

SB

STANDAR BATAN

Bidang Administrasi, Manajemen dan Organisasi

SB 016 BATAN: 2014

Proteksi dan Keselamatan Radiasi BATAN



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

2014

Daftar Isi

Daftar Isi	i
Prakata	iv
Pendahuluan	v
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Pengelolaan proteksi radiasi dan lingkungan	7
4.1 Komisi Proteksi dan Keselamatan Radiasi	7
4.2 Koordinator Proteksi dan Keselamatan Radiasi Kawasan:	7
4.3 Pemegang Izin	8
4.4 Penyelenggara Keselamatan Radiasi	8
4.5 Petugas Proteksi Radiasi	9
4.6 Pekerja Radiasi	10
5 Pengaturan dan pengawasan terhadap keselamatan dan kesehatan kerja	10
5.1 Pengaturan Nilai Batas Dosis	10
5.2 Pengendalian paparan radiasi eksternal dan internal	11
5.3 Pengawasan pengunjung, tamu dan pekerja non radiasi	11
5.4 Nilai Pembatas Dosis (<i>dose constraint</i>)	12
5.5 Penyinaran dalam kedaruratan atau kecelakaan	12
5.6 Pemantauan kesehatan	12
6. Pemantauan dosis radiasi perorangan	13
6.1 Umum	13
6.2 Jenis pemantauan dosis radiasi perorangan	13
6.3 Kriteria personel yang dipantau	14
6.4 Metode pemantauan	14
6.5 Periode pemantauan	15
6.6 Pemantauan dosis radiasi eksternal (dosimeter perorangan)	15
6.7 Pemantauan dosis internal	15
6.8 Dosis efektif	16
6.9 Rekaman dan penyimpanan data dosis radiasi perorangan	16
6.10 Pelaporan dosis radiasi perorangan	16
6.11 Penerimaan paparan radiasi berlebih	16
7 Pengendalian daerah kerja	17
7.1 Pembagian daerah kerja di kawasan nuklir	18
7.2 Pengendalian paparan radiasi eksternal	18
7.3 Pengendalian kontaminasi	20
7.4 Pencegahan dan pengawasan kontaminasi pekerja	20

7.5	Dekontaminasi permukaan pada pekerja	21
7.6	Persetujuan kerja	21
7.7	Pengawasan kontaminasi udara di daerah kerja	22
7.8	Pengendalian lepasan melalui sistem ventilasi	22
7.9	Pembatasan lain yang perlu diperhatikan.....	23
7.10	Labelisasi radiasi	23
7.11	Kegiatan pemeliharaan, perbaikan dan pembangunan di instalasi	28
7.12	Pengelolaan tanaman di sekitar instalasi	28
8.	Pengendalian zat radioaktif, peralatan dan barang	28
8.1	Umum	28
8.2	Pengendalian zat radioaktif	28
8.3	Pengendalian pemindahan peralatan/barang	33
8.4	Pemindahan peralatan atau bahan terkontaminasi	35
8.5	Pemindahan peralatan dan barang kontraktor dari daerah instalasi nuklir.....	35
8.6	Bahan nuklir	36
8.7	Pemindahan dokumen, buku-buku dan perlengkapan pribadi	36
8.8	Wadah untuk pengiriman	36
8.9	Tindakan keselamatan pada pengangkutan	36
8.10	Pemindahan wadah pakai ulang atau peralatan pemadam kebakaran.....	37
9	Pengelolaan Limbah Radioaktif.....	37
9.1	Ketentuan pengelolaan limbah radioaktif.....	37
9.2	Klasifikasi limbah radioaktif	38
9.3	Jenis limbah radioaktif.....	39
9.4	Pengelolaan limbah radioaktif	42
9.5	Pengaturan dan pengawasan limbah radioaktif yang dilepas ke lingkungan	44
9.6	Limbah bahan kimia dan biologi.....	45
9.7	Limbah non radioaktif.....	45
10	Perlengkapan keselamatan kerja	46
10.1	Umum	46
10.2	Respirator dan alat pelindung diri.....	46
10.3	Perlengkapan pemadam kebakaran.....	54
10.4	Peralatan Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan	54
11.	Pemantauan radioaktivitas lingkungan.....	55
11.1	Umum	55
11.2	Program pemantauan lingkungan	55
11.3	Jenis pemantauan radioaktivitas lingkungan	56
11.4	Dampak penting yang dipantau.....	57
11.5	Sumber dampak penting	57
11.6	Komponen lingkungan dan parameter yang dipantau	57

11.7 Waktu dan frekuensi pemantauan.....	59
11.8 Batasan dosis anggota masyarakat	60
Lampiran A1 (Informatif) Dasar proteksi radiasi dan lingkungan	66
Lampiran A2 (Informatif) Pembagian daerah kerja instalasi nuklir BATAN.....	79
Lampiran B Contoh batas lepasan radionuklida ke atmosfer Kawasan Nuklir Serpong.....	83
Lampiran C Tabel tingkat pengecualian: Konsentrasi aktivitas yang dikecualikan dan aktivitas radionuklida yang dikecualikan	84
Lampiran D Surat Pengeluaran Barang	89
Lampiran E Bukti Pengiriman Peralatan atau Barang	90
Lampiran F Surat Keterangan Bebas Kontaminasi	91
Lampiran G Surat Jalan	92
Bibliografi.....	93

Prakata

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena dengan perkenan-Nya Standar BATAN tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi BATAN ini telah berhasil disusun dan dirumuskan. Standar disusun berdasar berbagai acuan yang terkait dan pengalaman dalam melaksanakan pengelolaan proteksi dan keselamatan radiasi di unit-unit kerja di lingkungan BATAN.

Proses perumusan standar ini dimulai dengan melakukan kajian, penyusunan konsep awal, perumusan, penyuntingan, finalisasi dan penetapan oleh Kepala BATAN. Standar ini telah dikonsensuskan oleh Tim Perumus Standar BATAN bidang Administrasi Manajemen dan Organisasi (TPSB-AMO) pada tanggal 03 September 2014 di Tangerang Selatan.

Standar ini menguraikan tentang tata cara penerapan upaya proteksi dan keselamatan radiasi di BATAN, termasuk pengelolaan limbah radioaktif, sehingga setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir di BATAN tidak membahayakan pekerja dan anggota masyarakat, serta tidak membahayakan lingkungan hidup baik di dalam maupun di luar kawasan BATAN.

Pendahuluan

Sesuai dengan Pasal 16 Undang Undang RI No 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Pada saat ini BATAN melaksanakan kegiatannya di lima kawasan yang berbeda, yaitu kawasan nuklir Serpong, kawasan nuklir Pasar Jumat, kawasan nuklir Bandung, kawasan nuklir Yogyakarta, dan kawasan nuklir Kantor Pusat. Kegiatan yang dilaksanakan pada berbagai kawasan nuklir ini cukup beragam, sehingga potensi bahaya radiasi yang ada juga cukup bervariasi. Namun demikian, untuk melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja dari bahaya radiasi yang ada, dan juga untuk memberikan perlindungan bagi anggota masyarakat dan lingkungan hidup di sekitar kawasan, BATAN menyusun standar ini untuk diterapkan di semua kawasan tersebut.

Standar ini pada awalnya merupakan pedoman yang disusun oleh Tim Penyusunan Pedoman Proteksi dan keselamatan Radiasi Kawasan Nuklir Serpong yang dibentuk berdasarkan Surat Keputusan Ketua Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong No. 01/KNS/III/2011, dan merupakan revisi dari Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong yang telah ada sebelumnya. Pedoman tersebut disahkan oleh Kepala BATAN menjadi Standar yang berlaku di seluruh lingkungan BATAN.

Standar ini dipergunakan sebagai acuan dalam melaksanakan kegiatan yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi di lingkungan BATAN. Jika dalam perjalanan pelaksanaan kegiatan yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi ini terbit peraturan perundang-undangan nasional yang lebih mutakhir atau lebih ketat, maka ketentuan dalam peraturan tersebut dapat menggantikan ketentuan yang ada di dalam Standar ini.

Proteksi dan Keselamatan Radiasi BATAN

1 Ruang lingkup

Standar ini dimaksudkan untuk digunakan oleh Pemegang Izin (PI) pemanfaatan tenaga nuklir di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang melakukan penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, dekomisioning dan penggunaan tenaga nuklir serta melakukan pengelolaan limbah radioaktif.

2 Acuan normatif

Tidak ada

3 Istilah dan definisi

3.1

Komisi Proteksi dan Keselamatan Radiasi

komisi yang bertanggung jawab langsung kepada Kepala BATAN dengan tugas memberikan saran dan rekomendasi tentang proteksi dan keselamatan radiasi

3.2

Kawasan Nuklir BATAN

kawasan dalam lingkup otoritas BATAN yang memiliki instalasi nuklir dan instalasi radiasi. (Kawasan Nuklir Bandung, Kawasan Nuklir Yogyakarta, Kawasan Nuklir Pasar Jum'at, Kawasan Nuklir Kantor Pusat, Kawasan Nuklir Serpong)

3.3

Batas Masukan Tahunan (*Annual Limit on Intake, ALI*)

masukan radionuklida tertentu ke dalam tubuh manusia acuan yang selama satu tahun dapat menimbulkan penerimaan dosis terikat tahunan sama dengan Nilai Batas Dosis (NBD)

3.4

Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain

3.5

Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan

nilai batas tertinggi yang dinyatakan dalam konsentrasi aktivitas radionuklida di lingkungan yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

3.6

Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan (*discharge limit*)

Nilai batas lepasan zat radioaktif ke lingkungan secara terencana dan terkendali yang ditetapkan oleh BAPETEN

3.7

Daerah instalasi nuklir

daerah yang terdapat instalasi nuklir dan dibatasi secara fisik (misalnya dengan pagar kuning untuk Kawasan Nuklir Serpong) yang memiliki akses terbatas

3.8

Daerah pengendalian

suatu daerah kerja yang memerlukan tindakan proteksi dan ketentuan keselamatan khusus untuk mengendalikan paparan normal atau mencegah penyebaran kontaminasi selama kondisi kerja normal dan untuk mencegah atau membatasi tingkat paparan potensial

3.9

Daerah supervisi

daerah kerja di luar daerah pengendalian yang memerlukan peninjauan terhadap paparan kerja dan tidak memerlukan tindakan proteksi atau ketentuan keselamatan khusus

3.10

Daerah non-instalasi nuklir

daerah di luar pembatas fisik yang ditentukan (misalnya, pagar kuning untuk Kawasan Nuklir Serpong), namun tetap berada di dalam kawasan BATAN

3.11

Dekontaminasi

proses menghilangkan atau mengurangi kontaminasi zat radioaktif menggunakan cara fisika dan/atau kimia

3.12

Disposal (pembuangan)

penempatan limbah radioaktif tidak untuk maksud diambil lagi di tempat khusus dengan rancangan yang memenuhi kriteria keselamatan

3.13

Dosis efektif kolektif

dosis paparan radiasi pada populasi yang dinyatakan oleh integrasi dosis efektif dengan jumlah individu populasi yang terkena radiasi

3.14

Dosis ekuivalen

besaran dosis yang khusus digunakan dalam proteksi radiasi untuk menyatakan besarnya tingkat kerusakan pada jaringan tubuh akibat terserapnya sejumlah energi radiasi dengan memperhatikan faktor bobot radiasi yang mempengaruhi.

3.15

Dosis prospektif

dosis radiasi yang diperkirakan akan terjadi di masa mendatang akibat suatu kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir

3.16

Dosis radiasi

jumlah radiasi yang terdapat dalam medan radiasi atau jumlah energi radiasi yang diserap atau diterima oleh materi yang dilalui.

3.17

Dosis retrospektif

dosis radiasi yang diperkirakan terjadi di masa lalu berdasar kajian terhadap hasil pengukuran dosis radiasi perorangan atau pengukuran dosis radiasi di daerah kerja.

3.18

Dosis terikat

dosis radiasi yang diintegrasikan selama 50 tahun pada pekerja radiasi akibat masukan radionuklida ke dalam tubuh.

3.19

Pembatas dosis

batas atas dosis pekerja radiasi dan anggota masyarakat yang tidak boleh melampaui nilai batas dosis yang digunakan pada optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi untuk setiap pemanfaatan tenaga nuklir.

3.20

Dosis berlebih

dosis yang melampaui nilai batas dosis yang telah ditetapkan

3.21

Efek deterministik

efek kesehatan dari suatu penyinaran radiasi yang memiliki tingkat ambang dosis yang di atasnya keparahan efek lebih besar untuk dosis yang lebih tinggi

3.22

Efek genetik

perubahan akibat radiasi pada bahan genetik baik di sel germinal maupun somatik.

3.23

Efek somatik

efek radiasi yang terjadi pada individu yang terpapar radiasi

3.24

Efek stokastik

efek kesehatan dari suatu penyinaran radiasi yang peluang terjadinya adalah lebih besar pada dosis radiasi yang lebih tinggi dan keparahannya (jika terjadi) tidak bergantung pada dosis yang diterima.

3.25

Dosis ekivalen ambien, $H^*(10)$

dosis ekivalen pada suatu titik di medan radiasi yang dihasilkan oleh medan bola ICRU pada kedalaman 10 mm pada vektor radius berlawanan arah medan radiasi. Satuan dosis ekivalen ambien adalah joule per kilogram ($J\ kg^{-1}$) dan nama khususnya adalah sievert (Sv)

3.26

Dosis ekivalen berarah, $H'(0,07)$

dosis ekivalen pada suatu titik di medan radiasi yang dihasilkan oleh medan bola ICRU pada kedalaman 0,07 mm pada vektor radius berlawanan arah medan radiasi. Satuan dosis ekivalen berarah adalah joule per kilogram ($J\ kg^{-1}$) dan nama khususnya adalah sievert (Sv)

3.27

Dosis ekivalen perorangan, Hp(0,07)

dosis ekivalen di jaringan ICRU pada kedalaman 0,07 mm dari tubuh manusia di bawah posisi dosimeter perorangan yang dipakai. Satuan dosis ekivalen perorangan adalah joule per kilogram ($J\ kg^{-1}$) dan nama khususnya adalah sievert (Sv)

3.28

Dosis ekivalen perorangan, Hp(10)

dosis ekivalen pada jaringan ICRU pada kedalaman 10 mm dari tubuh manusia di bawah posisi dosimeter perorangan yang dipakai. Satuan dosis ekivalen perorangan adalah joule per kilogram ($J\ kg^{-1}$) dan nama khususnya adalah sievert (Sv)

3.29

Instalasi nuklir

reaktor nuklir; fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas dan/atau fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas

3.30

Instalasi radiasi

instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pengion dan/atau zat radioaktif

3.31

Koefisien dosis

faktor konversi yang mengubah besar aktivitas masukan radionuklida menjadi besar dosis radiasi (misalnya, Sv/Bq)

3.32

Kontaminasi

keberadaan zat radioaktif berbentuk padatan, cairan, atau gas yang tidak semestinya pada permukaan bahan, benda, atau dalam suatu ruangan dan di dalam tubuh manusia, yang dapat menimbulkan bahaya paparan radiasi

3.33

LET (*Linear Energy Transfer*)

ukuran besarnya pengendapan energi partikel bermuatan dalam medium saat melintasi jarak tertentu dari medium tersebut

3.34

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3

3.35

Limbah infeksius

limbah yang dicurigai mengandung bahan patogen misalnya kultur jaringan, limbah dari ruang isolasi, kapas, materi atau peralatan yang tersentuh pasien yang terinfeksi ekskreta

3.36

Limbah radioaktif

zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi

3.37

Limbah radioaktif tingkat rendah

limbah radioaktif dengan aktivitas di atas tingkat aman (tingkat klierens) tetapi di bawah tingkat sedang, yang tidak memerlukan penahan radiasi selama penanganan dalam keadaan normal dan pengangkutan

3.38

Limbah radioaktif tingkat sedang

limbah radioaktif dengan aktivitas di atas tingkat rendah tetapi di bawah tingkat tinggi, yang tidak memerlukan pendingin, dan memerlukan penahan radiasi selama penanganan dalam keadaan normal dan pengangkutan

3.39

Limbah radioaktif tingkat tinggi

limbah radioaktif dengan aktivitas di atas tingkat sedang, yang memerlukan pendingin, dan penahan radiasi dalam penanganan pada keadaan normal dan pengangkutan, adalah bahan bakar nuklir bekas

3.40

Nilai Batas Dosis (NBD)

dosis terbesar yang diizinkan oleh BAPETEN yang dapat diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat dalam jangka waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetik dan somatik yang berarti akibat pemanfaatan tenaga nuklir

3.41

Paparan radiasi

penyinaran radiasi yang diterima manusia atau materi, baik disengaja atau tidak, yang berasal dari radiasi internal maupun eksternal

3.42

Paparan eksternal

paparan terhadap radiasi dari suatu sumber di luar tubuh

3.43

Paparan internal

paparan terhadap radiasi dari suatu sumber di dalam tubuh

3.44

Paparan kerja

paparan radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi

3.45

Pekerja radiasi

setiap orang yang bekerja di instalasi nuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum

3.46

Masukan (*intake*) radionuklida

masuknya sejumlah zat radioaktif ke dalam tubuh melalui inhalasi, oral atau melalui permukaan kulit/luka

3.47

Pemegang Izin (PI)

Badan Tenaga Nuklir Nasional, Badan Usaha Milik Negara, Koperasi, atau badan usaha yang berbentuk badan hukum yang telah memiliki izin dari BAPETEN

3.48

Pengelolaan limbah radioaktif

pengumpulan, pengelompokan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan, dan/atau pembuangan limbah radioaktif

3.49

Pengolahan limbah radioaktif

proses untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah radioaktif sehingga apabila disimpan dan/atau dibuang tidak membahayakan masyarakat dan lingkungan hidup

3.50

Petugas Proteksi Radiasi

petugas yang ditunjuk PI dan oleh BAPETEN dinyatakan mampu melaksanakan pekerjaan yang berhubungan dengan proteksi radiasi

3.51

Proteksi radiasi

tindakan yang dilakukan untuk melindungi makhluk hidup dan lingkungan dari efek paparan radiasi

3.52

Keselamatan radiasi

tindakan yang dilakukan untuk mengendalikan sumber radiasi dalam rangka memberikan perlindungan bagi makhluk hidup dan lingkungan dari efek paparan radiasi

3.53

Radiasi ambien

radiasi sekitar suatu lingkungan

3.54

Radiasi pengion

gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan yang karena energi yang dimilikinya mampu mengionisasi media yang dilalui

3.55

Radiotoksisitas

kemampuan radionuklida menimbulkan kerusakan sel akibat radiasi bila masuk ke jaringan tubuh

3.56 *Relative Biological Effectiveness, RBE*

faktor yang digunakan untuk membandingkan efektivitas biologis berbagai jenis radiasi pengion

3.57

Sumber radiasi

segala sesuatu yang dapat menyebabkan paparan radiasi, seperti dapat memancarkan radiasi pengion, atau melepaskan zat radioaktif dan dapat diperlakukan sebagai entitas tunggal untuk maksud proteksi dan keselamatan radiasi

3.58

Sumber terbungkus

zat radioaktif berbentuk padat, cair atau gas yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat

3.59

Sumber terbuka

zat radioaktif berbentuk padat, cair atau gas yang tidak terbungkus

3.60

Tingkat acuan (*reference level*)

tingkat dosis atau konsentrasi aktivitas yang pada tingkat atasnya tidak diizinkan untuk menyusun rencana yang mengakibatkan terjadinya paparan dan tingkat di bawahnya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus terus diterapkan

3.61

Tingkat klierens

nilai konsentrasi aktivitas dan/atau aktivitas total radionuklida tunggal atau campuran yang ditetapkan oleh BAPETEN, yang apabila konsentrasi aktivitas dan/atau aktivitas total radionuklida di bawah nilai tersebut, radionuklida dapat dibebaskan dari pengawasan

3.62

Pengkaji Radiologi

seorang PPR senior yang pada kondisi kedaruratan radiologi bertugas membantu operator untuk melakukan pemantauan radiasi, pengkajian dosis, pengendalian kontaminasi dalam menjamin proteksi radiasi petugas kedaruratan dan memberikan rekomendasi untuk tindakan korektif

4 Pengelolaan proteksi radiasi dan lingkungan

Untuk dapat terlaksananya kegiatan proteksi dan keselamatan radiasi, serta meningkatkan partisipasi aktif unit kerja terutama yang memiliki instalasi nuklir dan/atau instalasi radiasi untuk setiap kawasan dilingkungan BATAN maka Kepala BATAN harus didukung kelompok, personel yang memadai sebagai berikut:

4.1 Komisi Proteksi dan Keselamatan Radiasi

1. Komisi yang susunan keanggotaannya ditunjuk dan disahkan melalui Keputusan Kepala BATAN dan bertugas merumuskan kebijakan kegiatan proteksi dan keselamatan radiasi, memberikan pertimbangan dan saran kepada Kepala BATAN baik diminta maupun tidak diminta tentang segala sesuatu yang berkaitan dengan proteksi dan keselamatan radiasi.
2. Personel dalam susunan keanggotaan Komisi yang dimaksud dalam angka 1 merupakan pakar dalam bidang proteksi dan keselamatan radiasi atau personel yang memiliki pengalaman kerja di bidang keselamatan radiasi minimal 5 tahun.

4.2 Koordinator Proteksi dan Keselamatan Radiasi Kawasan:

1. Salah satu Kepala Unit kerja di masing-masing kawasan BATAN harus ditunjuk sebagai koordinator dalam rangka terlaksananya proteksi dan keselamatan radiasi di kawasan tersebut, dengan tugas dan tanggungjawab sebagai berikut:
 - a. Koordinasi untuk memastikan ketersediaan personel, sarana dan prasarana bagi tercapainya proteksi dan keselamatan radiasi dalam kawasan tersebut.
 - b. Koordinasi kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan radiasi.

2. Koordinator kawasan ditunjuk oleh kepala BATAN dan bertanggung jawab kepada Kepala BATAN, dengan pelaporan pelaksanaan tugas minimal 1 tahun 1 kali, atau jika diperlukan.
3. Jika dalam satu kawasan hanya terdapat 1 (satu) Kepala Unit kerja maka Kepala unit kerja tersebut merangkap tugas sebagai koordinator kawasan.

4.3 Pemegang Izin

PI bertanggung jawab atas penerapan proteksi dan keselamatan radiasi di instalasi nuklir dan instalasi radiasi sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku. Dalam melaksanakan tanggung jawab, PI dapat mengalihkan kewenangan tertentu kepada Kepala unit kerja, penyelenggara keselamatan radiasi, petugas proteksi radiasi (PPR) dan pekerja radiasi. Tanggung jawab PI meliputi:

1. mewujudkan tujuan keselamatan radiasi;
2. menyusun, mengembangkan, melaksanakan, dan mendokumentasikan program proteksi dan keselamatan radiasi, yang dibuat berdasarkan sifat dan risiko untuk setiap pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir;
3. membentuk dan menetapkan Penyelenggara Keselamatan Radiasi di dalam fasilitas atau instalasi sesuai dengan tugas dan tanggung jawabnya;
4. menentukan tindakan dan sumber daya yang diperlukan untuk mencapai tujuan sebagaimana dimaksud pada angka 1 dan memastikan bahwa sumber daya tersebut memadai dan tindakan yang diambil dapat dilaksanakan dengan benar;
5. meninjau ulang setiap tindakan dan sumber daya secara berkala dan berkesinambungan untuk memastikan terwujudnya tujuan keselamatan radiasi;
6. mengidentifikasi setiap kegagalan dan kelemahan dalam tindakan dan sumber daya yang diperlukan untuk mewujudkan keselamatan radiasi, serta mengambil langkah perbaikan dan pencegahan terhadap terulangnya keadaan tersebut;
7. membuat prosedur untuk memudahkan konsultasi dan kerjasama antar semua pihak yang terkait dengan keselamatan radiasi; dan
8. membuat dan memelihara rekaman yang terkait dengan keselamatan radiasi.

4.4 Penyelenggara Keselamatan Radiasi

Penyelenggara keselamatan radiasi bertugas untuk membantu PI dalam melaksanakan tanggung jawab di bidang proteksi dan keselamatan radiasi. Penyelenggara keselamatan radiasi ditunjuk oleh PI yang bertugas untuk membantu PI dalam melaksanakan tanggung jawab di bidang proteksi dan keselamatan radiasi. Tugas penyelenggara keselamatan radiasi ditentukan sesuai dengan sifat dan potensi bahaya radiasi terkait kegiatannya sebagai berikut:

1. Unit kerja yang memiliki tugas dan fungsi dalam keteknikan seperti bahan industri nuklir, fisika partikel, teknologi proses peralatan nuklir, serta teknologi berkas neutron, pengelolaan reaktor riset, penelitian dan pengembangan senyawa bertanda dan radiometri, pemanfaatan teknofisika, maka keselamatan radiasi sebaiknya dikelola oleh Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang memiliki kompetensi yang bersifat keteknikan yang sesuai.
2. Unit kerja yang memiliki tugas dan fungsi dalam dosimetri seperti bidang radioekologi, teknik nuklir kedokteran dan biologi radiasi, keselamatan kerja dan dosimetri, dan metrologi radiasi, maka keselamatan kerja sebaiknya dikelola oleh Penyelenggara

Keselamatan Radiasi yang lingkup kompetensinya lebih banyak terkait dengan dengan dosimetri.

3. Unit kerja yang memiliki tugas dan fungsi dalam bidang penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi di bidang industri dan lingkungan, pertanian, dan proses radiasi, maka penyelenggara keselamatan kerja sebaiknya dikelola oleh Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang lingkup kompetensinya lebih banyak terkait dengan keselamatan lingkungan.
4. Unit kerja yang memiliki tugas dan fungsi dalam bidang penelitian dan pengembangan teknologi eksplorasi, seperti penambangan dan pengolahan bahan galian maka keselamatan kerja sebaiknya dikelola oleh Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang lingkungannya lebih banyak terkait dengan keselamatan instalasi penambangan.
5. Unit kerja yang memiliki tugas dan fungsi dalam bidang perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, dan pembinaan serta bimbingan di bidang pengembangan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir dan teknik uji radio metalurgi maka keselamatan kerja sebaiknya dikelola oleh, Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang lingkungannya lebih banyak terkait dengan bidang keselamatan kerja dan akuntansi bahan nuklir.
6. Unit kerja yang mempunyai tugas melaksanakan perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, dan pembinaan dan bimbingan di bidang pendayagunaan informatika dan pengelolaan kawasan strategis nuklir, maka keselamatan kerja sebaiknya dikelola oleh Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang lingkungannya lebih banyak terkait dengan Bidang Pemantauan Dosis Perorangan dan Lingkungan
7. Unit kerja yang tidak memiliki instalasi nuklir dan/atau instalasi radiasi maka program proteksi dan keselamatan radiasi keselamatan kerja dikelola oleh Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3).

4.5 Petugas Proteksi Radiasi

PPR mempunyai tanggung jawab:

1. mengawasi pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi;
2. mengkaji ulang efektivitas penerapan program proteksi dan keselamatan radiasi;
3. memberikan instruksi teknis dan administratif secara lisan atau tertulis kepada Pekerja Radiasi tentang pelaksanaan program Proteksi dan Keselamatan Radiasi;
4. mengidentifikasi kebutuhan dan mengorganisasi kegiatan pelatihan;
5. memastikan ketersediaan dan kelayakan perlengkapan proteksi radiasi dan memantau pemakaiannya;
6. membuat dan memelihara rekaman dosis yang diterima oleh pekerja radiasi;
7. melaporkan kepada PI jika pekerja radiasi menerima dosis melebihi pembatas dosis;
8. memberitahukan kepada pekerja radiasi mengenai hasil evaluasi pemantauan dosis;
9. membuat dokumen yang berhubungan dengan proteksi radiasi;
10. melakukan kendali akses di daerah pengendalian;
11. melaksanakan latihan penanggulangan dan pencarian fakta dalam hal kedaruratan;
12. memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi di instalasi.

4.6 Pekerja Radiasi

Pekerja radiasi mempunyai tanggung jawab:

1. mematuhi prosedur operasi, termasuk prosedur proteksi radiasi;
2. mengikuti pemantauan kesehatan dan pemantauan dosis perorangan;
3. mengikuti pendidikan dan pelatihan untuk meningkatkan kemampuan dan pemahaman dalam proteksi dan keselamatan radiasi;
4. menggunakan peralatan pemantau dosis perorangan dan Alat Pelindung Diri (APD) terhadap radiasi sesuai dengan pemanfaatan tenaga nuklir;
5. menginformasikan kepada PI tentang riwayat pekerjaan terdahulu dan terkini yang berhubungan dengan radiasi; dan
6. menyampaikan masukan kepada PPR mengenai kendala dan situasi yang mempengaruhi pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi.

5 Pengaturan dan pengawasan terhadap keselamatan dan kesehatan kerja

Pengaturan dan pengawasan keselamatan dan kesehatan kerja dilakukan agar dosis radiasi (eksternal dan internal) yang diterima para pekerja radiasi, tamu, pengunjung, dan bukan pekerja radiasi serendah mungkin.

Personel yang terlibat di dalam penyelenggaraan keselamatan radiasi harus memahami konsep proteksi radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir baik terhadap manusia maupun lingkungan, yang mencakup kuantifikasi efek radiasi terhadap kesehatan melalui besaran-besaran dosis dan pembobotan termasuk aplikasinya, serta memahami prinsip proteksi dalam membatasi penerimaan dosis, justifikasi dan optimisasi (Lampiran A1: Dasar Proteksi Radiasi dan Lingkungan).

5.1 Pengaturan Nilai Batas Dosis

Pengaturan NBD meliputi:

1. untuk membatasi peluang terjadinya efek stokastik pada pekerja radiasi, ditetapkan nilai dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 tahun, sehingga dosis yang terakumulasi selama 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv, dengan ketentuan dosis efektif tidak boleh melampaui 50 mSv dalam satu tahun tertentu;
2. untuk mencegah terjadinya efek deterministik pada pekerja radiasi, ditetapkan nilai dosis ekuivalen untuk lensa mata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 tahun dan 50 mSv dalam satu tahun tertentu, dan dosis ekuivalen untuk kulit serta untuk tangan dan kaki sebesar 500 mSv per tahun;
3. NBD untuk anggota masyarakat mengikuti pola penerapan untuk pekerja radiasi dengan nilai lebih rendah, yaitu sebesar 1 mSv dalam 1 tahun;
4. evaluasi dosis perorangan pekerja radiasi pada umumnya dilakukan setiap triwulan berdasarkan atas penjumlahan penerimaan dosis radiasi eksternal dan internal serta membandingkan penerimaan tersebut terhadap NBD triwulan;
5. pemeriksaan kesehatan rutin terhadap pekerja radiasi dilakukan minimal sekali dalam setahun untuk kondisi normal. Pemeriksaan kesehatan tambahan dapat dilakukan terhadap pekerja radiasi pada kondisi khusus;

6. pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi melalui sistem keselamatan radiasi yang tersedia di kawasan masing-masing atau laboratorium yang ditunjuk oleh PI.

Tabel 1 Nilai Batas Dosis untuk Pekerja Radiasi dan Masyarakat

Penerapan	Dosis Tahunan (mSv)	
	Pekerja radiasi	Masyarakat
Dosis efektif	20	1
Dosis ekuivalen untuk lensa mata	20	15
Dosis ekuivalen untuk kulit	500	50
Dosis ekuivalen untuk tangan atau kaki	500	-

5.2 Pengendalian paparan radiasi eksternal dan internal

Pengendalian paparan radiasi eksternal dan internal dilakukan dengan cara :

1. Pemantauan dosis radiasi perorangan
Pemantauan dosis radiasi perorangan dilakukan secara eksternal dan internal. Pemantauan eksternal dilakukan dengan menggunakan dosimeter perorangan. Pemantauan internal dilakukan secara in-vivo dan/atau in-vitro. Pemantauan dosis radiasi perorangan ini secara rinci diuraikan pada butir 6.
2. Pengendalian daerah kerja
Pengendalian daerah kerja dilakukan dengan pembagian daerah kerja, pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif menggunakan alat ukur radiasi. Penjelasan lebih lengkap tentang pengendalian daerah kerja diuraikan pada butir 7.

5.3 Pengawasan pengunjung, tamu dan pekerja non radiasi

1. Pengunjung, tamu atau pekerja non radiasi meliputi:
 - a. Pekerja administrasi yang bekerja pada daerah non radiasi di Kawasan Nuklir BATAN.
 - b. Pengunjung yang berada di Kawasan Nuklir BATAN dalam waktu relatif singkat (8 jam).
 - c. Kontraktor, pemasok bahan/barang ataupun para pegawainya.
 - d. Tamu (peneliti, mahasiswa atau siswa magang) yang bekerja di daerah radiasi dan tinggal/bekerja kurang dari satu bulan.
 - e. Para pengunjung lain seperti sopir/buruh angkutan barang, petugas kebersihan dan petugas perbaikan telepon, air, listrik ataupun pemasang peralatan.
2. Pengunjung/tamu yang masuk ke daerah kerja radiasi diberi dosimeter saku/pena, dan diserahkan kepada petugas keselamatan jika pengunjung/tamu keluar dari daerah radiasi untuk dibaca/dievaluasi.
3. NBD untuk pengunjung/tamu atau pekerja non radiasi disamakan dengan NBD untuk masyarakat.
4. NBD untuk siswa magang berumur antara 16 sampai 18 tahun yang sedang melaksanakan pelatihan atau kerja praktik, atau yang karena keperluan pendidikannya

harus menggunakan sumber radiasi atau berada di daerah radiasi adalah 3/10 NBD pekerja radiasi.

5. Untuk tamu (peneliti/ tenaga ahli, mahasiswa, siswa, atau buruh kontraktor) yang bekerja di daerah instalasi nuklir dan/atau instalasi radiasi lebih dari 1 bulan, ketentuan dan perlakuan pengawasan dosis kepada mereka sama seperti pekerja radiasi.

5.4 Nilai Pembatas Dosis (*dose constraint*)

Untuk penerapan optimisasi proteksi radiasi dan keselamatan radiasi agar besar dosis yang diterima pekerja radiasi serendah mungkin sesuai dengan prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA), maka PI menetapkan sasaran ALARA untuk maksud optimisasi penerimaan dosis. Dari hasil sasaran ALARA dapat ditentukan pembatas dosis yang baru dengan persetujuan Kepala BAPETEN.

CATATAN Ada beberapa ketentuan yang harus dipahami dalam menerapkan konsep nilai pembatas dosis, diantaranya:

- a. Nilai pembatas dosis bukan merupakan nilai batas dosis
- b. Nilai pembatas dosis merupakan bagian dari proses optimisasi
- c. Nilai pembatas dosis digunakan secara prospektif
- d. Nilai pembatas dosis untuk pekerja ditentukan oleh PI
- e. Nilai pembatas dosis untuk anggota masyarakat ditentukan oleh BAPETEN

5.5 Penyinaran dalam kedaruratan atau kecelakaan

1. Untuk membatasi dosis terhadap pekerja dan anggota masyarakat akibat lepasan tak terkendali bahan radioaktif (*release*) diperlukan perencanaan (kesiapsiagaan) yang rinci dalam menghadapi kedaruratan dan latihan kedaruratan secara berkala. PI diwajibkan membuat Program Kesiapsiagaan Nuklir untuk fasilitasnya.
2. Untuk konsekuensi kecelakaan dalam dan lepas kawasan, disusun Program Kesiapsiagaan Nuklir yang dikoordinasikan oleh Koordinator Kawasan.
3. Program kesiapsiagaan tersebut mengatur infra struktur dan kesiapan fungsi penanggulangan. Juga diatur latihan atau gladi kedaruratan nuklir baik parsial maupun terpadu.
4. Dalam keadaan darurat, seorang relawan dapat menerima dosis berlebih untuk maksud penyelamatan jiwa atau mencegah luka/sakit yang lebih parah, atau untuk mencegah peningkatan bahaya yang sangat besar.
5. Dalam keadaan kedaruratan nuklir mungkin terjadi beberapa pekerja radiasi menerima dosis berlebih. Penyelamatan jiwa manusia di medan radiasi tinggi dilakukan oleh petugas yang berkompeten. Tiap situasi yang terjadi pada kondisi darurat harus diperhitungkan dengan cermat oleh Pengkaji Radiologi sebagai dasar mengambil keputusan.
6. Dalam kecelakaan, dosis radiasi yang diterima korban kecelakaan ataupun petugas penanggulangan kecelakaan harus dievaluasi dan dilaporkan secara terpisah. Apabila dosis yang diterima melampaui 2 kali NBD tahunan harus dilakukan pemeriksaan kesehatan khusus.
7. Dosis maksimum seluruh tubuh yang dapat ditoleransi untuk penyelamatan jiwa adalah 500 mSv khususnya dalam kondisi kedaruratan nuklir.

5.6 Pemantauan kesehatan

1. Unit kerja berkewajiban melakukan pemantauan kesehatan pekerja radiasi dan non radiasi di unit kerja masing-masing berupa pemeriksaan kesehatan meliputi

pemeriksaan laboratorium dan pemeriksaan fisik untuk menjamin ada atau tidak pengaruh kegiatan atau pekerjaannya terhadap kesehatan.

2. Calon pekerja radiasi sebelum bekerja menggunakan sumber radiasi atau bertugas di daerah radiasi harus telah menjalani pemeriksaan fisik dan laboratorium.
3. Selama masa bekerja, pekerja mendapat pemeriksaan kesehatan fisik dan laboratorium dengan pengaturan sebagai berikut:
 - a. Pekerja radiasi dan pekerja administrasi diperiksa minimal 1 tahun sekali.
 - b. Siswa magang, kontraktor, peneliti/ahli yang berkunjung dan bekerja di medan radiasi lebih dari enam bulan wajib menjalani pemeriksaan kesehatan fisik dan laboratorium sebelum bekerja lebih lanjut.
4. Pada keadaan kecelakaan radiasi dilakukan pemantauan kesehatan khusus bagi yang menerima dosis melebihi 2 kali NBD tahunan atau yang diduga menerima dosis berlebih.
5. Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja diarsipkan dalam data kesehatan pekerja yang ditangani oleh klinik di lingkungan kawasan atau klinik yang ditunjuk oleh PI. Hasil pemeriksaan kesehatan dilaporkan kepada PI yang bersangkutan untuk penatalaksanaan kesehatan.
6. Jika pekerja radiasi mendapat dosis berlebih akibat tugasnya sehari-hari atau mengalami kecelakaan radiasi, maka petugas kesehatan menanggulangi keadaan korban tersebut bersama dengan Bidang Keselamatan atau Tim Keselamatan terkait.
7. Bila keadaan korban tidak dapat ditanggulangi dengan fasilitas yang ada di kawasan nuklir BATAN masing-masing, maka petugas kesehatan klinik harus mengirim korban ke rumah sakit.
8. Pekerja radiasi yang akan pensiun atau tidak akan bertugas sebagai pekerja radiasi secara permanen harus menjalani pemeriksaan fisik dan laboratorium. Dalam hal ini hanya pekerja radiasi yang pemeriksaan kesehatan terakhirnya lebih dari 6 bulan.
9. PI memfasilitasi konseling kesehatan kepada pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih.

6. Pemantauan dosis radiasi perorangan

6.1 Umum

Pada bagian ini diuraikan mengenai jenis pemantauan, kriteria pekerja yang dipantau, metode pemantauan, periode pemantauan, pencatatan dan penyimpanan dosis radiasi, pelaporan dosis radiasi, serta penanganan dosis berlebih. Pemantauan dosis radiasi perorangan dilakukan untuk mengetahui besarnya dosis yang diterima pekerja radiasi dalam rangka mematuhi ketentuan batasan dosis.

6.2 Jenis pemantauan dosis radiasi perorangan

Pemantauan dosis radiasi perorangan dapat dilakukan dengan 2 macam pemantauan yaitu:

1. Pemantauan dosis radiasi eksternal, dilakukan dengan menggunakan dosimeter perorangan.
2. Pemantauan dosis radiasi internal dilakukan dengan 2 cara:
 - a. Pemantauan pekerja radiasi secara langsung (in-vivo)
 - b. Pemantauan pekerja radiasi secara tidak langsung (in-vitro)

6.3 Kriteria personel yang dipantau

1. Pekerja radiasi yang mendapat pemantauan dosis adalah pekerja radiasi yang diperkirakan menerima dosis efektif pertahun > 1 mSv.
2. Pekerja radiasi yang bekerja di medan radiasi tinggi harus menggunakan dosimeter tambahan misalnya dosimeter saku yang dapat dibaca langsung.
3. Kelompok tamu atau pengunjung yang akan memasuki daerah kerja pengendalian menggunakan sekurang-kurangnya satu dosimeter perorangan.
4. Pemantauan dosis radiasi internal diutamakan diberikan kepada pekerja radiasi yang menangani sumber radiasi terbuka dengan potensi kontaminasi internal dan diperkirakan akan menerima dosis terikat efektif pertahun $> 3/10$ NBD rata-rata tahunan pekerja radiasi.
5. Pemantauan dosis radiasi internal terhadap pekerja radiasi lainnya tidak diperlukan, kecuali untuk konfirmasi atau jika terjadi kecelakaan yang diduga terjadi kontaminasi radiasi internal.

6.4 Metode pemantauan

Pemantauan dosis radiasi mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Pemantauan dosis radiasi eksternal dilakukan dengan menggunakan dosimeter perorangan yaitu dosimeter termoluminesens (TLD) sesuai dengan medan radiasi yang ada.
2. Setiap pekerja radiasi diberi 2 (dua) badge TLD misalnya seri A dan seri B. TLD dipakai bergantian setiap periodenya untuk memantau dosis radiasi eksternal. Dosis radiasi eksternal yang direkam dalam TLD adalah dosis ekivalen kulit (*surface dose*) atau $H_p(0,07)$ dan dosis ekivalen seluruh tubuh (*deep dose*) atau $H_p(10)$.
3. Pekerja radiasi yang bekerja dengan sumber radiasi berdaya tembus kuat (seperti radiasi γ /neutron), dosis radiasi eksternal yang diukur adalah $H_p(10)$.
4. Pekerja radiasi yang bekerja dengan sumber radiasi berdaya tembus lemah (seperti radiasi β dan γ /foton berenergi < 15 keV), dosis radiasi eksternal yang diukur adalah $H_p(0,07)$.
5. Pemantauan dosis radiasi internal dengan metode pencacahan langsung (in-vivo) dilakukan dengan mencacah jenis dan aktivitas radionuklida dalam tubuh pekerja (*full scan, total body, tiroid, paru-paru*) menggunakan alat cacah *Whole Body Counter* (WBC). Metode in-vivo ini bertujuan untuk mengetahui dosis radiasi internal yang diterima pekerja akibat masuknya radionuklida (radionuklida pemancar- γ) ke dalam tubuh dengan mengukur pancaran radiasi γ dari radionuklida yang ada di dalam tubuh.
6. Pemantauan dosis radiasi internal dengan metode in-vitro dilakukan dengan mencacah hasil metabolisme tubuh dalam hal ini adalah contoh urin. Pemantauan ini bertujuan untuk mengetahui dosis radiasi internal yang diterima pekerja akibat masuknya radionuklida (pemancar α, β) ke dalam tubuh pekerja.
7. Dosis radiasi internal yang diukur baik secara in-vivo (dengan WBC) maupun secara in-vitro (dengan mencacah contoh urin) adalah dosis terikat efektif $E(50)$ yaitu jumlah dosis terikat rata-rata dalam organ atau jaringan dengan memperhitungkan faktor bobot (w_T) masing-masing organ.

6.5 Periode pemantauan

1. Periode pemantauan dosis radiasi eksternal ditentukan berdasarkan daerah radiasi tempat pekerja radiasi bekerja. Untuk kegiatan yang bersifat khusus, pekerja yang bekerja di daerah radiasi tinggi dan diperkirakan dapat menerima dosis melebihi NBD maka periode pemantauannya dapat dilakukan setiap 2 (dua) minggu dan selambat-lambatnya 1 (satu) bulan. Untuk pekerja yang bekerja di medan radiasi rendah dan sedang pada umumnya mempunyai periode pemantauan 3 (tiga) bulan.
2. Periode pemantauan untuk dosis radiasi internal bergantung pada sifat kimia dan fisika radionuklida, kondisi daerah kerja dan jenis pekerjaan. Jenis pemantauan dosis radiasi internal terdiri atas:
 - a. Pemantauan rutin: mempunyai periode pemantauan 2 minggu sampai 3 bulan.
 - b. Pemantauan khusus: pemantauan yang dilakukan di luar jadwal rutin misalnya karena adanya kondisi abnormal.
 - c. Pemantauan operasional/penugasan: pemantauan yang dilakukan karena adanya penugasan.
 - d. Pemantauan konfirmasi: pemantauan yang dilakukan 1 kali dalam setahun untuk pembuktian bahwa pekerja bebas kontaminasi radionuklida internal.

6.6 Pemantauan dosis radiasi eksternal (dosimeter perorangan)

1. Dosimeter saku dan *Electronic Personnel Dosemeter* (EPD) digunakan untuk mendukung pemakaian TLD, khususnya digunakan pada medan radiasi tinggi juga digunakan oleh tamu/pengunjung.
2. Dosimeter perorangan digunakan di bagian tubuh yang paling banyak menerima paparan radiasi, biasanya di bagian dada atau pinggang.
3. Pekerja radiasi yang menerima paparan radiasi cukup tinggi di bagian anggota tubuh tertentu misalnya jari tangan maka digunakan dosimeter cincin, jika penerimaan dosis radiasi tinggi di bagian pergelangan tangan/kaki maka digunakan dosimeter tangan/kaki, dan menggunakan TLD pada kaca mata pelindung untuk memantau paparan radiasi pada lensa mata.

6.7 Pemantauan dosis internal

6.7.1 Metode pemantauan

Pemantauan dosis internal dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu pengukuran secara langsung dengan *Whole Body Counter* (WBC) atau cara in-vivo dan analisis sampel ekskresi atau cara in-vitro.

6.7.2 Pekerja radiasi yang dipantau

Pemantauan dosis radiasi internal hanya untuk pekerja radiasi yang berpotensi menerima dosis radiasi internal, seperti pekerja radiasi yang bekerja dengan sumber radiasi terbuka.

6.7.3 Dosis internal

Penentuan dosis internal atau dosis efektif terikat ($E(50)$) yang diterima pekerja terdiri dari dosis inhalasi (menghirup) dan injeksi (melalui mulut) dari radionuklida yang masuk ke dalam tubuh.

6.8 Dosis efektif

Dosis radiasi total personal dapat terjadi secara eksternal maupun internal melalui berbagai jalur. Dosis radiasi eksternal terjadi karena paparan radiasi langsung dari sumber tertutup, misal sumber yang berada di dalam wadah namun radiasinya masih menembus perisai wadah, dan/atau terbuka, seperti radionuklida yang terdispersi di udara, radionuklida yang terdeposisi di lantai, pakaian dan kulit. Dosis radiasi internal dapat terjadi karena adanya kontaminasi yang masuk ke dalam tubuh melalui berbagai jalur, misal melalui inhalasi, injeksi (melalui pencernaan) atau lewat luka terbuka.

Dosis total efektif dihitung dengan mempertimbangkan semua jalur dominan yang memungkinkan pekerja terpapar, yaitu:

$$E = H_p(10) + E(50)$$

E = dosis total dari paparan radiasi eksternal dan paparan radiasi internal

$H_p(10)$ = dosis radiasi dari paparan radiasi eksternal

$E(50)$ = dosis efektif terikat dari inhalasi radionuklida dan injeksi radionuklida (dosis radiasi internal)

6.9 Rekaman dan penyimpanan data dosis radiasi perorangan

1. Dosis radiasi yang diterima oleh pekerja baik dosis radiasi eksternal maupun dosis radiasi internal akibat kerja, harus direkam.
2. Dosis radiasi setiap pekerja radiasi harus direkam secara manual dan elektronik. Data dosis radiasi pekerja radiasi harus dibuat ganda dan disimpan pada tempat yang berbeda.
3. Setiap pekerja radiasi harus mempunyai kartu riwayat dosis yang berisikan antara lain: nama pekerja, nomor identifikasi, tempat dan tanggal lahir, jenis pekerjaan, periode dan tahun pemantauan, dan besarnya dosis radiasi yang diterima.
4. Kartu riwayat dosis radiasi pekerja harus disimpan dan dipelihara dengan baik agar tidak rusak, tidak terbakar, tidak hilang, bersifat terbatas dan mudah diperoleh jika diperlukan. Kartu riwayat dosis wajib disimpan selama pekerja masih aktif bekerja atau paling kurang 30 (tiga puluh) tahun terhitung sejak pekerja radiasi berhenti dari pekerjaannya.

6.10 Pelaporan dosis radiasi perorangan

Hasil evaluasi pemantauan dosis radiasi perorangan baik radiasi eksternal maupun radiasi internal oleh laboratorium pemroses dosis disampaikan kepada PI dan BAPETEN. Pekerja radiasi berhak mengetahui dosis radiasi yang diterimanya melalui PI.

6.11 Penerimaan paparan radiasi berlebih

6.11.1 Dalam hal pekerja radiasi menerima dosis melebihi 20 mSv dalam setahun namun masih kurang dari 50 mSv, maka PI harus:

1. mengkaji ulang paparan radiasi dan mengambil langkah korektif yang perlu;

2. membatasi dosis efektif pekerja radiasi sehingga yang bersangkutan dalam periode 5 tahun tidak boleh mendapatkan dosis efektif 100 mSv; dan
3. melaporkan kejadian tersebut kepada BAPETEN dengan menyertakan penyebab terjadinya kejadian tersebut dan tindakan korektif yang telah dilakukan.

6.11.2 Dalam hal pekerja radiasi menerima dosis melebihi 50 mSv dalam satu tahun tertentu, maka PI harus:

1. mengkaji ulang paparan radiasi dan mengambil langkah korektif yang perlu;
2. membatasi dosis efektif pekerja radiasi sehingga yang bersangkutan dalam periode 4 tahun ke depan tidak boleh memperoleh dosis efektif 50 mSv; dan
3. melaporkan kejadian tersebut kepada BAPETEN dengan menyertakan penyebab terjadinya kejadian tersebut dan tindakan korektif yang telah dilakukan.

6.11.3 Dalam hal pekerja radiasi menerima dosis melebihi 50 mSv kurang dari satu tahun tertentu, maka PI harus:

1. mengkaji ulang paparan radiasi dan mengambil langkah korektif yang perlu;
2. melarang pekerja radiasi bekerja dengan radiasi sampai akhir tahun tersebut; dan
3. melaporkan kejadian tersebut kepada BAPETEN dengan menyertakan penyebab terjadinya kejadian tersebut dan tindakan korektif yang telah dilakukan.

6.11.4 Dalam hal pekerja radiasi menerima dosis melebihi 100 mSv untuk jangka waktu kurang dari lima tahun, maka PI harus:

1. mengkaji ulang paparan radiasi dan mengambil langkah korektif yang perlu;
2. melarang pekerja radiasi bekerja dengan radiasi sampai ketentuan umum NBD untuk pekerja radiasi terpenuhi; dan
3. membuat dan melaporkan kajian penyebab terjadinya paparan radiasi berlebih kepada BAPETEN.

6.11.5 Kajian penyebab terjadinya paparan radiasi berlebih paling kurang meliputi:

1. deskripsi singkat kejadian;
2. rekonstruksi waktu kontak dan jarak dengan sumber dengan menyertakan asumsi, metode dan/atau perhitungan dosis yang diterima;
3. dampak yang ditimbulkan;
4. penetapan penyebab kejadian;
5. tindakan yang sudah dilakukan terkait dengan insiden tersebut;
6. tindakan perbaikan dan pencegahan agar tidak terulang; dan
7. kesimpulan.

Dalam hal pekerja radiasi menerima dosis berlebih, maka PI wajib menyelenggarakan penatalaksanaan kesehatan yang ditentukan BAPETEN mengenai pemantauan kesehatan.

7 Pengendalian daerah kerja

Pengendalian daerah kerja harus dilakukan di kawasan nuklir yang meliputi pembagian daerah kerja dan pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi zat radioaktif di daerah

kerja tersebut. Tujuan pengendalian daerah kerja adalah untuk membatasi dan memperkecil penerimaan dosis perorangan dalam batas keselamatan.

7.1 Pembagian daerah kerja di kawasan nuklir

Pembagian daerah kerja di Kawasan Nuklir dibagi menjadi:

1. Daerah instalasi nuklir adalah daerah yang di dalamnya terdapat instalasi nuklir dan fasilitas pemanfaatan zat radioaktif yang hanya boleh dimasuki oleh pekerja radiasi dan orang yang telah diberi izin. Contoh pembagian daerah kerja instalasi nuklir, lebih lanjut dapat dilihat dalam Lampiran A2.
2. Daerah non instalasi nuklir, adalah daerah yang mencakup laboratorium, fasilitas penunjang, administrasi dan sarana pelayanan lainnya.

7.2 Pengendalian paparan radiasi eksternal

Paparan radiasi eksternal dapat dikendalikan dengan cara sebagai berikut:

1. menggunakan sumber radiasi sesuai kebutuhan;
2. menjaga jarak sejauh mungkin dari sumber radiasi;
3. pengaturan waktu kerja;
4. menggunakan perisai radiasi yang sesuai;
5. melaksanakan pemantauan daerah kerja secara rutin dan memasang tanda bahaya radiasi yang sesuai.

7.2.1 Pengendalian radiasi gamma, Sinar-X atau neutron

Pengendalian daerah kerja di setiap kawasan berdasarkan laju dosis ditentukan sebagai berikut:

7.2.1.1 Daerah dengan laju dosis kurang dari 10 μ Sv/jam

Daerah kerja dengan laju dosis kurang dari 10 μ Sv/jam tidak memerlukan tindakan pencegahan khusus terhadap radiasi eksternal. Bila seorang bekerja dalam daerah ini, maka dalam setahun (2000 jam) dosis radiasi yang diterima rata-rata sebesar 20 mSv dan dalam periode 5 tahun dosis yang terakumulasi tidak boleh melebihi 100 mSv.

7.2.1.2 Daerah dengan laju dosis lebih besar dari 10 μ Sv/jam.

1. Daerah kerja dengan laju dosis melebihi 10 μ Sv/jam harus diberi tanda radiasi. Bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi bertanggung jawab memantau dan mendokumentasikan secara rutin.
2. Perubahan kondisi yang diperkirakan akan mengubah laju dosis di daerah kerja perlu menjadi perhatian bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi .
3. Pekerja radiasi yang bekerja di daerah radiasi tinggi (Lampiran A.2.2) selain menggunakan badge TLD juga menggunakan dosimeter saku. Bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi memberikan petunjuk penggunaan dosimeter saku.

7.2.1.3 Daerah bahaya khusus

1. Pada daerah dengan bahaya khusus, PI melalui bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi bertanggung jawab menentukan pemasangan tanda bahaya yang memberikan peringatan kepada pekerja radiasi bahwa ada radiasi tinggi dan memberi petunjuk pelaksanaan untuk merespon tanda-tanda peringatan tersebut. Alat tanda peringatan bahaya ini dapat berupa: bunyi atau sirene, cahaya, atau tanda lain.
2. Sistem pemantauan kritikalitas yang dipasang di ruang tertentu pada instalasi nuklir harus digabung dengan tanda bahaya evakuasi di dalam gedung dan dihubungkan dengan tanda bahaya di luar gedung untuk memberitahukan personel yang berada di sekitar gedung. Tanda peringatan dalam gedung juga dilengkapi pengeras suara (*paging system*).

7.2.2 Pengendalian radiasi beta

1. Daerah kerja yang menggunakan sumber radiasi beta (β), pengendaliannya dilakukan dengan memperhatikan sifat-sifat radiasi beta dan penentuan paparan radiasinya diukur dengan surveimeter yang mempunyai sensitivitas tinggi.
2. Daya tembus radiasi β dalam jaringan tidak sedalam radiasi γ , maka organ yang paling penting untuk diperhatikan adalah kulit dan mata. Mata dilindungi dengan kaca mata pengaman (*safety glass*) dan kulit dilindungi dengan jas laboratorium.
3. Kontribusi laju dosis radiasi beta dari sumber terbuka dapat diperkirakan dari laju dosis gamma yang dipancarkannya. Sebagai contoh perbandingan laju dosis radiasi dari sumber ^{60}Co , ^{32}P , ^{90}Sr , ^{90}Y dan ^{137}Cs pada berbagai jarak terlihat pada tabel 7.3 dan tabel 7.4.

Tabel 7.3 Laju dosis radiasi β dan γ dari sumber titik 37 MBq ^{60}Co di udara*)

No	Jarak dari sumber	Laju Dosis ($\mu\text{Gy}/\text{jam}$)	
		Radiasi β	Radiasi γ
1.	1	9 000 000	125 000
2.	3	830 000	14 000
3.	10	43 000	1 250
4.	30	1 300	10
5.	100	Kecil	10

*) (25°C ; 101 kPa)

Tabel 7.4 Laju dosis radiasi beta dari sumber titik 37 MBq ^{32}P , ^{90}Sr dan ^{137}Cs

No	Jarak dari sumber	Laju Dosis ($\mu\text{Gy}/\text{jam}$)		
		^{32}P	^{90}Sr	^{137}Cs
1.	1	3 500 000	10 500 000	6 400 000
2.	3	370 000	1 060 000	730 000
3.	10	35 000	84 000	50 000
4.	30	3 900	8 000	4 800
5.	100	350	450	100

7.3 Pengendalian kontaminasi

Pengendalian kontaminasi dimaksudkan untuk pencegahan bahaya kontaminasi baik di dalam daerah instalasi nuklir maupun di daerah non instalasi nuklir. Upaya ini dilakukan dalam bentuk pengaturan lalu lintas orang dan barang di dalam instalasi, pengaturan lalu lintas orang, barang dan kendaraan di luar instalasi.

7.3.1 Pengaturan lalu lintas orang dan barang di dalam instalasi

Bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi mengatur lalu lintas orang dan barang di dalam instalasi untuk menghindari terjadinya penyebaran kontaminasi di dalam instalasi.

7.3.2 Pengaturan lalu lintas orang, kendaraan dan barang di daerah instalasi

1. Pencegahan dan pengawasan penyebaran kontaminasi dilakukan dengan cara: setiap orang yang berada di daerah instalasi harus memakai tanda pengenal.
2. Pekerja yang diizinkan berada di instalasi adalah pekerja instalasi tersebut dan pekerja yang memperoleh izin.
3. Tamu atau pengunjung sebelum memasuki daerah instalasi harus memperoleh izin dari petugas pengamanan dan memperoleh kartu tanda pengenal tamu.
4. Kendaraan pekerja/tamu/pengunjung harus diparkir di lokasi yang telah disediakan. Jika kendaraan pekerja/tamu/pengunjung karena sesuatu keperluan akan masuk ke daerah instalasi terlebih dahulu harus memperoleh izin dari petugas pengamanan, kecuali ambulans, mobil pemadam kebakaran dalam keadaan darurat dan kendaraan yang beroperasi dalam daerah instalasi serta kendaraan lain dengan izin khusus.

7.3.3 Pengaturan lalu lintas orang, kendaraan dan barang keluar dari daerah instalasi nuklir

1. Setiap pekerja yang akan meninggalkan daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi dan akan keluar dari daerah instalasi nuklir diwajibkan mengikuti prosedur pemantauan kontaminasi personel.
2. Pekerja tersebut tidak diperkenankan membawa barang atau bahan dari daerah instalasi nuklir kecuali telah melalui prosedur administratif dan pemeriksaan kontaminasi serta mendapat izin dari PI. Lalu lintas orang, barang dan kendaraan yang akan keluar masuk daerah instalasi nuklir dipantau dengan detektor radiasi.

7.4 Pencegahan dan pengawasan kontaminasi pekerja

1. Instalasi harus menyediakan APD berupa penutup sepatu (*shoe cover*), baju kerja (*lab coat*), respirator dan perlengkapan lain sesuai untuk mencegah terjadinya kontaminasi pada pekerja.
2. Instalasi yang memiliki daerah dengan potensi kontaminasi harus menyediakan perlengkapan kerja sesuai dengan potensi yang ada dan memiliki ruang ganti pakaian serta ruang dekontaminasi.
3. Pekerja radiasi yang bekerja di daerah pengendalian diwajibkan melakukan pemantauan kontaminasi sebelum meninggalkan daerah kerja. Alat pemantau kontaminasi yang ditempatkan pada jalur keluar daerah pengendalian.

7.5 Dekontaminasi permukaan pada pekerja

1. Pekerja yang permukaan kulitnya terkontaminasi zat radioaktif maka harus dilakukan dekontaminasi. Proses dekontaminasi dilakukan dengan cara mencuci permukaan kulit yang terkontaminasi dengan sabun atau bahan lain yang sesuai (tidak bersifat abrasif). Ketentuan dekontaminasi dibuat oleh Bidang Keselamatan atau organisasi proteksi radiasi dan diawasi oleh PPR.
2. Permukaan kulit dinyatakan terkontaminasi apabila:
 - a. Tingkat kontaminasi melebihi $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ (untuk beta). Tingkat kontaminasi melebihi $0,37 \text{ Bq/cm}^2$ (untuk alfa) Batas tingkatan kontaminasi dan tindakan dekontaminasi yang perlu dilakukan diberikan pada Tabel 7.5.
 - b. Pekerja radiasi yang terkontaminasi dengan disertai luka atau keadaan lain yang memerlukan tindakan medis maka dekontaminasi dilakukan di klinik masing-masing kawasan untuk mendapatkan pertolongan medis yang diperlukan.

Tabel 7.5 Tingkat tindakan untuk kontaminasi kulit

Tingkat kontaminasi β (TK) (Bq/cm^2)	Tindakan yang diambil	Tingkat Kontaminasi α (TK) (Bq/cm^2)
TK < 3,7	Cuci dengan seksama dan bersihkan dari kontaminasi yang dapat terlepas. Tingkat ini tidak berbahaya terhadap kesehatan	TK < 0,37
$3,7 < \text{TK} < 3700$	Cuci dengan seksama orang yang terkontaminasi pada tingkat ini, sesudah dibersihkan dibawa ke unit pelayanan kesehatan untuk perawatan lebih lanjut.	$0,37 < \text{TK} < 37$
TK > 3700	Mula-mula cuci dengan seksama hingga bersih. Kontaminasi di atas tingkat ini harus dilaporkan segera ke dokter .	TK > 37

CATATAN

- a. Tingkat tindakan ini berlaku untuk kontaminasi yang tetap lekat pada kulit sekalipun telah diusahakan pembersihan berkali-kali dengan metode yang seharusnya. Hubungi segera PPR tempat bekerja untuk pengarah dan bantuan.
- b. Bila kulit luka atau lecet terkena kontaminasi, dokter yang bertugas harus diberitahu dan akan menunjukkan tindakan yang akan diambil.
- c. Luas rata-rata pengukuran bergantung pada luas permukaan detektor.

7.6 Persetujuan kerja

1. Pekerja radiasi yang akan bekerja di daerah radiasi yang memungkinkan menerima dosis radiasi mendekati NBD mingguan, maka pekerja radiasi diwajibkan mengajukan permohonan bekerja yang ditandatangani kepala bidang yang bersangkutan dengan menyampaikan tujuan dan uraian pekerjaan yang akan dilakukan.

- Selanjutnya bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi mengevaluasi kelayakan pekerjaan tersebut. Sebelum pekerjaan dilakukan PPR terlebih dahulu memantau paparan radiasi dan tingkat kontaminasi baik permukaan maupun udara untuk memastikan potensi bahaya yang ada. Untuk menghindari penerimaan dosis radiasi yang cukup signifikan, maka PPR melakukan pembagian tugas dan waktu kerja.

7.7 Pengawasan kontaminasi udara di daerah kerja

- Bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi di tiap instalasi bertanggung jawab melakukan pengawasan kontaminasi udara di daerah kerja.

CATATAN

Secara umum kontaminasi udara dapat digolongkan atas dua golongan yaitu kontaminasi gas dan kontaminasi partikel (aerosol) radioaktif.

- Pemantauan radioaktivitas udara harus dilaksanakan: Bila individu diperkirakan menerima paparan 40 atau lebih *DAC hour**/dalam setahun, atau sejauh diperlukan untuk menetapkan bahaya radioaktivitas yang ada di udara bila peralatan pelindung pernafasan untuk melindungi diri terhadap radionuklida yang ada di udara diharuskan dipakai.
- Pemantauan udara *real time* harus dilakukan sesuai keperluan untuk mendeteksi dan menyediakan peringatan konsentrasi aktivitas di udara yang memastikan tindakan segera untuk menghentikan inhalasi zat radioaktif yang ada di udara.

*) *DAC (Derived Air Concentration) hour* atau jam konsentrasi udara turunan merupakan *ALI* dikalikan fraksi tahunan, contoh untuk *DAC hour* 40 maka fraksinya adalah 40/2000. *ALI* adalah *Annual Limit on Intake* atau Batas Masukan Tahunan.

7.8 Pengendalian lepasan melalui sistem ventilasi

- Seluruh sistem ventilasi lepasan (*exhaust*) yang terpasang pada gedung yang mengelola bahan radioaktif harus dipantau bila diperkirakan ada lepasan ke lingkungan melalui sistem ventilasi yang lebih dari 1/100 tingkat acuan.
- Nilai tingkat acuan ditetapkan 3/10 batas lepasan turunan sebagaimana diberikan pada Lampiran B untuk radionuklida yang bersangkutan dalam seminggu. Jika diperkirakan terdapat beberapa jenis radionuklida digunakan rumus berikut:

$$\frac{C_1}{TPA_1} + \frac{C_2}{TPA_2} + \frac{C_3}{TPA_3} + \dots \leq 0.01$$

Keterangan :

C_i = jumlah radionuklida ke-*i* yang dilepaskan per hari.

TPA_i = lepasan acuan untuk radionuklida bersangkutan.

- Bila terindikasi adanya lepasan radioaktif di udara, dilakukan pengaturan sistem ventilasi sampai tingkat kontaminasi di udara kembali aman di bawah batas yang diizinkan.

CONTOH:

Batas lepasan cerobong di beberapa instalasi diberikan pada Tabel 7.6 berikut:

Tabel 7.6 Batas lepasan cerobong pada beberapa instalasi

Fasilitas	Radioaktivitas terukur	Batasan, Bq/m ³
IRM	Gross α	2
	Gross β	20
IEBE	Gross α	2
RSG	Gas mulia	4 000
GAS	Iodin	-
	Partikulat	-
IPRR	Gas mulia	1
	Iodin	0,4
	Partikulat	2,2
IPEBRR	Gross α	2

Bila batas lepasan di RSG GAS terlampaui, maka secara otomatis akan memberikan sinyal alarm radiasi pada panel tegak di Ruang Kendali Utama (RKU), kemudian petugas keselamatan akan menelusuri penyebab terjadinya alarm dan melakukan tindakan penghentian kegiatan reaktor.

Pada instalasi IPRR bila batas lepasan terlampaui, maka akan dilakukan tindakan penghentian kegiatan kemudian dilakukan pengaturan pola alir dan tekanan udara serta ditelusuri penyebabnya. Pada instalasi IEBE dan IRM bila batas lepasan terlampaui, maka akan dilakukan penghentian kegiatan yang menyebabkan lepasan tersebut.

7.9 Pembatasan lain yang perlu diperhatikan

1. Pekerja radiasi dilarang: makan, minum, merokok dan berhias di daerah radiasi dan/atau kontaminasi.
2. Pada tempat dengan potensi kontaminasi, setiap pekerja radiasi dilarang menyimpan dan mempersiapkan bahan makanan dan minuman.
3. Sumber air yang digunakan, terutama di daerah instalasi harus jelas asal usulnya dan harus dipantau dari kemungkinan terkontaminasi.

7.10 Labelisasi radiasi

Sesuai dengan ketentuan keselamatan radiasi, maka bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi di setiap instalasi harus membuat sistem labelisasi radiasi yang mudah diketahui dan dipahami dengan baik oleh setiap pekerja radiasi sebagai tanda peringatan adanya potensi bahaya radiasi dan/atau kontaminasi. Sistem labelisasi radiasi yang dimaksud meliputi:

1. Sistem labelisasi radiasi daerah kerja.
2. Sistem labelisasi radiasi untuk wadah yang berisi zat radioaktif.
3. Sistem labelisasi radiasi untuk wadah yang berisi limbah radioaktif.

4. Sistem labelisasi untuk peringatan bekerja di daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi.

7.10.1 Penandaan daerah kerja

1. Daerah kerja radiasi dan/atau kontaminasi harus diberi tanda radiasi sesuai dengan kategori daerah kerjanya.
2. Tanda radiasi daerah kerja terdiri dari dua macam, yaitu tanda yang digunakan untuk identitas daerah kerja dan tanda yang digunakan untuk menginformasikan adanya sumber radiasi di daerah kerja.

7.10.1.1 Identitas daerah kerja.

1. Identitas daerah kerja dipasang secara permanen di pintu masuk daerah kerja atau di tempat lain di depan daerah kerja tersebut yang mudah dilihat oleh para pekerja radiasi yang digunakan untuk memberikan informasi tentang kategori daerah kerja.
2. Tanda terbuat dari bahan yang tahan lama yang berisi informasi tentang lambang radiasi (dengan warna magenta), kategori daerah (daerah supervisi atau daerah pengendalian), kategori daerah radiasi dan kategori daerah kontaminasi. Contoh tanda radiasi yang digunakan untuk identitas daerah kerja dengan kategori daerah supervisi diberikan pada Gambar 7.2 dan untuk daerah kerja dengan kategori daerah pengendalian diberikan pada Gambar 7.3.

7.10.1.2 Label identitas sumber radiasi di daerah kerja

1. Label identitas sumber radiasi di daerah kerja dipasang secara tidak permanen di bagian depan tempat tersebut atau di posisi lain yang mudah dilihat oleh para pekerja radiasi.
2. Label terbuat dari kertas yang dapat ditempel dan berisi: lambang radiasi (dengan warna magenta), jenis sumber, aktivitas sumber, paparan radiasi dan durasi kerja yang diizinkan.



Gambar 7.2 - Label kategori daerah supervisi



Gambar 7.3 - Label kategori daerah pengendalian

3. Bila sumber radiasi tidak lagi berada di tempat tersebut, lepas label radiasi. Jika label tidak terkontaminasi buang label sebagai limbah non radioaktif, sebaliknya jika label terkontaminasi perlakukan sebagai limbah radioaktif.

Contoh label identitas sumber radiasi di daerah kerja diberikan pada Gambar 7.4. Untuk Gambar 7.2; Gambar 7.3 ; Gambar 7.4; Gambar 7.5 dan Gambar 7.8 dengan ukuran: P x L = 30 x 20 cm warna dasar kuning, lambang radiasi berwarna merah magenta, tulisan berwarna hitam dengan huruf menyesuaikan.



Gambar 7.4 - Label identitas sumber radiasi

7.10.1.3 Sistem pemagaran daerah kerja

Lokasi tertentu di daerah kerja yang memiliki nilai paparan radiasi dan atau tingkat kontaminasi melebihi nilai batas untuk lokasi ruangan tersebut harus diberikan identitas dalam bentuk pemagaran sesuai dengan:

1. Pemagaran dilakukan pada jarak aman dari sumber radiasi berdasarkan hasil pengukuran paparan radiasi.
2. Pemagaran dilakukan dengan tali rantai kuning yang ditopang dengan tiang penyangga. Pada tiang penyangga digantungkan label dari lembaran stainless steel atau bahan lain yang cukup kuat berisi informasi: lambang radiasi (dengan warna magenta), nomor ruangan, jenis sumber, tanggal pengukuran, nilai paparan radiasi pada jarak pemagaran,

nilai tingkat kontaminasi permukaan, waktu yang diizinkan berada di dekat lokasi dan tandatangan PPR..

Contoh label radiasi yang dipasang pada tiang penyangga diberikan pada Gambar 7.5

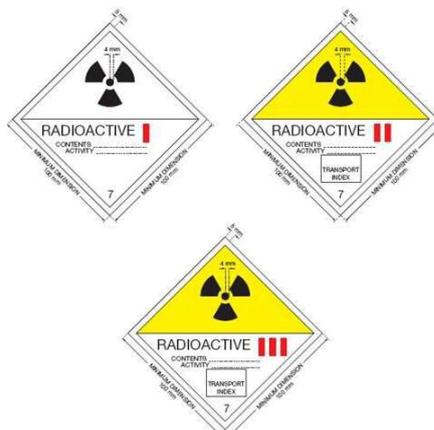


Gambar 7.5 - Label sumber pada pemaganan daerah kerja

7.10.2 Labelisasi wadah zat radioaktif

1. Wadah zat radioaktif harus diberi label radiasi.
2. Label wadah terbuat dari kertas stiker yang berisi informasi: lambang radiasi (dengan warna hitam), jenis zat radioaktif, aktivitas zat radioaktif, kategori bungkus dan indeks angkutan (paparan radiasi pada jarak 1 meter dari permukaan bungkus).
3. Bila zat radioaktif tidak lagi berada dalam wadah tersebut, lepas label radiasi. Jika label tidak terkontaminasi buang label sebagai limbah non radioaktif, sebaliknya jika label terkontaminasi perlakukan sebagai limbah radioaktif.

Contoh: label bungkus kategori I - Putih, II - Kuning dan III - Kuning diberikan pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 - Label kategori bungkus zat radioaktif

7.10.3 Labelisasi wadah limbah radioaktif

1. Wadah limbah radioaktif harus diberi label radiasi yang jelas dan benar.

2. Label wadah limbah radioaktif terbuat dari stiker yang dapat ditempel pada bagian kiri, kanan, depan dan belakang (tergantung ukuran wadah limbah). Stiker berisi: lambang radiasi (dengan warna hitam), jenis dan kategori limbah radioaktif, paparan radiasi pada permukaan dan pada jarak 1 meter dari permukaan, tanggal pengukuran dan tandatangan PPR.

Contoh label radiasi untuk wadah limbah radioaktif diberikan pada Gambar 7.7. Label berupa stiker dengan ukuran P x L = 20 x 15 cm. Dasar berwarna kuning dengan lambang radiasi merah magenta dan tulisan berwarna hitam.

Limbah Radioaktif

JENIS LIMBAH RADIOAKTIF : _____
 RADIONUKLIDA /WAKTU PARO : _____
 AKTIVITAS : _____
 KATEGORI LIMBAH RADIOAKTIF : _____
 PAPARAN RADIASI PERMUKAAN : _____ µSv/Jam
 PAPARAN RADIASI 1 METER : _____ µSv/Jam
 TANGGAL PENGUKURAN : _____
 PETUGAS PROTEKSI RADIASI : _____

Petugas Proteksi Radiasi

Gambar 7.7 - Label wadah limbah radioaktif

7.10.4 Label peringatan bekerja di daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi

Daerah kerja yang memiliki potensi radiasi dan/atau kontaminasi dipasang label peringatan yang terbuat dari bahan yang tahan lama dan dipasang secara permanen di pintu masuk daerah kerja atau di tempat lain di depan daerah kerja tersebut yang mudah dilihat oleh para pekerja radiasi. Label berisi informasi: lambang radiasi (dengan warna magenta), peringatan adanya zat radioaktif, larangan makan, minum, merokok dan berhias.

CONTOH label peringatan bekerja di daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi ini diberikan pada Gambar 7.8.



Gambar 7.8 - Peringatan bekerja di daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi.

7.11 Kegiatan pemeliharaan, perbaikan dan pembangunan di instalasi

Kegiatan pemeliharaan, perbaikan dan pembangunan di instalasi dapat menimbulkan dan menyebarkan kontaminasi. Oleh karena itu kegiatan pemeliharaan, perbaikan dan pembangunan harus :

1. Direncanakan dengan baik dan dikonsultasikan dengan pihak petugas keselamatan dan keamanan.
2. Para pekerja bangunan yang selama kegiatannya berada di dalam instalasi lebih dari 6 bulan harus mendapatkan dosimeter perorangan dan diberlakukan persyaratan serta kewajiban sebagaimana pekerja radiasi.
3. Seluruh peralatan, bahan dan perlengkapan lain yang masih dan telah digunakan dalam kegiatan perbaikan dan pembangunan di daerah pengendalian tidak diperkenankan dibawa atau digunakan di daerah lain sebelum dilakukan pemeriksaan kontaminasi oleh PPR.
4. Setiap pekerja setelah selesai melaksanakan pekerjaannya di daerah pengendalian diperiksa tingkat kontaminasinya oleh PPR dan menyimpan perlengkapan kerja di tempat yang telah ditentukan secara baik dan benar.

7.12 Pengelolaan tanaman di sekitar instalasi

Tanaman yang menghasilkan buah atau bagian yang dapat dimakan tidak diperkenankan terdapat disekitar instalasi. Pengelolaan tanaman hias, rumput dan tanaman lain yang terdapat di dalam daerah tersebut harus dilaksanakan dengan memperhatikan kemungkinan penyebaran kontaminasi. Bila terjadi lepasan abnormal, maka dilakukan pemantauan kontaminasi pada tanaman. Dalam hal nilai kontaminasi melebihi tingkat klierens, maka sampah tanaman diberlakukan sebagai limbah radioaktif.

8. Pengendalian zat radioaktif, peralatan dan barang

8.1 Umum

Kegiatan penanganan, penyimpanan, pemindahan bahan maupun peralatan berpotensi penyebaran radiasi harus dikendalikan, untuk mencegah terjadinya penyebaran bahaya radiasi dan kontaminasi baik pada pekerja, masyarakat maupun lingkungan. Bahan/peralatan yang dimaksud seperti:

1. Zat radioaktif
2. Peralatan atau barang yang terkontaminasi
3. Peralatan atau barang tidak terkontaminasi.

8.2 Pengendalian zat radioaktif

1. Setiap instalasi yang memanfaatkan zat radioaktif harus memiliki izin dari BAPETEN. Konsentrasi aktivitas yang dikecualikan dan aktivitas radionuklida yang dikecualikan dari perizinan BAPETEN diberikan pada Lampiran C.
2. Setiap zat radioaktif yang terdapat di setiap instalasi harus didata dan dikendalikan penanganannya secara baik dan benar oleh bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi mengikuti perundangan yang berlaku.

3. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi bertanggung jawab atas pengelolaan keselamatan dan pengendalian zat radioaktif .

8.2.1 Identifikasi zat radioaktif

1. Zat radioaktif di setiap instalasi harus ditempatkan dalam wadah atau tempat yang aman dan memenuhi syarat agar tingkat paparan dan/atau kontaminasi tidak melebihi batas yang ditentukan dan diberi identitas sebagai berikut:
 - a. Jenis dan jumlah sumber.
 - b. Bentuk dan jenis senyawa kimianya dan bentuk fisiknya.
 - c. Tanggal penentuan kuantitas sumber.
 - d. Tanggal sumber dibuat.
 - e. Nama pembuat/asal sumber.
 - f. Nama pemilik.
2. Sedangkan untuk zat radioaktif dalam bentuk produk jadi, identitas yang dimaksud meliputi:
 - a. Identitas wadah yang meliputi:
 - 1) nomor seri dan tipe wadah;
 - 2) nama pembuat/asal wadah;
 - b. Identitas bungkusan yang meliputi:
 - 1) jenis sumber (nama, jenis senyawa kimia dan bentuk fisik);
 - 2) aktivitas dan tanggalnya;
 - 3) kategori bungkusan;
 - 4) indeks angkutan;
 - 5) keterangan tentang nilai paparan radiasi dan nilai tingkat kontaminasi permukaan bungkusan yang ditandatangani oleh PPR. Keterangan ini harus dilekatkan langsung pada wadah atau terikat kuat pada wadah agar tidak mudah terlepas.
3. Apabila beberapa jenis zat radioaktif disimpan bersamaan dalam suatu tempat, maka harus diperhatikan nilai paparan radiasi dalam ruangan penyimpanan tersebut. Jika nilai paparan radiasi melampaui batas yang ditentukan maka penempatan sumber tersebut harus terpisah atau ditempatkan pada tempat khusus.

8.2.2 Rekaman zat radioaktif

1. Setiap instalasi harus mempunyai rekaman yang berisi tentang jenis, jumlah dan lokasi penyimpanan zat radioaktif yang ada di unit kerjanya. Bidang yang memiliki zat radioaktif harus melakukan pencatatan jenis, jumlah, lokasi penyimpanan dan pemakaian sesuai dengan ketentuan.
2. Setiap instalasi harus mempunyai kartu indeks yang memuat semua sumber yang perlu didaftar dalam unit kerjanya. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi yang bersangkutan menyimpan duplikat kartu tersebut. Bila suatu sumber secara tetap terbagi-bagi menjadi bagian-bagian, maka bagian tersebut harus didaftar sebagai sumber yang baru dan asal usul sumber baru tersebut ikut dinyatakan dalam kartu indeks.

3. Bidang yang memiliki zat radioaktif secara periodik melaporkan data jenis, jumlah, lokasi penyimpanan dan pemakaiannya kepada Kepala Bidang Keselamatan. Data ini selanjutnya oleh PI dilaporkan kepada BAPETEN.
4. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi yang memiliki sumber bertanggung jawab atas penyimpanan catatan sumber yang terdaftar tersebut yang berada di daerah atau gedung yang diawasinya. Walaupun demikian organisasi pencatatan dapat dilakukan pada masing-masing unit kerja, pada suatu instalasi atau gedung atau laboratorium lainnya bergantung keadaan yang dihadapi. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi yang bersangkutan harus diberitahu tempat penyimpanan catatan tersebut dan berhak untuk memeriksanya.
5. Selain itu harus diusahakan agar jumlah sumber yang berada atau terdapat di tiap unit kerja diusahakan sekecil mungkin, sesuai dengan keperluannya. Permintaan ataupun pengadaan sumber baru ataupun tambahan dari sumber yang telah ada harus dilaporkan kepada bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi yang bersangkutan. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi yang bersangkutan akan memberikan saran dan pertimbangan dalam mengusahakan keamanan sumber. Dengan demikian jumlah sumber yang terdapat di tiap unit kerja dapat dibatasi dalam jumlah minimum, agar pengawasan dan keselamatan kerja dapat terkendali.

8.2.2.1 Rekaman zat radioaktif di daerah instalasi nuklir

1. Zat radioaktif di daerah instalasi nuklir yang harus direkam adalah zat radioaktif yang konsentrasi aktivitasnya melebihi nilai yang ditetapkan pada Lampiran C.
2. Sumber yang harus didaftar adalah sumber yang mengandung bahan radioaktif alfa dan melebihi 10 kali (*Maximum Permissible Body Burden*, MPBB) serta akan digunakan untuk proses. Sebagai pengecualian adalah uranium alam, uranium susut kadar dan thorium alam. Uranium yang diperkaya dengan ^{235}U mengikuti prosedur pertanggung jawaban bahan khusus. Termasuk pula dalam kategori ini Radium yang digunakan sebagai standar.

8.2.2.2 Rekaman zat radioaktif di daerah non-instalasi nuklir

Radionuklida dalam jumlah lebih besar dari batasan berikut diperlakukan sebagai zat radioaktif yang harus direkam apabila terdapat atau disimpan di daerah Non-Instalasi Nuklir :

1. Sejumlah radionuklida konsentrasi aktivitasnya melebihi nilai yang ditetapkan pada Lampiran C.
2. Suatu sumber yang tidak mudah terdispersi dan bila tanpa pelindung mempunyai laju dosis Gamma atau Sinar-X melebihi $10 \mu\text{Sv/jam}$ atau laju dosis beta melebihi $40 \mu\text{Gy/jam}$ pada jarak 30 cm dari permukaan wadah yang berisi zat radioaktif.
3. Sumber neutron yang memancarkan lebih dari 10^4 neutron/cm² detik.
4. Setiap radionuklida dalam jumlah 370 MBq dengan waktu paruh kurang dari 48 jam.

8.2.3 Penyimpanan zat radioaktif

Setiap instalasi diwajibkan menyediakan tempat yang memenuhi syarat untuk penyimpanan zat radioaktif sesuai yang diatur sesuai dengan jenis dan karakteristiknya. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi secara periodik melakukan pemeriksaan dan pemantauan yang meliputi :

1. pemantauan sistem pengamanan di lokasi penyimpanan zat radioaktif;

2. pemantauan paparan radiasi di lokasi penyimpanan zat radioaktif;
3. pemeriksaan keberadaan zat radioaktif di lokasi penyimpanan;
4. pencatatan jenis dan jumlah zat radioaktif yang digunakan.

8.2.4 Pemindahan zat radioaktif

8.2.4.1 Pemindahan zat radioaktif di dalam instalasi

Setiap zat radioaktif yang akan dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain di dalam Instalasi baik untuk keperluan penggunaan maupun penyimpanan harus dilakukan di bawah kendali bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi. Pemindahan zat radioaktif dilengkapi dengan berita acara pemindahan yang memuat :

1. tanggal pemindahan;
2. jenis dan aktivitas zat radioaktif;
3. lokasi pemindahan;
4. tujuan pemindahan;
5. pelaksana pemindahan.

8.2.4.2 Pemindahan zat radioaktif antar instalasi di dalam satu kawasan di lingkungan BATAN

1. Bila zat radioaktif akan dipindahkan dari satu instalasi ke instalasi lain di dalam satu setiap kawasan di lingkungan BATAN, maka harus memenuhi persyaratan administrasi dan persyaratan teknis.
2. Pemindahan zat radioaktif antar instalasi hanya boleh dilakukan dengan tujuan yang jelas (dibuktikan dengan surat menyurat resmi antar instalasi) dan mengikuti prosedur pengeluaran barang yang berlaku di instalasi tersebut.
3. Zat radioaktif yang akan dipindahkan harus tersimpan di dalam wadah yang dijamin keselamatannya dan sudah dinyatakan bebas kontaminasi oleh bidang keselamatan serta diberi identitas yang lengkap dan benar sesuai dengan ketentuan pengiriman zat radioaktif.
4. Zat radioaktif diijinkan keluar dari instalasi pengirim apabila telah dilengkapi dengan dokumen berikut:
 - a. surat pengeluaran barang yang sudah disetujui oleh para pihak yang berwenang;
 - b. surat pengantar dari kepala instalasi;
 - c. sertifikat kendali kualitas zat radioaktif;
 - d. sertifikat bebas kontaminasi;
 - e. dokumen lain yang diperlukan.
5. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi yang menerima zat radioaktif harus memeriksa kelengkapan dokumen dan kelayakan bungkusan zat radioaktif, selanjutnya dicatat secara lengkap dan benar sesuai prosedur yang berlaku.

8.2.5 Penerimaan dan pengiriman zat radioaktif

PI bertanggung jawab terhadap segala persyaratan dan ketentuan yang harus dipenuhi dalam pengiriman dan penerimaan barang bahan/zat radioaktif yang berkaitan dengan kegiatannya. Ketentuan pengiriman dan penerimaan bahan radioaktif mengacu pada PP No. 26 tahun 2002 tentang keselamatan pengangkutan zat radioaktif dan peraturan

pengangkutan bahan berbahaya. Untuk pengiriman keluar negeri harus mengikuti ketentuan dari negara yang bersangkutan dan peraturan *IAEA*.

8.2.5.1 Penerimaan zat radioaktif

1. Setiap penerimaan kiriman bahan/zat radioaktif ke Instalasi dalam setiap kawasan di lingkungan BATAN, terlebih dahulu harus dilakukan pemeriksaan oleh Petugas Keamanan Nuklir untuk mengetahui asal kiriman dan isi bungkusan zat radioaktif serta pihak penerimanya. Petugas Keamanan Nuklir menginformasikan kedatangan bungkusan zat radioaktif tersebut kepada kepala instalasi/unit kerja penerima.
2. Setelah melalui prosedur penerimaan barang, Bidang Keselamatan melakukan pemeriksaan yang meliputi:
 - a. kondisi fisik bungkusan zat radioaktif;
 - b. kelengkapan dokumen;
 - c. kesesuaian data antara yang ada di bungkusan dengan yang ada di dokumen pengiriman;
 - d. paparan radiasi baik pada permukaan bungkusan maupun pada jarak 1 meter dari permukaan;
 - e. kontaminasi permukaan.
3. Apabila hasil pemeriksaan menunjukkan adanya penyimpangan/kelainan, maka Bidang Keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi menyampaikan temuan tersebut kepada PI untuk selanjutnya disampaikan kepada pihak pengirim guna penyelesaian lebih lanjut.
4. Jika bungkusan zat radioaktif tersebut dinyatakan sesuai, maka Bidang Keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi menyerahkan kepada pengguna.
5. Data hasil pemeriksaan bungkusan zat radioaktif dan bukti serah terima dengan pihak pengguna harus disimpan oleh Bidang Keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi sesuai ketentuan yang berlaku.

8.2.5.2 Pengiriman zat radioaktif ke luar kawasan lingkungan BATAN

Pengiriman zat radioaktif keluar dari salah satu instalasi di setiap kawasan di lingkungan BATAN harus mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Pengiriman zat radioaktif hanya bisa dilakukan apabila pihak pengirim dan penerima memiliki izin pemanfaatan zat radioaktif dari BAPETEN. Sebelum melakukan pengiriman zat radioaktif, instalasi pengirim terlebih dahulu harus mengajukan izin pengalihan dan persetujuan pengangkutan zat radioaktif ke BAPETEN.
2. Zat radioaktif yang akan dikirim harus dimasukkan ke dalam wadah/pembungkus yang sesuai dengan jenis dan aktivitasnya.
3. Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi harus melakukan pemeriksaan kelayakan pengiriman yang meliputi pemeriksaan kontaminasi pada permukaan wadah/pembungkus dan pengukuran paparan radiasi baik pada permukaan maupun pada jarak 1 meter dari permukaan wadah/pembungkus.
4. Bungkusan zat radioaktif yang sudah dinyatakan layak kirim, harus diberi identitas yang jelas sesuai dengan kategori bungkusan (I - Putih, II - Kuning atau III - Kuning) secara lengkap dan benar.
5. Bungkusan dimasukkan dan ditempatkan ke dalam kendaraan pengangkut yang telah memenuhi persyaratan pengangkutan zat radioaktif.

6. PPR memasang tanda radiasi pada kendaraan pengangkut dan melakukan pengukuran paparan radiasi baik pada permukaan maupun pada jarak 1 meter dari permukaan kendaraan pengangkut serta pada tempat pengemudi. Hasil pengukuran ini harus dicatat dalam dokumen pengangkutan.
7. Bila kendaraan pengangkut yang berisi bungkusan zat radioaktif dinyatakan telah siap, maka sebelum meninggalkan instalasi pengirim, terlebih dahulu harus dilengkapi dengan beberapa dokumen berikut dan menyimpan tembusannya:
 - a. sertifikat kendali kualitas;
 - b. sertifikat bebas kontaminasi;
 - c. *to whom it may concern*;
 - d. *packing list*;
 - e. bukti pengiriman;
 - f. surat jalan yang ditandatangani oleh kepala keamanan nuklir masing-masing kawasan;
 - g. fotokopi surat izin pemanfaatan;
 - h. fotokopi surat izin pengalihan zat radioaktif dari BAPETEN;
 - i. fotokopi persetujuan pengangkutan zat radioaktif dari BAPETEN;
 - j. prosedur penanggulangan keadaan darurat pengangkutan zat radioaktif.

CATATAN Apabila terjadi kecelakaan dan gangguan pada saat pengangkutan, maka PPR dan/atau petugas keamanan sumber radioaktif bertindak sebagai petugas penanggulangan untuk segera berada di lokasi kecelakaan dan berkoordinasi dengan pihak berwajib.

8.2.6 Residu zat radioaktif

Zat radioaktif yang tersisa atau tidak akan digunakan lagi oleh instalasi tidak boleh dibuang ke lingkungan. Bahan sisa ini diberlakukan sebagai limbah radioaktif, penanganan selanjutnya dilakukan sesuai pengelolaan limbah radioaktif.

8.3 Pengendalian pemindahan peralatan/barang

8.3.1 Umum

Penempatan atau peletakan suatu barang di daerah instalasi nuklir harus direncanakan sebaik mungkin agar sedapat mungkin tidak mengalami pemindahan.

Pemindahan barang antar instalasi dalam daerah instalasi nuklir ataupun pemindahan ke instalasi di daerah non-aktif. Pemindahan dapat pula terjadi dari daerah non-aktif ke daerah instalasi nuklir ataupun ke luar lokasi setiap kawasan di lingkungan BATAN.

Untuk menghindari terjadinya penyebaran kontaminasi, maka pemindahan peralatan atau barang dari daerah radiasi mengikuti ketentuan yang diatur sebagai berikut:

1. PPR terlebih dahulu harus melakukan pemeriksaan paparan radiasi dan kontaminasi permukaan peralatan atau barang yang akan dipindahkan.
2. Bila tingkat kontaminasi lebih besar dari batasan yang ditentukan pada Tabel A 2.2 (lihat lampiran A2) dan/atau dengan laju dosis lebih dari 20 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ pada jarak 2,5 cm, maka barang tersebut harus dibungkus atau diwadahi selayaknya. Wadah yang digunakan harus dapat mencegah kemungkinan lepasan kontaminasi dari pembungkus atau barang ke lingkungan atau ke pengangkut. Semua bungkusan atau wadah seperti ini

harus diberi label yang menunjukkan tingkat radiasi dan kontaminasi. Label transit barang merah atau biru digunakan untuk menunjukkan apakah laju dosis dari barang lebih besar atau kurang dari 10 mSv/jam pada permukaan wadah. Label merah untuk laju dosis lebih besar 10 mSv/jam dan label biru untuk laju dosis lebih kecil dari 10 mSv/jam, peralatan atau barang tersebut memerlukan penanganan/pewadahan khusus dan diberlakukan sesuai dengan butir 8.8.

3. Peralatan atau barang yang sudah dinyatakan layak untuk dipindahkan, harus dilengkapi dengan beberapa dokumen sebagai berikut:
 - a. surat pengeluaran barang yang sudah disetujui oleh para pihak yang berwenang;
 - b. bukti pengiriman peralatan atau barang;
 - c. surat keterangan bebas kontaminasi;
 - d. dokumen lain yang diperlukan.

Contoh dokumen-dokumen tersebut di atas diberikan pada Lampiran D sampai Lampiran F.

Instalasi pengirim sebelum mengeluarkan peralatan atau barang, terlebih dahulu menginformasikan kepada instalasi penerima tentang waktu pelaksanaan pengiriman peralatan atau barang tersebut.

- e. Peralatan atau barang setelah sampai di instalasi penerima, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan oleh pihak keamanan untuk mengetahui jenis dan jumlah serta kelengkapan dokumennya. Bidang Keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi memeriksa dokumen hasil pemeriksaan paparan radiasi dan kontaminasi yang berasal dari pihak pengirim, selanjutnya dilakukan pengukuran ulang untuk membuktikan kebenaran hasil pemeriksaan tersebut.
- f. Peralatan atau barang yang sudah diperiksa selanjutnya diperlakukan sesuai dengan prosedur penerimaan barang yang berlaku di instalasi penerima.

8.3.2 Pemindahan dari daerah instalasi nuklir ke luar kawasan lingkungan BATAN

Pemindahan tersebut harus mengikuti ketentuan:

1. Pemindahan peralatan atau barang keluar kawasan lingkungan BATAN hanya boleh dilakukan setelah ada kesepakatan secara legal antara pihak pengirim dan penerima serta mengikuti prosedur pengeluaran barang yang berlaku.
2. Peralatan atau barang yang akan dikirim terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan paparan radiasi dan pemeriksaan kontaminasi permukaan oleh PPR sesuai prosedur yang berlaku.
3. Peralatan atau barang yang sudah dinyatakan layak kirim, harus dilengkapi dengan beberapa dokumen berikut:
 - a. surat pengantar pengeluaran barang dan/atau surat jalan dari PI atau pejabat lain yang ditunjuk;
 - b. bukti pengiriman peralatan atau barang;
 - c. surat keterangan bebas kontaminasi;
 - d. dokumen lain yang diperlukan.

CONTOH dokumen 1, 2 dan 4 diberikan pada Lampiran D - F, sedangkan contoh surat jalan yang sudah ditandatangani oleh Kepala Unit Pengamanan Nuklir KNS diberikan pada Lampiran G.

Instalasi pengirim sebelum mengeluarkan peralatan atau barang, terlebih dahulu menginformasikan kepada instalasi penerima tentang waktu pelaksanaan pengiriman peralatan atau barang tersebut.

4. Instalasi pengirim sebelum mengeluarkan peralatan atau barang, terlebih dahulu menginformasikan kepada instalasi penerima tentang waktu pelaksanaan pengiriman peralatan atau barang tersebut.
5. Peralatan atau barang sesampainya di instalasi penerima, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan oleh pihak keamanan untuk mengetahui jenis dan jumlah serta kelengkapan dokumennya.
6. PPR memeriksa dokumen hasil pemeriksaan paparan radiasi dan kontaminasi yang berasal dari pihak pengirim, selanjutnya dilakukan pengukuran ulang untuk membuktikan kebenaran hasil pemeriksaan tersebut, dan disetujui oleh bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi
7. Peralatan atau barang yang sudah diperiksa selanjutnya diperlakukan sesuai dengan prosedur penerimaan barang yang berlaku di instalasi penerima.

8.4 Pemindahan peralatan atau bahan terkontaminasi

8.4.1 Pemindahan peralatan atau bahan terkontaminasi antar instalasi dalam kawasan.

Peralatan atau bahan yang terkontaminasi pada umumnya tidak boleh keluar dari daerah instalasi, kecuali untuk hal berikut:

1. Peralatan yang bebas kontaminasi tetapi mempunyai sumber khusus yang melekat dan merupakan bagian dari peralatan tersebut, contoh timbangan gravimetrik.
2. Kendaraan dan alat lainnya milik instalasi yang ada di setiap kawasan di lingkungan BATAN yang terkontaminasi secara tetap dan lekat serta tidak menimbulkan bahaya pada pemakai (dosis yang diterima tidak melebihi NBD mingguan). Bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi melakukan pencatatan perlengkapan ini dan bila mungkin secara periodik memberitahu pemilik tentang tingkat kontaminasinya. Pemindahan barang pada angka (1) dan (2) tidak perlu disertai dokumen persetujuan pengalihan dan pengangkutan dari BAPETEN.
3. Pemindahan peralatan atau barang terkontaminasi harus dilakukan sesuai dengan prosedur pemindahan peralatan atau barang yang berlaku. Peralatan atau barang terkontaminasi yang akan dipindahkan terlebih dahulu harus dilakukan pemeriksaan paparan radiasi dan kontaminasi permukaan oleh bidang keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi. Untuk menghindari terjadinya penyebaran kontaminasi, maka peralatan atau barang yang akan dipindahkan diperlukan penanganan/pewadahan khusus. Prosedur selanjutnya sama dengan prosedur pemindahan zat radioaktif.

8.4.2 Pemindahan barang terkontaminasi dari daerah instalasi nuklir ke luar lingkungan BATAN

Pemindahan peralatan atau barang terkontaminasi ke luar lingkungan BATAN hanya boleh dilakukan setelah ada kesepakatan secara legal antara pihak pengirim dan penerima serta mengikuti prosedur pengeluaran barang yang berlaku. Prosedur selanjutnya sama seperti pengiriman zat radioaktif ke luar dari lingkungan BATAN.

8.5 Pemindahan peralatan dan barang kontraktor dari daerah instalasi nuklir

Pemindahan ini berlaku ketentuan

1. Peralatan atau barang kontraktor yang digunakan dan dipakai di daerah instalasi nuklir selama kegiatannya di daerah tersebut, tidak dapat dibawa masuk atau dipindahkan keluar, sebelum ada izin dari petugas keamanan dan petugas keselamatan. Izin ini diperlukan untuk mencegah terjadi penyebaran kontaminasi.
2. Untuk memperoleh izin tersebut pihak kontraktor/pemilik barang mengajukan permohonan yang menjelaskan alasan pemindahan dan tujuan selanjutnya dari barang tersebut. Untuk hal tersebut petugas keselamatan melakukan pemeriksaan paparan radiasi dan tingkat kontaminasi.
3. Apabila tingkat kontaminasi permukaannya melebihi batas yang diizinkan, maka peralatan atau barang tersebut terlebih dahulu harus didekontaminasi sampai benar-benar bebas kontaminasi.
4. Setelah pemeriksaan tersebut, izin pengeluaran dari daerah instalasi nuklir dapat diberikan, dan izin tersebut harus ditunjukkan pada petugas keamanan di pos penjagaan.
5. Kontraktor/pemilik barang bertanggung jawab atas biaya dekontaminasi dan wajib mematuhi ketentuan tersebut.

8.6 Bahan nuklir

Pengendalian bahan nuklir mengikuti ketentuan seifgard *IAEA*. (sesuai prosedur pengendalian bahan nuklir setiap Instalasi/Unit kerja yang mempunyai *Material Balance Area*).

8.7 Pemindahan dokumen, buku-buku dan perlengkapan pribadi

Tiap pegawai bertanggung jawab menjaga buku, catatan, surat dan barang-barang lain miliknya yang digunakan di daerah Instalasi agar terbebas dari kontaminasi dan sedapat mungkin dibatasi penggunaannya hanya di tempat diperlukan.

PPR harus memeriksa peralatan dan barang yang berpotensi terkontaminasi milik pekerja radiasi yang akan pensiun. Prosedur selanjutnya sama seperti prosedur pemindahan peralatan atau barang dari daerah Instalasi.

8.8 Wadah untuk pengiriman

Wadah untuk pengiriman harus memenuhi kriteria penggunaan wadah untuk pengangkutan sebagaimana yang ditetapkan dalam ketentuan BAPETEN. Wadah yang dipakai berulang kali, setelah dipergunakan dan apabila akan digunakan lagi harus bebas dari kontaminasi. Apabila perlu harus dilakukan dekontaminasi untuk meyakinkan tidak adanya kontaminasi pada wadah. Apabila ada keraguan atas penanganan dekontaminasi dari wadah, Bidang Keselamatan dan/atau organisasi proteksi radiasi dapat memberikan rekomendasi tentang hal tersebut, dan bila perlu menyarankan penggantian wadah.

8.9 Tindakan keselamatan pada pengangkutan

Ketentuan dan tindakan keselamatan pada pengangkutan dan pengiriman bahan/zat radioaktif harus diberikan oleh PPR kepada pihak pelaksana pengangkutan sesuai ketentuan pengangkutan dari BAPETEN.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengangkutan antara lain adalah :

1. Tingkat radiasi dalam kabin pengemudi.
 - a. Apabila pengangkutan dilakukan dengan kendaraan, maka laju dosis radiasi dalam kabin pengemudi harus tidak boleh melebihi 0,3 NBD dan diukur agar tidak membahayakan pengemudi. Selain itu harus diperhatikan pula kemungkinan terjadinya kontaminasi pada kendaraan.
 - b. Pemeriksaan laju dosis radiasi dan tingkat kontaminasi harus dilakukan oleh PPR yang bertanggungjawab.
 - c. Kendaraan pengangkutan zat radioaktif jika terkontaminasi harus didekontaminasi.
 - d. Pengemudi dibekali instruksi kerja tentang hal-hal yang harus dilakukannya dalam hal terjadi kedaruratan.
 - e. Pengemudi sebaiknya dilengkapi dengan dosimeter saku.

2. Tanda bahaya dan tanda peringatan.

Apabila pengangkutan zat radioaktif dilakukan dengan angkutan darat, maka kendaraan pengangkutan harus dilengkapi dengan tanda peringatan dan tanda radiasi.

3. Tindakan keselamatan.

Setiap pengangkutan zat radioaktif yang berpotensi menimbulkan dampak radiologi pada pengangkutannya, harus:

- a. dikawal oleh petugas keamanan dan proteksi radiasi, petugas tersebut bertindak sebagai petugas penanggulangan apabila terjadi kecelakaan;
- b. dilengkapi dengan analisis kecelakaan, prosedur, dan tindakan penanggulangan.

8.10 Pemindahan wadah pakai ulang atau peralatan pemadam kebakaran

Pemindahan wadah ulang atau peralatan pemadam kebakaran yang digunakan di daerah instalasi nuklir hanya boleh dilakukan sesuai dengan prosedur pengeluaran peralatan atau barang. Tata cara dan prosedurnya sama dengan prosedur pemindahan peralatan atau barang dari daerah instalasi nuklir.

9 Pengelolaan Limbah Radioaktif

Limbah radioaktif sebagaimana dalam definisi tidak boleh dibuang akan tetapi dikelola dan diolah sehingga aman bagi lingkungan dan masyarakat. Dalam standar ini pengelolaan limbah radioaktif terutama ditujukan pada limbah radioaktif cair dan padat dan limbah non radioaktif serta limbah B3.

9.1 Ketentuan pengelolaan limbah radioaktif

Prinsip dalam pengelolaan dan penanganan limbah di setiap kawasan di lingkungan BATAN adalah sebagai berikut :

1. Pengelolaan limbah radioaktif didasarkan pada pencegahan dan perlindungan pekerja, masyarakat dan lingkungan dari adanya potensi bahaya dari limbah radioaktif baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

2. Lepas an efluen radioaktif ke lingkungan melalui cerobong (sistem ventilasi) maupun ke badan air dibatasi dalam jumlah yang sekecil mungkin dan sesuai batas yang diizinkan.
3. Limbah radioaktif (cair dan padat) yang berasal dari fasilitas di lingkungan BATAN dikelola oleh masing-masing fasilitas sebelum diolah di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) BATAN.
4. Pengolahan limbah radioaktif di lingkungan BATAN diserahkan ke unit yang berkompeten dan ditunjuk sebagai pelaksana pengolahan limbah radioaktif (IPLR) sehingga memenuhi ketentuan keselamatan dan keamanan.

9.2 Klasifikasi limbah radioaktif

Klasifikasi limbah radioaktif didasarkan pada aktivitas, konsentrasi aktivitas, waktu paruh, dan/atau jenis radiasi. limbah radioaktif diklasifikasikan dalam jenis :

1. Limbah radioaktif tingkat rendah
2. Limbah radioaktif tingkat sedang dan
3. Limbah radioaktif tingkat tinggi

Limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang berupa zat radioaktif terbungkus dan/atau zat radioaktif terbuka yang tidak digunakan lagi atau bahan dan peralatan terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan. Sedangkan limbah radioaktif tingkat tinggi berupa bahan bakar nuklir bekas.

Klasifikasi limbah radioaktif secara rinci ditampilkan pada Tabel 9.1. sebagai berikut :

Tabel 9.1 Klasifikasi Limbah Radioaktif

	Klasifikasi	Sub klasifikasi	kuantitas
A.	Limbah radioaktif tingkat rendah	1. Limbah radioaktif dengan waktu paro sangat pendek	$T_{1/2} < 150$ hari.
		2. Limbah radioaktif sangat rendah	a. Limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $T_{1/2} < 15$ tahun • $TP < A \leq 10$ MBq
			b. Limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $15 \text{ tahun} \leq T_{1/2} \leq 30$ tahun • $TP < A \leq 100$ kBq
			c. Selain limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $TP < KA \leq 100 \times TP$
		d. Limbah radioaktif relatif rendah	a. Limbah radioaktif terbungkus memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $T_{1/2} < 15$ tahun • $10 \text{ MBq} < \text{Aktivitas} \leq 100 \text{ MBq}$
			b. Limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $15 \text{ tahun} \leq T_{1/2} \leq 30$ tahun • $100 \text{ kBq} \leq \text{Aktivitas} \leq 1 \text{ MBq}$
c. Selain limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $100 \text{ Bq/g} < KA \leq 1000 \times TP$ untuk pemancar β • $100 \text{ Bq/g} < KA \leq 400 \text{ Bq/g}$ untuk pemancar α. 			

B.	Limbah Radioaktif Tingkat Sedang		a. Limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $T_{1/2} < 15$ tahun • $100 \text{ MBq} < A \leq 100 \text{ TBq}$
			b. Limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $15 \text{ tahun} < T_{1/2} \leq 30 \text{ tahun}$ • $1 \text{ MBq} < A \leq 1 \text{ PBq}$
			c. Limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $T_{1/2} > 30$ tahun • $40 \text{ MBq} < A \leq 10 \text{ GBq}$.
			d. Selain limbah radioaktif terbungkus yang memiliki : <ul style="list-style-type: none"> • $1000 \times \text{TK} < \text{KA} \leq 100 \text{ GBq/g}$, untuk pemancar β dan γ • $400 \text{ Bq/g klierens} < \text{KA} \leq 100 \text{ GBq/g}$, untuk pemancar α
C.	Limbah radioaktif tingkat tinggi		Berupa bahan bakar nuklir bekas

Keterangan :

A : Aktivitas

KA : Konsentrasi Aktivitas

TP : Tingkat Pengecualian

TK : Tingkat Klierens

Limbah radioaktif tingkat tinggi berupa bahan bakar nuklir bekas dengan karakteristik :

- Asal limbah
- Faktor burn-up
- Kandungan uranium dan plutonium
- Aktivitas
- Panas pembangkitan
- Riwayat *loading* dan *unloading* bahan bakar nuklir

9.3 Jenis limbah radioaktif

Berdasarkan bentuk fisiknya, limbah yang berasal dari kegiatan instalasi di setiap kawasan di lingkungan BATAN dapat berbentuk padat, cair dan gas/aerosol. Selain limbah radioaktif, ada limbah yang non radioaktif yang mengandung B3 atau bahan kimia kadaluwarsa.

Sesuai dengan cara pengolahan limbah radioaktif, maka limbah radioaktif dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Limbah radioaktif cair
2. Limbah radioaktif semi cair
3. Limbah radioaktif padat
 - a. Limbah radioaktif padat material terkontaminasi (LRPMT), terbakar
 - b. Limbah radioaktif padat material terkontaminasi (LRPMT), terkompaksi
 - c. Limbah radioaktif padat material terkontaminasi (LRPMT), tidak terbakar dan tidak terkompaksi.
 - d. Limbah radioaktif aktivitas tinggi berupa material teraktivasi.
4. Limbah radioaktif sumber terbungkus.

9.3.1 Limbah radioaktif cair

Limbah radioaktif cair diolah dengan cara evaporasi untuk mereduksi volume sehingga limbah radioaktif yang dikelola dalam jumlah sekecil mungkin. Sebelum dikirim ke IPLR, penghasil limbah harus mengelola limbah radioaktif cair agar aman dengan melakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Limbah radioaktif cair yang memiliki aktivitas \geq batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan dilakukan peluruhan atau pengolahan di IPLR .
2. Limbah radioaktif cair yang diolah dengan evaporasi di IPLR memiliki aktivitas maksimal $7,4 \times 10^8$ Bq.
3. Limbah radioaktivitas cair yang mengandung radionuklida pemancar alpha, agar dipisahkan.
4. Tidak boleh mengandung bahan organik, bahan korosif dan eksplosif
5. Kandungan klorida lebih kecil dari 0,1 g/l
6. Limbah ini jika dalam jumlah kecil ditampung dalam jerigen atau botol dan diletakkan dalam drum *High Density Poly Etilen (HDPE)*.
7. Sebelum dikirim ke IPLR, limbah disimpan dalam ruang tersendiri dan dalam pemantauan dan pengawasan PPR.
8. Penghasil limbah tidak diperkenankan untuk melakukan pengenceran limbah cair yang berlawanan dengan prinsip pemekatan dalam pengolahan limbah radioaktif.
9. Limbah cair dengan aktivitas di bawah baku tingkat radioaktivitas lingkungan dapat dibuang ke lingkungan.
10. Lepasannya limbah cair oleh fasilitas ke lingkungan, di bawah pengawasan dari pusat yang kompeten atau yang ditunjuk dalam kawasan BATAN, setelah dilakukan analisis dan didokumentasikan dalam bentuk berita acara.
11. Limbah radioaktif cair yang akan diolah atau dikirim ke IPLR harus diberi keterangan oleh penghasil limbah yaitu :
 - a. Jenis kandungan radionuklida dan aktivitasnya
 - b. Kegiatan asal limbah
 - c. Volume
 - d. Paparan radiasi
 - e. Derajat Keasaman dan konduktivitas
12. Tata cara pengiriman limbah radioaktif sesuai dengan prosedur yang berlaku.

9.3.2 Limbah Radioaktif Semi Cair

Limbah radioaktif semi cair yang dihasilkan dari kegiatan pengoperasian instalasi nuklir/ radioaktif berupa resin bekas yang terdiri dari campuran resin anion dan kation. Sebelum resin bekas dikirim ke IPLR, Penghasil limbah harus melakukan persyaratan sebagai berikut:

1. Aktivitas spesifik yang diijinkan antara $3,7 \times 10^4$ Bq/m³ – 1×10^8 Bq/m³ dan
2. Tidak mengandung nuklida pemancar alpha.
3. Dikemas dalam kontener PVC dengan volume tidak lebih dari 3 m³ yang dilengkapi dengan *manhole* pada tutup bagian atas.

4. Kontener PVC diletakkan di atas *pallet* kayu.
5. Paparan pada permukaan kontener $\leq 2000 \mu\text{Sv/jam}$.

9.3.3 Limbah Radioaktif Padat

Limbah radioaktif padat dikelompokkan menjadi :

1. Limbah Radioaktif Padat Material Terkontaminasi (LRPMT) terbakar
 - a. Jenis limbah ini adalah berupa bahan yang bisa terbakar seperti kertas, kain, dan kayu.
 - b. Aktivitas maksimum untuk alpha $3,7 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3$ dan beta/gamma $3,7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$.
 - c. Tidak boleh mengandung sumber terbungkus.
 - d. Penghasil LRPMT harus mengemas dalam drum dengan volume 100 liter berwarna kuning yang dilapisi kantong plastik transparan pada bagian dalamnya.
 - e. Drum dengan dimensi; diameter 44 cm, tinggi 68 cm dan tebal 0,5 mm.
 - f. Berat drum berisi limbah tidak boleh melebihi 30 kg.
 - g. Laju dosis pada permukaan drum 100 liter $\leq 2500 \mu\text{Sv/jam}$.
 - h. Permukaan drum bebas kontaminasi.
2. Limbah Radioaktif Padat Material Terkontaminasi (LRPMT), terkompaksi :
 - a. Jenis limbah berupa bahan bisa dikompaksi seperti logam lunak, plastik, gelas kaca, botol kosong, jarum suntik, karet.
 - b. Aktivitas maksimum untuk alpha $3,7 \times 10^6 \text{ Bq/m}^3$ dan beta/gamma $3,7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$
 - c. Tidak boleh mengandung sumber terbungkus maupun cairan.
 - d. Penghasil LRPMT harus mengemas dalam drum dengan volume 100 liter berwarna kuning yang dilapisi kantong plastik transparan pada bagian dalamnya.
 - e. Drum dengan dimensi; diameter 44 cm, tinggi 68 cm dan tebal 0,5 mm.
 - f. Berat drum berisi limbah tidak boleh melebihi 30 kg.
 - g. Laju dosis pada permukaan drum 100 liter $\leq 2500 \mu\text{Sv/jam}$.
 - h. Permukaan drum bebas kontaminasi.
3. Limbah Radioaktif Padat Material Terkontaminasi (LRPMT), tidak terbakar dan tidak terkompaksi.
 - a. Jenis limbah berupa bahan seperti tanah, abu, beton dan logam keras.
 - b. Tidak boleh mengandung sumber terbungkus.
 - c. Tidak boleh dicampur dengan material teraktivasi yang memiliki paparan radiasi tinggi.
 - d. Penghasil LRPMT harus mengemas dalam drum dengan volume 100 liter berwarna kuning yang dilapisi kantong plastik transparan pada bagian dalamnya.
 - e. Drum dengan dimensi; diameter 44 cm, tinggi 68 cm dan tebal 0,5 mm.
 - f. Berat drum berisi limbah tidak boleh melebihi 60 kg.
 - g. Laju dosis pada permukaan drum 100 liter $\leq 2500 \mu\text{Sv/jam}$.
 - h. Permukaan drum bebas kontaminasi.

4. Limbah radioaktif berupa material teraktivasi.

Limbah jenis ini berupa logam-logam yang diaktivasi dan tidak digunakan lagi, misalnya reflektor yang tidak digunakan yang berasal dari kegiatan di instalasi nuklir wajib dikelola oleh penghasil limbah.

9.3.4 Limbah radioaktif sumber terbungkus

Limbah berupa sumber terbungkus yang tidak digunakan lagi, harus dikemas ke dalam kontener aslinya atau kontener kayu atau logam sehingga paparan radiasi tidak membahayakan pekerja dan lingkungan dan terdokumentasi.

9.4 Pengelolaan limbah radioaktif

9.4.1 Pengumpulan, pengelompokan dan pengolahan limbah radioaktif

1. Penghasil limbah radioaktif wajib melakukan pengumpulan dan pengelompokan zat radioaktif terbuka dan bahan serta peralatan yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi.
2. Penghasil limbah radioaktif wajib melakukan pengolahan zat radioaktif terbuka dan bahan serta peralatan yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi dengan metode :
 - a. Peluruhan aktivitas.
 - b. Reduksi volume.
 - c. Pengubahan komposisi.
 - d. Pengondisian.
3. Jika dalam proses pengolahan tidak bisa mencapai klierens, maka penghasil limbah wajib menyerahkan ke IPLR.
4. Penghasil limbah radioaktif wajib melakukan penyimpanan sementara setelah pengolahan zat radioaktif terbuka dan bahan serta peralatan yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan, sebelum diserahkan ke IPLR.
5. Pembuangan zat radioaktif terbuka dan bahan serta peralatan yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi yang telah mencapai nilai di bawah atau sama dengan tingkat klierens dilakukan oleh pusat yang ditunjuk dalam kawasan BATAN, setelah penghasil limbah memperoleh penetapan klierens dari BAPETEN.
6. Limbah radioaktif yang dominan berumur panjang harus dipisahkan dari limbah radioaktif lainnya.
7. Penghasil limbah radioaktif selama melakukan pengumpulan, pengelompokan dan/atau pengolahan wajib melakukan perekaman dan pendokumentasian.

9.4.2 Pengemasan dan pelabelan limbah radioaktif

1. Sebelum dilakukan pengiriman ke IPLR, terlebih dahulu harus dipastikan bahwa limbah radioaktif telah terjamin keselamatannya.
2. PPR melakukan pengukuran paparan radiasi baik pada kontak wadah maupun pada jarak 1 meter dari permukaan wadah.
3. Limbah radioaktif yang akan diolah atau dikirim ke IPLR harus diberi label keterangan oleh penghasil limbah yaitu :
 - Jenis kandungan radionuklida dan aktivitasnya

- Kegiatan asal limbah
 - Volume/berat
 - Paparan radiasi pada kontak dan jarak 1 meter
 - Tanggal pengukuran
4. Limbah cair yang berasal dari tangki penampungan di instalasi, dilakukan analisis kandungan dan aktivitasnya oleh penghasil limbah, jika hasil analisis lebih rendah dari BTR di lingkungan, maka diajukan ke pusat yang ditunjuk di kawasan BATAN untuk disalurkan ke Penampungan Buangan Terpadu (PBT). Jika hasil analisis lebih tinggi atau sama dengan BTR, maka limbah harus dikirim ke IPLR sesuai prosedur.

9.4.3 Penyimpanan sementara di penghasil limbah

1. Limbah radioaktif sebelum dikirim ke IPLR ditempatkan pada tempat yang aman di ruang penyimpanan sementara limbah yang memenuhi keselamatan dan diberi tanda "Limbah Radioaktif".
2. PPR harus melakukan pemantauan selama penyimpanan sebelum limbah dikirim ke IPLR.
3. Bahan bakar nuklir bekas disimpan sementara di kolam penyimpanan sekurang-kurangnya selama 100 hari. Bahan bakar nuklir bekas yang cacat harus di kemas dalam kontener yang berintegritas tinggi (*High Integrated Container*), sebelum disimpan di kolam penyimpanan sementara di IPSB3.

9.4.4 Pengangkutan limbah radioaktif dan pemindahan bahan bakar nuklir bekas

1. Instalasi yang akan melakukan pengiriman limbah radioaktif terlebih dahulu harus menyampaikan surat permohonan ke pusat yang berkompeten mengolah limbah radioaktif dengan menyebutkan jenis dan jumlah limbah yang akan dikirim.
2. Sebelum dilakukan pengangkutan, pihak pengolah limbah radioaktif (IPLR) terlebih dahulu akan melakukan survey yang meliputi :
 - a. Pemeriksaan kondisi wadah
 - b. Klarifikasi isi limbah radioaktif yang akan diangkut dengan surat permohonan yang dikirim
 - c. Pengukuran laju dosis/ paparan radiasi pada permukaan dan jarak 1 meter
 - d. Jika paparan radiasi dan/ atau berat melebihi dari yang disyaratkan, maka penghasil limbah harus mengurangi dan menempatkan dalam wadah yang lain.
 - e. Jika bungkusan limbah radioaktif telah dinyatakan layak angkut, maka akan dilakukan penyegelan dan selanjutnya akan memberikan rekomendasi proses pengangkutan.
3. Instalasi yang akan melakukan pemindahan Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) harus melakukan koordinasi dengan pihak-pihak terkait dengan melengkapi data-data sesuai persyaratan dalam peraturan Kepala BAPETEN No. 04 Tahun 2011.

9.4.5 Proses pengolahan limbah radioaktif

Proses pengolahan limbah radioaktif dilakukan sebagai berikut:

1. Proses pengolahan limbah cair dilakukan dengan pengurangan volume melalui proses penguapan atau evaporasi, konsentrat hasil penguapan selanjutnya dikungkung/ immobilisasi melalui proses sementasi.

2. Proses sementasi untuk mengolah limbah radioaktif konsentrat hasil evaporasi ataupun limbah resin bekas. Limbah dicampur dengan bahan semen, pasir, aditif dan air dalam wadah *shell* beton dengan volume 950 liter. Dengan cara ini limbah radioaktif akan terkungkung secara tetap dalam matrik beton dan sekaligus merupakan penghambat dari radiasi yang dipancarkan oleh zat radioaktif yang terkungkung.
3. Limbah radioaktif padat dan material terkontaminasi yang terkompaksi dilakukan proses pemampatan atau kompaksi. Limbah sebelumnya telah melalui penyortiran untuk meyakinkan tidak ada limbah yang berupa cairan atau yang tidak dapat dimampatkan. Limbah dalam drum volume 100 liter dimampatkan ke dalam drum volume 200 liter dengan mesin kompaktor, sehingga setiap satu drum 200 liter dapat berisi 6-7 drum limbah 100 liter terkompaksi. Bagian rongga antara limbah terkompaksi dan drum 200 liter, diisi dengan koral dan adonan semen cair dengan demikian limbah dalam drum 200 liter akan terkungkung dalam matrik semen.
4. Limbah radioaktif padat yang tidak terkompaksi (misal tanah) dilakukan immobilisasi langsung, yaitu limbah dalam drum 100 liter dimasukkan dalam drum 200 liter dan dilakukan immobilisasi menggunakan adonan semen.
5. Limbah padat yang terbakar dan limbah radioaktif dengan pelarut organik untuk mengurangi volume dilakukan proses dengan cara pembakaran (insenerasi). Hasil proses pembakaran berupa gas buang dan abu. Gas buang sebelum dilepas ke lingkungan, mengalami filtrasi dan penetralan, sedangkan abu selanjutnya dilakukan immobilisasi menggunakan adonan semen untuk mengungkung.
6. Pengolahan limbah radioaktif sumber bekas disesuaikan dengan kategori limbahnya.
7. Limbah yang berupa sumber bekas dengan kategori 3-5 dapat dilakukan *dismantling* untuk mengurangi volumenya dan dilakukan kondisioning dalam *shell* beton volume 350 liter.

9.4.6 Penyimpanan limbah yang telah diproses.

Limbah yang telah diproses dan dikungkung selanjutnya dipindah ke tempat penyimpanan yang aman. Tempat penyimpanan ini berupa bangunan yang terhindar dari hujan dan banjir, dinding bangunan dirancang untuk mampu menahan radiasi dari limbah yang terkungkung. Dengan demikian limbah radioaktif yang berasal dari kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir akan aman dan tidak mencemari lingkungan.

9.5 Pengaturan dan pengawasan limbah radioaktif yang dilepas ke lingkungan

1. Pengaturan pembuangan limbah radioaktif dalam jumlah kecil terutama dalam bentuk gas/aerosol ke udara, dan dalam bentuk cair ke saluran pembuangan atau badan air didasarkan pada Batas Buangan Maksimum (BBM) yang ditetapkan peraturan. Pembuangan limbah ini diawasi melalui pelaksanaan pemantauan lingkungan. BBM ini diturunkan melalui perhitungan berdasarkan batas dosis maksimum untuk masyarakat yang ditetapkan BAPETEN.
2. Untuk pengawasan administratif, batas buangan ditetapkan pada nilai 0,6 dari nilai BBM. Batas administratif ini tidak boleh dilampaui, tanpa adanya alasan yang jelas dan atas izin dari bidang keselamatan tiap instalasi di lingkungan BATAN.
3. Pengontrolan buangan ke udara dan ke saluran pembuangan pada tiap instalasi nuklir dilakukan tiap instalasi dan harus dilaporkan kepada pusat yang bertanggung jawab melaksanakan pemantauan radioaktivitas lingkungan dan melakukan analisis dampak lingkungan dari adanya lepasan zat radioaktif ke lingkungan di setiap lingkungan kawasan BATAN.

9.5.1 Pengelolaan efluen radioaktif cair dan gas/aerosol

Pengelolaan limbah radioaktif yang berupa efluen radioaktif cair ke lingkungan diatur pada bab 11 tentang pemantauan radioaktivitas lingkungan.

9.6 Limbah bahan kimia dan biologi

1. Setiap kawasan di lingkungan BATAN harus menunjuk pusat dalam lingkungannya untuk mengumpulkan dan /atau mengelola limbah B3.
2. Limbah bahan kimia kadaluwarsa dan biologi yang berasal dari laboratorium atau instalasi dikelola oleh pusat yang kompeten dan ditunjuk di setiap kawasan BATAN.
3. Limbah B3 dan biologi dapat berbentuk padat atau cair dan tidak bercampur dengan zat radioaktif.
4. Penghasil limbah harus mengelompokkan limbah B3 sesuai dengan klasifikasi dan potensi bahayanya.
5. Limbah bahan kimia yang tercampur atau terkontaminasi dengan zat radioaktif dikategorikan menjadi limbah radioaktif, sedangkan limbah biologi yang tidak infeksius tetapi terkontaminasi radioaktif dikategorikan sebagai limbah radioaktif.
6. Limbah biologi yang infeksius dan terkontaminasi radioaktif dikategorikan sebagai limbah infeksius, dan disimpan untuk peluruhan.
7. Limbah B3 dan biologi disimpan dalam wadah aslinya atau dalam jerigen yang diberi label/ tanda yang berisi keterangan sedikitnya meliputi jenis senyawa, jumlah, klasifikasi dan telah dikemas sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan pusat yang ditunjuk dalam kawasan di lingkungan BATAN.
8. Instalasi yang akan melakukan pengiriman limbah B3 terlebih dahulu harus menyampaikan surat permohonan ke pusat yang berkompeten mengelola limbah B3 dengan menyebutkan jenis dan jumlah limbah yang akan dikirim.
9. Sebelum dilakukan pengangkutan, pihak pengelola limbah terlebih dahulu akan melakukan survei yang meliputi :
 - a. Pemeriksaan kondisi wadah.
 - b. Klarifikasi isi limbah yang akan diangkut dengan surat permohonan yang dikirim.
 - c. Jika bungkusan limbah telah dinyatakan layak angkut, maka akan dilakukan penyegelan dan selanjutnya akan memberikan rekomendasi proses pengangkutan.
10. Setiap kawasan di lingkungan BATAN yang mengelola limbah B3 bertanggungjawab mengirim limbah B3 yang terkumpul ke industri pengolah limbah B3.

9.7 Limbah non radioaktif

1. Setiap instalasi harus menyediakan tempat untuk limbah yang tidak terkontaminasi zat radioaktif seperti kertas, plastik, serpihan kaca/ logam dan lain-lain dan ditempatkan terpisah dan jauh dari tempat penyimpanan limbah yang terkontaminasi zat radioaktif dan diberi tanda.
2. Limbah non radioaktif di tempatkan dalam kantong plastik dan ditutup atau diikat dan diberlakukan sebagai limbah rumah tangga.
3. Limbah non radioaktif yang berasal dari daerah aktif wajib dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bebas kontaminasi radioaktif.

10 Perlengkapan keselamatan kerja

10.1 Umum

Dalam bagian ini diuraikan beberapa jenis perlengkapan keselamatan kerja (*protective devices*) yang meliputi respirator, alat pelindung diri/bagian tubuh, perlengkapan pemadam kebakaran dan perlengkapan P3K. Perlengkapan keselamatan kerja ini dapat ditambah sesuai dengan kebutuhan masing-masing instalasi.

10.2 Respirator dan alat pelindung diri

Tujuan pemakaian respirator dan alat pelindung diri adalah untuk melindungi tubuh/bagian tubuh dari bahaya radiasi dan kontaminasi, baik dalam kegiatan normal maupun dalam kegiatan penanggulangan bahaya atau penyelamatan diri. Rekomendasi pemakaian peralatan tersebut:

1. Di daerah kerja yang dirancang dan dikontrol secara baik, pemakaian respirator dan perlengkapan pelindung hampir tidak diperlukan kecuali dalam keadaan darurat ataupun kegiatan nonrutin yang berisiko tinggi.
2. Penggunaan ini terutama ditujukan untuk kegiatan di daerah kerja yang melebihi batasan kontaminasi yang ditetapkan sebelumnya.
3. Penggunaan respirator dan perlengkapan pelindung hanya akan efektif apabila digunakan menurut cara dan aturan yang benar. Oleh karena itu setiap pekerja harus dilatih dalam penggunaan alat tersebut dan harus dibuat petunjuk pemakaian dan penggunaannya.

10.2.1 Respirator

Respirator adalah alat untuk mencegah masuknya bahan/zat radioaktif ataupun bahan berbahaya dan beracun ke dalam tubuh melalui pernapasan ataupun melalui mulut, bergantung pada bentuk dan jenis bahan penyaring yang digunakan dan tujuan pemakaiannya. Beberapa jenis respirator yang dapat digunakan di Kawasan Nuklir BATAN adalah sebagai berikut:

1. Respirator tanpa pemasok udara

Ciri-ciri berikut dapat digunakan sebagai indikasi minimal :

- a. Respirator ini tidak dilengkapi dengan alat pemasok udara dan fungsinya untuk mencegah masuknya kontaminan dari udara melalui saluran pernafasan.
- b. Bentuk respirator ini ada yang berupa setengah muka (*half face piece*), seluruh muka (*full face piece*) dan ada pula yang berbentuk *hood*, yang dilengkapi dengan sungkup pengungkung bagian kepala.
- c. Respirator ini dilengkapi dengan filter penyerap kontaminan dan jenis ini ada yang dapat menahan gas/aerosol, uap dan partikel dengan ukuran tertentu.
- d. Respirator ini hanya dapat digunakan di daerah yang cukup oksigennya dan tidak dapat digunakan di daerah yang kekurangan oksigen, seperti di daerah kebakaran atau daerah lain yang mengandung asap.
- e. Pemilihan jenis respirator yang sesuai bagi tiap orang di tiap tempat diatur dan ditentukan oleh petugas keselamatan. Berbagai jenis respirator tanpa pemasok udara diperlihatkan pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1 - Contoh respirator tanpa Pemasok udara

- f. Hal yang penting untuk diperhatikan dalam pemakaian alat ini adalah ukuran dan bentuk muka pemakainya. Respirator ini tidak efektif dipakai oleh mereka yang berjanggut. Dalam pemesanan alat ini adalah ukuran dan jenis filter yang diperlukan harus pula diperhatikan. Dalam hal ini ukuran filter disesuaikan dengan diameter/ukuran partikel dan terkadang respirator juga menahan gas dan uap. Jenis respirator ini tidak dapat digunakan di daerah kekurangan oksigen.

2. Respirator dengan pemasok udara

Ciri-ciri berikut dapat dijadikan indikator minimal:

- a. Respirator jenis ini dilengkapi dengan pemasok udara untuk pernafasan dengan demikian jenis respirator ini lebih efektif digunakan untuk mencegah masuknya berbagai kontaminan ke dalam tubuh melalui saluran pernafasan. Respirator ini dilengkapi dengan pemasok udara agar bahan tercemar tidak masuk ke saluran pernafasan dan mulut. Respirator ini dapat digunakan untuk menahan partikel, gas atau uap.
- b. Udara atau oksigen yang dibutuhkan dapat berasal dari sumber udara yang kontinyu dan dari sumber terbatas berupa tabung oksigen. Jenis yang menggunakan sumber kontinyu mempunyai daya tahan yang lebih lama akan tetapi terbatas daerah gerakan yang dilakukan, karena bergantung pada panjang saluran udara yang digunakan antara sumber dengan pemakai respirator.
- c. Pada jenis kedua, waktu pemakaian terbatas, bergantung pada kapasitas tabung, akan tetapi daerah gerakan tidak terbatas. Oleh karena itu respirator dengan pemasok udara dari sumber kontinyu umumnya digunakan untuk kegiatan-kegiatan perbaikan atau kegiatan khusus lainnya di daerah tertentu, sedang jenis kedua lebih banyak digunakan oleh petugas penyelamat atau pemadam kebakaran.
- d. Bentuk respirator dengan pemasok udara ada yang dapat meliputi setengah muka (*half-face*), seluruh muka (*full-face*) atau berbentuk *hood* yang meliputi seluruh bagian kepala yang dikombinasikan dengan pakaian.
- e. Respirator jenis terakhir ini baik digunakan dalam daerah yang mengandung kontaminan dalam bentuk uap atau gas. Keuntungan lain dari respirator jenis ini adalah dapat digunakan dalam daerah yang kadar oksigennya rendah. Berbagai jenis respirator dengan pemasok udara diperlihatkan pada Gambar 10.2.



Gambar 10.2 - Contoh respirator dengan pemasok udara

10.2.1.1 Persyaratan pemakaian respirator

Beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan dalam pemakaian respirator:

1. Pemakaian respirator hanya diperkenankan setelah ada persetujuan dari bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi.
2. Tiap jenis dan bentuk respirator mempunyai batasan tertentu dan tidak dapat digunakan pada setiap tempat atau keadaan.
3. Respirator tanpa pemasok udara tidak dapat dipakai untuk daerah yang kadar oksigennya rendah.
4. Tiap jenis filter mempunyai kapasitas tertentu dan apabila telah jenuh tidak efektif digunakan.
5. Pemakaian respirator tanpa pemasok udara/oksigen akan menghambat pernapasan dalam batas tertentu.
6. Bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi bertanggung jawab dalam memilih/menyediakan respirator yang sesuai serta mengawasi pemeliharaan, pemeriksaan kebocoran dan tingkat kontaminasinya.

10.2.1.2 Hambatan dalam pemakaian respirator

Beberapa hambatan dalam pemakaian respirator yang perlu diperhatikan oleh tiap pekerja dan petugas keselamatan adalah:

1. respirator tidak efektif apabila dipakai oleh orang yang berjanggut/bercambang, kecuali tipe *hood*;
2. pemakaian respirator tanpa pasokan udara akan mengganggu pernafasan;
3. respirator dengan muka tertutup (*full-facepiece*) akan mengganggu daya pandang;
4. pemakaian respirator tipe *hood* bisa mengganggu kemampuan pandangan dan pendengaran, kecuali yang dirancang khusus.

10.2.2 Alat pelindung tubuh

10.2.2.1 Kacamata pengaman

1. Untuk melindungi mata dari bahaya yang timbul dari kegiatan yang dilakukan pekerja, baik berasal dari benda padat berupa serpihan logam atau debu, cairan atau gas yang membahayakan mata ataupun radiasi ultra violet atau radiasi pengion, maka petugas harus menggunakan kacamata pelindung.
2. Berbagai kaca mata tersebut harus disediakan oleh bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi, sesuai dengan potensi jenis bahaya yang dihadapi tiap pekerja dalam

daerah supervisinya. Bentuk kaca mata ini ada yang seperti kaca mata biasa dan ada pula yang berbentuk tertutup untuk seluruh bagian muka. Berbagai jenis kaca mata pengaman diperlihatkan pada Gambar 10.3.



Gambar 10.3 - Contoh berbagai jenis kaca mata pengaman

10.2.2.2 Pelindung kepala

1. Untuk melindungi kepala dari benturan, jatuhnya benda berat ataupun kontaminasi dari debu, harus disediakan penutup kepala.
2. Penutup kepala ini berbentuk helm yang sebaiknya terbuat dari bahan plastik yang keras dan ukurannya dapat diatur menurut ukuran kepala pemakai.
3. Untuk mencegah kontaminasi dari debu/aerosol ataupun cairan dapat dipilih berbagai jenis bentuk penutup kepala yang terbuat dari berbagai jenis bahan. Penutup kepala ini ada yang berbentuk topi dan ada pula yang berbentuk songkok, yang menutupi seluruh bagian kepala, pemilihan bentuk ini bergantung pada jenis kontaminan dan ukuran partikel debunya.
4. Bahan penutup kepala ini ada yang terbuat dari katun dan ada pula dari bahan plastik. Jenis bahan plastik umumnya digunakan untuk menghadapi kontaminan dalam bentuk aerosol zat organik.

Berbagai jenis pelindung kepala diperlihatkan pada Gambar 10.4.



Gambar 10.4 - Contoh berbagai jenis pelindung Kepala

10.2.2.3 Pelindung tangan dan kaki (*shoe and hand cover*)

1. Pelindung tangan dan kaki harus dipergunakan, untuk melindungi tangan dari bahaya panas, cairan yang korosif dan kontaminasi zat radioaktif.
2. Berbagai jenis dan bentuk sarung tangan dapat dipilih. Sarung tangan ini ada yang pendek untuk melindungi tangan hingga pergelangan dan ada pula yang melindungi sampai siku. Jenisnya juga beragam dapat dipilih dari jenis kulit, kain katun, plastik, atau karet, bergantung jenis bahaya yang dihadapi dan perlindungan yang diperlukan.
3. Tiap instalasi harus menyediakan sarung tangan yang sesuai dengan kebutuhannya.
4. Untuk melindungi kaki atau bagian kaki dari berbagai jenis bahaya dan dari kontaminasi tersedia berbagai bentuk pelindung kaki. Jenis dan bentuk pelindung kaki ini beragam, bergantung pada potensi bahaya yang dihadapi dan perlindungan yang diharapkan.
5. Untuk pekerjaan mekanik maka sepatu pengaman pilih yang terbuat dari bahan yang kuat dan dilapisi lempeng baja pada bagian depannya (*safety shoes*). Pelindung kaki dari bahan kain atau plastik sebatas mata kaki (*shoe cover*) umumnya digunakan untuk mencegah kontaminasi pada pekerja yang bekerja dalam daerah kontaminasi rendah sampai sedang.
6. Beberapa laboratorium dapat menyediakan sepatu khusus untuk bekerja di laboratorium tersebut, seperti sepatu *boot* dari karet sering digunakan untuk pekerja dalam daerah kontaminasi tinggi. Sepatu *boot* ini juga digunakan dalam penanggulangan kecelakaan, dan kadang-kadang mempunyai tali pengikat pada bagian atas atau dapat dihubungkan pada baju pelindung. Berbagai jenis pelindung tangan dan kaki diperlihatkan pada Gambar 10.5.
7. Di daerah atau ruangan yang harus dijaga kebersihannya dari debu, penutup sepatu dari bahan kain dan plastik baik juga selalu digunakan. Apabila dalam ruangan tersebut tingkat kelembabannya rendah maka untuk mencegah adanya listrik statis pada penutup sepatu dari bahan plastik, bagian bawah dari penutup sepatu diberi lapisan tipis logam.



Gambar 10.5 - Berbagai jenis pelindung tangan dan kaki

10.2.2.4 Rompi pantul cahaya (*reflective vest*)

1. *Reflective vest* harus digunakan oleh pekerja yang bekerja atau berada di area yang gelap misal saat keliling piket pada malam hari. Waktu pemakaiannya dapat siang hari saat kabut dan malam hari.
2. *Reflective vest* tidak wajib dipakai, jika pada baju pekerja sudah dipasang *strip reflective (reflective type)*. Berbagai jenis rompi pantul cahaya diperlihatkan pada Gambar 10.6



Gambar 10.6 - Berbagai jenis rompi pantul cahaya

10.2.2.5 Pelindung percikan (*safety goggles*)

1. *Safety goggles* digunakan untuk melindungi mata dari percikan benda asing yang datangnya dari depan, samping, bawah dan atas. *Safety Goggles* wajib dikenakan ketika bekerja pada pekerjaan yang mempunyai risiko terkena percikan benda /bahan dari semua arah, misalnya las /*welding*, gerinda, dan lain-lain.
2. *Safety goggles* untuk las (*welding*) harus dengan *double lens* /dua lensa (*clear & dark*), untuk pekerjaan lainnya *safety goggles* dapat digunakan *tyre single lens* /satu lensa (*clear*).

10.2.2.6 Pelindung telinga (*ear plug/ear muff*)

Pelindung telinga digunakan ketika masuk ke area yang menimbulkan tingkat kebisingan tinggi, atau di sekitar orang yang melakukan pekerjaan dengan tingkat kebisingan tinggi, misalnya masuk ruang *genset*, pekerjaan pengolahan limbah dengan sementasi, di area pompa/*multiflow*, dan lainnya. Contoh pelindung telinga diperlihatkan pada Gambar 10.7



Gambar 10.7 - Contoh pelindung telinga

10.2.2.7 Masker

Masker digunakan untuk melindungi saluran pernafasan dari masuknya benda asing, seperti debu atau kontaminasi zat radioaktif. Masker wajib dipakai ketika pekerja berada di area yang mempunyai risiko kontaminasi zat radioaktif melalui saluran pernafasan. Tipe masker yang digunakan tergantung dari jenis benda yang berpotensi terhirup ke saluran pernafasan. Berbagai jenis masker diperlihatkan pada Gambar 10.8.



Gambar 10.8 - Berbagai jenis masker

10.2.2.8 Pemakaian eye wash

Eye wash adalah alat pembilas mata yang berfungsi untuk mengurangi bahaya kontaminasi zat radioaktif atau B3 lain ke bagian mata.

10.2.2.9 Pakaian Pelindung

1. Untuk melindungi tubuh atau bagian tubuh atau pakaian dari berbagai bahan kontaminan dan bahan pengotor harus digunakan pakaian pelindung. Pakaian pelindung kontaminasi untuk pekerja radiasi sama dengan pakaian kerja untuk bekerja dengan bahan kimia, dan berbeda dengan yang digunakan pekerja di bengkel mekanik atau elektrik.
2. Pakaian pekerja radiasi harus menutupi sebagian besar tubuh dan bahannya terbuat dari plastik atau katun. Beberapa jenis pakaian pelindung ini antara lain:
 - a. Jenis yang sekali pakai buang
 - b. Pakaian ini dibuat dari plastik PVC tebal 0,1 mm sehingga mudah dipakai tetapi tidak dianjurkan digunakan dalam ruangan yang suhunya lebih dari 30 °C. Ada juga pakaian pelindung jenis ini yang terbuat dari bahan *polyester*.
 - c. Jenis yang dapat dipakai beberapa kali, pakaian ini dibuat dari kertas plastik (*t-bag*) yaitu dari bahan serat polipropilen yang dipres atau bahan katun. Pakaian ini dapat berbentuk menutup seluruh tubuh (*coverall*, baju atau celana), jas laboratorium dan

lain-lain. Pakaian ini apabila tidak terkontaminasi dapat dipakai beberapa kali, sebelum akhirnya dilimbahkan.

- d. Jenis ketiga adalah yang dapat dicuci dan dan dipakai terus menerus dan dilengkapi dengan pemasok udara dengan aliran 0,6 s/d 0,7 m³. Pakaian ini khususnya dipakai di daerah yang kontaminasinya tinggi dan di ruangan yang suhunya relatif tinggi dan kerja di daerah tersebut akan menimbulkan keringat atau panas yang berlebihan. Dengan adanya udara alir akan mengurangi pengaruh panas dan kontaminasi.
 - e. Pakaian pelindung yang digunakan dalam penanggulangan kedaruratan radiasi bentuk dan sifatnya umumnya sama dengan pakaian yang digunakan dalam daerah kerja kontaminasi tinggi, bedanya pakaian ini dilengkapi dengan pemasok udara jinjing (*portable*) dan dilengkapi pula dengan alat komunikasi.
 - f. Untuk melindungi tubuh atau bagian tubuh dari kemungkinan terkena paparan radiasi berlebih, digunakan pakaian pelindung radiasi (*apron*). Pakaian pelindung radiasi ini digunakan oleh pekerja radiasi yang menangani sumber radiasi tinggi pada jarak jangkau tertentu. Pakaian ini bahannya mengandung timah hitam (Pb).
 - g. Pakaian pelindung untuk kebakaran merupakan pakaian yang digunakan untuk melindungi tubuh dari api. Pakaian ini digunakan oleh petugas pemadam kebakaran pada saat memadamkan api.
3. Pakaian kerja yang digunakan di daerah instalasi nuklir tidak boleh dibawa pulang dan harus dibersihkan/dicuci dan didekontaminasi oleh masing-masing instalasi. Pakaian yang akan diperlakukan sebagai limbah radioaktif dikelola oleh bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi. Berbagai jenis pakaian pelindung diperlihatkan pada Gambar 10.9.



Gambar 10.9 - Berbagai jenis Pakaian Pelindung

10.3 Perlengkapan pemadam kebakaran

10.3.1 Peralatan pemadam kebakaran

Peralatan pemadam kebakaran digunakan untuk memadamkan api apabila terjadi kebakaran. Beberapa jenis alat pemadam kebakaran yang digunakan di kawasan nuklir BATAN dapat seperti berikut:

1. Alat Pemadam Api Ringan (APAR)

APAR adalah alat pemadam api jinjing yang mudah dibawa, digunakan untuk memadamkan api pada awal terjadinya kebakaran. APAR harus ditempatkan di lokasi yang mudah dijangkau. Jenis bahan pemadam ini disesuaikan dengan potensi kebakarannya (CO, CO₂, *dry powder*, *dry chemical* dst.)

2. Hidran

Hidran kebakaran adalah suatu sistem pemadam kebakaran dengan menggunakan air bertekanan. Hidran kebakaran terdapat pada tempat yang harus sudah ditentukan dengan penyedia air dari lokasi yang ditentukan.

CATATAN

- Fasilitas radiasi/nuklir dapat dilengkapi dengan *sprinkler* yang ditempatkan di langit-langit ruangan penyimpan.
- Kawasan yang memiliki mobil pemadam kebakaran di kelola oleh UPN kawasan.

10.3.2 Peralatan *rescue* kebakaran

Peralatan *rescue* kebakaran digunakan untuk melindungi atau melakukan evakuasi apabila terjadi kebakaran di lingkungan kawasan nuklir. Peralatan yang diperlukan apabila terjadi kebakaran di antaranya:

1. Ambulans, kendaraan yang digunakan untuk mengangkut korban kebakaran dari lokasi kejadian ke rumah sakit.
2. Tandu, digunakan untuk memindahkan korban kebakaran dari lokasi kejadian ke dalam ambulans.
3. Baju pelindung api, harus digunakan oleh petugas pemadam kebakaran pada saat memadamkan api.
4. *Breathing apparatus*, digunakan oleh petugas kebakaran pada saat melakukan evakuasi korban kebaran dari lokasi kebakaran atau pada saat memadamkan api.

10.4 Peralatan Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan

Digunakan untuk pertolongan pertama pada kecelakaan. Setiap instalasi/unit kerja di kawasan BATAN harus mempunyai peralatan P3K.

11. Pemantauan radioaktivitas lingkungan

11.1 Umum

1. Pemantauan radiologi lingkungan meliputi pengukuran paparan radiasi dan tingkat radioaktivitas terhadap berbagai komponen lingkungan seperti udara, air, tanah, sedimen, tumbuhan dan bahan makanan.
2. Pemantauan lingkungan harus mencakup pengukuran dan pengumpulan informasi pendukung, yang berguna untuk menentukan karakteristik lingkungan (meteorologi, hidrologi, jenis tanah), karakteristik penduduk (distribusi, umur, pola makan, pekerjaan) dan karakteristik ekonomi (tata guna lahan dan air).
3. Hasil pemantauan radiologi dan pemantauan lingkungan akan digunakan untuk kajian dampak radiologi lepasan rutin efluen keudara dalam operasi fasilitas dan untuk perencanaan kedaruratan nuklir yang melibatkan lepasan abnormal.
4. Secara umum pemantauan radiologi lingkungan di kawasan BATAN bertujuan untuk:
 - a. mengevaluasi hasil pemantauan lepasan efluen aerosol/gas maupun efluen cair terhadap ketentuan batas lepasan efluen ke lingkungan;
 - b. memeriksa kondisi radiologi lingkungan untuk menjamin kepatuhan terhadap batasan laju dosis ambien dan baku tingkat radioaktivitas yang diijinkan;
 - c. memberikan data dan informasi tentang kondisi lingkungan untuk mengkaji dampak paparan radiasi dan dosis pada kelompok atau populasi kritis dari operasi normal dan kecelakaan;
 - d. mengamati perubahan kompartemen lingkungan agar dapat dilakukan penyesuaian untuk mengurangi ketidakpastian dalam kajian dosis.
 - e. mempertahankan kesinambungan rekaman dampak radiologi dari kegiatan fasilitas di setiap kawasan lingkungan BATAN kepada masyarakat.

11.2 Program pemantauan lingkungan

1. Pemantauan lingkungan di setiap kawasan dilaksanakan oleh unit kerja yang memiliki tugas yang sesuai, dan dikoordinasi oleh koordinator lapangan.
2. Pemantauan lingkungan di daerah di setiap kawasan di lingkungan BATAN meliputi pengamatan keadaan cuaca dan radiologi lingkungan di setiap kawasan BATAN, Lepas Kawasan dari reaktor yang mencakup pengambilan, pengukuran, preparasi, analisis sampel dan evaluasi mengacu SB 014-BATAN:2013.
3. Kegiatan pemantauan lingkungan instalasi nuklir reaktor direkam dan hasilnya dilaporkan secara berkala kepada BAPETEN.

11.2.1 Pemantauan keadaan cuaca

1. Sistem pengamat cuaca harus terpasang dan dioperasikan untuk pengamatan keadaan dan ciri cuaca di setiap instalasi nuklir reaktor.
2. Sistem pengamat cuaca terdiri atas menara meteorologi yang mampu berfungsi dengan baik (misalnya di Kawasan Nuklir Serpong setinggi 60 m, yang dilengkapi dengan sensor pengamat parameter cuaca yang terpasang pada ketinggian 4, 15 dan 60 meter).
3. Di setiap instalasi nuklir reaktor harus dipasang sensor curah hujan, sensor radiasi matahari, sensor arah dan kecepatan angin, sensor kelembaban udara, dan tekanan

udara. Peralatan tersebut harus dipastikan berfungsi sebagaimana mestinya dan hasilnya direkam.

CONTOH :

Pemantauan cuaca yang dilaksanakan di Kawasan Nuklir Serpong (KNS): Pada ketinggian 4 m terpasang sensor curah hujan dan radiasi sinar matahari siang hari. Pada ketinggian 15 m dan pada ketinggian 60 m terpasang sensor arah dan kecepatan angin, suhu udara, kelembaban relatif dan tekanan udara. Data cuaca dari ketinggian 4 m dan 15 m dikirim, ditampilkan dan direkam di *server* setiap 15 menit, sedangkan data dari ketinggian 60 m dikirim, ditampilkan dan direkam di *server* setiap 1 menit. Untuk memperoleh informasi, data arah dan kecepatan angin maka cakra angin (*wind rose*) dapat digunakan. Untuk menentukan kelas kestabilan udara akan digunakan data intensitas matahari, suhu udara, kecepatan angin dan deviasi standar arah angin). Data dan informasi cuaca yang diperoleh selanjutnya akan digunakan untuk kajian dampak radiologi pada operasi normal dan bila terjadi kedaruratan nuklir di dalam dan lepas Kawasan Nuklir Serpong.

11.2.2 Pemantauan radioaktivitas lingkungan

1. Masing-masing kawasan di lingkungan BATAN harus melakukan pengamatan penyebaran bahan radioaktif di lingkungan dan dosis radiasi yang ditimbulkan melalui program pemantauan lingkungan, dan hasilnya disampaikan kepada Kepala BATAN.
2. Program pemantauan lingkungan meliputi kegiatan dengan sasaran sebagai berikut:
 - a. Pengamatan radioaktivitas alam (*natural radioactivity*) dan jatuhnya debu radioaktif dilakukan sebelum, selama dan setelah operasi instalasi nuklir. Tujuan pengamatan untuk memperoleh data radioaktif alam maupun dari sumber-sumber lainnya yang bukan berasal dari kegiatan fasilitas nuklir.
 - b. Pengamatan juga dilakukan pada daerah yang diperkirakan tidak dipengaruhi oleh kegiatan instalasi nuklir. Pengamatan tingkat radiasi dan tingkat kontaminasi radionuklida dalam ekosistem yang diperkirakan dipengaruhi secara langsung oleh kegiatan fasilitas nuklir dan limbahnya.
 - c. Pengamatan terutama ditujukan terhadap tingkat radiasi lingkungan dan deteksi radionuklida dalam bahan lingkungan yang diperkirakan menjadi media masuknya ke manusia baik melalui pernapasan ataupun melalui bahan makanan yang diproduksi di sekitar daerah pengamatan. Pengamatan tingkat radiasi dan tingkat kontaminasi lingkungan yang diduga akan menerima pengaruh jika terjadi kecelakaan nuklir.

11.3 Jenis pemantauan radioaktivitas lingkungan

1. Pemantauan radioaktivitas lingkungan untuk tujuan proteksi radiasi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yakni:
 - a. pemantauan sumber (*source monitoring*);
 - b. pemantauan lingkungan (*environmental monitoring*); dan
 - c. pemantauan perorangan (*individual monitoring*).
2. Pemantauan sumber meliputi pengukuran tingkat paparan radiasi dan konsentrasi aktivitas radionuklida dari sumber radiasi, pemantauan lingkungan dilakukan di luar daerah yang menimbulkan paparan radiasi dan pemantauan perorangan berkaitan dengan pengukuran yang dilakukan secara langsung pada anggota masyarakat di sekitar fasilitas nuklir.
3. Pemantauan perorangan tidak digunakan dalam program pemantauan rutin tetapi digunakan untuk mengetahui dosis perorangan pada kondisi kecelakaan atau untuk tujuan ilmiah seperti validasi model atau penyediaan informasi untuk meyakinkan publik.

11.4 Dampak penting yang dipantau

1. Dampak penting yang harus dipantau adalah dampak penting dari pengoperasian fasilitas di setiap kawasan di lingkungan BATAN seperti dampak radiologi yang ditimbulkan pada operasi normal dan bila terjadi kecelakaan nuklir, yang didasarkan pada Analisa Dampak Lingkungan (Andal) Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Rencana pemantauan Lingkungan (RPL)
2. Komponen lingkungan yang terkena dampak radiologi berdasarkan model fisik penyebaran zat radioaktif ke lingkungan di daerah setiap kawasan di lingkungan BATAN yang harus diwaspadai adalah udara dan aliran air sungai sebagai media penerima utama. Sedangkan media penerima berikutnya dari penyebaran di udara adalah air permukaan, tanah permukaan, tanaman pertanian ataupun tanaman lainnya yang ada di permukaan tanah. Media penerima berikutnya dari penyebaran aliran sungai bermuara ke sungai adalah hasil pertanian, perikanan dan kegiatan lain di sungai.

11.5 Sumber dampak penting

Zat radioaktif yang terlepas ke lingkungan baik melalui cerobong maupun pemantauan buangan terpadu, merupakan sumber dampak penting yang harus diperhatikan didalam pemantauan radioaktivitas lingkungan.

CONTOH:

Sumber dampak penting dari pengoperasian fasilitas nuklir di KNS adalah RSG-GAS, Instalasi Produksi Radioisotop dan Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset PT. Industri Nuklir Indonesia, Instalasi Radiometalurgi (IRM), Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) dan Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR) Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3). Sumber dampak penting dari kegiatan pengoperasian instalasi tersebut yaitu berupa terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan melalui cerobong dan Pemantauan Buangan Terpadu (PBT) efluen cair. Sumber dampak penting dari kegiatan fasilitas nuklir di KNS dapat dilihat pada Tabel 11.1.

11.6 Komponen lingkungan dan parameter yang dipantau

1. Komponen lingkungan dan parameter yang harus dipantau untuk mengetahui perubahan kualitas dan kecenderungan yang terjadi terhadap lingkungan hidup dari pengoperasian fasilitas di setiap kawasan di lingkungan BATAN antara lain; udara, tanah permukaan, air permukaan, air tanah/sumur, tanaman liar dan tanaman pertanian, sedangkan parameter yang dipantau mencakup sifat fisika-kimia, paparan radiasi dan radioaktivitas komponen lingkungan.
2. Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara pengambilan dan pengukuran berbagai jenis sampel komponen lingkungan di daerah pemantauan yang telah ditentukan. Komponen lingkungan dan parameter yang dipantau dari kegiatan Instalasi Nuklir di setiap kawasan di lingkungan BATAN antara lain: nama komponen lingkungan, parameter yang dipantau, indikator dampak, frekwensi pemantauan.

CONTOH:

Tabel 11.1 Sumber dampak penting dari kegiatan instalasi nuklir di KNS. Komponen lingkungan dan parameter yang dipantau dari kegiatan instalasi nuklir di KNS (Tabel 11.2). Sedangkan parameter lingkungan yang dipantau pada kondisi lepasan normal ditunjukkan dalam Tabel 11.3 dan parameter yang dipantau pada kondisi lepasan darurat ditunjukkan dalam Tabel 11.4.

11.6.1 Udara ambien

Parameter dalam udara ambien yang harus diamati adalah paparan radiasi dan konsentrasi aktivitas udara.

1. Paparan radiasi

- a. Pemantauan paparan radiasi udara ambien meliputi laju dosis dan dosis kumulatif dilakukan dengan cara pengukuran secara kontinyu, berkala 1 bulanan dan 3 bulanan di berbagai titik pengamatan. Dengan cara ini dapat diketahui adanya perubahan laju dosis terhadap hasil pengamatan sebelumnya dan sesaat (*real time*).
- b. Laju dosis dan dosis di udara (*ambient air dose*) dipantau secara kontinyu dengan menggunakan sistem pemantauan paparan radiasi gamma udara ambien terpusat yang dilengkapi dengan detektor tipe GM, sistem alarm, komunikasi data dan pengolahan data.
- c. Tingkat acuan peralatan ini diatur pada $0,25 \mu\text{Sv/jam}$, bila laju dosis melampaui tingkat acuan maka sistem alarm akan memberikan tanda bunyi sehingga lepasan abnormal dapat diketahui lebih dini.
- d. Laju dosis udara ambien juga dipantau secara berkala 3 bulanan pada berbagai titik pengamat dengan menggunakan surveimeter. Dengan cara ini dapat diketahui perubahan laju dosis selama 3 bulan.

2. Dosis kumulatif (*Integrated dose*)

Dosis kumulatif dipantau secara berkala dengan menggunakan TLD atau sesuai dengan dokumen Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RPL) unit kerja terkait.

3. Radioaktivitas aerosol/gas

- a. Kandungan partikel dan gas radioaktif yang terdapat dalam udara dipantau dengan alat pencuplik udara (*air sampler*) yang dilengkapi dengan kertas saring sebagai penangkap partikel dan karbon aktif (*carbon cartridge*) untuk maksud menangkap gas iodin radioaktif dan gas lainnya.
- b. Cuplikan kertas saring dan karbon aktif diukur menggunakan alat cacah α/β latar rendah dan spektrometer gamma untuk menentukan tingkat konsentrasi radioaktivitas udara.
- c. Buangan gas/aerosol dari daerah kerja aktif di tiap instalasi melalui sistem ventilasi khusus. Sistem ventilasi ini dilengkapi dengan sistem penyaring agar jumlah yang terlepas ke udara sekecil mungkin dibawah tingkat administrasi yang ditetapkan.
- d. Untuk mengontrol buangan ini setiap sistem ventilasi dilengkapi dengan alat pengukur tingkat kontaminasi dan atau alat pencuplik sampel udara/partikel. Sampel yang diambil dianalisis jenis dan tingkat kontaminasinya.
- e. Data hasil pemantauan buangan ini dicatat dan dilaporkan kepada bidang keselamatan atau organisasi proteksi radiasi untuk penaksiran dampak radiologik.

11.6.2 Air

1. Air sumur

Pemantauan kemungkinan adanya zat radioaktif yang terdapat pada air tanah dangkal, dilakukan melalui pencuplikan air sumur penduduk dalam radius 5 km dari reaktor. Analisis konsentrasi aktivitas dalam air dilakukan dengan menggunakan alat cacah latar rendah dan spektrometer gamma.

2. Air hujan

Pemantauan air hujan dilakukan dengan cara mengambil cuplikan air hujan yang telah ditampung pada stasiun pengamatan air hujan. Pemantauan dilakukan secara berkala pada periode tertentu dan cuplikan air hujan diolah untuk diukur dan dianalisis kandungan zat radioaktifnya.

3. Air permukaan dan sedimen sungai

Pemantauan air sungai dilakukan dengan pengambilan sampel air dan sedimen pada beberapa stasiun pantau di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam radius 5 km. Pengambilan sampel lingkungan dilakukan secara berkala dan diolah/dipreparasi untuk dilakukan pengukuran dan analisis kandungan zat radioaktifnya. Pengamatan yang sama juga dilakukan terhadap air permukaan lain seperti air danau/telaga, air irigasi, air baku dan air olahan pada proses penjernihan air minum untuk kebutuhan lokal yang terdapat dalam radius 5 km dari reaktor.

11.6.3 Tanah

Pemantauan kontaminasi pada tanah permukaan dan tanah pertanian dilakukan dengan mengambil cuplikan tanah setiap 3 bulan pada beberapa lokasi pantau yang telah ditetapkan dalam radius 5 km dari reaktor. Sampel tanah setelah diolah, dianalisis kandungan bahan radioaktifnya dengan alat cacah α/β latar rendah dan spektrometer gamma.

11.6.3.1 Tanaman

1. Tanaman pangan

Pemantauan terhadap tanaman pangan dilakukan terhadap sayur-sayuran dan atau buah-buahan yang dihasilkan dari kegiatan pertanian pada daerah radius 5 km dari reaktor. Pemantauan ini dilakukan untuk mengetahui kemungkinan adanya kontaminasi zat radioaktif dalam tanaman pangan. Cuplikan tanaman pangan yang diperoleh, diolah dan selanjutnya dianalisis menggunakan alat cacah α/β latar rendah dan spektrometer γ untuk mengidentifikasi tingkat kontaminasi radioaktif pada tanaman pangan.

2. Tanaman liar/rumput

Pemantauan terhadap tanaman liar dilakukan melalui jenis rumput lainnya yang merupakan bahan makanan ternak. Pemantauan ini dilakukan dengan mengambil tanaman liar di tempat penggembalaan ternak pada daerah radius 5 km dari reaktor, sampel lingkungan tersebut diolah menjadi abu kemudian diukur menggunakan alat cacah α/β latar rendah untuk mengetahui tingkat kontaminasi zat radioaktifnya.

11.7 Waktu dan frekuensi pemantauan

Waktu dan frekuensi pemantauan berdasarkan Peraturan Pemerintah RI Nomor 33 Tahun 2009 pasal 27 ayat (1) menyebutkan bahwa pemantauan radioaktivitas lingkungan harus dilakukan secara terus menerus/kontinyu, berkala atau sewaktu-waktu, maka kegiatan pemantauan lingkungan di setiap kawasan di lingkungan BATAN dilakukan sebagai berikut ;

1. Pemantauan kontinyu dilakukan secara terus menerus
2. Pemantauan rutin dilakukan secara berkala setiap 1 dan 3 bulan.
3. Pemantauan khusus atau tidak rutin adalah pemantauan yang dilakukan di luar jadwal pemantauan rutin.
4. Pemantauan khusus dilaksanakan hanya pada keadaan:

- Adanya operasi non-rutin yang diperkirakan terjadi peningkatan kontaminasi terhadap komponen lingkungan,
- Adanya kecelakaan yang dapat mengakibatkan tingkat kontaminasi meningkat terhadap komponen lingkungan,
- Ditemukannya tingkat kontaminasi yang cukup berarti dalam sampel lingkungan selama pemantauan rutin.

11.8 Batasan dosis anggota masyarakat

Data hasil pemantauan lingkungan harus dapat digunakan untuk melakukan kajian penerimaan dosis radiasi anggota masyarakat. Mengacu pada *ICRP* 103, maka batasan dosis untuk anggota masyarakat tidak boleh melebihi 1 mSv/tahun diluar kontribusi dosis radiasi latar. Penetapan baku mutu dilakukan dengan menggunakan parameter pembatas dosis yang diterima oleh anggota masyarakat tidak melebihi 1 mSv/tahun.

Baku Tingkat Radioaktivitas lingkungan ditetapkan berdasarkan pembatas dosis dan mengikuti batas masukan tahunan (*ALI*) untuk publik berdasarkan *ICRP* 72 dari lepasan *airbone* dan cairan seperti yang ditampilkan pada Tabel 11.5.

Tabel 11.1 Contoh sumber dampak penting dari kegiatan instalasi nuklir di Kawasan Nuklir Serpong

No.	Instalasi Nuklir	Sumber Dampak Penting	Radionuklida
1.	Reaktor Serba Guna GA Siwabessy	Pengoperasian RSG GAS dalam kegiatannya: <ul style="list-style-type: none"> - Iradiasi bahan U-235 untuk produksi isotop, analisis kimia, elemen bakar, komponen reaktor, uji bahan reaktor dan penelitian. - Pengujian elemen bakar reaktor daya (<i>Power ramp test</i>) - Radiografi neutron - Penggantian dan penyimpanan bahan bakar bekas 	Kr-85, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135, Rb-88, Sr-89, Sr-90, Sr-91, Y-90, Y-91, Zr-95, Zr-97, Nb-95, Mo-99, Ru-103, Ru-105, Ru-106, Rh-105, Te-129, Te-129m, Te-131m, Te-132, Sb-125, I-125, I-131, I-132, I-133, I-134, I-135, Zn-65, Cs-134, Cs-137, Ba-40, La-141, Ce-141, Ce-143, Ce-144
2.	Instalasi Radioisotop dan Radiofarmaka	Kegiatan produksi radioisotop, <ul style="list-style-type: none"> - Penyiapan bahan untuk iradiasi - Pengolahan bahan hasil iradiasi dan pemisahan isotop - Pengemasan dan distribusi isotop siap pakai - Pengelolaan limbah proses pengolahan 	I-131, I-132, I-133, I-135, Xe-133m, Xe-133, Xe-135m, Xe-135, Kr-85m, Kr-85 dan Kr-88.
3.	Instalasi Litbang Radioisotop dan Radiofarmaka	Kegiatan produksi radioisotop lainnya dan radiofarmaka <ul style="list-style-type: none"> - Produksi radioisotop - I-125 - Produksi kit radioimmunoassay (RIA) dan Immunoradiometricassay (IRMA) - Pengujian kualitas sediaan radioisotop dan radiofarmaka 	I-125, I-131
4.	Instalasi Radiometalurgi	Kegiatan uji elemen bahan bakar, <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian paska iradiasi elemen bakar dari jenis MTR, HWR dan LWR - Pengujian bahan bakar dalam Hot Cell 	Kr-85, Xe-133, Sb-89, Sr-90, Y-90, Y-91, Zr-95, Nb-95, Ru-106, Rh-106, Sb-125, Te-127, Te-127m, I-131, Cs-134, Cs-137, Ba-140, La-140, Ce-141, Ce-144, Pr-143, Nd-147, Pm-147, Pm-148, Eu-156, U-234, U-235, U-238, Np-238, Np-239, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Zn-65.
5.	Instalasi Elemen Bahan Bakar eksperimen (IEBE)	Kegiatan litbang produksi bahan bakar nuklir reaktor daya	Uranium alam
6.	Instalasi Pabrikasi Elemen Bahan Bakar Reaktor Riset (IPEBRR)	Kegiatan produksi bahan bakar reaktor riset	Uranium diperkaya

Tabel 11.2 Contoh komponen lingkungan dan parameter yang dipantau dari kegiatan instalasi nuklir

Komponen lingkungan	Parameter yang dipantau	Indikator dampak	Frekuensi pemantauan
Udara	- laju dosis sesaat - dosis kumulatif - radioaktivitas	- tingkat paparan - tingkat dosis - aktivitas <i>gross</i>	3 bulan 3 bulan 3 bulan/ kontinyu
Jatuhan basah	- radioaktivitas dalam air hujan	- aktivitas radionuklida dalam air hujan	3 bulan
Tanah	- radioaktivitas dalam tanah permukaan	- aktivitas radionuklida dalam tanah permukaan	3 bulan
Air	radioaktivitas dalam : - air permukaan - air sumur	- aktivitas radionuklida dalam air permukaan dan sumur	3 bulan 3 bulan
Air PAM	- radioaktivitas dalam air minum	- aktivitas radionuklida dalam air minum	3 bulan
Sungai Cisdane	radioaktivitas dalam : - air permukaan - sedimen	- aktivitas radionuklida dalam air permukaan dan sedimen	3 bulan 3 bulan
Tanaman	- radioaktivitas dalam rumput/tanaman	- aktivitas radionuklida dalam rumput/tanaman	3 bulan

Tabel 11.3 Contoh parameter lingkungan yang dipantau pada kondisi lepasan normal

Jenis lepasan	Parameter yang dipantau	Frekuensi pemantauan
<i>Airborne</i>	Dosis eksternal: - laju dosis gamma - dosis gamma kumulatif	- kontinyu dan sesaat - pengukuran 3 bulanan
	Deposisi udara: - udara - air hujan - tanah permukaan	- pengambilan dan pengukuran sampel 1 dan 3 bulanan - pengumpulan secara kontinyu dan pengukuran 3 bulanan
	Bahan makanan: - sayuran - air minum/air tanah	Pengambilan dan pengukuran sampel 3 bulanan
	Indikator daratan/rumput/ tanaman liar	Pengambilan dan pengukuran sampel 3 bulanan
Cairan	Sebaran perairan : - air permukaan - sedimen	Pengambilan dan pengukuran sampel 3 bulanan
	Bahan makanan aquatik: - ikan air tawar	Pengambilan dan pengukuran sampel 3 bulanan

Tabel 11.4 Contoh parameter lingkungan yang dipantau pada kondisi lepasan darurat

Jenis lepasan	Parameter yang dipantau	Frekuensi pemantauan
Airborne	Pengukuran selama <i>passage</i> awan radiasi	
	dosis eksternal : - laju dosis gamma - laju dosis neutron	- kontinyu, dekat dan jauh dari sumber, pemetaan laju dosis eksternal. - kontinyu, hanya pada dekat sumber.
	deposisi dari udara : - udara - air hujan	- pengambilan kontinyu, pengukuran setiap 2 jam. - pengumpulan secara kontinyu dan pengukuran setiap 2 jam.
	Pengukuran setelah <i>passage</i> awan radiasi	
	dosis eksternal : - laju dosis gamma	- kontinyu, pemetaan laju dosis.
	deposisi : - tanah permukaan	- sekali, pemetaan kontaminasi radionuklida yang relevan.
	bahan makanan : - sayuran - susu	- setiap hari, indikator untuk pertanian. - setiap hari, indikator untuk makanan hewan.
	indikator daratan/terrestrial : - rumput/tanaman liar	- setiap hari.
Cairan	Setelah lepasan	
	dispersi perairan : - air permukaan - sedimen	- pengambilan sampel kontinyu, pengukuran 1 kali sehari. - setiap minggu sekali.
	bahan makanan akuatik : - ikan air tawar	- pemilihan sampel yang tepat.

Tabel 11.5 Batas masukan tahunan (ALI) dan konsentrasi udara turunan (DAC) untuk anggota masyarakat atmosferik

No.	Nuklida	ALI (Bq)			DAC (Bq/m ³)		
		F	M	S	F	M	S
1	Ag-110m	$2,99 \times 10^6$	$3,39 \times 10^6$	$2,74 \times 10^6$	$5,7 \times 10^2$	$6,78 \times 10^2$	$5,48 \times 10^2$
2	Am-241		$7,41 \times 10^2$			$1,48 \times 10^1$	
3	Am-243		$7,41 \times 10^2$			$1,48 \times 10^1$	
4	Ba-140	$1,25 \times 10^7$			$2,50 \times 10^3$		
5	Br-82	$3,13 \times 10^7$	$2,27 \times 10^7$		$6,25 \times 10^3$	$4,55 \times 10^3$	
6	Br-83	$6,90 \times 10^8$	$2,99 \times 10^8$		$1,38 \times 10^5$	$5,97 \times 10^4$	
7	Ce-141		$7,41 \times 10^6$	$6,45 \times 10^6$		$1,48 \times 10^3$	$1,29 \times 10^3$
8	Ce-144		$8,70 \times 10^5$	$6,90 \times 10^5$		$1,74 \times 10^6$	$1,38 \times 10^2$
9	Cm-242		$5,41 \times 10^3$			$1,08 \times 10^0$	
10	Cm-243		$1,00 \times 10^3$			$2,00 \times 10^{-1}$	
11	Cm-244		$1,18 \times 10^3$			$2,35 \times 10^{-1}$	
12	Cs-134	$2,08 \times 10^6$			$4,17 \times 10^2$		
13	Cs-137	$2,99 \times 10^6$			$4,97 \times 10^2$		
14	Eu-154		$5,71 \times 10^5$			$1,14 \times 10^2$	
15	Eu-155		$4,26 \times 10^6$			$8,51 \times 10^2$	
16	I-125	$2,74 \times 10^6$			$5,48 \times 10^2$		
17	I-131	$1,82 \times 10^6$			$3,64 \times 10^2$		
18	I-132	$1,00 \times 10^8$			$2,00 \times 10^4$		
19	I-133	$9,52 \times 10^6$			$1,90 \times 10^3$		
20	I-134	$2,53 \times 10^8$			$5,06 \times 10^4$		
21	I-135	$4,35 \times 10^7$			$8,70 \times 10^3$		
22	La-140	$2,00 \times 10^7$	$1,33 \times 10^7$		$4,00 \times 10^3$	$2,67 \times 10^3$	
23	Nb-95		$1,54 \times 10^7$	$1,54 \times 10^7$		$3,08 \times 10^3$	$3,08 \times 10^3$
24	Nb-95m		$1,60 \times 10^7$	$2,35 \times 10^7$		$5,19 \times 10^3$	$4,71 \times 10^3$
25	Nd-147		$1,05 \times 10^7$	$9,52 \times 10^6$		$2,11 \times 10^3$	$1,90 \times 10^3$
26	Np-239		$1,82 \times 10^7$			$3,64 \times 10^3$	

No.	Nuklida	ALI (Bq)			DAC (Bq/m ³)		
		F	M	S	F	M	S
27	Pm-147		5,71 × 10 ⁶	6,25 × 10 ⁶		1,14 × 10 ³	1,25 × 10 ³
28	Pr-144		6,90 × 10 ⁸	6,67 × 10 ⁸		1,38 × 10 ⁵	1,33 × 10 ⁵
29	Pu-238		6,67 × 10 ²	1,82 × 10 ³		1,33 × 10 ⁻¹	3,64 × 10 ⁻¹
30	Pu-239		6,25 × 10 ²	2,41 × 10 ³		1,25 × 10 ⁻¹	4,82 × 10 ⁻¹
31	Pu-240		6,25 × 10 ²	2,41 × 10 ³		1,25 × 10 ⁻¹	4,82 × 10 ⁻¹
32	Pu-242		6,45 × 10 ²	2,60 × 10 ³		1,29 × 10 ⁻¹	5,19 × 10 ⁻¹
33	Rh-103m	1,67 × 10 ¹⁰	8,33 × 10 ⁹	8,00 × 10 ⁹		1,67 × 10 ⁶	1,60 × 10 ⁶
34	Ru-103	2,94 × 10 ⁷	1,05 × 10 ⁷	9,09 × 10 ³		2,11 × 10 ³	1,82 × 10 ³
35	Ru-106	2,04 × 10 ⁶	1,18 × 10 ⁶	5,71 × 10 ⁵	4,08 × 10 ²	2,35 × 10 ²	1,14 × 10 ²
36	Sb-125	1,18 × 10 ⁷	6,06 × 10 ⁶		2,35 × 10 ³	1,21 × 10 ³	
37	Sm-151		7,69 × 10 ⁶			1,54 × 10 ³	
38	Sn-125	1,54 × 10 ⁷	7,14 × 10 ⁶		3,08 × 10 ³	1,43 × 10 ³	
39	Sr-90	6,67 × 10 ⁵		2,60 × 10 ⁵	1,33 × 10 ²		5,19 × 10 ¹
40	Te-125m	2,99 × 10 ⁷	6,90 × 10 ⁶		5,97 × 10 ³	1,38 × 10 ³	
41	Te-127	2,78 × 10 ⁸	1,11 × 10 ⁸		5,56 × 10 ⁴	2,22 × 10 ⁴	
42	Te-127m	1,00 × 10 ⁷	3,23 × 10 ⁶		2,00 × 10 ³	6,45 × 10 ²	
43	Te-129m	1,11 × 10 ⁷	3,70 × 10 ⁶		2,22 × 10 ³	7,41 × 10 ²	
45	Te-131m	4,35 × 10 ⁸	3,28 × 10 ⁸		8,70 × 10 ⁴	6,56 × 10 ⁴	
46	Te-132	8,33 × 10 ⁶	6,67 × 10 ⁶		1,67 × 10 ³	1,33 × 10 ³	
47	Th-234		3,77 × 10 ⁶	3,45 × 10 ⁶	0,00 × 10 ⁰	7,55 × 10 ²	6,90 × 10 ²
48	U-238	3,45 × 10 ⁴	1,25 × 10 ⁴	3,51 × 10 ³	6,90 × 10 ⁰	2,50 × 10 ⁰	7,02 × 10 ⁻¹
49	Y-90		1,25 × 10 ⁷	1,18 × 10 ⁷		2,50 × 10 ³	2,35 × 10 ³
50	Y-91		3,85 × 10 ⁶	3,28 × 10 ⁶		7,69 × 10 ²	6,56 × 10 ²
51	Zr-95	6,67 × 10 ⁶	5,56 × 10 ⁶	4,76 × 10 ⁶	1,33 × 10 ³	1,11 × 10 ³	9,52 × 10 ²

CATATAN

F : *Fastly*
M : *Moderate*
S : *Shortly*

Lampiran A1
(Informatif)
Dasar proteksi radiasi dan lingkungan

A1.1 Umum

Sasaran utama pengembangan konsep proteksi radiasi adalah proteksi manusia dan lingkungan terhadap efek merusak paparan radiasi tanpa terlalu membatasi pemanfaatan tenaga nuklir yang dapat terkait paparan tersebut.

Pencapaian sasaran ini tidak cukup hanya didasarkan pada pengetahuan ilmiah tentang paparan radiasi dan efek kesehatannya. Pencapaian juga mensyaratkan suatu model untuk proteksi manusia dan lingkungan terhadap radiasi. Sebagai contoh aspek sosial dan ekonomi dalam proteksi radiasi tidak dapat hanya didasarkan pada ilmu pengetahuan, diperlukan '*value judgement*' tentang kepentingan relatif berbagai jenis risiko dan tentang pertimbangan risiko dan manfaat (*benefit*).

Proteksi radiasi berurusan dengan dua jenis efek berbahaya. Dosis tinggi menyebabkan efek deterministik yang hanya nampak bila dosis tersebut melebihi suatu batas ambang. Sedangkan dosis tinggi dan rendah dapat menyebabkan efek stokastik (kanker atau efek keturunan) yang dapat meningkat secara statistik dan setelah paparan ada periode laten yang lama sebelum efek muncul.

Proteksi manusia terhadap radiasi dilaksanakan melalui pengelolaan dan pengendalian paparan terhadap radiasi pengion sedemikian sehingga efek deterministik dapat dicegah, dan risiko efek stokastik dikurangi ke suatu tingkatan yang layak dicapai. Sebaliknya, konsep 'proteksi lingkungan' sulit untuk didefinisikan secara universal karena dari satu negara ke negara lain atau dari satu keadaan ke keadaan lain menggunakan konsep yang tidak sama. *ICRP* mendasarkan proteksi lingkungan pada pencegahan atau pengurangan frekuensi efek radiasi yang mengganggu ke suatu tingkatan dampak yang sepele pada konservasi keragaman biologis.

A1.2 Aspek Biologi terhadap Proteksi Radiasi

Pada umumnya efek paparan radiasi terhadap kesehatan dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori yaitu:

1. Efek deterministik (reaksi jaringan yang berbahaya) yaitu sebagian besar sel jaringan mengalami kematian atau fungsi sel rusak karena dosis radiasi tinggi.
2. Efek stokastik, yaitu kanker atau efek keturunan berupa pengembangan kanker pada individu yang terpapar karena mutasi sel somatik atau penyakit keturunan pada keturunan individu yang terpapar karena mutasi sel reproduktif.

Efek biologi akibat paparan radiasi diperhitungkan pula pada embrio, janin dan penyakit lainnya selain kanker. *ICRP* publikasi 60 (1991) mengklasifikasikan efek radiasi yang menimbulkan reaksi pada jaringan sebagai efek deterministik dan menggunakan istilah efek stokastik untuk efek radiasi yang menimbulkan kanker dan penyakit yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

Energi radiasi pengion yang diterima jaringan/organ dapat mengakibatkan perubahan pada molekul, kerusakan pada elemen selular dan gangguan fungsi atau kematian sel. Kerusakan pada jaringan hidup diakibatkan oleh adanya transfer energi radiasi pengion ke atom dan

molekul dalam struktur sel. Radiasi pengion menjadikan atom dan molekul tersebut terionisasi dan menyebabkan:

1. terbentuknya radikal bebas
2. terpecahnya ikatan kimia
3. terbentuknya ikatan kimia baru dan ikatan silang antar molekul
4. kerusakan molekul yang sangat berperan dalam proses di dalam tubuh (seperti *DNA*, *RNA*, dan protein).

Sel-sel yang telah rusak pada tingkat kerusakan tertentu dapat mengalami perbaikan, misalnya pada dosis rendah sebagaimana yang kita terima dari dosis radiasi latar, kerusakan selular dapat segera diperbaiki. Namun pada tingkat dosis yang lebih tinggi, dapat terjadi kematian sel bahkan pada dosis yang sangat tinggi sel tidak dapat tergantikan, jaringan menjadi rusak dan organ tidak berfungsi.

A1.2.1 Induksi efek deterministik

Induksi reaksi jaringan umumnya ditandai dengan adanya dosis ambang. Alasan ditetapkannya dosis ambang adalah bahwa kerusakan radiasi (gangguan fungsi yang serius atau kematian sel) suatu populasi kritis sel pada suatu jaringan perlu dipertahankan sebelum terlanjur jaringan tersebut cedera atau rusak. Di atas dosis ambang akan terjadi cedera atau kerusakan jaringan. Semakin besar dosis radiasi semakin meningkat terjadinya keparahan pada jaringan dan daya pemulihan jaringanpun akan terganggu.

Reaksi jaringan terhadap radiasi dini (beberapa hari hingga beberapa minggu) yang melampaui dosis ambang mungkin akan terjadi peradangan yang diakibatkan lepasan faktor seluler atau mungkin reaksi yang mengakibatkan hilangnya sel-sel. Reaksi jaringan tunda (orde bulan hingga tahunan) dapat berupa jenis umum jika muncul sebagai akibat langsung dari kerusakan jaringan. Sebaliknya, reaksi tunda ini dapat berupa jenis akibat jika muncul sebagai akibat kerusakan selular dini.

Tinjauan data biologi dan klinis telah mendorong perkembangan penilaian *ICRP* terhadap mekanisme jaringan dan sel yang mendasari reaksi jaringan dan dosis ambang yang berlaku untuk organ dan jaringan utama. Walaupun demikian untuk dosis serap hingga sekitar 100 mGy (*LET* rendah atau tinggi) tidak ada jaringan yang dinyatakan memperlihatkan gangguan klinis. Pernyataan ini berlaku untuk paparan akut tunggal dan juga untuk dosis rendah pada paparan radiasi kronik.

Efek deterministik selain ditandai dengan adanya dosis ambang juga pada umumnya timbul tidak lama setelah paparan radiasi terjadi, adanya penyembuhan spontan dan tergantung pada tingkat keparahan dan besarnya paparan radiasi yang diterima mempengaruhi tingkat keparahan. Contoh efek deterministik antara lain kerusakan kulit, eritema, epilepsi, katarak dan kemandulan.

A1.2.2 Induksi efek stokastik

Efek stokastik adalah efek radiasi yang munculnya tidak memerlukan dosis ambang, pada umumnya timbul setelah melalui masa tenang yang lama, tidak ada penyembuhan spontan, tingkat keparahan tidak dipengaruhi oleh besarnya dosis radiasi dan peluang terjadinya dipengaruhi oleh besarnya dosis. Contoh efek stokastik adalah kanker dan penyakit yang diwariskan kepada keturunannya.

Pada kasus kanker, studi eksperimen dan epidemiologi memberikan fakta adanya risiko radiasi sekali pun dengan ketidakpastian pada dosis sekitar 100 mSv atau kurang. Meskipun tidak ada bukti langsung risiko radiasi pada manusia untuk kasus penyakit yang diturunkan,

hasil pengamatan eksperimen menunjukkan menguatnya pendapat yang menyatakan bahwa risiko untuk generasi mendatang harus diperhitungkan dalam sistem proteksi.

A1.2.3 Induksi penyakit selain kanker

Sejak tahun 1990 akumulasi fakta menunjukkan bahwa frekuensi penyakit non-kanker meningkat pada beberapa populasi yang terpapar radiasi. Fakta statistik yang paling kuat untuk induksi efek non-kanker pada dosis efektif dalam orde 1 Sv yang diturunkan dari analisis mortalitas terkini survivor bom atom Jepang setelah tahun 1968. Studi tersebut memperkuat bukti statistik mengenai hubungan antara dosis dengan terutama penyakit jantung, stroke, gangguan pencernaan dan penyakit pernafasan.

A1.2.4 Efek radiasi pada embrio dan fetus

Risiko reaksi jaringan dan kecacatan dalam embrio dan janin yang terpapar telah diulas di *ICRP* publikasi 90 (2003). Ulasan ini memperkuat penilaian risiko di dalam rahim (*ICRP* publikasi 60). Berdasarkan *ICRP* publikasi 90, risiko cedera jaringan dan kecacatan di dalam rahim pada dosis di bawah 100 mGy dari radiasi *LET* rendah. Data terbaru menunjukkan bahwa embrio rentan terhadap efek mematikan pada periode praimplantasi dari perkembangan embrio. Pada dosis di bawah 100 mGy, efek mematikan pada embrio sangat jarang terjadi.

Sehubungan dengan kecacatan pada embrio, data terbaru menunjukkan bahwa ada pola radiosensitivitas dalam rahim yang tergantung pada usia kehamilan dengan sensitivitas maksimum terjadi pada masa pembentukan organ utama.

Berdasarkan data pengamatan pada hewan diperoleh ada dosis ambang sekitar 100 mGy untuk induksi kecacatan, untuk tujuan praktis *ICRP* menilai bahwa risiko kecacatan setelah paparan dalam rahim pada dosis di bawah 100 mGy adalah tidak ada (tidak terjadi efek kecacatan pada embrio).

ICRP publikasi 90 meninjau data korban bom atom mengenai induksi keterbelakangan mental yang berat setelah terpapar radiasi pada periode pra-natal paling sensitif (8-15 minggu setelah pembuahan) mendukung dosis ambang paling tidak 300 mGy. Jadi, di bawah 300 mGy tidak terjadi efek keterbelakangan mental yang berat

A1.2.5 Penilaian (*Judgement*) dan ketidakpastian

Walaupun *ICRP* menyadari potensi pentingnya efek sinergistik antara radiasi dan perantara (*agent*) yang lain, hingga saat ini tidak ada bukti yang kuat tentang interaksi tersebut pada dosis rendah yang membenarkan modifikasi perkiraan risiko radiasi yang ada.

Dengan mempertimbangkan informasi terkini, *ICRP* merekomendasikan sistem proteksi radiasi yang praktis dengan berasumsi bahwa pada dosis di bawah sekitar 100 mSv, kenaikan dosis proporsional dengan peluang timbulnya kanker atau efek keturunan.

A1.3 Besaran yang digunakan dalam proteksi radiasi

A1.3.1 Umum

Besaran dosimetrik khusus telah dikembangkan untuk penilaian dosis dari paparan radiasi. Besaran proteksi yang fundamental didasarkan pada pengukuran deposit energi pada organ dan jaringan tubuh manusia. Untuk melihat hubungan dosis radiasi dengan risiko radiasi, perlu diperhitungkan variasi pada efektivitas biologi radiasi dengan kualitas yang berbeda dan variasi sensitivitas organ dan jaringan terhadap radiasi pengion.

A1.3.2 Besaran dosis

A1.3.2.1 Dosis serap (D)

Adalah jumlah energi yang diserap per satuan massa sebagai hasil dari interaksi radiasi pengion dengan materi. Satuan dosis serap dalam satuan SI adalah Gray (Gy) yang sama dengan energi deposisi sebesar 1 joule per kilogram (J/kg) dalam materi, yang dalam hal ini adalah organ/jaringan, atau 1 Gy = 1 J/kg. Satuan lama dari dosis serap adalah erg/gram dengan nama khusus rad. 1 rad setara dengan 100 erg/gram, dengan demikian 1Gy = 100 rad. Besaran dosis serap ini dapat digunakan untuk semua jenis radiasi pengion.

A1.3.2.2 Faktor bobot radiasi

Untuk menunjukkan kualitas radiasi dalam kaitannya dengan akibat biologi yang dapat ditimbulkannya, diperkenalkan istilah faktor bobot radiasi, w_R . Sebelumnya digunakan istilah faktor kualitas (Q). Nilai faktor bobot radiasi dipilih berdasarkan efektivitas relatif dalam menimbulkan akibat biologi yang bersifat stokastik pada dosis rendah.

Contoh efek stokastik adalah induksi kanker yang kemungkinan timbulnya efek tersebut merupakan fungsi dosis yang diterima. Tabel A1.1 menunjukkan besarnya faktor bobot radiasi berdasarkan ICRP 103 (2007)

Tabel A-1 Faktor bobot radiasi, w_R

No	Jenis Radiasi	w_R
1.	Foton	1
2.	Elektron dan muon	1
3.	Proton dan pion bermuatan	2
4.	Partikel alfa , fisi fragmen dan ion berat	20
5.	Neutron	
	$E_n < 1 \text{ MeV}$	$2,5 + 18,2e^{-[\ln(E_n)]^2 / 6}$
	$1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV}$	$5,0 + 17,0e^{-[\ln(2E_n)]^2 / 6}$
	$E_n > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25e^{-[\ln(0,04E_n)]^2 / 6}$

A1.3.2.3 Dosis ekuivalen, H

Besaran dosimetri yang lebih bermakna adalah dosis rata-rata dalam organ yang telah dibobot yang disebut dengan dosis ekuivalen dalam organ T dan ditentukan melalui persamaan:

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R} \tag{A1.1}$$

dengan $D_{T,R}$ adalah dosis serap yang dirata-ratakan untuk daerah organ atau jaringan T yang disebabkan oleh radiasi R. Jika medan radiasi terdiri dari beberapa jenis dan energi radiasi dengan faktor bobot radiasi berbeda-beda, maka dosis ekuivalen total menjadi:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \tag{A1.2}$$

Faktor bobot tidak mempunyai satuan, maka satuan dosis ekivalen sama dengan satuan dosis serap yaitu J/kg. Namun demikian untuk membedakan keduanya maka dosis ekivalen diberi satuan sievert (Sv). Satuan lama untuk dosis ekivalen adalah rem dan hubungan antara keduanya adalah 1 Sv = 100 rem.

A1.3.2.4 Faktor bobot jaringan dan dosis efektif

Hubungan antara kemungkinan terjadinya akibat stokastik dengan dosis ekivalen bergantung pada kepekaan organ atau jaringan yang terkena paparan radiasi. Oleh karena itu, untuk menunjukkan akibat stokastik total yang berasal dari berbagai dosis pada berbagai organ yang berbeda dianggap perlu untuk mendefinisikan besaran lain yang diturunkan dari dosis ekivalen yaitu dengan memberikan bobot pada dosis ekivalen di setiap organ. Faktor bobot yang digunakan untuk dosis serap dalam setiap organ T disebut faktor bobot jaringan, w_T . Tabel 2 menunjukkan nilai faktor bobot jaringan berdasarkan ICRP 103 (2007).

Tabel A1.1 - Faktor bobot jaringan , w_T

No	Jaringan/organ	w_T (masing-masing)
1.	sumsum tulang merah, usus besar, paru, lambung, dada, jaringan lainnya*	0,12
2.	gonad	0,08
3.	kandung kemih, <i>oesofagus</i> , hati, tiroid	0,04
4.	permukaan tulang, otak, kelenjar ludah, kulit	0,01

* Jaringan lainnya: adrenal, daerah *extratorasik* (ET), kandung kemih empedu (*gall bladder*), jantung, noda getah bening, otot, oral mucosa, pankreas, prostat (♂), usus halus, limpa, thymus, uterus/*cervix* (♀).

Nilai w_T yang ditentukan agar setiap dosis ekivalen yang diberikan merata seluruh tubuh menghasilkan dosis efektif dengan nilai sama dengan dosis ekivalen tersebut. Jumlah faktor bobot jaringan untuk seluruh tubuh sama dengan 1 (satu). Jika organ T yang mempunyai faktor bobot jaringan w_T diberi dosis ekivalen H_T maka dosis efektifnya adalah

$$E = H_T w_T \tag{A1.3}$$

Untuk paparan terjadi di seluruh tubuh maka dosis efektif yang diterima oleh tubuh sama dengan

$$E = \sum_T H_T w_T = \sum_T w_T \sum w_R D_{T,R} \tag{A1.4}$$

A1.3.2.4.1 Dosis ekivalen terikat

Dosis ekivalen terikat adalah besaran yang digunakan untuk memperkirakan dosis yang diterima seseorang dari radiasi yang dipancarkan oleh radionuklida yang ada dalam tubuh (paparan radiasi internal). Jika unsur radioaktif masuk ke dalam tubuh dan terdeposit di dalam tubuh maka jaringan tubuh akan menerima dosis tertentu. Besarnya dosis ini merupakan fungsi dari berbagai faktor antara lain jenis radionuklida, waktu paro dan

metabolisme radionuklida tersebut di dalam tubuh. Untuk penentuan batas masukan tahunan, *ICRP* menerapkan perhitungan dosis melalui dosis ekuivalen total pada organ yang menerima paparan selama 50 tahun setelah radionuklida masuk ke dalam tubuh. Dosis terikat yang dihitung melalui cara ini disebut sebagai dosis ekuivalen terikat, $H_T(50)$

A1.3.2.4.2 Dosis efektif terikat

Jumlah dosis ekuivalen terikat dalam setiap organ atau jaringan dikalikan dengan faktor bobot jaringannya akan menghasilkan dosis efektif terikat atau,

$$E(50) = \sum_T H_T(50)w_T \quad (A1.5)$$

A1.3.2.4.3 Dosis efektif kolektif

Dosis kolektif diperlukan untuk menyatakan efek radiasi pada suatu kelompok orang, terutama terhadap paparan kerja, untuk maksud optimisasi proteksi radiasi. Besaran ini memperhitungkan paparan semua individu dalam suatu kelompok selama kurun waktu operasional tertentu di daerah radiasi. Dosis efektif kolektif S dihitung sebagai penjumlahan semua dosis efektif individu pada kurun waktu tertentu atau selama operasi. Nama khusus yang digunakan untuk besaran dosis efektif kolektif adalah 'orang-sievert'

A1.4.1 Paparan radiasi eksternal

Pengkajian dosis terhadap paparan radiasi dari sumber eksternal biasanya dilakukan dengan memantau individu dengan menggunakan dosimeter perorangan yang dikenakan di tubuh, atau misalnya dalam kasus pengkajian prospektif, dengan mengukur atau memperkirakan $H^*(10)$ dan menerapkan koefisien konversi yang sesuai. Besaran operasional untuk pemantauan individu adalah $H_p(10)$ dan $H_p(0,07)$. Jika dosimeter perorangan dikenakan di suatu posisi yang mewakili paparan pada tubuh, untuk dosis rendah dan dengan asumsi keseragaman paparan seluruh tubuh, $H_p(10)$ memberikan nilai dosis efektif yang cukup seksama untuk tujuan proteksi radiasi

Paparan radiasi eksternal adalah paparan radiasi yang sumber radiasinya berada di luar tubuh. Faktor utama untuk melindungi seseorang dari paparan radiasi eksternal adalah dengan 3 faktor yaitu:

A1.4.1.1 Waktu

Besarnya dosis yang diterima seseorang berbanding lurus dengan lama waktu orang tersebut berada di medan radiasi atau,

Dosis radiasi = laju dosis x waktu paparan.

Ini berarti jika seseorang ingin agar dosis radiasi yang diterima serendah mungkin, maka waktu yang digunakan untuk kegiatan yang melibatkan terjadinya paparan radiasi harus sesingkat mungkin.

A1.4.1.2 Jarak

Laju paparan radiasi berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi, dengan demikian dosis total yang diterima pun akan berkurang dengan bertambahnya jarak. Untuk sumber radiasi pemancar gamma berdimensi kecil, dosis radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Pada umumnya desain dari bungkusan bahan radioaktif mempunyai fungsi untuk menambah jarak agar dapat mengurangi laju dosis pada permukaan bungkusan.

A1.4.1.3 Perisai

Penggunaan bahan perisai antara sumber radiasi dengan manusia juga berfungsi untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima dan biasanya catra ini lebih banyak digunakan karena lebih mudah dan kondisi keselamatan lebih terjamin. Jumlah atau ketebalan perisai yang dibutuhkan bergantung pada jenis radiasi, aktivitas sumber dan laju dosis yang dikehendaki di luar atau di balik bahan pelindung. Pengurangan laju dosis berbanding secara eksponensial dengan ketebalan bahan perisai. Untuk radiasi gamma, bahan padat seperti timbal (Pb) dan baja adalah paling efektif maka bahan ini banyak digunakan dalam desain bungkusan.

A1.4.2 Paparan radiasi internal

Sistem pengkajian dosis untuk masukan (*intake*) radionuklida mengandalkan pada perhitungan, yang dapat dipertimbangkan sebagai besaran operasional untuk pengkajian dosis paparan internal. Masukan dapat diperkirakan baik dari pengukuran langsung (misalnya pemantauan eksternal seluruh tubuh atau organ dan jaringan tertentu) atau pengukuran tidak langsung (misalnya, air seni atau tinja), atau pengukuran pada sampel lingkungan, dan penerapan model biokinetik. Selanjutnya, dosis efektif dihitung dari masukan menggunakan koefisien dosis yang direkomendasikan oleh *ICRP* untuk sebagian besar radionuklida. Koefisien dosis diberikan untuk anggota masyarakat dari berbagai usia dan untuk orang dewasa yang terpapar karena pekerjaannya.

Radionuklida yang terdapat dalam tubuh manusia meradiasi jaringan selama jangka waktu yang ditentukan oleh waktu-paro fisik dan retensi biologis dalam tubuh. Dengan demikian, radionuklida tersebut dapat memberikan peningkatan dosis pada jaringan tubuh selama berbulan-bulan atau bertahun-tahun setelah masukan. Kebutuhan untuk mengatur paparan radionuklida dan akumulasi dosis radiasi selama waktu yang lama telah membawa pada definisi dari besaran dosis terikat. Dosis terikat dari radionuklida dalam tubuh adalah dosis total yang diperkirakan akan diterima dalam jangka waktu tertentu. Dosis ekuivalen terikat, $H_T(\tau)$, dalam sebuah jaringan atau organ T ditentukan dengan:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} H_T(t) dt \quad (A1.6)$$

di mana τ adalah waktu gabungan setelah waktu masukan t_0 . Untuk selanjutnya, besaran dosis efektif terikat $E(\tau)$ ditentukan dengan:

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) \quad (A1.7)$$

Untuk memenuhi batasan dosis, *ICRP* merekomendasikan bahwa dosis terikat ditetapkan pada tahun di mana masukan terjadi. Untuk pekerja, dosis terikat biasanya dievaluasi selama lebih dari 50 tahun setelah masukan. Jangka waktu terikat 50 tahun adalah suatu nilai yang dipertimbangkan oleh *ICRP* sebagai harapan usia pekerja dihitung sejak ia masuk kerja di usia muda. Dosis efektif terikat dari masukan radionuklida juga digunakan dalam penentuan dosis perkiraan untuk anggota masyarakat. Dalam kasus ini, jangka waktu terikat 50 tahun dianjurkan untuk orang dewasa. Untuk bayi dan anak-anak, dosis dievaluasi hingga usia 70 tahun.

Dosis efektif dari masukan radionuklida karena kerja dinilai berdasarkan masukan pekerja dan koefisien dosis acuan. Perhitungan koefisien dosis untuk radionuklida tertentu ($Sv Bq^{-1}$)

menggunakan model biokinetik dan dosimetrik yang telah didefinisikan. Model-model tersebut digunakan untuk menggambarkan masuknya berbagai bentuk kimia radionuklida ke dalam tubuh dan distribusinya serta retensi setelah masuk ke darah. Fantom pria dan wanita komputasi juga digunakan untuk menghitung, untuk serangkaian sumber, fraksi energi yang dipancarkan dari suatu daerah sumber S yang diserap di daerah target T . Perkiraan ini dianggap memadai untuk tugas-tugas utama dalam proteksi radiasi.

Koefisien dosis efektif terikat rerata jender $e(\tau)^1$ untuk masukan radionuklida tertentu dihitung menurut persamaan:

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[\frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right] \quad (\text{A1.8})$$

dengan w_T adalah faktor bobot jaringan untuk jaringan T , dan $h_T^M(\tau)$ dan $h_T^F(\tau)$ adalah koefisien dosis ekuivalen terikat untuk jaringan T dari pria dan wanita, masing-masing, untuk periode terikat τ . Penjumlahan dalam persamaan A1.8 juga berlaku pada koefisien dosis ekuivalen terikat untuk jaringan lainnya (*remainder*), baik pria dan wanita.

Paparan radiasi internal adalah paparan radiasi yang sumber radiasinya ada di dalam tubuh. Sumber radiasi dapat berada di dalam tubuh karena adanya radionuklida yang masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan (inhalasi), pencernaan (injeksi) dan melalui kulit (luka terbuka, pori-pori kulit). Pencegahan paparan radiasi internal dapat dilakukan dengan:

1. Membatasi jumlah bahan radioaktif yang akan digunakan sekecil mungkin sesuai keperluan
2. Mencegah tersebarnya bahan radioaktif di sumbernya, yaitu dengan cara mewadahi dan mengungkungnya.
3. Menggunakan alat pelindung diri yang memadai misalnya baju pelindung (jas lab), *shoecover*, sarung tangan, masker yang sesuai, alat monitor perorangan dan monitor ruangan.
4. Dilarang makan, minum dan berhias di laboratorium.
5. Melakukan pekerjaan di meja atau ruang asap dan menggunakan kertas isap atau kertas merang jika ada ada kemungkinan zat radioaktif tumpah.
6. Tangan tidak menyentuh langsung apa pun sebelum dipastikan tangan bebas dari kontaminasi dan yang akan dipegang bebas kontaminasi.

A1.4.3 Paparan kerja

Dalam pemantauan paparan kerja (*occupational exposure*) radiasi eksternal, dosimeter perorangan mengukur dosis ekuivalen perorangan $H_p(10)$. Nilai yang terukur ini dianggap sebagai penilaian terhadap dosis efektif dengan asumsi keseragaman paparan seluruh tubuh. Untuk paparan internal, dosis efektif terikat umumnya ditentukan dari pengkajian terhadap masukan radionuklida dari pengukuran bioassay atau besaran lain (misalnya aktivitas yang terjadi di dalam tubuh atau di dalam tinja sehari-hari). Dosis radiasi ditentukan dari masukan menggunakan koefisien dosis yang dianjurkan oleh ICRP 68 atau BSS 115.

Dosis yang diperoleh dari pengkajian paparan kerja radiasi eksternal dan masukan radionuklida digabungkan untuk penentuan nilai total dosis efektif, E , untuk pemenuhan batasan dosis dan pembatas dosis (*dose constraint*) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E \cong H_p(10) + E(50) \quad (\text{A1.9})$$

di mana $H_p(10)$ adalah dosis ekivalen perorangan dari paparan eksternal dan $E(50)$, dosis efektif terikat dari paparan internal, ditentukan dengan:

$$E(50) = \sum_j e_{j,inh}(50) \cdot I_{j,inh} + \sum_j e_{j,ing}(50) \cdot I_{j,ing} \quad (\text{A1.10})$$

Keterangan:

- $e_{j,inh}(50)$ = koefisien dosis efektif terikat untuk aktivitas masukan melalui inhalasi dari suatu radionuklida j ,
- $I_{j,inh}$ = aktivitas masukan dari suatu radionuklida j melalui inhalasi,
- $e_{j,ing}(50)$ = koefisien dosis efektif terikat untuk aktivitas masukan dari suatu radionuklida j melalui injeksi (penelanan), dan
- $I_{j,ing}$ = aktivitas masukan dari radionuklida j melalui injeksi.

Dalam perhitungan dosis efektif dari radionuklida tertentu, kelonggaran mungkin perlu dibuat untuk karakteristik dari materi yang masuk ke dalam tubuh.

Koefisien dosis yang digunakan dalam persamaan (A1.10) adalah yang ditetapkan oleh *ICRP* tanpa meninggalkan karakteristik anatomis, fisiologis, dan biokinetik Pria Acuan (*Reference Man*) dan Wanita Acuan (*Reference Female*) sebagaimana diberikan dalam *ICRP 2002*. Perhitungan dapat diambil dari karakteristik fisik dan kimia dari masukan, termasuk diameter aerodinamik median aktivitas (*AMAD*) dari aerosol yang terhirup dan bentuk kimia zat partikulat radionuklida tertentu yang terambil.

Dosis efektif yang ditetapkan dalam catatan dosis pekerja adalah nilai di mana Orang Acuan (*Reference Person*) akan merasakan sebab daerah radiasi dan aktivitas masukan yang dihadapi oleh pekerja. Jangka waktu terikat 50 tahun merupakan periode akumulasi dosis yang mungkin selama usia kerja (ini hanya relevan untuk radionuklida dengan waktu paro fisik panjang dan retensi panjang di jaringan tubuh).

Pengumpulan radionuklida melalui kejadian yang tak terkendali yang melibatkan luka memiliki implikasi di luar kesesuaian dengan praktek kerja dan dengan demikian kejadian semacam ini tidak termasuk dalam persamaan (A1.10). Arti penting dari peristiwa-peristiwa ini harus dievaluasi dan dicatat, perawatan medis yang sesuai disediakan, dan lebih jauh pembatasan paparan pekerja dipertimbangkan jika perlu.

Dalam kasus yang langka dari kontribusi signifikan paparan eksternal berpenetrasi radiasi lemah, kontribusi dari dosis kulit terhadap dosis efektif perlu dipertimbangkan selain persyaratan yang diberikan dalam persamaan (A1.9) untuk pengkajian dosis efektif. Dosis radiasi dari isotop radon, terutama radon-222, dan produk-produk peluruhannya mungkin juga perlu dipertimbangkan dalam pengkajian dosis secara keseluruhan (*ICRP 65*).

Dalam keadaan tertentu di mana pemantauan individu dengan dosimeter perorangan tidak dilakukan, seperti paparan petugas penerbangan, pengkajian dosis efektif dapat diperoleh dari nilai-nilai dari besaran dosis ekivalen ambien, $H^*(10)$. Dosis efektif kemudian dihitung menggunakan faktor-faktor yang sesuai dari data di daerah radiasi, atau dengan menghitung dosis efektif secara langsung dari data tersebut.

A1.4.4 Paparan masyarakat

Prinsip-prinsip dasar perkiraan dosis efektif adalah sama bagi anggota masyarakat seperti bagi pekerja. Dosis efektif tahunan untuk anggota masyarakat adalah jumlah dosis efektif yang diperoleh dalam satu tahun dari paparan eksternal dan dosis efektif terikat dari radionuklida yang masuk ke tubuh dalam tahun tersebut. Dosis ini tidak diperoleh dengan pengukuran langsung paparan individu seperti pada paparan kerja tetapi terutama ditentukan oleh pengukuran efluen dan lingkungan, perilaku data, dan pemodelan.

Komponen akibat lepasan efluen radioaktif dapat diperkirakan dengan pemantauan efluen untuk instalasi yang sudah ada, atau prediksi efluen dari instalasi atau sumber selama periode desain. Informasi tentang konsentrasi radionuklida dalam efluen dan lingkungan digunakan bersama-sama dengan pemodelan radioekologi (analisis jalur transportasi lingkungan, melalui udara, air, tanah, sedimen, tanaman, dan hewan kepada manusia) untuk mengkaji dosis dari paparan radiasi eksternal dan *masuk* radionuklida. Kelengkapan informasi ini diberikan dalam *Annex B, ICRP 103*.

A1.4.5 Aplikasi Dosis Efektif

Kegunaan dasar dan pokok dari dosis efektif dalam proteksi radiasi bagi pekerja dan masyarakat umum adalah:

1. pengkajian dosis prospektif untuk perencanaan dan optimisasi proteksi; dan
2. pengkajian dosis retrospektif untuk menunjukkan pemenuhan terhadap batas dosis, atau untuk membandingkan dengan pembatas dosis atau tingkat acuan (*reference level*).

Dalam pengertian ini, dosis efektif digunakan untuk tujuan regulasi. Dalam praktek penerapan proteksi radiasi, dosis efektif digunakan untuk mengelola risiko efek stokastik pekerja dan masyarakat umum. Perhitungan dosis efektif atau koefisien konversi yang sesuai untuk paparan eksternal dan koefisien dosis paparan internal, didasarkan pada dosis terserap, faktor pembobotan (w_R dan w_T), dan nilai-nilai referensi bagi tubuh manusia serta organ-organ dan jaringannya. Dosis efektif tidak didasarkan pada data dari orang perorang. Dalam penerapan umumnya, dosis efektif tidak memberikan dosis spesifik-individu melainkan untuk orang acuan dalam suatu situasi paparan tertentu.

Ada beberapa keadaan dengan nilai-nilai parameter dapat diubah dari nilai-nilai acuan dalam perhitungan dosis efektif. Oleh karena itu, adalah penting untuk membedakan antara nilai-nilai parameter acuan yang dapat berubah dalam perhitungan dosis efektif dalam situasi paparan tertentu dan nilai-nilai yang tidak dapat diubah dalam definisi dosis efektif (misalnya faktor bobot). Dengan demikian, dalam pengkajian dosis efektif dalam situasi paparan kerja, perubahan dapat dilakukan misalnya berkaitan dengan karakteristik suatu daerah radiasi eksternal (sebagai contoh arah paparan) atau karakteristik fisik dan kimia dari radionuklida yang terhirup atau tertelan. Dalam kasus seperti itu perlu menyatakan dengan jelas penyimpangan dari nilai-nilai parameter acuan.

Dalam pengkajian dosis retrospektif untuk individu tertentu yang mungkin secara substansial melebihi batasan dosis, dosis efektif dapat memberikan takaran pendekatan awal dari keseluruhan kerusakan (*detriment*). Jika dosis radiasi dan risiko perlu dikaji dengan cara yang lebih akurat, diperlukan perkiraan spesifik lanjutan dosis organ atau jaringan, terutama jika risiko organ spesifik bagi individu tertentu diperlukan.

Dosis efektif dimaksudkan untuk digunakan sebagai besaran proteksi berdasarkan nilai-nilai acuan dan karena itu tidak direkomendasikan untuk evaluasi epidemiologi, juga tidak dianjurkan digunakan untuk penyelidikan tertentu retrospektif yang rinci dari paparan dan

risiko perorangan. Sebaliknya, dosis terserap harus digunakan dengan efektivitas biologis biokinetik paling tepat dan data faktor risiko. Dosis organ atau jaringan, bukan dosis efektif, diperlukan untuk mengkaji kemungkinan induksi kanker dalam individu terpapar.

Penggunaan dosis efektif tidak sesuai untuk pengkajian reaksi jaringan. Dalam situasi seperti itu perlu untuk memperkirakan dosis terserap dan memperhitungkan *RBE* yang sesuai sebagai dasar pengkajian atas efek radiasi.

A1.4.6 Dosis efektif kolektif

Dosis kolektif diperlukan untuk menyatakan efek radiasi pada suatu kelompok orang, terutama terhadap paparan kerja, untuk maksud optimisasi proteksi radiasi (*ICRP 26, ICRP 60*). Besaran ini memperhitungkan paparan semua individu dalam suatu kelompok selama kurun waktu operasional tertentu di daerah radiasi. Dosis efektif kolektif *S* dihitung sebagai penjumlahan semua dosis efektif individu pada kurun waktu tertentu atau selama operasi. Nama khusus yang digunakan untuk besaran dosis efektif kolektif adalah 'orang-sievert'. Dalam proses optimisasi, tindakan proteksi radiasi dan skenario operasional dibandingkan dalam kerangka pengkajian dosis efektif individu dan kolektif yang diharapkan.

Dosis efektif kolektif, *S*, didasarkan pada asumsi hubungan efek dosis linear untuk efek stokastik tanpa ambang (model *LNT, linear no-threshold*). Atas dasar ini, maka dimungkinkan untuk menganggap dosis efektif bersifat aditif.

Dosis efektif kolektif adalah sebuah alat optimisasi, untuk membandingkan teknologi radiasi dan prosedur proteksi. Dosis efektif kolektif tidak dimaksudkan sebagai alat untuk studi epidemiologi, dan tidak sepatutnya menggunakan besaran tersebut dalam proyeksi risiko. Hal ini karena asumsi implisit dalam perhitungan dosis efektif kolektif (misalnya, ketika menerapkan model *LNT*) menyembunyikan ketidakpastian biologis dan statistik yang besar. Khususnya, perhitungan kematian akibat kanker berdasarkan dosis efektif kolektif yang melibatkan paparan sepele pada populasi besar menjadi tidak masuk akal dan harus dihindari. Perhitungan semacam itu yang didasarkan pada dosis efektif kolektif tidak dikehendaki, yang secara biologis dan statistik sangat tidak pasti.

Untuk menghindari penggabungan yang tidak tepat, misalnya dosis individu sangat rendah selama jangka waktu yang panjang dan wilayah geografis yang luas, syarat-syarat pembatasan perlu ditetapkan. Rentang dosis dan jangka waktu harus ditentukan. Dosis efektif kolektif yang disebabkan nilai dosis efektif individu antara E_1 dan E_2 didefinisikan sebagai:

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left(\frac{dN}{dE} \right)_{\Delta T} dE$$

di mana $(dN/dE)dE$ menyatakan jumlah individu yang terpapar dosis efektif antara E dan $E + dE$ dalam jangka waktu ΔT . Bila rentang dosis individu merentang beberapa orde besarnya, distribusinya harus dibagi menjadi beberapa rentang dosis individu, masing-masing rentang tidak lebih dari dua atau tiga orde, dengan ukuran populasi, rata-rata dosis individu, dan ketidakpastian dihitung secara terpisah untuk setiap rentang. Jika dosis efektif kolektif lebih kecil daripada kebalikan risiko kerusakan yang relevan, pengkajian risiko harus memperhatikan bahwa kemungkinan terbesar jumlah kelebihan efek kesehatan adalah nol (*NCRP Report 121, 1995*).

A1.5 Tingkatan Proteksi Radiasi

Pada *ICRP 60*, efek kontribusi dosis individu dari suatu sumber tidak bergantung terhadap efek dosis dari sumber lainnya. Untuk banyak tujuan, tiap sumber atau kelompok sumber biasanya diperlakukan berbeda. Untuk itu perlu mempertimbangkan paparan individu yang dipapari oleh sumber atau kelompok sumber ini. *ICRP 103* menekankan perlunya pendekatan terkait sumber ini karena tindakan dapat diambil pada suatu sumber untuk meyakinkan proteksi suatu kelompok individu dari sumber tersebut.

Dalam situasi kondisi operasi normal, pembatasan terkait sumber terhadap dosis individu disebut pembatas dosis (*dose constraint*). Untuk paparan potensial konsep yang serupa adalah pembatas risiko (*risk constraint*). Untuk situasi paparan kedaruratan dan *existing*, pembatasan terkait sumber adalah tingkat acuan (*reference level*). Konsep pembatas dosis dan tingkat acuan digunakan dalam proses optimisasi proteksi untuk membantu pencapaian bahwa semua paparan dijaga serendah yang dapat dicapai secara layak dengan memperhatikan faktor sosial dan ekonomi.

Dalam kasus kondisi operasi normal tertentu, pembatasan terpisah pada jumlah dosis pekerjaan dan pada jumlah dosis masyarakat disyaratkan. Pembatasan terkait individu ini dinyatakan dalam pembatas dosis.

A1.7 Prinsip proteksi radiasi

Prinsip proteksi radiasi berdasarkan *GSR Part-3* terdiri dari 3 (tiga) unsur yaitu:

1. Justifikasi

Justifikasi adalah semua kegiatan yang melibatkan paparan radiasi hanya dilakukan jika menghasilkan nilai lebih atau memberikan manfaat yang nyata (azas manfaat). Justifikasi dari suatu rencana kegiatan atau operasi yang melibatkan paparan radiasi dapat ditentukan dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dengan menggunakan analisa untung rugi untuk meyakinkan bahwa akan terdapat keuntungan lebih dari dilakukannya kegiatan tersebut.

2. Optimisasi

Optimisasi adalah semua paparan harus diusahakan serendah-rendahnya yang dapat dicapai (*As Low As Reasonably Achievable – ALARA*) dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial. Syarat ini menyatakan bahwa kerugian/kerusakan dari suatu kegiatan yang melibatkan radiasi harus ditekan serendah mungkin dengan menerapkan peraturan proteksi. Dalam pelaksanaannya, syarat ini dapat dipenuhi misalnya dengan pemilihan kriteria desain atau penentuan nilai batas/tingkat acuan bagi tindakan yang akan dilakukan.

3. Limitasi

Limitasi adalah semua dosis ekuivalen yang diterima oleh seseorang tidak boleh melampaui Nilai Batas Dosis (NBD) yang telah ditetapkan. Pembatasan dosis ini dimaksud untuk menjamin bahwa tidak ada seorangpun terkena risiko radiasi baik efek stokastik maupun efek deterministik akibat dari penggunaan radiasi maupun zat radioaktif dalam keadaan normal.

A1.8 Proteksi Lingkungan

Proteksi lingkungan ditujukan untuk mempertahankan keragaman biologis agar terjaga konservasi spesies, dan melindungi kesehatan dan status habitat alam, komunitas, dan ekosistem.

Hingga saat ini dipercaya bahwa proteksi terhadap manusia dalam kaitannya dengan situasi paparan yang direncanakan dengan melaksanakan suatu standar pengendalian lingkungan yang diperlukan untuk melindungi masyarakat akan juga melindungi lingkungan. Hal ini kemungkinan dapat tidak berlaku untuk situasi paparan kedaruratan dan existing. Untuk itu *ICRP* 103 mulai mempertimbangkan untuk perlunya rekomendasi proteksi lingkungan untuk semua situasi paparan.

Lampiran A2
(Informatif)
Pembagian daerah kerja instalasi nuklir BATAN

Pembagian daerah kerja instalasi nuklir disesuaikan dengan kegiatan yang dilakukan di tiap instalasi nuklir tersebut. Secara garis besar daerah kerja instalasi nuklir dibagi menjadi:

A2.1 Daerah Supervisi:

Daerah Supervisi, terdiri atas:

1. Daerah Radiasi Sangat Rendah, daerah kerja yang memungkinkan seseorang pekerja menerima dosis kurang dari atau sama dengan 1 mSv (100 mRem) dalam satu tahun.
2. Daerah Radiasi Rendah, daerah kerja yang memungkinkan seseorang pekerja menerima dosis lebih dari 1 mSv (100 mrem) tapi kurang dari 6 mSv (600 mrem) dalam satu tahun untuk seluruh tubuh atau nilai batas dosis organ yang sesuai.

A2.2 Daerah Pengendalian:

Daerah Pengendalian, dibedakan atas

1. Daerah Radiasi:

a) Daerah Radiasi Sedang

Daerah kerja yang memungkinkan seseorang yang bekerja secara tetap pada daerah itu menerima dosis 6 mSv (600 mrem) atau lebih tetapi kurang dari 20 mSv (2 rem) dalam satu tahun untuk seluruh tubuh atau nilai batas dosis organ yang sesuai.

b) Daerah Radiasi Tinggi

Daerah kerja yang memungkinkan seseorang yang bekerja secara tetap dalam daerah itu menerima dosis 20 mSv (2 rem) atau lebih dalam satu tahun atau nilai yang sesuai terhadap organ tertentu dari tubuh.

2. Daerah kontaminasi:

a) Daerah kontaminasi rendah

Daerah kerja dengan tingkat kontaminasi yang besarnya lebih kecil dari $0,37 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-5} \mu\text{Ci/cm}^2$) untuk pemancar α dan lebih kecil dari $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^2$) untuk pemancar β

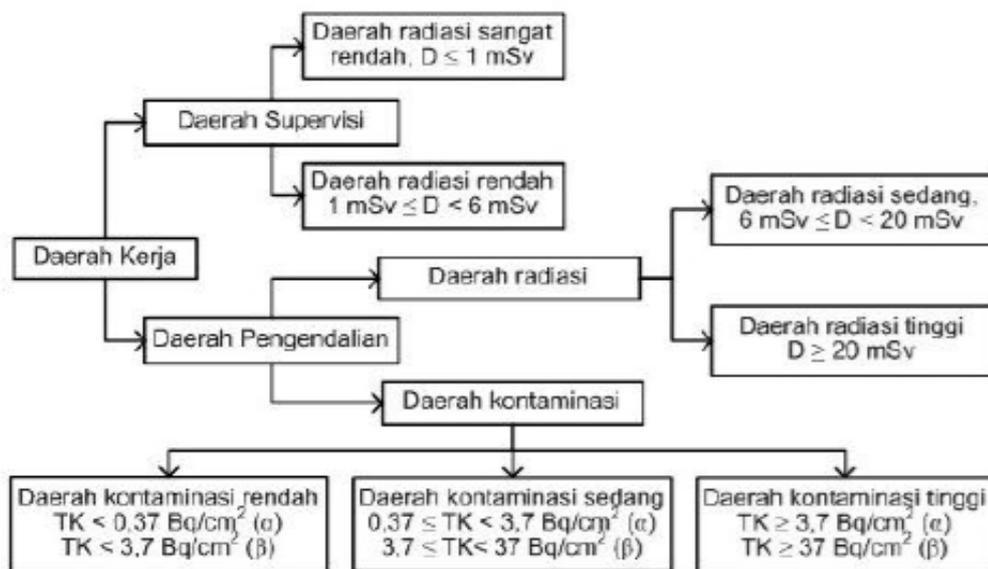
b) Daerah kontaminasi sedang

Daerah kerja dengan tingkat kontaminasi radioaktif $0,37 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-5} \mu\text{Ci/cm}^2$) atau lebih tapi kurang dari $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^2$) untuk pemancar α dan $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^2$) atau lebih tetapi kurang dari $0,37 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-5} \mu\text{Ci/cm}^2$) untuk pemancar β , sedangkan kontaminasi udara tidak melebihi sepersepuluh Batas Turunan Kadar Zat Radioaktif di udara.

c) Daerah kontaminasi tinggi:

- Daerah kerja dengan tingkat kontaminasi dari $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^2$) atau lebih untuk pemancar α dan 37 Bq/cm^2 ($10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^2$) atau lebih untuk pemancar β , sedangkan kontaminasi udara kadang-kadang lebih besar dari Batas Turunan Kadar Zat Radioaktif di udara.
- Rangkuman pembagian daerah kerja ini diberikan pada Gambar A2.1 Daerah kerja di fasilitas harus dipantau paparan radiasi, jenis dan tingkat kontaminasinya oleh petugas Keselamatan Kerja. Data hasil pemantauan ini digunakan untuk evaluasi keselamatan dan kesehatan kerja para pekerja dan peningkatan unjuk kerja peralatan proteksi radiasi yang perlu digunakan di daerah tersebut.
- Klasifikasi isotop berdasarkan radiotoksitas relatif per satuan aktivitas pada Tabel A2.1 dan tingkat kontaminasi permukaan maksimum yang diizinkan pada Tabel A2.2 dapat digunakan untuk pengendalian daerah kerja.

CATATAN Pembagian daerah kerja disesuaikan dengan karakteristik masing-masing fasilitas kawasan yang ada di BATAN



Gambar A2.1 Diagram Pembagian Daerah Kerja

Tabel A2.1 Klasifikasi Isotop Berdasarkan Radiotoksitas Relatif Persatuan Aktivitas

Group 1 : Radiotoksitas Sangat Tinggi									
^{210}Pb	^{226}Ra	^{227}Th	^{231}Pa	^{233}U	^{238}Pu	^{241}Pu	^{243}Am	^{244}Cm	^{249}Cf
^{210}Po	^{228}Ra	^{228}Th	^{230}U	^{234}U	^{239}Pu	^{242}Pu	^{242}Cm	^{245}Cm	^{250}Cf
^{228}Ra	^{227}Ac	^{230}Th	^{232}U	^{232}U	^{237}Np	^{241}Am	^{243}Cm	^{246}Cm	^{252}Cf

Group 2 : Radiotoksistas Tinggi								
²² Na	⁵⁶ Co	⁹⁵ Zr	¹²⁵ Sb	¹³¹ I	¹⁴⁴ Ce	¹⁸¹ Hf	²⁰⁷ Bi	²²⁸ Ac
³⁶ Cl	⁶⁰ Co	¹⁰⁶ Ru	^{127m} Te	¹³³ I	¹⁵² Eu		²¹⁰ Bi	²³⁰ Pa
⁴⁵ Ca	⁸⁹ Sr	^{110m} Ag	^{129m} Te	¹³⁴ Cs	¹⁵⁴ Eu	¹⁸² Ta	²¹¹ At	²³⁴ Th
⁴⁶ Sc	⁹⁰ Sr	^{115m} Cd	¹²⁴ I	¹³⁷ Cs	¹⁶⁰ Tb	¹⁹² Ir	²¹² Pb	²³⁶ U
⁵⁴ Mn	⁹¹ Y	^{114m} In	¹²⁶ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁷⁰ Tm	²⁰⁴ Tl	²²⁴ Ra	²⁴⁹ Bk
		¹²⁴ Sb	¹²⁵ I					

Group 3 : Radiotoksistas Sedang										
⁷ Be	⁴⁸ Sc	⁶⁵ Zn	⁹¹ Sr	¹⁰³ Ru	^{125m} Te	¹⁴⁰ Gd	¹⁵³ Gd	¹⁸⁷ W	¹⁹⁸ Au	²³¹ Th
¹⁴ C	⁴⁸ V	^{69m} Zn	⁹⁰ Y	¹⁰⁵ Ru	¹²⁷ Te	¹⁴¹ Ce	¹⁵⁹ Gd	¹⁸³ Re	¹⁹⁹ Au	²³⁵ Pa
¹⁸ F	⁵¹ Cr	⁷² Ga	⁹² Y	¹⁰⁵ Rh	¹²⁹ Te	¹⁴³ Ce	¹⁶⁵ Dy	¹⁸⁶ Re	¹⁹⁷ Hg	²³⁹ Np
²⁴ Na	⁵² Mn	⁷³ As	⁹³ Y	¹⁰³ Pd	^{131m} Te	¹⁴² Pr	¹⁶⁶ Dy	¹⁸⁸ Re	^{197m} Hg	
³⁸ Cl	⁵⁶ Mn	⁷⁴ As	⁹⁷ Zr	¹⁰⁹ Pd	¹³² Te	¹⁴³ Pr	¹⁶⁶ Ho	¹⁸⁵ Os	²⁰³ Hg	
³¹ Si	⁵² Fe	⁷⁶ As	^{93m} Nb	¹⁰⁵ Ag	¹³⁰ I	¹⁴⁷ Nd	¹⁶⁹ Er	¹⁹¹ Os	²⁰⁰ Tl	
³² P	⁵⁵ Fe	⁷⁷ As	⁹⁵ Nb	¹¹¹ Ag	¹³² I	¹⁴⁹ Nd	¹⁷¹ Er	¹⁹³ Os	²⁰¹ Tl	
³⁵ S	⁵⁹ Fe	⁷⁵ Se	⁹⁹ Mo	¹⁰⁹ Cd	¹³⁴ I	¹⁴⁷ Pm	¹⁷¹ Tm	¹⁹⁰ Ir	²⁰² Tl	
⁴¹ A	⁵⁷ Co	⁸² Br	⁹⁶ Tc	¹¹⁵ Cd	¹³⁵ I	¹⁴⁹ Pm	¹⁷⁵ Yb	¹⁹⁴ Ir	²⁰³ Pb	
⁴² K	⁵⁸ Co	^{85m} Kr	⁹⁷ Tc	^{115m} In	¹³⁵ Xe	¹⁵¹ Sm	¹⁷⁷ Lu	¹⁹¹ Pt	²⁰⁶ Bi	
⁴³ K	⁶³ Ni	⁸⁷ Kr	⁹⁸ Tc	¹¹³ Sn	¹³¹ Cs	¹⁵³ Sm	¹⁸¹ W	¹⁹³ Pt	²¹² Bi	
⁴⁷ Ca	⁶⁵ Ni	⁸⁶ Rb	⁹⁹ Tc	¹²⁵ Sn	¹³⁶ Cs	¹⁵² Eu		¹⁹⁷ Pt	²²⁰ Rn	
⁴⁷ Sc	⁶⁴ Cu	⁸⁵ Sr	⁹⁷ Ru	¹²² Sb	¹³¹ Ba	¹⁵⁵ Eu	¹⁸⁵ W	¹⁹⁶ Au	²²² Rn	

Group 4 : Radiotoksistas Rendah										
³ H	^{58m} Co	⁷¹ Ge	⁸⁷ Rb	⁹⁷ Nb	^{103m} Rh	^{131m} Xe	¹³⁵ Cs	^{191m} Os	²³² Th	²³⁸ U
¹⁵ O	⁵⁹ Ni	⁸⁵ Kr	^{91m} Y	^{96m} Tc	^{131m} In	¹³³ Xe	¹⁴⁷ Sm	^{193m} Pt	Nat Th	Nat U
³⁷ A	⁶⁹ Zn	⁸⁵ Sr	⁹³ Zr	^{99m} Tc	¹²⁹ I	^{134m} Cs	¹⁸⁷ Re	^{197m} Pt	²³⁵ U	

Tabel A2.2 - Tingkat kontaminasi permukaan maksimum yang diizinkan*)

Jenis daerah kerja	Tingkat maksimum yang diizinkan, Bq/cm ²		
	α	β kec. ⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr
Daerah kontaminasi rendah	0,37 3,7 **)	3,7	0,37
Daerah kontaminasi sedang	3,7 37 **)	37	3,7
Daerah kontaminasi tinggi dan tidak umum dimasuki	> 3,7 > 37 **)	> 37	3,7

*) Sebagai pedoman luas rata-rata pengukuran diusahakan 300 cm². Luasan 1 000 cm² dapat digunakan untuk lantai, dinding dan atap.

**) Harga ini hanya digunakan untuk pemancar- α selain radionuklida sangat toksik dalam group I pada Tabel A2.1.

Lampiran B

Contoh batas lepasan radionuklida ke atmosfer Kawasan Nuklir Serpong

Radionuklida	Bq/minggu	Radionuklida	Bq/minggu
Ag-110m	2.87×10^6	Pm-147	1.41×10^{10}
Am-241	1.05×10^5	Pr-144	1.02×10^{12}
Am-243	2.52×10^5	Pu-238	1.68×10^5
Ba-137m	1.92×10^{12}	Pu-239	3.44×10^5
Ba-140	6.55×10^7	Pu-240	6.09×10^4
Br-82	5.44×10^8	Pu-242	7.14×10^4
Br-83	2.88×10^{11}	Rn-103m	5.72×10^{13}
Ce-141	8.07×10^6	Rn-106	1.60×10^{13}
Ce-144	3.49×10^7	Rn-103	1.11×10^8
Cm-242	6.94×10^6	Rn-106	1.51×10^7
Cm-243	3.42×10^5	Sb-125	4.52×10^6
Cm-244	1.02×10^5	Sm-151	2.96×10^{10}
Cs-134	1.75×10^6	Sn-125	2.28×10^8
Cs-137	5.31×10^7	Sr-90	5.17×10^6
Eu-154	5.84×10^5	Te-125m	5.88×10^8
Eu-155	2.08×10^7	Te-127	4.86×10^{11}
H-3	2.56×10^{11}	Te-127m	2.64×10^8
I-125	1.75×10^8	Te-129m	1.68×10^8
I-131	3.19×10^8	Te-131m	7.24×10^8
I-132	9.45×10^9	Te-132	2.41×10^8
I-133	3.57×10^9	Th-234	2.26×10^7
I-134	2.15×10^{10}	U-238	7.16×10^4
I-135	3.38×10^9	Xe-131m	1.05×10^{10}
Kr-83m	7.32×10^{13}	Xe-133	9.63×10^9
Kr-85	5.66×10^7	Xe-133m	1.22×10^{10}
Kr-85m	6.37×10^{10}	Xe-135	2.10×10^{10}
Kr-88	6.81×10^9	Xe-135m	2.80×10^{11}
La-140	5.50×10^6	Xe-138	$6.06E+10$
Nb-95	7.74×10^7	Y-90	$6.65E+09$
Nb-95m	7.57×10^8	Y-91	3.84×10^8
Nd-147	2.28×10^8	Zr-95	2.08×10^7
Np-239	9.40×10^6		

Lampiran C

Tabel tingkat pengecualian: Konsentrasi aktivitas yang dikecualikan dan aktivitas radionuklida yang dikecualikan

Nuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)	Nuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)
H-3	1×10^6	1×10^9	Fe-52	1×10^1	1×10^6
Be-7	1×10^3	1×10^7	Fe-55	1×10^4	1×10^6
C-14	1×10^4	1×10^7	Fe-59	1×10^1	1×10^6
O-15	1×10^2	1×10^9	Co-55	1×10^1	1×10^6
F-18	1×10^1	1×10^6	Co-56	1×10^1	1×10^5
Na-22	1×10^1	1×10^6	Co-57	1×10^2	1×10^6
Na-24	1×10^1	1×10^5	Co-58	1×10^1	1×10^6
Si-31	1×10^3	1×10^6	Co-58m	1×10^4	1×10^7
P-32	1×10^3	1×10^5	Co-60	1×10^1	1×10^5
P-33	1×10^5	1×10^8	Co-60m	1×10^3	1×10^6
S-35	1×10^5	1×10^8	Co-61	1×10^2	1×10^6
Cl-36	1×10^4	1×10^6	Co-62m	1×10^1	1×10^5
Cl-38	1×10^1	1×10^5	Ni-59	1×10^4	1×10^8
Ar-37	1×10^6	1×10^8	Ni-63	1×10^5	1×10^8
Ar-41	1×10^2	1×10^9	Ni-65	1×10^1	1×10^6
K-40	1×10^2	1×10^6	Cu-64	1×10^2	1×10^6
K-42	1×10^2	1×10^6	Zn-65	1×10^1	1×10^6
K-43	1×10^1	1×10^6	Zn-69	1×10^4	1×10^6
Ca-45	1×10^4	1×10^7	Zn-69m	1×10^2	1×10^6
Ca-47	1×10^1	1×10^6	Ga-72	1×10^1	1×10^5
Sc-46	1×10^1	1×10^6	Ge-71	1×10^4	1×10^8
Sc-47	1×10^2	1×10^6	As-73	1×10^3	1×10^7
Sc-48	1×10^1	1×10^5	As-74	1×10^1	1×10^6
V-48	1×10^1	1×10^5	As-76	1×10^2	1×10^5
Cr-51	1×10^3	1×10^7	As-77	1×10^3	1×10^6
Mn-51	1×10^1	1×10^5	Se-75	1×10^2	1×10^6
Mn-52	1×10^1	1×10^5	Br-82	1×10^1	1×10^6
Mn-52m	1×10^1	1×10^5	Kr-74	1×10^2	1×10^9
Mn-53	1×10^4	1×10^9	Kr-76	1×10^2	1×10^9
Mn-54	1×10^1	1×10^6	Kr-77	1×10^2	1×10^9
Mn-56	1×10^1	1×10^5	Kr-79	1×10^3	1×10^5
Kr-81	1×10^4	1×10^7	Tc-97	1×10^3	1×10^8
Kr-83m	1×10^5	1×10^{12}	Tc-97m	1×10^3	1×10^7
Kr-85	1×10^5	1×10^4	Tc-99	1×10^4	1×10^7
Kr-85m	1×10^3	1×10^{10}	Tc-99m	1×10^2	1×10^7
Kr-87	1×10^2	1×10^9	Ru-97	1×10^2	1×10^7
Kr-88	1×10^2	1×10^9	Ru-103	1×10^2	1×10^6
Rb-86	1×10^2	1×10^5	Ru-105	1×10^1	1×10^6
Sr-85	1×10^2	1×10^6	Ru-106 ^a	1×10^2	1×10^5
Sr-85m	1×10^2	1×10^7	Rh-103m	1×10^4	1×10^8
Sr-87m	1×10^2	1×10^6	Rh-105	1×10^2	1×10^7

Sr-89

Nuklida	Konsentrasi		Nuklida	Konsentrasi	
	Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)		Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)
Sr-89	1×10^3	1×10^6	Pd-103	1×10^3	1×10^8
Sr-90 ^a	1×10^2	1×10^4	Pd-109	1×10^3	1×10^6
Sr-91	1×10^1	1×10^5	Ag-105	1×10^2	1×10^6
Sr-92	1×10^1	1×10^6	Ag-110m	1×10^1	1×10^6
Y-90	1×10^3	1×10^5	Ag-111	1×10^3	1×10^6
Y-91	1×10^3	1×10^6	Cd-109	1×10^4	1×10^6
Y-91m	1×10^2	1×10^6	Cd-115	1×10^2	1×10^6
Y-92	1×10^2	1×10^5	Cd-115m	1×10^3	1×10^6
Y-93	1×10^2	1×10^5	In-111	1×10^2	1×10^6
Zr-93 ^a	1×10^3	1×10^7	In-113m	1×10^2	1×10^6
Zr-95	1×10^1	1×10^6	In-114m	1×10^2	1×10^6
Zr-97 ^a	1×10^1	1×10^5	In-115m	1×10^2	1×10^6
Nb-93m	1×10^4	1×10^7	Sn-113	1×10^3	1×10^7
Nb-94	1×10^1	1×10^6	Sn-125	1×10^2	1×10^5
Nb-95	1×10^1	1×10^6	Sb-122	1×10^2	1×10^4
Nb-97	1×10^1	1×10^6	Sb-124	1×10^1	1×10^6
Nb-98	1×10^1	1×10^5	Sb-125	1×10^2	1×10^6
Mo-90	1×10^1	1×10^6	Te-123m	1×10^2	1×10^7
Mo-93	1×10^3	1×10^8	Te-125m	1×10^3	1×10^7
Mo-99	1×10^2	1×10^6	Te-127	1×10^3	1×10^6
Mo-101	1×10^1	1×10^6	Te-127m	1×10^3	1×10^7
Tc-96	1×10^1	1×10^6	Te-129	1×10^2	1×10^6
Tc-96m	1×10^3	1×10^7	Te-129m	1×10^3	1×10^6
Te-131	1×10^2	1×10^5	Ce-143	1×10^2	1×10^6
Te-131m	1×10^1	1×10^6	Ce-144 ^a	1×10^2	1×10^5
Te-132	1×10^2	1×10^7	Pr-142	1×10^2	1×10^5
Te-133	1×10^1	1×10^5	Pr-143	1×10^4	1×10^6
Te-133m	1×10^1	1×10^5	Nd-147	1×10^2	1×10^6
Te-134	1×10^1	1×10^6	Nd-149	1×10^2	1×10^6
I-123	1×10^2	1×10^7	Pm-147	1×10^4	1×10^7
I-125	1×10^3	1×10^6	Pm-149	1×10^3	1×10^6
I-126	1×10^2	1×10^6	Sm-151	1×10^4	1×10^8
I-129	1×10^2	1×10^5	Sm-153	1×10^2	1×10^6
I-130	1×10^1	1×10^6	Eu-152	1×10^1	1×10^6
I-131	1×10^2	1×10^6	Eu-152m	1×10^2	1×10^6
I-132	1×10^1	1×10^5	Eu-154	1×10^1	1×10^6
I-133	1×10^1	1×10^6	Eu-155	1×10^2	1×10^7
I-134	1×10^1	1×10^5	Gd-153	1×10^2	1×10^7
I-135	1×10^1	1×10^6	Gd-159	1×10^3	1×10^6
Xe-131m	1×10^4	1×10^4	Tb-160	1×10^1	1×10^6
Xe-133	1×10^3	1×10^4	Dy-165	1×10^3	1×10^6
Xe-135	1×10^3	1×10^{10}	Dy-166	1×10^3	1×10^6
Cs-129	1×10^2	1×10^5	Ho-166	1×10^3	1×10^5
Cs-131	1×10^3	1×10^6	Er-169	1×10^4	1×10^7
Cs-132	1×10^1	1×10^5	Er-171	1×10^2	1×10^6
Cs-134m	1×10^3	1×10^5	Tm-170	1×10^3	1×10^6
Cs-134	1×10^1	1×10^4	Tm-171	1×10^4	1×10^8

Cs-135

Nuklida	Konsentrasi		Nuklida	Konsentrasi	
	Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)		Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)
Cs-135	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁷	Yb-175	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷
Cs-136	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵	Lu-177	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷
Cs-137 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴	Hf-181	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶
Cs-138	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴	Ta-182	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Ba-131	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	W-181	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷
Ba-140 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵	W-185	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁷
La-140	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵	W-187	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶
Ce-139	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Re-186	1 x 10 ³	1 x 10 ⁶
Ce-141	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷	Re-188	1 x 10 ²	1 x 10 ⁵
Os-185	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	Rn-222 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁸
Os-191	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷	Ra-223 ^a	1 x 10 ²	1 x 10 ⁵
Os-191m	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷	Ra-224 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵
Os-193	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Ra-225	1 x 10 ²	1 x 10 ⁵
Ir-190	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	Ra-226 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Ir-192	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴	Ra-227	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶
Ir-194	1 x 10 ²	1 x 10 ⁵	Ra-228 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵
Pt-191	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Ac-228	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶
Pt-193m	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷	Th-226 ^a	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷
Pt-197	1 x 10 ³	1 x 10 ⁶	Th-227	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Pt-197m	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Th-228 ^a	1 x 10 ⁰	1 x 10 ⁴
Au-198	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Th-229 ^a	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Au-199	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Th-230	1 x 10 ⁰	1 x 10 ⁴
Hg-197	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷	Th-231	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷
Hg-197m	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Th-alam	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Hg-203	1 x 10 ²	1 x 10 ⁵	(termasuk Th-223)		
Tl-200	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	Th-234 ^a	1 x 10 ³	1 x 10 ⁵
Tl-201	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Pa-230	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶
Tl-202	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	Pa-231	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Tl-204	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁴	Pa-233	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷
Pb-203	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶	U-230 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵
Pb-210 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴	U-231	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷
Pb-212 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵	U-232 ^a	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Bi-206	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵	U-233	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Bi-207	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	U-234	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Bi-210	1 x 10 ³	1 x 10 ⁶	U-235 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Bi-212 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁵	U-236	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Po-203	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	U-237	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶
Po-205	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	U-238 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Po-207	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	U-alam	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Po-210	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴	U-239	1 x 10 ²	1 x 10 ⁶
At-211	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷	U-240	1 x 10 ³	1 x 10 ⁷
Rn-220 ^a	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁷	U-240 ^a	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶
Np-237 ^a	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³	Cm-244	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁴
Np-239	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷	Cm-245	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Np-240	1 x 10 ¹	1 x 10 ⁶	Cm-246	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³
Pu-234	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷	Cm-247	1 x 10 ⁰	1 x 10 ⁴
Pu-235	1 x 10 ²	1 x 10 ⁷	Cm-248	1 x 10 ⁰	1 x 10 ³

Pu-236

Nuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)	Nuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/g)	Aktivitas (Bq)
Pu-236	1×10^1	1×10^4	Bk-249	1×10^3	1×10^6
Pu-237	1×10^3	1×10^7	Cf-246	1×10^3	1×10^6
Pu-238	1×10^0	1×10^4	Cf-248	1×10^1	1×10^4
Pu-239	1×10^0	1×10^4	Cf-249	1×10^0	1×10^3
Pu-240	1×10^0	1×10^3	Cf-250	1×10^1	1×10^4
Pu-241	1×10^2	1×10^5	Cf-251	1×10^0	1×10^3
Pu-242	1×10^0	1×10^4	Cf-252	1×10^1	1×10^4
Pu-243	1×10^3	1×10^7	Cf-253	1×10^2	1×10^5
Pu-244	1×10^0	1×10^4	Cf-254	1×10^0	1×10^3
Am-241	1×10^0	1×10^4	Es-253	1×10^2	1×10^5
Am-242	1×10^3	1×10^6	Es-254	1×10^1	1×10^4
Am-242m ^a	1×10^0	1×10^4	Es-254m	1×10^2	1×10^6
Am-243 ^a	1×10^0	1×10^3	Fm-254	1×10^4	1×10^7
Cm-242	1×10^2	1×10^5	Fm-255	1×10^3	1×10^6
Cm-243	1×10^0	1×10^4			

^a Nuklida induk dalam kondisi kesetimbangan adalah sebagai berikut:

Nuklida	
Induk	Turunan
Sr-80	Rb-80
Sr-90	Y-90
Zr-93	Nb-93m
Zr-97	Nb-97
Ru-106	Rh-106
Ag-108m	Ag-108
Cs-137	Ba-137m
Ba-140	La-140
Ce-134	La-134
Ce-144	Pr-144
Pb-210	Bi-210, Po-210
Pb-212	Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Bi-212	Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Rn-220	Po-216
Rn-222	Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214
Ra-223	Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211, Tl-207
Ra-224	Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Ra-226	Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210
Ra-228	Ac-228
Th-226	Ra-222, Rn-218, Po-214
Th-228	Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Th-229	Ra-225, Ac-225, Fr-221, At-217, Bi-213, Po-213, Pb-209
Th-alam	Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
Th-234	Pa-234m
U-230	Th-226, Ra-222, Rn-218, Po-214
U-232	Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64)
U-235	Th-231
U-238	Th-234, Pa-234m
U-alam	Th-234, Pa-234m, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210
U-240	Np-240m
Np-237	Pa-233
Am-242m	Am-242
Am-243	Np-239

Lampiran D
Surat Pengeluaran Barang

	<p><u>SURAT PENGELUARAN BARANG</u> Nomor:.....</p>
---	---

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama :

NIP :

Bidang/Sub Bidang :

Mohon dapat diizinkan untuk mengeluarkan barang pada

Hari/Tanggal :

Waktu : pukul WIB

Dengan jenis dan jumlah sebagai berikut :

NO.	NAMA BARANG	JUMLAH	ASAL BARANG	KETERANGAN

Pengeluaran barang untuk :

Demikian surat permohonan ini dibuat untuk dapat digunakan seperlunya dan agar yang berkepentingan maklum adanya.

Atasan Yang Mengeluarkan Barang

Yang Mengeluarkan Barang

(.....)
NIP.....

(.....)
NIP.....

Mengetahui
Petugas pengamanan unit Kerja/Fasilitas

(.....)
NIP.....

Distribusi Dokumen:

1.
2.

Lampiran E

Bukti Pengiriman Peralatan atau Barang

 <p>batan</p>	<p><u>BUKTI PENGIRIMAN PERALATAN ATAU BARANG</u> Nomor:.....</p>
--	---

A. PIHAK PENGIRIM

Hari/Tanggal :
 Nama Yang Menyerahkan :
 Peralatan/Barang :
 Unit Kerja/Fasilitas :
 Bidang/Sub bidang :

B. Pihak Penerima

Hari/Tanggal :
 Nama Yang Menerima :
 Peralatan/Barang :
 Unit Kerja/Fasilitas :
 Bidang/Sub bidang :

NO.	NAMA BARANG	JUMLAH	ASAL BARANG	KETERANGAN

Kepala Unit Kerja /Fasilitas Pengirim Peralatan/Barang	Petugas Pengamanan Unit Kerja/Fasilitas Pengirim Peralatan/Barang	Yang mengirim Peralatan/Barang
(.....) NIP	(.....) NIP	(.....) NIP

Kepala Unit Kerja /Fasilitas Penerima Peralatan/Barang	Petugas Pengamanan Unit Kerja/Fasilitas Penerima Peralatan/Barang	Yang menerima Peralatan/Barang
(.....) NIP/NPP	(.....) NIP/NPP	(.....) NIP/NPP

Lampiran F

Surat Keterangan Bebas Kontaminasi

 <p>batan</p>	<p>Surat Keterangan Bebas Kontaminasi Nomor:.....</p>
--	---

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama :
 NIP :
 Jabatan :
 Unit kerja/Fasilitas :

Dengan ini menyatakan bahwa peralatan dan atau barang berikut bebas kontaminasi zat radioaktif

NO.	NAMA BARANG	ASAL BARANG	HASIL PEMERIKSAAN		
			LAJU PAPARAN ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)		TINGKAT KONTAMINASI PERMUKAAN (Bq/cm^2)
			Kontak	1 Meter	

Berdasarkan hasil pemeriksaan :
 Nama Petugas Proteksi Radiasi :
 Metode pengukuran paparan radiasi :
 Alat ukur radiasi :
 Metode pengukuran kontaminasi permukaan :
 Alat ukur kontaminasi permukaan :
 Nilai Batas kontaminasi permukaan : $0,37 \text{ Bq}/\text{cm}^2$

Demikian surat keterangan bebas kontaminasi zat radioaktif ini dibuat dengan sebenarnya dan digunakan seperlunya

Mengetahui
Kepala Bidang Keselamatan

..... tgl / /
Petugas Proteksi Radiasi

(.....)
NIP

(.....)
NIP.....

Lampiran G

Surat Jalan

	<u>SURAT JALAN</u> Nomor:.....
---	--

Kepada Yth:

Kepala Unit Pengamanan Kawasan Nuklir

Mohon diizinkan untuk keluar dari Unit Kerja/FasilitasKawasan Nuklir
dengan rincian barang sebagai berikut ini:

NO.	NAMA BARANG	JUMLAH	TUJUAN	KETERANGAN

Jenis Kendaraan :
Nomor Polisi :
Nama Pengemudi :
Nomor Identitas :

Demikian surat Jalan ini dibuat untuk dapat digunakan seperlunya dan agar yang berkepentingan
maklum adanya.

.....,/...../.....

	Mengetahui Kepala Unit Kerja/Fasilitas (.....) NIP	Petugas Pengemudi (.....) NIP
Mengetahui Kepala Unit Pengamanan Kawasan Nuklir (.....) NIP		

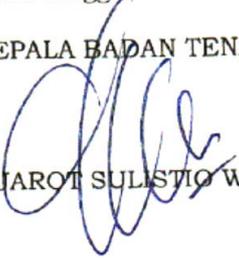
Bibliografi

- [1] Undang-Undang RI Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran
- [2] Peraturan Pemerintah RI Nomor 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif
- [3] Peraturan Pemerintah RI Nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif.
- [4] Peraturan Pemerintah RI Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan keamanan instalasi nuklir
- [5] Peraturan Pemerintah RI Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan limbah radioaktif.
- [6] Peraturan Pemerintah RI Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan instalasi nuklir dan pemanfaatan bahan nuklir
- [7] Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 03/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan untuk Pengelolaan Limbah Radioaktif
- [8] Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 04/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan untuk Pengangkutan Zat Radioaktif
- [9] Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 05/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan keselamatan untuk pengelolaan limbah radioaktif
- [10] Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 02P/Ka-BAPETEN/I-03 tentang Pedoman sistem pelayanan pemantauan dosis eksternal perorangan
- [11] Keputusan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 135/KA/VIII/2009 tentang Rencana Pengelolaan Lingkungan dan Rencana Pemantauan Lingkungan
- [12] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi
- [13] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 16 tahun 2012 Tentang Tingkat Klierens
- [14] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir.
- [15] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan
- [16] Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 14 tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN
- [17] *International Commission on Radiological Protection Publication No. 103, "The 2007 Recommendations of the international Commission on Radiological Protection"*
- [18] *GSR Part 3 Radiation protection and safety of radiation sources : International Basic Safety Standard*
- [19] *Safety Guide No. RS-G-1.8, "Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection", 2005.*

LEMBAR PENGESAHAN
STANDAR BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
SB. 016-BATAN : 2014

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 15 Desember 2014

KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,


DJAROT SULISTIO WISNUBROTO

LAMPIRAN KEPUTUSAN KEPALA
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
NOMOR : 090/KA/IV/2014
TANGGAL : 30 April 2014

SUSUNAN TIM PERUMUS STANDAR BATAN
BIDANG ADMINISTRASI, MANAJEMEN DAN ORGANISASI
TAHUN 2014

Ketua merangkap anggota : Drs. Pudji Sulisworo, M.MSi.

Wakil Ketua merangkap anggota : Jepri Sutanto, ST

Sekretaris merangkap anggota : Ika Wahyu Setya Andani, S.ST

Anggota :

1. Drs. Slamet Suprianto
 2. Dra. Rini Heroe Oetami, MT
 3. Dra. Fransisca A.E Tethool
 4. Drs. W. Prasud
 5. Dra. Elisabeth Supriyatni, M.Sc
 6. Prof. Eri Hiswara, M.Sc
 7. Dra. Rini Rindayani
 8. Lucia Kwin Pudjiastuti, SKM
 9. Dra. Sri Widayati
 10. Dra. Rr.Djarwanti Rahayu Pipin Sujarwo
 11. Wagiman, S.H
 12. Tasih Mulyono, S.ST
 13. Ir. Uni Heryati
 14. Sugiyarto, ST
-