

DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	3
BAB II PROTEKSI RADIASI EKSTERNA.....	4
A. Sumber Radiasi Eksterna	4
B. Pengendalian Radiasi Eksterna	5
1. Waktu	6
2. Jarak.....	7
3. Penahan Radiasi	8
BAB II KESELAMATAN RADIASI.....	15
A. Persyaratan Manajemen.....	16
1. Penanggung Jawab Keselamatan	16
2. Personel.....	17
3. Budaya Keselamatan.....	19
4. Pemantauan Kesehatan	19
5. Pendidikan dan pelatihan.....	23
6. Rekaman	24
B. Persyaratan Proteksi Radiasi.....	24
1. Justifikasi Pemanfaatan Tenaga Nuklir.....	25
2. Limitasi Dosis.....	25
3. Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi	31
SOAL LATIHAN	35
DAFTAR PUSTAKA	39

BAB I

PENDAHULUAN

Radiasi sangat bermanfaat bagi manusia tetapi juga mempunyai potensi bahaya yang perlu dikendalikan. Karena itu maka diperlukan tindakan untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dengan cara menerapkan persyaratan keselamatan dan mengendalikan sumber radiasi. Sumber radiasi dapat berupa zat radioaktif atau alat pembangkit radiasi.

Dalam pemanfaatan sumber radiasi, pengguna harus mengetahui potensi bahaya yang dapat ditimbulkan oleh sumber radiasinya. Potensi bahaya yang ditimbulkan oleh sumber radioaktif bergantung pada jenis radiasi, umur/waktu paro dan aktivitas. Sedangkan potensi bahaya yang ditimbulkan oleh pesawat sinar-X, bergantung pada kondisi operasionalnya seperti kV, mA dan waktunya. Dengan mengetahui sumber bahaya, maka seorang PPR dapat mengidentifikasi potensi bahaya dan risiko yang dapat ditimbulkan oleh sumber radiasi yang digunakan, sehingga dapat melakukan tindakan pengendalian yang diperlukan untuk mengurangi risiko tersebut.

Dalam modul ini akan diuraikan tujuan keselamatan radiasi, persyaratan manajemen, prinsip proteksi radiasi, teknik dan metode pengendalian radiasi eksterna agar dosis radiasi yang diterima oleh seseorang tidak melebihi batas yang ditentukan.

Setelah mempelajari modul ini peserta akan memiliki kompetensi untuk menerapkan proteksi radiasi eksterna dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan iradiator, dengan indikator:

1. menjelaskan sumber radiasi eksterna;
2. menyebutkan contoh sumber radiasi eksterna;
3. menjelaskan pengendalian bahaya radiasi eksterna;
4. menjelaskan persyaratan manajemen;
5. menjelaskan persyaratan proteksi radiasi.

BAB II

PROTEKSI RADIASI EKSTERNA

Berdasarkan potensi bahayanya, tindakan pengendalian yang dapat dilakukan adalah proteksi radasi eksternal dan internal.

Proteksi radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi.

Proteksi radiasi eksternal adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi yang berasal dari sumber radiasi eksternal, yaitu paparan radiasi yang berasal dari zat radioaktif atau peralatan pembangkit radiasi yang berada di luar tubuh.

Sumber Radioaktif adalah zat radioaktif berbentuk padat yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat.

A. Sumber Radiasi Eksterna

Sumber radiasi eksternal mempunyai potensi bahaya radiasi yang bergantung pada jenis radiasi yang mempunyai daya ionisasi dan daya tembus yang berbeda-beda. Untuk sumber radiasi eksternal, daya tembus radiasi memiliki peranan yang menentukan potensi bahaya radiasi eksternal.

Sumber radiasi alpha memiliki daya tembus relatif kecil sehingga jangkauannya di udara sangat pendek (beberapa cm), dan dianggap tidak memiliki potensi bahaya eksternal karena tidak dapat menembus lapisan kulit luar manusia.

Sumber radiasi beta memiliki daya tembus relatif besar daripada alpha. Radiasi beta yang berenergi tinggi mampu menjangkau beberapa meter di

udara dan dapat menembus lapisan kulit sedalam beberapa mm. Sebagai contoh; sumber radiasi beta berenergi sekitar 1 MeV mampu menembus kulit sampai 5 mm. Oleh karena itu, sumber radiasi beta memiliki potensi bahaya radiasi eksterna relatif kecil.

Radiasi sinar-X dan sinar gamma memiliki daya tembus sangat besar sehingga bisa mencapai kulit dan bahkan menembus tubuh manusia sehingga mempunyai potensi bahaya radiasi eksterna yang signifikan.

Neutron juga memiliki daya tembus yang sangat besar seperti sinar-X dan sinar gamma. Selain itu neutron melepaskan energi secara efektif di dalam tubuh, sehingga neutron memiliki potensi bahaya radiasi eksterna yang tinggi. Tabel III.1 menunjukkan tingkat bahaya radiasi eksterna berbagai jenis radiasi.

Tabel III.1. Bahaya relatif radiasi eksterna berbagai jenis radiasi

Jenis Radiasi	Bahaya Relatif Radiasi Eksterna
alpha	Sangat Kecil
beta	Kecil
Sinar-X	Besar
gamma	Besar
Neutron	Sangat besar

B. Pengendalian Radiasi Eksterna

Dalam pemanfaatan sumber radiasi untuk meminimalkan bahaya radiasi perlu dilakukan pemilihan jenis dan aktivitas sumber radiasi yang memadai, pengendalian arah berkas sumber radiasi, dan penyimpanan sumber radiasi pada saat tidak digunakan, yang disebut juga pengendalian sumber radiasi.

Pengendalian radiasi eksterna dapat dilakukan dengan memperhatikan waktu, jarak, dan penahan radiasi.

1. Waktu

Waktu adalah salah satu faktor untuk mengurangi penerimaan dosis. Dengan mengurangi waktu bekerja dengan radiasi, dosis yang diterima dapat diminimalkan. Pengaturan waktu dirumuskan oleh persamaan berikut:

$$D = \dot{D} t \quad (\text{III.1})$$

dengan, D = dosis serap yang diterima

\dot{D} = laju dosis serap

t = waktu penyinaran

Dari persamaan (III.1) di atas dapat diketahui, bahwa untuk laju dosis yang sama, apabila waktu penyinaran lebih singkat, maka dosis total yang diterima semakin kecil.

Latihan soal:

1. Seorang pekerja radiasi berada pada medan radiasi dengan laju dosis sebesar $24 \mu\text{Sv/jam}$ selama 10 menit. Berapa dosis yang diterima oleh pekerja tersebut?
(Jawaban: $4 \mu\text{Sv}$)
2. Hasil pembacaan dosis pada dosimeter saku seorang pekerja radiasi yang bekerja selama 30 menit adalah $10 \mu\text{rem}$. Berapa laju dosis di tempat tersebut?
(Jawaban: $5 \mu\text{rem/jam}$)
3. Pemegang Izin menetapkan dosis maksimum yang dapat diterima oleh seorang pekerja radiasi dalam satu minggu adalah 30 mrem. Jika laju dosis di tempat pekerja radiasi tersebut bekerja adalah $10 \mu\text{Sv/jam}$, maka berapa lama waktu yang diperbolehkan pekerja radiasi tersebut bekerja dalam satu minggu?
(Jawaban: 30 jam)

2. Jarak

Laju dosis berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (hukum kuadrat terbalik). Semakin besar jarak dari sumber radiasi, laju dosis di tempat tersebut semakin berkurang. Hubungan besar laju dosis untuk sumber titik terhadap jarak dari sumber dirumuskan oleh persamaan berikut:

$$\dot{D} = \frac{k}{r^2} \quad (\text{III.2})$$

dengan \dot{D} = laju dosis serap
r = jarak dari sumber
k = konstanta

Karena k adalah konstanta, maka Persamaan (III.3) untuk suatu sumber radiasi dapat ditulis:

$$\dot{D}_1 \cdot r_1^2 = \dot{D}_2 \cdot r_2^2 \quad (\text{III.3})$$

dengan \dot{D}_1 = laju dosis serap pada jarak r_1 dari sumber.
 \dot{D}_2 = laju dosis serap pada jarak r_2 dari sumber.

Sumber radiasi dianggap sebagai *sumber titik* apabila jarak dari sumber paling sedikit 10 kali dimensi sumber.

Penerapan faktor jarak dalam pengendalian bahaya radiasi eksterna dilakukan dalam penetapan daerah kerja dengan memperhatikan laju dosis radiasi.

Latihan soal:

1. Diketahui laju dosis pada jarak 1 meter dari sumber radiasi adalah 18 mrem/jam. Berapa laju dosis terukur pada jarak 3 meter dari sumber radiasi tersebut?

(Jawaban: 2 mrem/jam)

2. Pada suatu kegiatan pengoperasian peralatan yang menggunakan sumber radioaktif, terukur laju dosis pada posisi operator yang berjarak 3 meter dari sumber radiasi sebesar 50 mGy/jam. Untuk mengurangi laju dosis menjadi 18 mGy/jam, maka pada jarak berapa operator tersebut harus bekerja?

(Jawaban: 5 meter)

3. Penahan Radiasi

Laju dosis dapat dikurangi dengan memasang penahan radiasi di antara sumber radiasi dengan pekerja radiasi. Dengan cara ini maka pekerja radiasi dapat bekerja pada jarak yang tidak terlalu jauh dari sumber radiasi dengan dosis yang tidak melebihi batas yang ditetapkan. Tebal dan jenis bahan penahan yang diperlukan tergantung pada:

- jenis dan energi radiasi,
- aktivitas sumber,
- laju dosis yang diinginkan setelah radiasi menembus penahan.

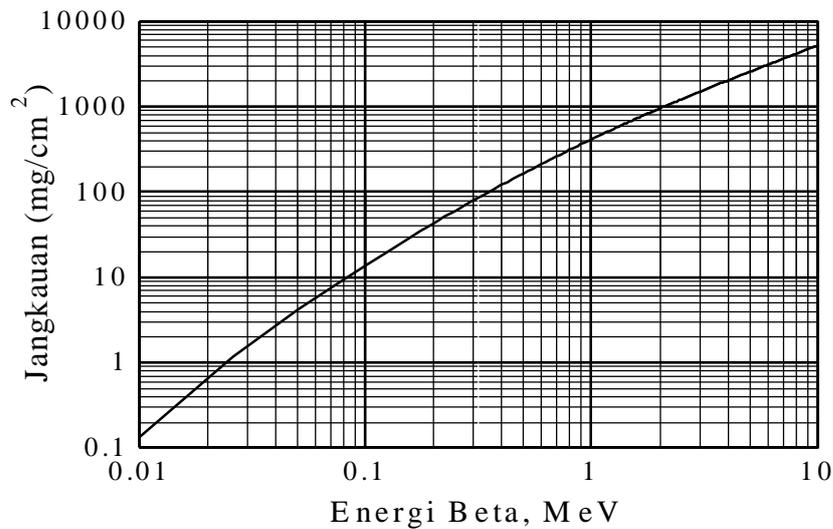
Berbagai jenis penahan radiasi yang sesuai untuk setiap jenis radiasi diuraikan sebagai berikut :

a. Radiasi Alpha

Radiasi alpha memiliki jangkauan yang pendek di udara dan dapat dihentikan dengan selembar kertas.

b. Radiasi Beta

Ketebalan bahan yang diperlukan untuk menahan radiasi beta secara efektif dapat ditentukan dari jangkauan maksimum radiasi beta dalam bahan penahan (dalam satuan mg/cm^2). Secara umum tebal penahan radiasi beta ditentukan dengan menggunakan kurva hubungan antara energi beta dan jangkauan radiasi beta dalam suatu materi seperti ditunjukkan oleh Gambar III.1.



Gambar III.1. Kurva hubungan energi dan jangkauan radiasi beta

Tebal penahan yang diperlukan (dalam satuan cm) dihitung dengan cara membagi nilai jangkauan R dengan rapat jenis bahan (ρ).

Interaksi sumber radiasi beta berenergi tinggi dengan suatu bahan akan menimbulkan pancaran sinar-X yang dikenal sebagai radiasi ***brehmsstrahlung***. Oleh karena itu, untuk mengendalikan bahaya radiasi beta diperlukan bahan penahan radiasi bernomor atom rendah (untuk meminimalkan produksi *bremstrahlung*) lalu dilapisi dengan bahan bernomor atom tinggi (untuk mengurangi intensitas *brehmsstrahlung* yang terjadi).

c. Radiasi Gamma

Apabila sinar gamma berinteraksi dengan bahan, maka radiasi tersebut tidak diserap seluruhnya oleh bahan. Radiasi tersebut akan mengalami atenuasi atau pengurangan intensitas. Proses atenuasi ini mengikuti fungsi eksponensial atau secara matematika ditulis sebagai:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (\text{III.4})$$

dengan, I_x = laju dosis serap setelah melewati penahan setebal x

I_0 = laju dosis serap tanpa penahan

x = tebal penahan

μ = koefisien atenuasi linier

Koefisien atenuasi linier tergantung pada jenis bahan dan energi sinar gamma. Koefisien ini dinyatakan dalam mm^{-1} atau cm^{-1} atau digunakan koefisien atenuasi massa yang dinyatakan dalam cm^2/gram , dengan memperhitungkan massa jenis bahan.

Dalam praktik, tebal penahan dihitung dengan menggunakan HVL (*half value layer*) atau TVL (*tenth value layer*).

HVL adalah tebal bahan yang diperlukan untuk mengurangi intensitas/laju dosis radiasi menjadi separo dari intensitas/laju dosis mula-mula.

Dengan menggunakan nilai HVL, Persamaan (III.4) dapat disederhanakan menjadi:

$$I_x = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad (\text{III.5})$$

dengan $n = x / \text{HVL}$

Hubungan antara μ dan HVL:

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu} \quad (\text{III.6})$$

TVL didefinisikan sebagai tebal bahan yang diperlukan untuk mengurangi intensitas/laju dosis radiasi menjadi $1/10$ dari intensitas/laju dosis mula-mula.

Dengan menggunakan nilai TVL, persamaan (III.4) dapat ditulis sebagai berikut:

$$I_x = \frac{I_0}{10^n} \quad (\text{III.7})$$

dengan $n = x / \text{TVL}$

Hubungan antara μ dan TVL:

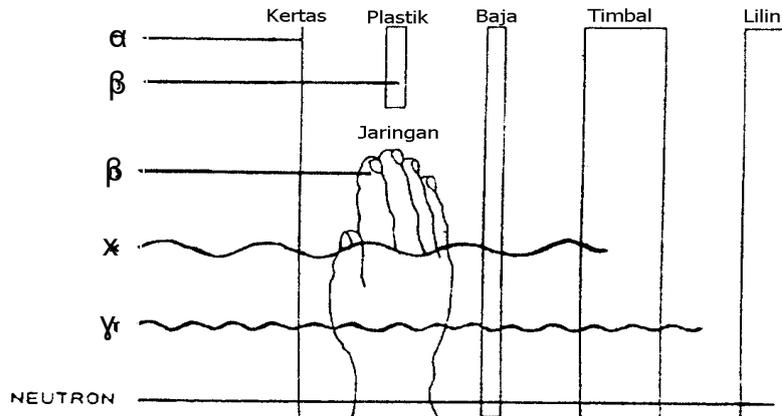
$$\text{TVL} = \frac{2,303}{\mu} \quad (\text{III.8})$$

Nilai HVL dan TVL beton dan timbal untuk berbagai sumber radiasi sinar-X dan gamma ditunjukkan pada Tabel III.2.

Tabel III.2. Nilai HVL dan TVL untuk beberapa materi

Tegangan Maksimum (kV)	Bahan Penahan					
	Timbal (mm)		Beton (cm)		Besi (cm)	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
Radionuklida						
50	0,06	0,17	0,43	1,50		
70	0,17	0,52	0,84	2,80		
100	0,27	0,88	1,60	5,30		
125	0,28	0,93	2,00	6,60		
150	0,30	0,99	2,24	7,40		
200	0,52	1,70	2,50	8,40		
250	0,88	2,90	2,80	9,40		
Cs-137	6,50	21,60	4,80	15,70	1,60	5,30
Co-60	12,00	40,00	6,20	20,60	2,10	6,90
Ra-226	16,60	55,00	6,90	23,40	2,20	7,40

Gambar III.2 menunjukkan daya tembus berbagai radiasi dalam bahan, sedang Tabel III.3 menguraikan bahan penahan yang direkomendasikan untuk menahan berbagai jenis radiasi pengion.



Gambar III.2. Sifat-sifat daya tembus radiasi pengion

Tabel III.3. Bahan penahan yang direkomendasikan

Jenis Radiasi	Bahan Yang Direkomendasikan
Sumber radiasi alpha	Tidak perlu penahan
Sumber radiasi beta energi rendah	Bahan bernomor atom rendah (perspeks, alumunium)
Sumber radiasi beta energi tinggi	Bahan bernomor atom rendah dan tinggi (Perspeks dikelilingi timbal)
Sinar-X dan sinar gamma	Bahan bernomor atom tinggi (Beton, besi, dan timbal)
Neutron	Bahan dengan kandungan Hidrogen tinggi (Beton, air, polietilen, parafin dikombinasikan dengan boron)

Latihan soal:

1. Laju dosis sebelum menggunakan penahan adalah $10 \mu\text{Sv/jam}$. Berapa laju dosis yang terukur apabila digunakan penahan setebal 2 HVL?
(Jawaban: $2,5 \mu\text{Sv/jam}$)

BAB II

KESELAMATAN RADIASI

Keselamatan radiasi pengion yang selanjutnya disebut **keselamatan radiasi** adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi.

Risiko dari penyinaran radiasi dapat berupa efek deterministik dan efek stokastik, sehingga tujuan dari keselamatan radiasi adalah:

- **Mencegah terjadinya efek deterministik** dari radiasi yang membahayakan seseorang dan
- **Membatasi peluang terjadinya efek stokastik** atau risiko akibat pemakaian radiasi yang dapat diterima oleh seseorang atau masyarakat.

Agar tujuan keselamatan radiasi tersebut dapat tercapai, maka secara umum pelaksanaan keselamatan dalam pemanfaatan sumber radiasi harus sesuai dengan:

- **SK BAPETEN No 11/Ka-BAPETEN/VI-99** tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator
- **Peraturan Kepala Bapeten No. 6 Tahun 2010** tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi
- **Peraturan Kepala Bapeten No. 4 Tahun 2013** tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, dan
- **Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007** tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.

Peraturan di atas mengatur tentang persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi oleh Pemegang Izin, yang terdiri dari persyaratan manajemen, persyaratan proteksi radiasi, persyaratan teknis dan verifikasi keselamatan. Pada mata pelatihan ini akan dibahas persyaratan manajemen dan

persyaratan proteksi radiasi. Sedangkan persyaratan teknis dan verifikasi keselamatan akan dibahas pada Mata Pelatihan Proteksi Radiasi pada Paparan Kerja.

A. Persyaratan Manajemen

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007, persyaratan manajemen meliputi penanggung jawab keselamatan, personel, pemantauan Kesehatan, budaya keselamatan, Pendidikan dan pelatihan, serta rekaman.

1. Penanggung Jawab Keselamatan

Penanggung jawab keselamatan radiasi terdiri dari Pemegang Izin dan pihak lain yang terkait dalam pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir, seperti petugas proteksi radiasi dan pekerja radiasi.

Berdasarkan SK Bapeten No 11/1999, tanggung jawab Pemegang Izin adalah

- a. Membuat petunjuk pelaksanaan kerja dan pengelolaan sumber radiasi
- b. Mentaati dan melaksanakan semua peraturan dan pedoman kerja yang berlaku
- c. Membuat petunjuk penanggulangan keadaan darurat
- d. Melakukan pengukuran dosis radiasi
- e. Mengkalibrasikan alat ukur keluaran radiasi dan surveymeter
- f. Menyimpan rekaman (dosis, kalibrasi)
- g. Mengelola sumber radiasi
- h. Melakukan uji kebocoran zat radioaktif

Dalam melaksanakan tanggung jawabnya, Pemegang Izin dapat mendelegasikan kepada atau menunjuk personel yang bertugas di fasilitas atau instalasinya untuk melakukan tindakan yang diperlukan dalam mewujudkan keselamatan radiasi. Pendelegasian atau penunjukan tersebut tidak membebaskan Pemegang Izin dari pertanggungjawaban hukum jika terjadi situasi yang dapat membahayakan keselamatan pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup.

Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang dibentuk dan ditetapkan oleh Pemegang Izin dapat terdiri dari:

- a. orang-perorangan; atau
- b. organisasi, komisi, dan/atau komite dalam struktur manajemen Pemegang Izin.

Penyelenggara Keselamatan Radiasi yang berupa orang-perorangan dapat dijabat oleh Petugas Proteksi Radiasi. Lingkup tugas, kedudukan, dan susunan Penyelenggara Keselamatan Radiasi disesuaikan dengan sifat dan risiko untuk setiap Pemanfaatan Tenaga Nuklir.

2. Personel

Pemegang izin wajib menyediakan personel yang memiliki kualifikasi dan kompetensi sesuai dengan jenis pemanfaatan tenaga nuklir. Personel tersebut paling sedikit terdiri dari:

- a. petugas proteksi radiasi;
- b. pekerja radiasi; dan
- c. pihak yang mendapat tanggung jawab khusus dari Pemegang Izin.

Pada fasilitas iradiator personel yang tersebut di atas meliputi

- a. Petugas Proteksi Radiasi
- b. Petugas Dosimetri
- c. Petugas Perawatan
- d. Operator Iradiator.

Petugas Proteksi Radiasi memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Menyusun pedoman kerja;
- b. Memberikan instruksi teknis dan administratif kepada pekerja radiasi tentang cara kerja yang baik;

- c. Melakukan pemantauan radiasi secara berkala di dalam instalasi iradiator termasuk pekerja radiasi dan daerah sekitar gedung instalasi iradiator;
- d. Menyelenggarakan dokumentasi yang berhubungan dengan proteksi radiasi;
- e. Mengevaluasi keselamatan pemanfaatan iradiator;
- f. Mengevaluasi penerimaan dosis para pekerja.

Operator Iradiator memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Mengoperasikan iradiator dengan aman sesuai dengan petunjuk pelaksanaan;
- b. Mengamati fungsi semua peralatan selama operasi berjalan.
- c. Mencatat semua kegiatan yang berhubungan dengan pemanfaatan iradiator termasuk bahan yang diiradiasi dan besar dosis yang terpakai.
- d. Mencatat dan melaporkan semua kelainan yang terjadi selama operasi berlangsung kepada penanggung jawab iradiator.
- e. Melakukan survai radiasi

Petugas Dosimetri memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Melakukan pengukuran laju dosis dan distribusi dosis pada ruang iradiasi.
- b. Menentukan jenis dosimetri dan metoda pengukuran yang benar untuk memperoleh hasil yang maksimal.
- c. Menentukan medan radiasi yang bisa dipakai untuk meradiasi suatu bahan sesuai dengan persyaratan yang diinginkan.
- d. Mengukur distribusi dosis pada suatu bahan yang diiradiasi.

Petugas Perawatan memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Melakukan pemeriksaan rutin secara berkala terhadap semua peralatan sesuai dengan persyaratan
- b. Melakukan perbaikan kerusakan yang terjadi.

3. Budaya Keselamatan

Penanggungjawab keselamatan radiasi wajib mewujudkan budaya keselamatan pada setiap pemanfaatan tenaga nuklir dengan cara:

- a. membuat prosedur operasi standar dan kebijakan yang menempatkan proteksi dan keselamatan radiasi pada prioritas tertinggi;
- b. mengidentifikasi dan memperbaiki faktor-faktor yang mempengaruhi proteksi dan keselamatan radiasi sesuai dengan tingkat potensi bahaya;
- c. mengidentifikasi secara jelas tanggung jawab setiap personel atas proteksi dan keselamatan radiasi;
- d. menetapkan kewenangan masing-masing personel secara jelas dalam setiap pelaksanaan proteksi dan keselamatan radiasi;
- e. membangun jejaring komunikasi yang baik pada seluruh tingkatan organisasi, untuk menghasilkan arus informasi yang tepat mengenai proteksi dan keselamatan radiasi; dan
- f. menetapkan kualifikasi dan pelatihan yang memadai untuk setiap personel.

4. Pemantauan Kesehatan

Pemegang izin wajib menyelenggarakan pemantauan kesehatan untuk seluruh pekerja radiasi. Biaya pemantauan kesehatan merupakan tanggungjawab pemegang izin.

Pemantauan kesehatan harus dilaksanakan untuk tujuan:

- a. menilai kesehatan pekerja radiasi baik dari aspek fisik maupun psikologis;
- b. memastikan kesesuaian antara kesehatan pekerja dan kondisi pekerjaannya;
- c. memberikan pertimbangan dalam menangani kejadian kontaminasi atau paparan radiasi berlebih pada Pekerja Radiasi;
- d. menyediakan rekaman yang dapat memberikan informasi untuk:
 - 1) penanganan kasus paparan kecelakaan atau penyakit akibat kerja;

- 2) evaluasi statistik mengenai penyakit yang mungkin berhubungan dengan kondisi kerja;
- 3) data *medico legal*; dan
- 4) kajian terhadap manajemen proteksi radiasi.

Pemantauan kesehatan dilaksanakan melalui pemeriksaan kesehatan; konseling; dan/ atau penatalaksanaan kesehatan pekerja yang mendapatkan paparan radiasi berlebih.

Pemeriksaan Kesehatan

Pemeriksaan kesehatan meliputi pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus. Hasil pemeriksaan kesehatan berlaku paling lama 1 (satu) tahun sejak tanggal pemeriksaan kesehatan. Pemeriksaan kesehatan umum dilaksanakan pada saat sebelum bekerja, selama bekerja, dan pada saat akan memutuskan hubungan kerja.

Pemeriksaan kesehatan umum pada saat sebelum bekerja harus dilaksanakan untuk tujuan:

- a. memastikan bahwa kondisi atau status kesehatan pekerja mampu untuk melaksanakan tugas sebagai pekerja radiasi yang dibebankan kepadanya;
- b. memberikan informasi tentang data dasar status kesehatan pekerja radiasi sebelum menjalankan tugasnya terkait dengan sumber radiasi; dan
- c. mengklasifikasi status kesehatan pekerja radiasi dalam kategori sehat untuk bekerja, sehat untuk bekerja dalam kondisi tertentu dan tidak sehat untuk bekerja.

Pemeriksaan kesehatan umum selama bekerja harus dilaksanakan untuk tujuan memantau kondisi kesehatan pekerja radiasi apakah pekerja tersebut berada dalam kondisi kesehatan yang sehat untuk tetap melaksanakan tugasnya.

Pemeriksaan kesehatan umum pada saat akan memutuskan hubungan kerja harus dilaksanakan untuk tujuan menentukan kondisi kesehatan pekerja radiasi pada saat berhenti bekerja.

Pemeriksaan kesehatan umum meliputi :

- a. anamnesis;
- b. riwayat penyakit dan keluarga;
- c. pemeriksaan fisik; dan
- d. pemeriksaan laboratorium .

Pemeriksaan kesehatan khusus dilaksanakan pada saat:

- a. pekerja radiasi mengalami atau diduga mengalami gejala sakit akibat radiasi; dan
- b. penatalaksanaan kesehatan pekerja yang mendapatkan paparan radiasi berlebih.

Pemeriksaan kesehatan khusus meliputi:

- a. pemeriksaan darah lengkap;
- b. pemeriksaan sperma; dan/atau
- c. pemeriksaan aberasi kromosom.

Konseling

Konseling dilaksanakan melalui pemeriksaan psikologi; dan/atau konsultasi.

Konseling dapat diberikan kepada:

- a. pekerja wanita yang sedang hamil atau diduga hamil;
- b. pekerja wanita yang sedang menyusui;
- c. pekerja yang menerima Paparan Radiasi Berlebih; dan
- d. pekerja yang ingin mengetahui Paparan Radiasi yang diterimanya.

Penatalaksanaan Kesehatan

Penatalaksanaan kesehatan pekerja yang mendapatkan paparan radiasi berlebih dilaksanakan melalui:

- a. kajian terhadap dosis yang diterima;
- b. konseling; dan
- c. pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut.

Kajian terhadap dosis yang diterima dilaksanakan melalui:

- a. pembacaan dosimeter personel; dan/atau
- b. evaluasi pemantauan daerah kerja atau rekonstruksi dosis.

Dalam hal pekerja mendapatkan paparan radiasi berlebih melalui paparan radiasi internal, kajian terhadap dosis yang diterima juga harus dilakukan melalui metode *in vivo* dan *in vitro*. Kajian terhadap dosis yang diterima dilakukan oleh Penyelenggara Keselamatan Radiasi. Jika hasil kajian terhadap dosis yang diterima pekerja radiasi menunjukkan nilai dosis melampaui 0,2 Sv (nol koma dua sievert), pekerja radiasi harus mendapatkan pemeriksaan dosimetri biologi untuk konfirmasi dosis yang meliputi:

- a. aberasi kromosom pada sel darah;
- b. pemeriksaan limfosit absolut; dan
- c. pemeriksaan sel darah lengkap.

Pemeriksaan dosimetri biologi harus dilakukan oleh laboratorium yang terakreditasi. Jika hasil kajian terhadap dosis yang diterima pekerja radiasi menunjukkan nilai dosis di atas nilai dosis ambang untuk efek deterministik, Pekerja radiasi harus mendapatkan pemeriksaan dosimetri biologi dan pemeriksaan kesehatan khusus.

Dalam hal ditemukan adanya keraguan terhadap dosis yang diterima pekerja radiasi, Pemegang Izin dapat berkonsultasi dengan tenaga Ahli Proteksi dan Keselamatan Radiasi. Tenaga Ahli Proteksi dan Keselamatan Radiasi harus diakui oleh asosiasi dalam bidang Proteksi dan Keselamatan Radiasi.

Pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut dilaksanakan melalui:

- a. pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus; serta

- b. tindakan medis yang disesuaikan dengan efek deterministik yang ditimbulkan oleh paparan radiasi berlebih.

Pekerja radiasi yang mendapatkan paparan radiasi berlebih dapat bekerja kembali setelah mendapatkan pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus, dan dinyatakan sehat dalam sertifikat medis. Sertifikat medis paling kurang harus meliputi resume hasil Pemeriksaan Kesehatan.

Pemegang Izin harus membuat Rekaman hasil Pemantauan Kesehatan yang meliputi :

- a. hasil Pemeriksaan Kesehatan;
- b. hasil Konseling;
- c. hasil kajian terhadap Dosis yang diterima;
- d. hasil pemeriksaan aberasi kromosom;
- e. hasil tindak lanjut; dan/atau
- f. sertifikat medis.

Rekaman hasil pemantauan kesehatan harus disimpan dan dipelihara oleh Pemegang Izin hingga 30 tahun sejak tanggal pemberhentian Pekerja Radiasi yang bersangkutan.

5. Pendidikan dan pelatihan

Pemegang Izin wajib meningkatkan kemampuan personel yang bekerja di fasilitas atau instalasi melalui pendidikan dan pelatihan (diklat) untuk menumbuhkan pemahaman yang memadai tentang:

- a. tanggung jawab dalam Keselamatan Radiasi; dan
- b. pentingnya menerapkan Proteksi dan Keselamatan Radiasi selama melaksanakan pekerjaan yang terkait dengan radiasi.

Diklat tersebut harus disesuaikan dengan:

- a. potensi Paparan Kerja;

- b. tingkat pengawasan yang diperlukan;
- c. kerumitan pekerjaan yang akan dilaksanakan; dan
- d. tingkat pelatihan yang telah diikuti.

Berdasarkan Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013, materi diklat paling kurang meliputi:

- a. peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran;
- b. sumber yang digunakan dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir;
- c. efek biologi radiasi;
- d. besaran dan satuan dosis radiasi;
- e. prinsip proteksi dan keselamatan radiasi;
- f. pemantauan paparan radiasi; dan
- g. tindakan dalam keadaan darurat.

6. Rekaman

Rekaman adalah dokumen yang menyatakan hasil yang dicapai atau memberi bukti pelaksanaan kegiatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Pemegang Izin wajib membuat, memelihara, dan menyimpan rekaman mutu dan rekaman teknis. Rekaman tersebut harus ditunjukkan pada saat BAPETEN melakukan Inspeksi.

B. Persyaratan Proteksi Radiasi

Persyaratan proteksi radiasi meliputi :

- a. justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir;
- b. limitasi dosis; dan
- c. optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi

1. Justifikasi Pemanfaatan Tenaga Nuklir

Setiap orang atau badan yang melaksanakan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memenuhi prinsip justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir. Justifikasi harus didasarkan pada manfaat yang diperoleh lebih besar daripada risiko yang ditimbulkan. Justifikasi diberlakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang meliputi:

- a. adanya penerapan teknologi lain di mana risiko yang ditimbulkan lebih kecil daripada jenis pemanfaatan tenaga nuklir yang sudah ada sebelumnya;
- b. ekonomi dan sosial;
- c. kesehatan dan keselamatan; dan
- d. pengelolaan limbah radioaktif dan dekomisioning.

2. Limitasi Dosis

Limitasi dosis wajib diberlakukan untuk paparan kerja dan paparan masyarakat melalui penerapan nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan oleh Bapeten dan tidak boleh dilampaui, kecuali dalam kondisi khusus. Limitasi dosis tidak berlaku untuk paparan medik dan paparan yang berasal dari alam.

Nilai Batas Dosis (NBD) adalah 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.

NBD yang ditetapkan meliputi penyinaran seluruh tubuh dan penyinaran terhadap organ atau jaringan tubuh tertentu.

NBD pekerja radiasi untuk penyinaran seluruh tubuh ditetapkan dengan ketentuan:

- a. dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 tahun, sehingga dosis yang terakumulasi dalam 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv;
- b. dosis efektif sebesar 50 mSv dalam 1 tahun tertentu.

NBD pekerja radiasi untuk penyinaran terhadap organ atau jaringan tubuh tertentu ditetapkan dengan ketentuan:

- a. dosis ekivalen untuk lensa mata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 tahun, dan 50 mSv dalam satu tahun tertentu;
- b. dosis ekivalen untuk kulit sebesar 500 mSv per tahun.; dan
- c. dosis ekivalen untuk tangan atau kaki sebesar 500 mSv per tahun.

Dalam hal Pekerja Radiasi menerima dosis melebihi 20 mSv dalam 1 tahun, maka Pemegang Izin harus mengkaji ulang Paparan Radiasi dan mengambil langkah korektif yang perlu, dan melaporkan kejadian tersebut kepada BAPETEN.

Kajian penyebab terjadinya Paparan Radiasi berlebih paling kurang meliputi:

- a. deskripsi singkat kejadian;
- b. rekonstruksi waktu kontak dan jarak dengan sumber dengan menyertakan asumsi, metode dan/atau perhitungan dosis yang diterima;
- c. dampak yang ditimbulkan;
- d. penetapan penyebab kejadian;
- e. tindakan yang sudah dilakukan terkait dengan insiden tersebut;
- f. tindakan-tindakan perbaikan dan pencegahan agar tidak terulang; dan
- g. kesimpulan.

NBD bagi magang untuk pelatihan kerja, pelajar, atau mahasiswa yang berumur 16 (enam belas) tahun sampai dengan 18 (delapan belas) tahun untuk penyinaran seluruh tubuh ditetapkan dengan ketentuan dosis efektif sebesar 6 mSv (enam milisievert) per tahun, sedang untuk penyinaran terhadap organ atau jaringan tubuh tertentu ditetapkan dengan ketentuan:

- a. dosis ekivalen untuk lensa mata sebesar 50 mSv (limapuluh milisievert) per tahun;
- b. dosis ekivalen untuk kulit sebesar 150 mSv (seratus lima puluh milisievert) per tahun.; dan

- c. dosis ekuivalen untuk tangan atau kaki sebesar 150 mSv (seratus limapuluh milisievert) per tahun.

Dalam hal magang untuk pelatihan kerja, pelajar, atau mahasiswa yang berumur di atas 18 (delapanbelas) tahun, diberlakukan Nilai Batas Dosis sama dengan Nilai Batas Dosis yang ditetapkan untuk Pekerja Radiasi.

NBD masyarakat untuk penyinaran seluruh tubuh ditetapkan dengan ketentuan dosis efektif sebesar 1 mSv (satu milisievert) per tahun, sedang untuk penyinaran terhadap organ atau jaringan tubuh tertentu ditetapkan dengan ketentuan:

- a. dosis ekuivalen untuk lensa mata sebesar 15 mSv (lima belas milisievert) per tahun;
- b. dosis ekuivalen untuk kulit sebesar 50 mSv (lima puluh milisievert) per tahun.

Setiap pemegang izin harus menjamin kontribusi penyinaran yang berasal dari instalasinya pada anggota masyarakat secara keseluruhan serendah mungkin dan harus dikaji ulang dan dilaporkan secara teratur pada instansi yang berwenang (BAPETEN). Nilai batas dosis seperti yang telah ditetapkan dengan Perka Bapeten No. 4 Tahun 2013 tersebut mencakup dosis eksterna dan dosis interna.

Untuk memastikan NBD bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui, pemegang izin wajib melakukan:

- a. pembagian daerah kerja;
- b. pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja;
- c. pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi; dan
- d. pemantauan dosis yang diterima pekerja.

Pembagian daerah kerja harus berdasarkan tingkat radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif dan harus dicantumkan secara jelas di dalam Program Proteksi Radiasi yang berlaku di fasilitas atau instalasi Pemegang Izin.

Berdasarkan Peraturan Kepala Bapeten No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, pembagian daerah kerja terdiri atas :

- a. daerah pengendalian adalah daerah kerja yang memiliki potensi penerimaan radiasi melebihi 3/10 NBD pekerja radiasi dan adanya potensi kontaminasi sehingga memerlukan tindakan proteksi ketentuan keselamatan khusus untuk mengendalikan Paparan Normal atau mencegah penyebaran kontaminasi selama kondisi kerja normal dan untuk mencegah atau membatasi tingkat Paparan Potensial.
- b. daerah supervisi, adalah daerah kerja di luar Daerah Pengendalian yang memiliki potensi penerimaan radiasi kurang dari 3/10 NBD pekerja radiasi dan bebas kontaminasi memerlukan peninjauan terhadap Paparan Kerja dan tidak memerlukan tindakan proteksi atau ketentuan keselamatan khusus.

Dalam menetapkan daerah pengendalian harus dipertimbangkan besarnya paparan normal serta probabilitas dan besarnya paparan potensial, sehingga dapat menentukan tindakan proteksi dan keselamatan khusus yang diperlukan untuk bekerja di daerah pengendalian. Sedang dalam menetapkan daerah supervisi harus mempertimbangkan sifat dan besarnya bahaya radiasi.

Tindakan proteksi dan keselamatan khusus di daerah pengendalian meliputi:

2. menandai dan membatasi daerah pengendalian yang ditetapkan dengan tanda fisik yang jelas atau tanda lain yang sesuai dengan kondisi Daerah Pengendalian yang ditetapkan;
3. memasang atau menempatkan tanda peringatan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia atau standar internasional dan petunjuk pada titik akses dan lokasi lain yang dianggap perlu di dalam daerah pengendalian;
4. membatasi akses ke daerah pengendalian:

- hanya untuk pekerja radiasi; dan
 - dengan cara mendampingi pengunjung yang masuk ke daerah pengendalian oleh Petugas Proteksi Radiasi.
5. menyediakan peralatan pemantauan, peralatan protektif radiasi, dan tempat penyimpanan pakaian di pintu masuk daerah pengendalian;
 6. menyediakan sarana pada pintu keluar daerah pengendalian, yang meliputi:
 - peralatan pemantauan kontaminasi kulit dan pakaian;
 - peralatan pemantau kontaminasi terhadap benda atau zat yang dipindahkan dari Daerah Pengendalian;
 - fasilitas mencuci dan mandi untuk dekontaminasi; dan/ atau
 - tempat penyimpanan untuk peralatan dan peralatan protektif radiasi yang terkontaminasi; dan/ atau
 7. melakukan kaji ulang radiologik secara berkala sesuai dengan pemanfaatan tenaga nuklir apabila ada indikasi perlunya perubahan terhadap:
 - tindakan proteksi dan keselamatan khusus; atau
 - batas Daerah Pengendalian.

Daerah supervisi dilakukan dengan:

- a. menandai dan membatasi daerah supervisi yang ditetapkan dengan tanda yang jelas;
- b. memasang tanda di titik akses masuk daerah supervisi; dan
- c. melakukan kaji ulang radiologik secara berkala sesuai dengan pemanfaatan tenaga nuklir apabila ada indikasi perlunya perubahan terhadap:
 - tindakan proteksi dan keselamatan; atau
 - batas daerah supervisi.

Pemegang Izin wajib melaksanakan pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja maupun radioaktivitas lingkungan

secara terus menerus, berkala dan/atau sewaktu-waktu sesuai dengan jenis sumber yang digunakan.

Tingkat radioaktivitas lingkungan tidak boleh melebihi nilai batas radioaktivitas lingkungan yang ditentukan oleh Bapeten. Zat radioaktif yang berasal dari fasilitas atau instalasinya dapat langsung dilepas ke lingkungan, jika telah mencapai tingkat aman (klirens).

Pemegang izin wajib melaksanakan pemantauan dosis pekerja. Hasil pemantauan dosis tersebut harus dievaluasi oleh laboratorium dosimetri yang terakreditasi, kemudian disampaikan kepada pemegang izin dan Bapeten. Pemegang izin wajib memberitahukan kepada pekerja mengenai hasil evaluasi pemantauan dosis tersebut dan bila menunjukkan dosis yang signifikan atau melebihi NBD maka pemegang izin wajib melakukan tindak lanjut. Hasil pemantauan dosis pekerja harus disimpan dan dipelihara paling singkat 30 (tigapuluh) tahun terhitung sejak pekerja yang bersangkutan berhenti bekerja.

Pemegang izin wajib menyediakan perlengkapan proteksi radiasi yang meliputi :

- a. peralatan pemantau tingkat radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja ;
- b. peralatan pemantau dosis perorangan;
- c. peralatan pemantau radioaktivitas lingkungan; dan/atau
- d. peralatan protektif radiasi.

Perlengkapan proteksi radiasi tersebut harus berfungsi dengan baik sesuai dengan jenis sumber dan energi yang digunakan. Agar perlengkapan tersebut mempunyai unjuk kerja yang baik maka pemegang izin wajib melakukan kalibrasi terhadap perlengkapan proteksi radiasi

Kalibrasi perlengkapan proteksi radiasi dan peralatan dilaksanakan secara berkala dan/atau sewaktu-waktu oleh laboratorium kalibrasi yang terakreditasi.

3. Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi

Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan agar besarnya dosis yang diterima serendah mungkin yang dapat dicapai dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi. Besarnya dosis harus di bawah NBD.

Penerapan optimisasi dilaksanakan melalui penetapan :

- a. pembatas dosis, dan/ atau
- b. tingkat panduan untuk paparan medik.

Penetapan Pembatas Dosis ditentukan oleh pemegang izin setelah mendapat persetujuan dari Kepala BAPETEN dan dilaksanakan pada:

- a. tahap konstruksi untuk fasilitas atau instalasi baru; dan/atau
- b. tahap operasi, dan dekomisioning atau penutupan untuk fasilitas atau instalasi yang sudah beroperasi

Penentuan pembatas dosis tidak boleh melampaui NBD, dan diberlakukan apabila :

- a. terdapat lebih dari satu fasilitas atau instalasi di satu kawasan,
- b. personel bekerja lebih dari satu fasilitas atau instalasi.

Tingkat panduan hanya diperuntukkan bagi paparan medik dalam radiologi diagnostik dan intervensional, serta kedokteran nuklir. Tidak diperuntukkan bagi paparan medik dalam radioterapi. Tingkat panduan untuk paparan medik ditetapkan oleh Kepala Bapeten berdasarkan Standar Nasional Indonesia yang berlaku. Bila Standar Nasional Indonesia belum tersedia, BAPETEN dapat menetapkan tingkat panduan berdasarkan standar internasional.

RANGKUMAN

1. Radiasi eksternal ialah radiasi yang berasal dari radionuklida atau peralatan pembangkit radiasi (misal pesawat sinar-X) yang berada di luar tubuh.
2. Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh merusak dari paparan radiasi
3. Pengendalian radiasi eksternal meliputi perhitungan waktu, jarak, dan penggunaan penahan radiasi.
4. Radiasi gamma tidak dapat diserap seluruhnya oleh bahan penahan tetapi mengalami pengurangan intensitas secara eksponensial.
5. Dalam praktik, tebal penahan untuk radiasi gamma dinyatakan dalam HVL atau TVL. Tebal HVL dan TVL tergantung pada energi sinar gamma dan jenis penahan radiasi
6. Keselamatan radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi.
7. Tujuan keselamatan radiasi adalah mencegah terjadinya efek deterministik dan membatasi peluang terjadinya efek stokastik.
8. Persyaratan keselamatan meliputi persyaratan manajemen, persyaratan proteksi radiasi, persyaratan teknis dan verifikasi keselamatan
9. Persyaratan manajemen meliputi penanggung jawab, budaya keselamatan, pemantauan kesehatan, personel, pelatihan dan rekaman.
10. Personil keselamatan yang bekerja pada fasilitas iradiator terdiri dari Petugas Proteksi Radiasi, Operator, Petugas Dosimetri dan Petugas Perawatan
11. Persyaratan proteksi radiasi meliputi justifikasi, limitasi dosis dan optimisasi.

12. Nilai Batas Dosis (NBD) adalah 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.
13. Untuk memastikan NBD bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui, pemegang izin wajib melakukan pembagian daerah kerja, pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja, pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi; dan pemantauan dosis yang diterima pekerja.
14. Daerah pengendalian adalah daerah kerja yang memiliki potensi penerimaan radiasi melebihi $3/10$ NBD pekerja radiasi dan adanya potensi kontaminasi
15. Penerapan optimisasi dilaksanakan melalui penetapan pembatas dosis dan/ atau tingkat panduan untuk paparan medik.
16. Daerah supervisi adalah daerah kerja di luar Daerah Pengendalian yang memiliki potensi penerimaan radiasi kurang dari $3/10$ NBD pekerja radiasi dan bebas kontaminasi.

SOAL LATIHAN

1. Pengertian Proteksi Radiasi adalah
 - A. Tindakan melindungi pekerja dari bahaya radiasi
 - B. Tindakan melindungi pekerja dan masyarakat dari bahaya radiasi
 - C. Tindakan melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi
 - D. Tindakan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak paparan radiasi

2. Pada jarak 2 m dari suatu sumber radiasi, laju dosis adalah 20 mGy/jam, dengan demikian maka pada jarak 5 m laju dosisnya adalah
 - A. 3,2 mGy/jam
 - B. 1,6 mGy/jam
 - C. 0,625 mGy/jam
 - D. 0,250 mGy/jam

3. Jika sebuah penahan setebal 0,25 mm Pb dapat menyerap intensitas radiasi sebanyak 85%, maka berapa intensitas radiasi yang dapat diserap oleh penahan tersebut dengan ketebalan 0,5 mm Pb?
 - A. 93,625%
 - B. 95%
 - C. 96%
 - D. 97,75%

4. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Sumber Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, persyaratan manajemen meliputi....

- A. Administrasi, teknik dan khusus
 - B. Administrasi, justifikasi dan optimisasi
 - C. Proteksi radiasi, teknis dan verifikasi keselamatan
 - D. Penanggung jawab, personel, pelatihan dan budaya keselamatan
5. Personil keselamatan dalam pemanfaatan irradiator adalah
- A. Petugas Proteksi Radiasi
 - B. Operator
 - C. Petugas Dosimetri
 - D. Pemegang Izin
6. Pernyataan yang benar terkait dengan Nilai Batas Dosis (NBD) adalah
- A. Merupakan nilai yang membatasi antara dosis-dosis radiasi yang dapat menimbulkan efek biologi dengan yang tidak menimbulkan efek biologi
 - B. Tidak memperhitungkan penerimaan dosis dari penyinaran medik dan penyinaran alam
 - C. Untuk pekerja radiasi nilainya 20 kali lebih tinggi daripada untuk masyarakat karena pekerja radiasi lebih tahan terhadap radiasi
 - D. Jika tidak dilampaui dijamin tidak akan terjadi efek stokastik maupun deterministik
7. Seorang pekerja radiasi memperoleh dosis pada tahun pertama sebesar 15 mSv, tahun kedua sebesar 20 mSv dan tahun ketiga sebesar 15 mSv. Berapa dosis yang boleh diterima pekerja radiasi tersebut dalam 2 tahun berikutnya agar tidak melampaui dosis untuk 5 tahun berturut-turut?

- A. 20 mSv
- B. 30 mSv
- C. 40 mSv
- D. 50 mSv

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif
2. Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi
3. Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan Pekerja Radiasi
4. Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator
5. Herman Cember, "Introduction to Health Physics", 3rd ed., McGraw-Hill, Inc., 1996
6. Takao Tojo, "Fisika Radiasi" (dalam bahasa Jepang), JAERI, 1990.
7. NCRP Report #49, "Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV"
8. IAEA TECDOC 691, 1991
9. RD.Evans, "The Atomic Nucleus", McGraw-Hill Book, Co., Inc., 1955
10. Hendaryah Soetanto, Dasar Proteksi Radiasi, Diktat Proteksi Radiasi Pusdiklat Batan
11. Glosarium Ilmu dan Teknologi Nuklir, BATAN, 1998.