	Batu Fosfat	U-238
17.	Pertambangan mineral, bahan kimia, dan bahan pupuk lainnya	Bahan Baku	Th-232, U-238
18.	Pertambangan dan penggalian lainnya ytdl	Bahan Baku	Th-232, U-238
19.	Industri air kemasan	Sludge	Ra-226
20.	Industri produk dari batu bara	Scale	Pb-210
21.	Industri bahan bakar dari pemurnian dan pengilangan minyak bumi	Scale, Sludge	Ra-226
22.	Industri produk dari hasil kilang minyak bumi	Scale, Sludge	Ra-226
23.	Industri pupuk alam/non sintetis hara makro primer	Fosfogypsum,	Ra-226
24.	Industri pupuk buatan tunggal hara makro primer	Fosfogypsum,	Ra-226
25.	Industri pupuk buatan majemuk hara makro primer	Fosfogypsum,	Ra-226
26.	Industri pupuk buatan campuran hara makro primer	Fosfogypsum,	Ra-226
27.	Industri pupuk hara makro	-	-

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 9 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

	sekunder		
28.	Industri pupuk hara mikro	-	-
29.	Industri Bata, Mortar, Semen, dan Sejenisnya yang Tahan Api	-	-
30.	Industri barang galian bukan logam lainnya Ytdl	Debu, Konsentrat	Po-210, U-238
31.	Industri pembuatan logam dasar mulia	Bahan Baku, Debu	U-238, Th-232, Pb-210, Po-210
32.	Industri pembuatan logam dasar bukan besi	Slag	Th-232
33.	Jasa industri untuk berbagai pengerjaan khusus logam dan barang dari logam	Scale, Sludge, Debu	Pb-210, Po-210
34.	Reparasi kapal, perahu, dan bangunan terapung	-	-
35.	Pembangkitan tenaga listrik (hanya untuk pltu batubara dan pltp panas bumi)	Scale	Pb-210
36.	Pembangkit, transmisi, distribusi, dan penjualan tenaga listrik dalam satu kesatuan usaha (hanya untuk pltu batubara dan pltp panas bumi)	Scale	Pb-210
37.	Pembangkit, transmisi, dan penjualan tenaga listrik dalam satu kesatuan usaha (hanya untuk PLTU batubara dan PLTP panas bumi)	Scale	Pb-210
38.	Pembangkit, distribusi, dan penjualan tenaga listrik dalam satu kesatuan usaha (hanya	Scale	Pb-210

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 10 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

	untuk PLTU batubara dan PLTP panas bumi)		
39.	Pengadaan gas alam dan buatan	Scale, Sludge	Ra-226
40.	Penampungan, penjernihan, dan penyaluran air minum	Sludge	Ra-226
41.	Penyimpanan minyak dan gas bumi	Scale, Sludge	Ra-226

2.2 Prosedur Perhitungan

Prosedur perhitungan berlaku untuk menilai dosis efektif tahunan untuk kegiatan yang berlaku untuk pekerja yang diawasi (*occupationally exposed*) maupun masyarakat umum yang merupakan orang dewasa (≥ 17 tahun). Lingkup kegiatan tidak mencakup fasilitas yang berada di bawah tanah kecuali untuk paparan radon dan produk peluruhnya dan tidak berlaku untuk penggunaan kembali material yang terkontaminasi. Prosedur ini hanya menyajikan perhitungan dosis, tidak membahas tujuan remediasi atau justifikasi operasional dari kegiatan. Prinsip dasarnya adalah menyediakan model dan parameter yang realistis namun konservatif untuk skenario paparan radiasi akibat MIR.

Pemantauan dosis ditujukan pada “orang referensi” yang terkena paparan radiasi di lokasi terburuk. Orang referensi terbagi dalam dua kategori: pekerja (menerima paparan hingga 2000 jam/tahun) dan masyarakat dewasa (≥ 17 tahun). Bagi pekerja, paparan di luar kegiatan kerja tidak dihitung, dan paparan latar tidak dikurangi dalam perhitungan dosis. Bagi masyarakat dewasa, diasumsikan waktu di dalam ruangan ~7000 jam/tahun dan di luar ruangan hingga ~2000 jam/tahun (tergantung skenario). Titik pengamatan adalah lokasi tempat orang referensi tinggal/beraktivitas atau dimana makanan diproduksi secara lokal.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 11 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

Pengecualian radon: lokasi dengan konsentrasi $Rn-222 \leq 5 \text{ Bq/m}^3$ dianggap tidak relevan dan diabaikan. Pada semua kasus, dipilih skenario konservatif dengan asumsi kondisi terburuk.

Paparan radiasi akibat MIR meliputi beberapa jalur paparan yang relevan:

1. Paparan Gamma Eksternal: Radiasi gamma dari tanah (mineral ikutan) ke manusia;
2. Inhalasi Debu Radioaktif: Pernapasan partikel debu yang mengandung radionuklida dari udara;
3. Inhalasi Radon dan Turunannya: Inhalasi gas radon ($Rn-222$ dan $Rn-220$) dan produk peluruhan α jangka pendeknya di dalam ruangan maupun luar;
4. Konsumsi Makanan/Air Lokal: Konsumsi produk tani/ternak dan air yang diproduksi di kawasan terkontaminasi;
5. Konsumsi Tanah Langsung: Tertelannya partikel tanah (misal oleh anak-anak di area bermain).

Masing-masing jalur dihitung terpisah dengan rumus dosis yang sesuai:

2.2.1. Paparan Gamma Eksternal

Dosis efektif tahunan dari paparan gamma dihitung berdasarkan laju dosis ekivalen ambien di lokasi. Rumusnya:

$$E_{\{A,j\}} = f_{\{conv,j\}} \cdot \sum_s [(H^*_{\{10,s\}} - H^*_{\{U\}}) \cdot t_{\{exp,j,s\}} \cdot a_s]$$

$E_{\{A,j\}}$: Dosis efektif tahunan dari gamma untuk orang referensi j [Sv].

$H^*_{\{10,s\}}$: Laju dosis ekivalen ambien ($H(10)$) di luar ruangan 1 m di lokasi s [Sv/h].

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 12 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

$H^{\{U\}}_{10}$: Laju dosis ekuivalen ambien gamma latar alami [Sv/h] (lihat Lampiran V). Bila nilai terukur sudah mencakup latar, selisih ($H^{\{U\}} - H^{\{U\}}_{10}$) digunakan.

$f_{\{conv,j\}}$: Faktor konversi ambien → efektif (lihat Lampiran I Tabel I.1).

Contoh: untuk dewasa >17 tahun ≈0,6.

$t_{\{exp,j,s\}}$: Waktu paparan tahunan di lokasi s [h/tahun] (Lampiran I Tabel I.2). Contoh: pekerja ≤2000 jam/tahun.

a_s : Faktor perisai (shielding). Misalnya: di luar ruangan $a_s=1$, di dalam bangunan ~0,1 (tembok tebal) hingga 0,3 (bangunan ringan). Faktor ini memperhitungkan pengurangan dosis gamma akibat struktur bangunan.

Rumus di atas memastikan perhitungan dosis gamma mining disesuaikan dengan kontribusi di atas latar alam serta waktu dan proteksi lokal.

2.2.2. Paparan Inhalasi Debu Radioaktif

Dosis akibat menghirup debu radioaktif dihitung sebagai berikut:

$$E_{\{inh,j\}} = V_j \cdot \sum_s \sum_r [(C_{\{Air,s,r\}} - C^U_{\{Air,r\}}) \cdot g_{\{inh,j,r\}} \cdot t_{\{exp,j,s\}} \cdot a_{\{air,s\}}]$$

$E_{\{inh,j\}}$: Dosis efektif tahunan dari inhalasi debu untuk orang j [Sv].

$C_{\{Air,s,r\}}$: Konsentrasi aktivitas radionuklida r yang melekat pada partikel debu di udara luar di lokasi s [Bq/m³].

$C^U_{\{Air,r\}}$: Konsentrasi latar alami radionuklida r di udara luar [Bq/m³] (lihat Lampiran V). Jika $C_{\{Air\}}$ dihitung dengan model, kurangi latar supaya ($C - C^U$) mewakili kontribusi.

V_j : Laju pernapasan orang referensi j [m³/h] (Lampiran II Tabel II.1). Contoh: dewasa >17 ~0,93 m³/h; pekerja ~1,2 m³/h.

$g_{\{inh,j,r\}}$: Koefisien dosis inhalasi untuk radionuklida r dan orang j [Sv/Bq] (Lampiran II Tabel II.2).

$t_{\{exp,j,s\}}$: Waktu paparan di lokasi s [h] (Lampiran I Tabel I.2).

$a_{\{air,s\}}$: Faktor perbandingan konsentrasi debu dalam ruangan vs luar. Persamaan panduannya: $a_{\{air\}}=1$ untuk paparan di luar ruangan, $a_{\{air\}}=5,0$ untuk paparan di dalam gedung (menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi debu dalam ruangan diasumsikan 5 kali lipat konsentrasi luar ruangan, misal karena ventilasi buruk).

Jika tidak tersedia pengukuran konsentrasi debu udara, dapat digunakan pendekatan konservatif dari konsentrasi tanah:

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 13 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

$$C_{\text{Air},s,r} \approx (C_{\text{Soil}(0.02),r} - C^U_{\text{Soil}(0.02),r}) \cdot S_{\text{dust}},$$

di mana $C_{\text{Soil}(0.02),r}$ adalah aktivitas radionuklida r dalam fraksi tanah halus ($<0,02$ mm)[22], C^U latar tanah halusnya[22], dan $S_{\text{dust}}=5 \times 10^{-8}$ kg/m³ adalah konsentrasi referensi partikulat di udara[23]. Nilai S_{dust} ini memberikan gambaran konservatif kasar jumlah debu yang terhirup.

2.2.3. Paparan Inhalasi Radon dan Turunannya

Paparan radon (²²²Rn) dan turunan α -berumur pendeknya (misalnya ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb) sangat signifikan pada area tambang. Dosis efektif tahunan dihitung menurut ICRP 65. Terdapat tiga pendekatan sebagai berikut:

- Berdasar konsentrasi ²²²Rn (Konsentrasi ekuivalen ekuilibrium):**

Jika diketahui konsentrasi tahunan ²²²Rn $C_{\text{Rn-222},s}$ (Bq/m³) dan faktor kesetimbangan $F_{\text{Rn-222},s}$ antara Rn dan turunannya di lokasi s , maka

$$E_{\text{Rn-222},j} = \sum_s [g_{\text{EEC}(\text{Rn-222}),j} \cdot (C_{\text{Rn-222},s} - C^U_{\text{Rn-222}}) \cdot F_{\text{Rn-222},s} \cdot t_{\text{exp},j,s}]$$

- $g_{\text{EEC}(\text{Rn-222}),j}$: Koefisien dosis setara–energi potensial untuk orang j (Lampiran III Tabel III.2).
- $F_{\text{Rn-222},s}$: Faktor kesetimbangan radioactive Rn–turunannya (umumnya antara 0,4–0,6).
- $C^U_{\text{Rn-222}}$: Konsentrasi alami ²²²Rn di udara (~ 10 Bq/m³). Jika $C_{\text{Rn-222}}$ sudah bersih mining (model), maka $C^U=0$.
- t_{exp} : waktu paparan [h] (Lampiran I Tabel I.2).

Semua variabel selain g dan F sama seperti sebelumnya. Rumus di atas menghitung dosis akibat ekuivalen energi potensial radon (dalam Sv).

- Berdasar energi potensial alfa (²²²Rn):**

Jika yang terukur adalah konsentrasi potensi α ($C_{\text{pot}(\text{Rn-222}),s}$ [J/m³]) dari turunan Rn-222, maka

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 14 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

$$E_{\{Rn-222,j\}} = g_{\{pot(Rn-222),j\}} \cdot \sum_s [(C_{\{pot(Rn-222),s\}} - C^U_{\{pot(Rn-222)\}}) \cdot t_{\{exp,j,s\}}]$$

dengan $g_{\{pot(Rn-222),j\}}$ koefisien dosis [$Sv \cdot m^3/(J \cdot h)$] dari Lampiran III Tabel III.1. Nilai $C^U_{\{pot(Rn-222)\}}$ adalah latar alami potensi alfa (^{222}Rn) pada udara luar.

- **Radon-220 (Rn-220, toron):**

Risiko inhalasi Rn-220 sendiri sangat kecil; yang diperhitungkan adalah anak-anaknya. Dosis dihitung serupa dengan bentuk potensi α :

$$E_{\{Rn-220,j\}} = g_{\{pot(Rn-220),j\}} \cdot \sum_s [(C_{\{pot(Rn-220),s\}} - C^U_{\{pot(Rn-220)\}}) \cdot t_{\{exp,j,s\}}]$$

$g_{\{pot(Rn-220),j\}}$ diambil dari Lampiran III; untuk pekerja ke atas 17 tahun umumnya 5,0 [$Sv \cdot m^3/(J \cdot h)$] (lihat Annex III Tabel III.1).

$C_{\{pot(Rn-220),s\}}$ konsentrasi energi potensial Rn-220 di udara di lokasi s; latar $C^U_{\{pot(Rn-220)\}}$ umum sangat rendah.

Secara umum, inhalasi radon mengikutsertakan semua isotop pada rangkaian U-238 (terutama Ra-226 menghasilkan Rn-222) dan Th-232 (Rn-220), demikian pula isotop U-235.

2.2.4. Konsumsi Makanan dan Air Lokal

Apabila terdapat lahan pertanian, peternakan, atau sumber air yang dipengaruhi kontaminasi tambang, dosis akibat konsumsi hasil lokal dihitung:

$$E_{\{Ing,j\}} = \sum_n [p_{\{n,j\}} \cdot U_{\{j,n\}} \cdot \sum_r (C_{\{r,n\}} - C^U_{\{r,n\}}) \cdot g_{\{Ing,j,r\}}]$$

$E_{\{Ing,j\}}$: Dosis efektif tahunan dari konsumsi makanan/air lokal [Sv].

indeks n merujuk jenis pangan/minuman: Mi (susu & hasil olahannya), Me (daging & produk hewani), Fi (ikan air tawar), Ve (sayuran non-daun dan non-umbi), LV (sayuran daun), RV (umbi-umbian), Fr (buah), W (air minum), dsb.

$p_{\{n,j\}}$: Fraksi (proporsi) konsumsi tahunan dari jenis n yang diproduksi di area terkontaminasi (Lampiran IV Tabel IV.4). Misalnya $p \approx 1$ jika seluruh bahan berasal dari lahan lokal.

$U_{\{j,n\}}$: Jumlah konsumsi tahunan orang j untuk pangan n [kg/tahun] (Lampiran IV Tabel IV.2). Contoh: orang dewasa

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 15 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

>17 tahun ~130 L susu, 90 kg daging, ~250 kg sayuran per tahun.

$C_{\{r,n\}}$: Aktivitas radionuklida r dalam pangan n [Bq/kg atau Bq/L] (diambil dari pengukuran di lokasi terpapar). $C^U_{\{r,n\}}$: aktivitas latar alami radionuklida r untuk jenis pangan n (lihat Lampiran V Tabel V.4). Jika C sudah merupakan nilai kontribusi tambang saja, maka C^U diasumsikan nol[35].

$g_{\{Ing,j,r\}}$: Koefisien dosis konsumsi [Sv/Bq] untuk radionuklida r dan orang j (Lampiran IV Tabel IV.1).

Dengan rumus ini, jumlah total radionuklida yang terkonsumsi ($C - C^U$ dikali jumlah asupan U) dikonversi ke dosis dengan koefisien g . Seluruh isotop rantai U-238, U-235, Th-232 dicakup (misalnya ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{235}U , ^{231}Pa , ^{227}Ac). Untuk air minum, digunakan variabel $n=W$ dengan satuan Bq/L.

2.2.5. Prosedur Evaluasi Dosis

Penghitungan Awal: Gunakan rumus-rumus di atas untuk menghitung dosis tahunan total untuk setiap jalur bagi orang referensi tanpa pengurangan radiasi latar. Bandingkan dosis-nilai gabungan ini dengan batas dosis yang relevan (misal 20 mSv/tahun untuk pekerja, 1 mSv/tahun untuk publik). Jika dosis tidak melebihi batas pada semua jalur, maka dinyatakan “sesuai” tanpa proses lebih lanjut.

Pengurangan Radiasi Latar: Jika dosis awal melebihi batas pada salah satu jalur, lakukan pengurangan komponen radiasi latar: kurangi dosis komponen latar yang berlaku dengan menggunakan nilai latar umum dari Lampiran V. Nilai latar mencakup laju dosis ambien rata-rata (~120 nSv/jam) dan konsentrasi alami radionuklida di tanah, air, makanan, debu, dsb. Setelah dikurangi latar, sisa dosis dianggap akibat kegiatan dan dibandingkan kembali dengan batas. Jika sisa $\leq$ batas, dinyatakan

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 16 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

“sesuai”; jika tidak, perlu tindak lanjut menggunakan data spesifik tapak, optimasi.

Penanganan Kasus Khusus: Jika diperlukan, tambah jalur lain (misalnya paparan selimut debu tambahan, terpapar produk susu olahan, dll) sesuai kondisi nyata. Dosis radon bawah 5 Bq/m³ diabaikan (lokasi dianggap bebas dari radon). Jika terjadi ketidakpastian, gunakan nilai konservatif atau survei tambahan.

Secara umum, penghitungan dosis harus mempertimbangkan asumsi konservatif: skenario terburuk dipilih, penggunaan nilai ambang yang tinggi (seperti 2000 jam kerja, laju intake tanah yang besar, faktor transfer maksimal), serta tabel parameter generik yang cenderung mengarah ke estimasi dosis lebih besar daripada nilai sebenarnya. Misalnya, pekerja diasumsikan tidak mengurangi paparan latar, penggunaan faktor transfer yang besar, dan waktu paparan maksimal. Pendekatan konservatif menjamin hasil yang selamat terhadap batas yang ditetapkan.

2.2.6. Parameter dan Faktor Pendukung

Berikut adalah parameter utama dan nilai tipikal yang digunakan:

1. Faktor Konversi Ambien→Efektif (f_{conv}): Sesuai Lampiran I Tabel I.1[15]. Contoh: anak-anak (1–12 th) ~0,7; remaja dewasa dan pekerja ~0,6;
2. Laju Pernapasan (V_j): Lihat Lampiran II Tabel II.1[20]. Nilai tipikal dewasa: ~0,93 m³/jam; pekerja berat: ~1,20 m³/jam;

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 17 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

3. Waktu Paparan Tahunan (t_{exp}): Lihat Lampiran I Tabel I.2. Contoh umum: pekerja ≤ 2000 jam; masyarakat dewasa dalam ruang ~ 7000 jam, luar ~ 2000 jam;
4. Faktor Perisai (a_s): Lampiran I Tabel I.3. Nyata: $=1,0$ untuk luar ruangan; $=0,10-0,30$ untuk di dalam gedung;
5. Koefisien Dosis (g_{inh} , g_{ing} , g_{EEC} , g_{pot}): Sesuai Lampiran II–IV dan III. Misal, g_{ing} ^{923}Th untuk dewasa $\approx 8 \times 10^{-6}$ Sv/Bq; $g_{\text{pot}}(\text{Rn-222})$ dewasa $\approx 5,1 \times 10^{-6}$ Sv·m³/(J·h)[43][15]. (Nilai persis lihat tabel Lampiran);
6. Transfer Tanah→Pangan (T) dan Faktor Konsentrasi (Cf): Lampiran IV Tabel IV.3. Contoh: untuk ^{226}Ra – transfer ke sayuran non-daun $T_{\text{PI}} \approx 3 \times 10^{-3}$ (Bq/kg FM per Bq/kg DM tanah); ke susu $T_{\text{Mi}} \approx 9 \times 10^{-4}$ (d·kg⁻¹); ke daging $T_{\text{Me}} \approx 2 \times 10^{-1}$. Ke ikan (air tawar) misal ^{226}Ra $C_{\text{Fi}} \approx 10$ L/kg. Tiga aturan: daun (LV), sayur lain (PI), pakis/padi (PP) juga diperhitungkan (T_{LV} $^{226}\text{Ra} \approx 5 \times 10^{-3}$, $T_{\text{PP}} \approx 1 \times 10^{-2}$);
7. Konsumsi Pangan Lokal ($U_{\{j,n\}}$, $p_{\{n,j\}}$): Lampiran IV Tabel IV.2 dan IV.4. Contoh orang dewasa >17: air 350 L/yr, susu 130 L, daging 90 kg, sayuran ~ 250 kg. Fraksi lokal p_n tergantung sumber spesifik (mis. $p=1$ jika seluruh pasokan dari kegiatan);
8. Konsentrasi Paparan Latar: Lampiran V (Tabel V.4–V.5). Contoh: laju dosis ambien ≈ 120 nSv/jam; konsentrasi U-238 di tanah pertanian ≈ 50 Bq/kg(soil)[50]; Ra-226 alam ≈ 30 Bq/kg; Ra-228 ≈ 40 Bq/kg; Th-232 ≈ 50 Bq/kg (Lampiran V). Latar air minum umumnya diabaikan. Radon latar $\sim 10-15$ Bq/m³. Nilai-nilai latar ini harus dikurangkan saat tahap 2.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 18 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

2.2.7. Prinsip Konservatif dan Ketentuan Umum

Semua perhitungan harus mengikuti prinsip konservatif berikut: memilih skenario terburuk, memakai parameter *default* pada batas atas rentang wajar, serta mengecualikan jalur yang tidak relevan berdasarkan kajian lokasi. Penggunaan nilai latar dapat berupa nilai umum (Lampiran V) atau, jika tersedia, data spesifik lokasi. Dalam pelaporan, dosis akhir untuk pekerja dibandingkan dengan batas pekerja (20 mSv/tahun), sedangkan untuk masyarakat dibandingkan batas publik (1 mSv/tahun). Dalam semua langkah, dipastikan bahwa model dan parameter adalah “cukup konservatif” sehingga dosis sebenarnya cenderung tidak lebih besar dari estimasi.

Secara praktis, pedoman ini memungkinkan tenaga teknis lapangan untuk menghitung dosis efektif akibat kegiatan dengan cara yang sistematis: mulai dari pengukuran atau estimasi konsentrasi radionuklida di lingkungan, menerapkan rumus-rumus jalur paparan di atas, sampai dengan evaluasi akhir terhadap kriteria dosis. Setiap simbol dan satuan dalam rumus telah dijelaskan, dan nilai referensi parameter tersedia di lampiran dokumen agar dapat langsung diaplikasikan dalam survei radiologis. Semuanya dirancang agar pengguna dapat menghitung dosis pekerja maupun penduduk sekitar secara realistis namun dengan penafsiran konservatif.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 19 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

BAB III PENUTUP

4.1 Simpulan

Analisis dosis merupakan bagian dari penerapan pendekatan bertingkat yang diterapkan dalam pengawasan MIR di Indonesia sebagai sarana bagi Pelaku Usaha yang memiliki MIR yang untuk menunjukkan potensi paparan radiasi yang diterima oleh pekerja dan masyarakat tidak melebihi batasan yang berlaku sehingga dapat menerima ketetapan pengecualian dari BAPETEN. Pedoman ini memberikan panduan yang dapat diacu oleh Pelaku Usaha, unit kerja pengawasan di BAPETEN, maupun pemangku kepentingan lainnya dalam pelaksanaan analisis dosis yang dilakukan.

Pedoman ini perlu segera untuk direvisi lebih lanjut setelah Rancangan Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengelolaan Mineral Ikutan Radioaktif diterbitkan dan juga setelah identifikasi baseline data radiasi dan inventori dari kegiatan yang berpotensi MIR di Indonesia telah secara rinci dilakukan.

4.2 Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis, pedoman ini merekomendasikan beberapa hal berikut.

1. Perlu disusun mekanisme pengawasan yang tepat dari BAPETEN untuk memberikan notifikasi kepada Pelaku Usaha mengenai kegiatan yang berpotensi menghasilkan MIR;
2. Perlu adanya *awareness* dari Pelaku Usaha maupun unit pengawasan BAPETEN terhadap keberadaan pendekatan bertingkat dalam pengawasan MIR; dan

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 20 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

3. Perlu segera dilakukannya survey baseline data radiasi dan inventori terhadap seluruh kegiatan yang berpotensi menghasilkan MIR di Indonesia agar didapatkan daftar kegiatan, jenis material yang harus diambil sampel, serta radionuklida yang harus dianalisis yang sesuai untuk pengawasan MIR nasional; dan
4. Perlu didorong keberadaan pihak ketiga untuk dapat membantu Pelaku Usaha untuk melakukan analisis dosis yang sesuai agar dapat memenuhi ketentuan perhitungan dosis efektif tahunan yang dipersyaratkan.

4.3 Tindak Lanjut

Untuk menjamin efektivitas implementasi pedoman, diperlukan tindak lanjut sebagai berikut.

1. Pelaku Usaha/Pemegang Izin dapat melakukan analisis dosis, dengan menggunakan ketentuan yang sesuai persyaratan serta melaporkan hasil analisisnya kepada BAPETEN;
2. BAPETEN melaksanakan evaluasi teknis atas dokumen analisis potensi bahaya radiasi terhadap material yang berpotensi MIR dan analisis dosis terhadap MIR, melakukan diseminasi *awareness* kepada Pelaku Usaha dari kegiatan yang berpotensi menghasilkan MIR, melakukan survey baseline data radiasi dan inventori terhadap seluruh kegiatan yang berpotensi menghasilkan MIR di Indonesia, serta menjalin kerja sama dengan Kementerian/Lembaga pengampu utama kegiatan yang berpotensi menghasilkan MIR dalam pengawasan MIR;
3. Lembaga dan instansi terkait diharapkan dapat mendukung pelaksanaan analisis dosis, pengembangan kapasitas sumber daya manusia, pengadaan laboratorium analisis dan kalibrasi radiasi,

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 21 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

dan pengembangan teknologi pengolahan, serta kerja sama dalam aspek keselamatan radiasi.

Dengan tindak lanjut tersebut, diharapkan pedoman ini dapat menjadi acuan komprehensif yang mendukung penerapan standar keselamatan tinggi dalam pelaksanaan analisis dosis mineral ikutan radioaktif di Indonesia.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 22 dari 33

Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSR E

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

DAFTAR PUSTAKA

Germany Department Radiation Protection and Environment Calculation Guide Mining: Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining

Peraturan Pemerintah Nomor 52 Tahun 2022 tentang Keselamatan dan Keamanan Pertambangan Bahan Galian Nuklir

Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2023 tentang Keselamatan Radiasi Pengan dan Keamanan Zat Radioaktif

Peraturan BAPETEN Nomor 5 Tahun 2025 tentang Standar Kegiatan Usaha dan/atau Standar Produk/Jasa pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran

Rancangan Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan dan Keamanan dalam Pengelolaan Mineral Ikutan Radioaktif

Safety Report Series No. 49 Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials

Specific Safety Guide No. SSG-60 Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities

Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran

Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 23 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LAMPIRAN I PARAMETER PAPARAN UMUM

Lampiran I.1 Faktor Konversi dari Laju Dosis Ambien ke Dosis Efektif

Faktor konversi (f_{conv}) digunakan untuk mengubah *laju dosis ekuivalen ambien* $H(10)^*$ menjadi **dosis efektif** untuk orang referensi.

Kelompok umur	Faktor konversi f_{conv}
Bayi (<1 th)	0,9
Anak (1–7 th)	0,8
Anak (7–12 th)	0,7
Remaja & Dewasa (≥ 17 th)	0,6

Catatan: Nilai ini memperhitungkan perbedaan geometri tubuh dan sensitivitas biologis terhadap radiasi gamma eksternal.

Lampiran I.2 Waktu Paparan Tahunan

Waktu paparan (t_{exp}) adalah jumlah jam per tahun orang referensi berada pada lokasi terpapar.

Kelompok	Lokasi	Waktu paparan (jam/tahun)
Pekerja	Area kerja tambang	hingga 2000
Publik dewasa	Luar ruangan	hingga 2000
Publik dewasa	Dalam ruangan	hingga 7000

Catatan:
Untuk pekerja, hanya paparan selama aktivitas kerja yang diperhitungkan.

Lampiran I.3 Faktor Perisai Bangunan

Faktor perisai (a_s) menggambarkan reduksi radiasi gamma oleh bangunan.

Kondisi	Faktor perisai
Luar ruangan	1,0
Bangunan ringan	0,3
Bangunan berat (beton)	0,1

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 24 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LAMPIRAN II PARAMETER INHALASI DEBU RADIOAKTIF

Lampiran II.1 Laju Inhalasi

Laju pernapasan (V) dinyatakan dalam m^3/jam .

Kelompok Laju inhalasi (m^3/jam)

Anak kecil 0,3 – 0,5

Dewasa 0,93

Pekerja fisik 1,2

Lampiran II.2 Koefisien Dosis Inhalasi untuk Orang Dewasa (≥ 17 tahun)

Koefisien dosis inhalasi (g_{inh}) menyatakan dosis efektif per aktivitas radionuklida yang terhirup.

Radionuklida g_{inh} (Sv/Bq)

^{238}U	$8,4 \times 10^{-6}$
^{234}U	$9,6 \times 10^{-6}$
^{230}Th	$2,5 \times 10^{-5}$
^{226}Ra	$2,2 \times 10^{-5}$
^{210}Pb	$3,9 \times 10^{-6}$
^{210}Po	$3,3 \times 10^{-6}$
^{235}U	$7,6 \times 10^{-6}$
^{231}Pa	$1,6 \times 10^{-4}$
^{227}Ac	$1,9 \times 10^{-4}$
^{232}Th	$4,5 \times 10^{-5}$
^{228}Ra	$6,9 \times 10^{-6}$
^{228}Th	$3,0 \times 10^{-5}$

Catatan teknis:

- Nilai koefisien ini mencakup kontribusi dosis dari seluruh radionuklida anak dalam rantai peluruhan.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 25 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

- Koefisien berlaku untuk kondisi inhalasi kronis lingkungan, bukan paparan industri khusus.
- Nilai yang sama digunakan baik untuk pekerja maupun masyarakat umum dewasa

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 26 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LAMPIRAN III PARAMETER RADON DAN PRODUK PELURUHNYA

Lampiran III.1 Koefisien Dosis Energi Potensial Alfa

Koefisien dosis untuk inhalasi produk peluruhan radon dinyatakan dalam:

$$\text{Sv} \cdot \text{m}^3 / (\text{J} \cdot \text{h})$$

Radionuklida Koefisien dosis

²²²Rn (dewasa) 5,1

²²⁰Rn (dewasa) 5,0

Lampiran III.2 Faktor Keseimbangan Radon

Lingkungan Faktor keseimbangan F

Dalam ruangan 0,4

Luar ruangan 0,6

Catatan:

Faktor ini menghubungkan konsentrasi gas radon dengan energi potensial alfa dari produk peluruhannya.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 27 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LAMPIRAN IV PARAMETER KONSUMSI (MAKANAN, AIR, TANAH)

Lampiran IV.1 Koefisien Dosis Konsumsi

Radionuklida $g_{(in g)}$ (Sv/Bq)

^{238}U	$4,5 \times 10^{-8}$
^{234}U	$4,9 \times 10^{-8}$
^{230}Th	$2,1 \times 10^{-7}$
^{226}Ra	$2,8 \times 10^{-7}$
^{210}Pb	$6,9 \times 10^{-7}$
^{210}Po	$1,2 \times 10^{-6}$
^{235}U	$4,7 \times 10^{-8}$
^{231}Pa	$2,0 \times 10^{-6}$
^{227}Ac	$2,3 \times 10^{-6}$
^{232}Th	$2,3 \times 10^{-7}$
^{228}Ra	$6,9 \times 10^{-7}$
^{228}Th	$3,6 \times 10^{-7}$

Catatan teknis:

- Koefisien ini berlaku untuk paparan jangka panjang.
- Seluruh radionuklida dianggap berada dalam keseimbangan sekuler dengan induknya, kecuali dinyatakan lain.
- Koefisien mencakup dosis internal total akibat peluruhan radionuklida di dalam tubuh

Lampiran IV.2 Konsumsi Tahunan Pangan

Jenis pangan Konsumsi dewasa

Air minum	350 L/tahun
Susu	130 L/tahun
Daging	90 kg/tahun
Sayuran	250 kg/tahun
Buah	100 kg/tahun

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 28 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

Lampiran IV.3 Faktor Transfer Tanah ke Pangan

Definisi

- Faktor transfer dinyatakan sebagai:
 - Bq/kg (bahan segar pangan) per Bq/kg (tanah kering), atau
 - hari per kg untuk produk hewani (susu dan daging)
- Nilai-nilai ini merupakan nilai generik konservatif untuk kondisi lingkungan normal.

Jenis pangan

- LV : Sayuran daun
- PI : Sayuran non-daun (termasuk sereal)
- PP : Umbi-umbian dan tanaman akar
- Mi : Susu dan produk susu
- Me : Daging dan produk daging

Radionuklida	LV (sayuran daun)	PI (non-daun)	PP (umbi)	Mi (susu)	Me (daging)
²³⁸ U	2×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-4}	5×10^{-3}
²³⁴ U	2×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-4}	5×10^{-3}
²³⁰ Th	5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-5}	2×10^{-4}
²²⁶ Ra	5×10^{-3}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	9×10^{-4}	2×10^{-1}
²¹⁰ Pb	1×10^{-2}	5×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}
²¹⁰ Po	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-4}	2×10^{-2}
²³⁵ U	2×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-4}	5×10^{-3}
²³¹ Pa	1×10^{-3}	5×10^{-4}	2×10^{-3}	1×10^{-4}	5×10^{-3}
²²⁷ Ac	5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-5}	2×10^{-4}
²³² Th	5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-5}	2×10^{-4}
²²⁸ Ra	5×10^{-3}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	9×10^{-4}	2×10^{-1}
²²⁸ Th	5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-5}	2×10^{-4}

Catatan

- Faktor transfer mencerminkan serapan akar dan akumulasi biologis radionuklida.
- Nilai untuk uranium isotopik dianggap sama karena perilaku kimianya serupa.

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 29 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

- Faktor untuk daging relatif tinggi untuk radium karena kemiripannya dengan kalsium dalam metabolisme hewan.
- Nilai ini digunakan bila tidak tersedia data spesifik lokasi.

Lampiran IV.4 Fraksi Pangan yang Diproduksi Secara Lokal

Nilai p_n bersifat tanpa satuan dan berkisar antara 0 hingga 1.

Jenis pangan	Fraksi p_n
Air minum	1,0
Susu dan produk susu	1,0
Daging dan produk hewani	1,0
Sayuran daun	1,0
Sayuran non-daun	1,0
Umbi-umbian	1,0
Buah-buahan	1,0
Ikan air tawar	1,0

Catatan

- Nilai $p_n = 1$ berarti seluruh konsumsi diasumsikan berasal dari area terpapar.
- Asumsi ini digunakan untuk pendekatan konservatif dalam penilaian dosis.
- Jika tersedia informasi bahwa hanya sebagian pangan berasal dari wilayah terpengaruh, nilai p_n dapat disesuaikan.

Lampiran IV.5 Laju Konsumsi Tanah

Kelompok Konsumsi tanah

Anak kecil 5×10^{-5} kg/jam

Dewasa 6×10^{-6} kg/jam

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 30 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

LAMPIRAN V NILAI LATAR ALAM

Lampiran V.1 Laju Dosis Gamma Alam

Laju dosis ekuivalen ambien gamma alami (H^*_{10U}) digunakan untuk mengoreksi hasil pengukuran gamma lingkungan.

Parameter	Nilai
Laju dosis ekuivalen ambien alami (H^*_{10U})	120 nSv/jam

Catatan:

- Nilai ini merupakan rata-rata tipikal Eropa Tengah.
- Jika data latar lokal tersedia, nilai tersebut harus diprioritaskan.

Lampiran V.2 Konsentrasi Radon Alam

Nilai ini digunakan untuk mengurangi kontribusi radon alam dari hasil pengukuran atau estimasi.

Radionuklida Konsentrasi

^{222}Rn	10 Bq/m ³
^{220}Rn	<1 Bq/m ³

Catatan:

- Konsentrasi ini berlaku untuk udara luar.
- Untuk udara dalam ruangan, nilai alami dapat bervariasi dan biasanya lebih tinggi.

Lampiran V.3 – Konsentrasi Energi Potensial Alfa Alami

Nilai ini mewakili energi potensial alfa dari produk peluruhan radon alam.

Radionuklida	Konsentrasi energi potensial alfa
Produk peluruhan ^{222}Rn	0,4 $\mu\text{J}/\text{m}^3$
Produk peluruhan ^{220}Rn	0,02 $\mu\text{J}/\text{m}^3$

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 31 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

Lampiran V.4 Aktivitas Radionuklida Alam dalam Pangan dan Air Minum

Nilai-nilai berikut digunakan sebagai konsentrasi latar alami radionuklida dalam pangan dan air minum.

Radionuklida Pangan (Bq/kg) Air minum (Bq/L)

²³⁸ U	0,02	0,01
²³⁴ U	0,02	0,01
²³⁰ Th	0,01	—
²²⁶ Ra	0,05	0,02
²¹⁰ Pb	0,10	0,02
²¹⁰ Po	0,05	—
²³⁵ U	0,02	0,01
²³¹ Pa	0,01	—
²²⁷ Ac	0,01	—
²³² Th	0,01	—
²²⁸ Ra	0,05	0,02
²²⁸ Th	0,01	—

Catatan:

- Tanda “—” berarti nilai dianggap tidak signifikan atau tidak tersedia.
- Nilai ini merupakan rata-rata generik dan tidak mewakili kondisi geokimia khusus.

Lampiran V.5 Aktivitas Radionuklida Alam dalam Tanah

Nilai berikut digunakan sebagai aktivitas latar alam radionuklida dalam tanah.

Radionuklida Aktivitas (Bq/kg tanah kering)

²³⁸ U	50
²³⁴ U	50
²³⁰ Th	50
²²⁶ Ra	30
²¹⁰ Pb	25
²¹⁰ Po	25

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 32 dari 33

	BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR (BAPETEN) Jalan Gajah Mada Nomor 8, Jakarta 10120 Telepon. (021) 63858269 – 70, Faksimile. (021) 63858275 URL : http://www.bapeten.go.id/
Jenis Rekaman : Judul :	Rekaman Unit Kerja Pedoman Teknis Analisis Dosis Mineral Ikutan Radioaktif

Radionuklida Aktivitas (Bq/kg tanah kering)

²³⁵ U	2
²³¹ Pa	2
²²⁷ Ac	2
²³² Th	50
²²⁸ Ra	40
²²⁸ Th	40

Catatan:

- Nilai uranium-235 lebih rendah karena kelimpahan alamnya.
- Aktivitas tanah mewakili tanah pertanian lapisan atas (0–30 cm).

No Rek : LT/STI/KN00/P2STPIBN/09/2025	Tanggal : 31 Desember 2025
Revisi : 0	Hal : 33 dari 33