



BRIN

BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

MODUL

KESELAMATAN DAN PROTEKSI RADIASI : IMPLEMENTASI DI TEMPAT KERJA



Fungsi Layanan
Pengembangan Kompetensi
SDM Nasional

DIREKTORAT PENGEMBANGAN KOMPETENSI

**BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL**

2024



MODUL

KESELAMATAN & PROTEKSI RADIASI : IMPLEMENTASI DI TEMPAT KERJA



PELATIHAN PROTEKSI RADIASI BAGI PEKERJA RADIASI

**DIREKTORAT PENGEMBANGAN KOMPETENSI
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
TAHUN 2024**

Penanggung Jawab:

1. Edy Giri Racman Putra, Ph.D.
2. Nining Setyowati Dwi Andayani, S.E., M.M.
3. Dr. Sasa Sofyan Munawar, S. Hut., M.P.
4. Alpha Fadila Juliana Rahman, S.Pd., M.Pd.

Tim Penyusun Modul:

1. Afida Ikawati, M.T
2. Arie Budianti, S.KM., M.K.K.K
3. Dr. Nunung Nuraeni, M.Si.
4. Bisma Barron Patrianesha, S.T.
5. Henni Widyastuti, S.Si.
6. Fajar Panuntun, S.ST., M.Eng.
7. Rizka Indra Prasetya, S.Si., M.Sc.
8. Syarifatul Ulya, S.Si., M.Si.
9. Luqman Hakim, S.Si.

Diterbitkan oleh:

Direktorat Pengembangan Kompetensi - BRIN
Kompleks *Puspiptek* – Serpong
Tangerang Selatan - Banten

Diterbitkan pertama kali tahun 2024

KATA PENGANTAR

Pengembangan kompetensi merupakan kebutuhan bagi setiap Sumber Daya Manusia (SDM) dalam menjalankan tugas dan fungsinya sesuai dengan penugasan yang diberikan. Pengembangan kompetensi bagi SDM harus mampu memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kualitas hasil kerja secara berkesinambungan, lebih lanjutnya bagi kepentingan bangsa dan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Pengembangan kompetensi menjadi bagian tidak terpisahkan dari pengembangan karier setiap SDM yang salah satunya dapat dilaksanakan melalui pelatihan-pelatihan teknis sesuai bidang tertentu.

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2021, Badan Riset dan Inovasi Nasional adalah lembaga pemerintah yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Presiden dalam menyelenggarakan penelitian, pengembangan, pengkajian, dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantariksaan yang terintegrasi. Dalam pengembangan kompetensi, Direktorat Pengembangan Kompetensi, Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Iptek BRIN bertanggung jawab dalam penyelenggaraan pengembangan kompetensi melalui beberapa tahapan penyiapan pedoman pelatihan, fasilitator, modul, bahan ajar, learning management system (LMS) dan kelengkapan pelatihan lainnya.

Sejak Tahun 2024, Direktorat Pengembangan Kompetensi, Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Iptek BRIN telah memberikan lisensi pedoman dan penyelenggaraan pelatihan kepada Lembaga Pelatihan Swasta (LPS) sesuai dengan ketentuan yang tertuang dalam perjanjian lisensi.

Direktorat Pengembangan Kompetensi atau Lembaga Pelatihan Swasta menggunakan modul sebagai salah satu dokumen penunjang dalam penyelenggaraan pelatihan. Modul ini berfungsi sebagai media transformasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja kepada peserta pelatihan untuk mencapai kompetensi tertentu.

Kami mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat-Nya, modul Pelatihan Teknis Proteksi Radiasi bagi Pekerja Radiasi yang berjudul “Keselamatan dan Proteksi Radiasi : Implementasi di Tempat Kerja” dapat diselesaikan tepat waktu. Kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang

telah berkontribusi dalam penyusunan modul ini.

Kami berharap modul ini dapat memberikan manfaat dan berkontribusi dalam meningkatkan dan mengembangkan kompetensi SDM secara luas. Kami terbuka atas segala saran dan masukan untuk peningkatan kualitas modul kedepan.

Jakarta, 13 Desember 2024

Deputi Sumber Daya Manusia Ilmu
Pengetahuan dan Teknologi
Badan Riset dan Inovasi Nasional

Edy Giri Rachman Putra, Ph.D.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
PENDAHULUAN.....	1
A. DESKRIPSI SINGKAT	1
B. ALOKASI WAKTU	1
C. TUJUAN PEMBELAJARAN	1
D. MATERI POKOK	2
PRAKTIKUM ALAT UKUR RADIASI & PROTEKSI	
RADIASI EKSTERNA	4
A. PRAKTIKUM ALAT UKUR RADIASI.....	4
1. Pendahuluan	4
2. Peralatan dan Bahan.....	4
3. Langkah Kerja	5
B. PRAKTIKUM PROTEKSI RADIASI EKSTERNA	6
1. Pendahuluan	6
2. Peralatan Dan Bahan	6
3. Langkah Kerja.....	6
C. EVALUASI	8
IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI PADA PAPARAN	
KERJA DI BIDANG RADIOTERAPI.....	9
A. PENDAHULUAN.....	9
B. TANGGUNG JAWAB PERSONIL.....	9
C. PERSYARATAN PROTEKSI RADIASI.....	15
D. PERSYARATAN TEKNIS	17
E. VERIFIKASI KESELAMATAN.....	20

F. PRAKTIKUM PENGUJIAN KEBOCORAN KEPALA KOLIMATOR.....	21
1. Pendahuluan	21
2. Peralatan dan Bahan	21
3. Langkah Kerja	21
G. RANGKUMAN	22
H. EVALUASI	23

IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI PADA PAPARAN

KERJA DI BIDANG RADIODIAGNOSTIK.....	25
A. PENDAHULUAN.....	25
B. TANGGUNG JAWAB PERSONIL.....	25
C. PERSYARATAN PROTEKSI RADIASI.....	27
D. PERSYARATAN TEKNIS	34
E. VERIFIKASI KESELAMATAN.....	38
F. UPAYA PRAKTIKUM KERJA SELAMAT DI BIDANG RADIODIAGNOSTIK	39
1. Pendahuluan	39
2. Peralatan dan Bahan	39
3. Langkah Kerja	39
G. RANGKUMAN	41
H. EVALUASI	42

IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI DI BIDANG

KEDOKTERAN NUKLIR.....	44
A. PENDAHULUAN.....	44
B. TUGAS DAN TANGGUNG JAWAB PERSONEL	45
C. PRINSIP PROTEKSI RADIASI	51
D. PERSYARATAN TEKNIS	65
E. VERIFIKASI KESELAMATAN.....	68
F. PRAKTIKUM UPAYA KERJA SELAMAT.....	71
1. Pendahuluan	71
2. Alat dan Bahan	72
3. Langkah Kerja	72

G. RANGKUMAN	74
H. EVALUASI	75
IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI PADA PAPARAN	
KERJA DI BIDANG INDUSTRI.....	78
A. PRINSIP KERJA PEMANFAATAN RADIASI DI BIDANG INDUSTRI	78
B. TANGGUNG JAWAB PERSONIL.....	80
C. PERSYARATAN PROTEKSI RADIASI.....	84
D. PERSYARATAN TEKNIS	86
E. VERIFIKASI KESELAMATAN.....	89
F. PRAKTIKUM UPAYA KERJA SELAMAT DI BIDANG INDUSTRI	92
1. Pendahuluan	92
2. Peralatan Dan Bahan	92
3. Langkah Kerja	92
G. RANGKUMAN	93
H. EVALUASI	95
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN-LAMPIRAN	99
Lampiran 1. Formulir Praktikum Praktikum Upaya Kerja Selamat di Bidang Radiodiagnostik	100
Lampiran 2. Formulir Praktikum Identifikasi Bahaya dan Risiko Bidang Industri	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tanda Radiasi	35
Gambar 2. Contoh peralatan yang digunakan sebagai penahan di kedokteran nuklir.....	56
Gambar 3. Jalur masuk zat radioaktif ke dalam tubuh manusia	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) untuk Kedokteran Nuklir Diagnostik di Indonesia.....	53
Tabel 2. Nilai-nilai HVL pada energi yang berbeda dan timbal dan air	55
Tabel 3. Waktu paro fisik dan konstanta gamma untuk beberapa radionuklida....	57

PENDAHULUAN

A. DESKRIPSI SINGKAT

Pemanfaatan ketenaganukliran telah membawa kemajuan signifikan di berbagai bidang, termasuk industri dan kesehatan. Dalam industri, radiasi digunakan untuk pengujian material, sterilisasi produk, dan proses produksi tertentu, sementara di bidang kesehatan, teknologi ini menjadi andalan dalam diagnosis dan terapi, seperti radiografi dan radioterapi. Namun, di balik manfaat besar yang ditawarkan, radiasi memiliki potensi bahaya yang perlu dikelola dengan baik. Paparan radiasi yang tidak terkendali dapat menimbulkan dampak negatif, baik pada kesehatan manusia maupun lingkungan.

Oleh karena itu setiap pemanfaatan radiasi diatur dengan ketat melalui peraturan dan perundang-undangan untuk memastikan keselamatan dan perlindungan semua pihak yang terlibat. Peraturan ini juga mencakup prosedur keselamatan, pelatihan petugas proteksi radiasi, serta inspeksi berkala terhadap fasilitas dan peralatan. Dengan penerapan regulasi yang komprehensif, risiko dari penggunaan radiasi dapat diminimalkan tanpa mengurangi manfaatnya bagi masyarakat.

Modul ini disusun secara sistematis untuk memberikan pemahaman yang mendalam mengenai implementasi keselamatan dan proteksi radiasi di tempat kerja. Pada bagian awal, pembahasan dimulai dengan pengenalan berbagai jenis alat ukur radiasi. Selanjutnya, akan dibahas upaya proteksi radiasi eksterna dan terakhir akan membahas secara terperinci implementasi keselamatan radiasi di masing-masing bidang.

Dengan adanya modul ini, diharapkan para pengguna dapat memahami dan menerapkan pemanfaatan radiasi dengan selamat, meningkatkan efisiensi dan meminimalkan risiko operasional.

B. ALOKASI WAKTU

8 Jam Pembelajaran @ 45 menit.

C. TUJUAN PEMBELAJARAN

1. Hasil Belajar

Peserta mampu menerapkan proteksi radiasi pada paparan kerja bidang medik

atau industri.

2. Indikator Hasil Belajar

Setelah selesai pembelajaran diharapkan peserta mampu:

- a. Menggunakan alat ukur radiasi dalam proteksi radiasi sesuai prosedur
- b. Menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang radioterapi sesuai dengan regulasi
- c. Menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang radiodiagnostik sesuai dengan regulasi
- d. Menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang kedokteran nuklir sesuai dengan regulasi
- e. Menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang industri sesuai dengan regulasi

D. MATERI POKOK

Mata pelatihan ini terdiri dari 5 (lima) Materi Pokok, yaitu:

1. Praktikum Alat Ukur Radiasi dan Proteksi Radiasi Eksterna
 - a. Pengenalan, Pemilihan dan Penggunaan Alat Ukur Radiasi
 - b. Prinsip Proteksi Radiasi Eksterna
2. Implementasi Proteksi Radiasi pada Paparan Kerja di Bidang Radioterapi
 - a. Tanggung jawab personil, khususnya pekerja radiasi
 - b. Persyaratan Proteksi radiasi
 - c. Persyaratan Teknis
 - d. Verifikasi Keselamatan
 - e. Praktikum Pengujian kebocoran *head* (studi kasus)
3. Implementasi Proteksi Radiasi pada Paparan Kerja di Bidang Radiodiagnostik
 - a. Tanggung jawab personil, khususnya pekerja radiasi
 - b. Persyaratan Proteksi radiasi
 - c. Persyaratan Teknis
 - d. Verifikasi Keselamatan
 - e. Praktikum Uji Paparan pada Pesawat Sinar-X (studi kasus)
4. Implementasi Proteksi Radiasi pada Paparan Kerja di Bidang Kedokteran Nuklir dan Radioisotop Radiofarmaka
 - a. Tanggung jawab personil, khususnya pekerja radiasi

- b. Persyaratan Proteksi radiasi
 - c. Persyaratan Teknis
 - d. Verifikasi Keselamatan
 - e. Praktikum Upaya Kerja Selamat
5. Implementasi Proteksi Radiasi pada Paparan Kerja di Bidang Industri
- a. Prinsip kerja pemanfaatan radiasi di bidang industri
 - b. Tanggung jawab personil, khususnya pekerja radiasi
 - c. Persyaratan Proteksi radiasi
 - d. Persyaratan Teknis
 - e. Verifikasi Keselamatan
 - f. Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko

MATERI POKOK 1:

PRAKTIKUM ALAT UKUR RADIASI & PROTEKSI RADIASI EKSTERNA

Indikator Hasil Belajar :

Peserta mampu menggunakan alat ukur radiasi untuk proteksi radiasi sesuai prosedur

A. PRAKTIKUM ALAT UKUR RADIASI

1. Pendahuluan

Radiasi nuklir tidak dapat dilihat, dirasakan, dan dikenali oleh indera manusia. Radiasi dapat menembus berbagai jenis bahan. Oleh karena itu untuk mengetahui adanya radiasi atau mengukur radiasi harus digunakan alat ukur radiasi. Dalam proteksi radiasi, alat ukur radiasi digunakan untuk mengukur laju dosis atau dosis radiasi. Alat ukur radiasi mutlak diperlukan pada proteksi dan keselamatan kerja terhadap radiasi.

Dalam praktikum ini akan dilakukan peragaan berbagai jenis alat ukur radiasi, yang meliputi surveimeter, monitor kontaminasi dan dosimeter perorangan. Setelah mengikuti praktikum ini peserta mempunyai kompetensi menggunakan alat ukur proteksi radiasi sesuai keperluannya, dengan indikator keberhasilan:

1. menggunakan surveimeter untuk mengukur laju paparan radiasi dan tingkat kontaminasi di suatu lokasi sesuai dengan prosedur;
2. menggunakan personal dosimeter sesuai dengan prosedur.

2. Peralatan dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan :

- a. Surveimeter gama
- b. Monitor kontaminasi
- c. Dosimeter perorangan digital, analog dan TLD
- d. Sumber radiasi pemancar α , β , dan γ

3. Langkah Kerja

a. Persiapan

- 1) Identifikasi potensi bahaya yang ada di area kerja.
- 2) Baca dan catat penunjukkan dosimeter saku.
- 3) Pakai dosimeter saku.
- 4) Gunakan APD yang sesuai

b. Pengenalan Alat Ukur Radiasi dan simulasi pengukuran laju dosis tingkat kontaminasi

- 1) Pilih dan pisahkan alat ukur yang termasuk kategori surveimeter laju dosis dan kategori monitor kontaminasi
- 2) Periksa sertifikat kalibrasi untuk memastikan tanggal masa berlaku surveimeter laju dosis belum terlampaui.
- 3) Periksa tegangan baterai dan/atau tegangan kerja.
- 4) Pelajari skala pembacaan dan satuannya, serta faktor pengali atau rentang pengukuran.
- 5) Ukur laju dosis pada lokasi tertentu yang telah ditetapkan pembimbing, sesuai prosedur.

c. Pengenalan Alat Ukur Radiasi dan simulasi pengukuran tingkat kontaminasi

- 1) Periksa sertifikat kalibrasi untuk memastikan tanggal masa berlaku surveimeter monitor kontaminasi belum terlampaui.
- 2) Periksa tegangan baterai dan/atau tegangan kerja.
- 3) Pelajari skala pembacaan dan satuannya, serta faktor pengali atau rentang pengukuran
- 4) Pilih salah satu monitor kontaminasi α
- 5) Ukur laju cacah pada lokasi tertentu yang telah ditetapkan pembimbing, sesuai prosedur.
- 6) Ukur cacahan pada jarak dan dalam selang waktu tertentu, sesuai prosedur.
- 7) Ulangi langkah di atas menggunakan monitor kontaminasi β

d. Penggunaan Dosimeter Perorangan

- 1) Pilih salah satu jenis dosimeter perorangan
- 2) Pelajari karakteristik dosimeter tersebut
- 3) Pelajari cara penggunaannya
- 4) Ulangi langkah 2 dan 3 untuk dosimeter lain

5) Jelaskan karakteristik masing-masing dosimeter

B. PRAKTIKUM PROTEKSI RADIASI EKSTERNA

1. Pendahuluan

Tidak dapat dipungkiri bahwa radiasi pengion juga memiliki dampak negatif bagi kesehatan yang harus diantisipasi. Prinsip proteksi radiasi yakni limitasi, harus diterapkan untuk menjaga agar nilai batas dosis (NBD) untuk pekerja radiasi tidak terlampaui.

Praktikum dalam materi ini dilakukan beberapa tindakan yang menggambarkan upaya proteksi radiasi eksternal antara lain dengan :

- a. penahan radiasi
- b. pengaturan jarak kerja
- c. pembatasan waktu kerja

Setelah mengikuti praktikum ini, peserta diharapkan dapat memiliki pengetahuan mengenai :

- a. jenis dan efektivitas penahan radiasi
- b. hubungan antara fungsi jarak dan dosis radiasi
- c. hubungan antara fungsi waktu dan dosis radiasi

2. Peralatan Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan :

- a. Monitor perorangan : TLD badge dan dosimeter saku
- b. Sumber radiasi gamma Cs-137 dan Co-60
- c. Surveimeter gamma
- d. Perisai radiasi : timbal (Pb), kayu, bata putih (habel), dan bata merah
- e. Tanda radiasi, tali kuning, penyangga
- f. Pengatur waktu
- g. Meteran
- h. Kontainer

3. Langkah Kerja

- a. Persiapan
 - 1) Identifikasi potensi bahaya yang ada di area kerja.
 - 2) Baca dan catat penunjukkan dosimeter saku.

- 3) Pakai dosimeter saku.
 - 4) Gunakan APD yang sesuai
- b. Pengaruh Waktu terhadap Dosis dan Jarak terhadap Laju Dosis
- 1) Letakkan 3 buah dosimeter pada jarak 50 cm, 75 cm, dan 100 cm dari sumber radiasi.
 - 2) Letakkan surveimeter pada jarak 50 cm dari sumber radiasi.
 - 3) Siapkan pengatur waktu untuk mengukur selang waktu pengukuran dosis.
 - 4) Keluarkan sumber radiasi pada posisi yang telah ditentukan dan pada saat yang sama hidupkan pengatur waktu.
 - 5) Catat laju dosis radiasi pada jarak 50 cm dari sumber radiasi.
 - 6) Letakkan surveimeter pada jarak 75 cm dan 100 cm dari sumber radiasi.
 - 7) Catat laju dosis radiasi pada jarak 75 cm dan 100 cm dari sumber radiasi.
 - 8) Catat dosis radiasi yang diterima ketiga dosimeter saku pada selang waktu 5 menit dan 10 menit.
 - 9) Masukkan sumber radiasi ke dalam kontainer dan ukur laju dosis pada permukaan kontainer untuk memastikan bahwa sumber telah masuk ke dalam kontainer.
- c. Pengaruh Penahan Radiasi terhadap Laju Dosis
- 1) Siapkan beberapa jenis bahan perisai radiasi: bata merah, bata putih, kayu, dan Pb.
 - 2) Keluarkan sumber radiasi ^{137}Cs pada posisi yang sudah ditentukan.
 - 3) Letakkan surveimeter pada jarak atau laju dosis tertentu dari sumber radiasi, dan catat nilai laju dosis sebagai intensitas mula-mula.
 - 4) Letakkan satu lempeng bahan perisai pada posisi di antara sumber dan surveimeter.
 - 5) Baca laju dosis radiasi setelah melewati lempeng bahan perisai dan catat hasilnya
 - 6) Tambahkan lempeng bahan perisai menjadi dua ketebalan dan ukur laju dosis setelah melewati bahan perisai tersebut serta catat hasilnya.
 - 7) Lakukan pengukuran laju dosis untuk ketebalan berikutnya, sampai diperoleh minimal nilai laju dosis menjadi setengah laju dosis mula-mula.
 - 8) Ulangi langkah 4 s.d. 6 untuk jenis bahan perisai radiasi yang lain

- 9) Ganti sumber radiasi dengan yang memiliki energi lebih tinggi, seperti ^{60}Co dan ulangi langkah 2 sampai dengan 8.
- 10) Masukkan sumber radiasi ke dalam kontainer dan ukur laju dosis pada permukaan kontainer untuk memastikan sumber radiasi sudah masuk ke dalam kontainer.

C. EVALUASI

1. Praktikum Alat Ukur Radiasi
 - a. Sebutkan langkah perlu dilakukan sebelum menggunakan surveimeter
 - b. Jelaskan karakteristik masing-masing dosimeter
2. Praktikum Proteksi Radiasi Eksterna
 - a. Buat grafik dan jelaskan hubungan antara waktu dengan dosis
 - b. Buat grafik dan jelaskan hubungan antara jarak dengan laju dosis
 - c. Urutkan jenis bahan perisai radiasi berdasarkan efektivitas

MATERI POKOK 2:

IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI PADA PAPARAN KERJA DI BIDANG RADIOTERAPI

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang radioterapi sesuai dengan regulasi

A. PENDAHULUAN

Di Indonesia, prevalensi kanker terus meningkat sepanjang tahun. Berdasarkan data WHO tahun 2022, jumlah kasus kanker baru 408.661 dari jumlah populasi 279.134.505 orang. Jumlah mortalitas akibat kanker yaitu sebesar 242.988 orang (GLOBOCAN, 2022). Salah satu modalitas yang digunakan dalam pengobatan penyakit kanker adalah radioterapi. Radioterapi merupakan jenis terapi yang menggunakan modalitas radiasi intensitas tinggi untuk membunuh sel tumor. Tujuan dari radioterapi adalah memberikan dosis yang maksimal pada target dan meminimalisir dosis pada organ sehat. Prosedur radioterapi dibagi menjadi dua yaitu teknik radiasi eksternal dan brakiterapi (dengan mendekatkan sumber radioaktif ke target tumor). Modalitas dalam radioterapi teknik eksternal yaitu *Linear Accelerator* (Linac), pesawat teleterapi Cobalt-60, tomoterapi, gamma knife, dan lain-lain.

Linac adalah pesawat terapi eksternal yang memanfaatkan elektron yang dipercepat hingga elektron tersebut bisa dimanfaatkan untuk membunuh kanker. Sedangkan pesawat teleterapi ^{60}Co adalah pesawat terapi eksternal yang mempergunakan sumber radiasi gamma yang berasal dari zat radioaktif ^{60}Co .

Brakhiterapi adalah jenis radioterapi jarak dekat dengan peralatan pemancar berkas radiasi yang diberikan secara manual atau *Remote Afterloading*. Brakhiterapi *Remote Afterloading* adalah jenis brakhiterapi yang menggunakan perangkat kendali jarak jauh yang dikendalikan komputer untuk memasukkan zat radioaktif ke dalam aplikator yang telah dipasang dalam tubuh pasien.

B. TANGGUNG JAWAB PERSONIL

Keselamatan dan proteksi radiasi dalam bidang radioterapi tidak hanya

bergantung pada teknologi dan peralatan yang digunakan, tetapi juga pada pengaturan tanggung jawab yang jelas dan tegas bagi setiap personil yang terlibat seperti dokter spesialis onkologi radiasi, fisikawan medis, radioterapis (RTT), perawat dan petugas proteksi radiasi. Hal ini karena dalam tindakan radioterapi perlu keakurasian dosis yang tinggi. Pengaturan tanggung jawab yang tepat dalam radioterapi membantu memastikan bahwa setiap langkah yang diambil dalam prosedur radioterapi memenuhi prinsip keselamatan dan proteksi radiasi, dengan tujuan untuk meminimalkan paparan radiasi terhadap organ sehat pasien, pekerja, dan lingkungan sekitar.

1. Pemegang izin bertanggung jawab untuk:

Sesuai Pasal 15 Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 tahun 2013, Penanggung jawab Keselamatan Radiasi adalah Pemegang Izin dan personil yang terkait dengan Penggunaan peralatan Radioterapi. Pemegang izin memiliki tanggung jawab:

- a. membentuk dan menetapkan penyelenggara proteksi dan keselamatan radiasi;
- b. menyusun, mengembangkan, melaksanakan dan mendokumentasikan program proteksi dan keselamatan radiasi;
- c. menyusun, mengembangkan, melaksanakan dan mendokumentasikan program jaminan mutu;
- d. memverifikasi secara sistematis bahwa hanya personil berkompentensi yang dapat bekerja;
- e. menyelenggarakan pelatihan Proteksi Radiasi;
- f. menyelenggarakan pemantauan kesehatan bagi Pekerja Radiasi;
- g. menyediakan perlengkapan Proteksi Radiasi; dan
- h. melaporkan kepada Kepala BAPETEN mengenai pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi, dan verifikasi keselamatan.

Selain itu, pemegang izin juga mempunyai kewajiban untuk:

- a. Mewujudkan budaya keselamatan;
- b. Menyenggarakan pemantauan kesehatan;
- c. Melakukan pemeriksaan kesehatan pekerja;
- d. Menyediakan konseling untuk memberikan konsultasi dan informasi yang lengkap mengenai bahaya radiasi kepada pekerja;

- e. Melakukan penatalaksanaan pekerja yang mendapatkan Paparan Radiasi berlebih melalui pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut, konseling dan kajian terhadap Dosis yang diterima;
 - f. Menyediakan personil yang memiliki kualifikasi dan kompetensi sesuai dengan jenis Pemanfaatan Tenaga Nuklir;
 - g. Meningkatkan kemampuan personil yang bekerja di fasilitas atau instalasi melalui pendidikan dan pelatihan untuk menumbuhkan pemahaman yang memadai;
 - h. Membuat, memelihara, dan menyimpan rekaman;
 - i. Membuat Rekaman Paparan Radiasi yang mengakibatkan terjadinya Dosis yang melebihi Nilai Batas Dosis dan melaporkan segera secara lisan kepada BAPETEN; dan
 - j. Menyampaikan laporan tertulis mengenai terjadinya Paparan Radiasi yang melebihi Nilai Batas Dosis kepada BAPETEN paling lambat 3 (tiga) hari kerja terhitung sejak diterimanya pemberitahuan secara lisan.
2. Dokter spesialis Onkologi Radiasi mempunyai tanggung jawab untuk:
- a. Menentukan dan menjustifikasi pengobatan Radioterapi dalam bentuk tertulis;
 - b. Memberikan konsultasi dan evaluasi klinis terhadap pasien;
 - c. Menetapkan rencana pengobatan yang optimal bekerjasama dengan Fisikawan Medis;
 - d. Mengontrol tindakan pengobatan secara rutin atau berkala;
 - e. Memberikan evaluasi pengobatan dan pemantauan pasien pasca pengobatan;
 - f. Memberikan ringkasan, tindak lanjut, dan evaluasi pengobatan Radioterapi; dan
 - g. Memberikan evaluasi dari aspek medis jika ada Kecelakaan Radiasi.

3. Fisikawan Medis bertanggung jawab untuk:

Sesuai Pasal 18 ayat (1) Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 tahun 2013 Tenaga Ahli sebagaimana dimaksud dalam Pasal 16 ayat (1) huruf b harus memiliki latar belakang pendidikan paling kurang S2 (strata dua) fisika medik. Tenaga Ahli bertanggung jawab untuk:

- a. meninjau ulang program proteksi dan keselamatan radiasi; dan
- b. memberikan pertimbangan kepada Pemegang Izin berdasarkan aspek Keselamatan Radiasi, praktik rekayasa yang teruji, dan kajian keselamatan

secara komprehensif untuk peningkatan layanan Radioterapi.

Sedangkan kualifikasi Fisikawan Medis harus memiliki latar belakang pendidikan paling kurang S1 (strata satu) fisika medik atau yang setara. Fisikawan Medis sebagaimana diatur pada Pasal 19 ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 tahun 2013 mempunyai tanggung jawab untuk:

- a. Berpartisipasi dalam meninjau ulang secara terus menerus tersedianya sumber daya manusia, peralatan, prosedur dan perlengkapan Proteksi Radiasi;
- b. Mengembangkan persyaratan dan spesifikasi dalam pembelian peralatan Radioterapi untuk keselamatan Radiasi;
- c. Bekerja sama dengan Dokter Spesialis Onkologi Radiasi atau Dokter Spesialis Konsultan Onkologi Radiasi dalam:
 - 1) Merencanakan fasilitas Radioterapi; dan
 - 2) Merencanakan, mengevaluasi dan mengoptimisasi rencana pengobatan Radioterapi.
- d. Melaksanakan uji keberterimaan, uji komisioning dan kalibrasi peralatan Radioterapi, bekerja sama dengan Teknisi Elektromedis;
- e. Mengukur dan menganalisa data berkas Radiasi dan mentabulasinya untuk kebutuhan klinis;
- f. Membuat prosedur perhitungan dosis;
- g. Menetapkan faktor fisika dalam perencanaan dan prosedur pengobatan;
- h. Menerapkan program jaminan mutu Radioterapi;
- i. Mengawasi pemeliharaan peralatan Radioterapi; dan
- j. Membantu Pemegang Izin dalam mencari fakta dan mengevaluasi Kecelakaan Radiasi.

4. Petugas Proteksi Radiasi

Petugas Proteksi Radiasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 16 ayat (1) huruf c Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 tahun 2013 mempunyai tanggung jawab untuk:

- a. Berpartisipasi dalam meninjau ulang secara terus menerus tersedianya sumber daya manusia, peralatan, prosedur dan perlengkapan Proteksi Radiasi;
- b. Mengembangkan persyaratan dan spesifikasi dalam pembelian peralatan Radioterapi untuk keselamatan Radiasi;
- c. Bekerja sama dengan Dokter Spesialis Onkologi Radiasi atau Dokter Spesialis

Konsultan Onkologi Radiasi dalam:

- 1) Merencanakan fasilitas Radioterapi; dan
 - 2) Merencanakan, mengevaluasi dan mengoptimasi rencana pengobatan Radioterapi.
- d. Melaksanakan uji keberterimaan, uji komisioning dan kalibrasi peralatan Radioterapi, bekerja sama dengan Teknisi Elektromedis;
 - e. Mengukur dan menganalisa data berkas Radiasi dan mentabulasinya untuk kebutuhan klinis;
 - f. Membuat prosedur perhitungan dosis;
 - g. Menetapkan faktor fisika dalam perencanaan dan prosedur pengobatan;
 - h. Menerapkan program jaminan mutu Radioterapi;
 - i. Mengawasi pemeliharaan peralatan Radioterapi; dan
 - j. Membantu Pemegang Izin dalam mencari fakta dan mengevaluasi Kecelakaan Radiasi.
5. Radioterapis memiliki tanggung jawab untuk:
- a. Melaksanakan pencitraan untuk simulasi terapi;
 - b. Melaksanakan terapi Radiasi sesuai data rencana pemberian Radiasi;
 - c. yang telah ditetapkan oleh Dokter Spesialis Onkologi Radiasi atau Dokter Spesialis Radiologi Konsultan Onkologi Radiasi dan Fisikawan Medis;
 - d. Memberikan proteksi terhadap pasien dan masyarakat di sekitar ruang peralatan Radioterapi;
 - e. Menerapkan teknik dan prosedur yang tepat untuk meminimalkan Paparan Radiasi yang tidak perlu bagi pasien; dan
 - f. Menerapkan dengan benar prosedur kerja dan teknik khusus Radioterapi.

6. Petugas elektromedis memiliki tanggung jawab untuk:

Kualifikasi Teknisi Elektromedis sebagaimana dimaksud dalam Pasal 16 ayat (1) huruf f Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 tahun 2013 harus memiliki latar belakang pendidikan paling kurang DIII Teknik Elektromedik dan telah mendapat pelatihan khusus dalam pemeliharaan dan perbaikan peralatan Radioterapi.

Teknisi Elektromedis sebagaimana dimaksud pada Pasal 23 ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 tahun 2013 mempunyai tanggung jawab untuk:

- a. Melakukan pemantauan fungsi dan pemeliharaan berkala peralatan radioterapi

dan peralatan pendukung.

- b. Melakukan analisis kerusakan dan perbaikan peralatan radioterapi dan peralatan pendukung
- c. Membuat laporan hasil pemeliharaan, analisis kerusakan, dan tindakan perbaikan.

7. Perawat Radioterapi memiliki tanggung jawab:

- a. Membantu dokter dalam pengecekan dan evaluasi pasien kanker di ruang poliklinik / pemeriksaan pasien rawat jalan;
- b. Melakukan perawatan terhadap pasien, termasuk membersihkan dan mengobati luka yang terbuka pada pasien kanker;
- c. Meminta pasien untuk menandatangani formulir *informed consent* untuk tindakan penyinaran; dan
- d. Memeriksa berat badan dan tekanan darah dari pasien.

8. Petugas *mould room* memiliki tanggung jawab:

- a. Membantu fisikawan medis dalam mengambil pencitraan lokasi tumor;
- b. Menyiapkan materi yang dibutuhkan untuk pembuatan blok perisai;
- c. Menyiapkan cetakan blok berdasarkan hasil simulasi film sesuai dengan prosedur dan menempelkan label nama pasien;
- d. Menyimpan/mencatat nama-nama pasien yang telah selesai pembuatan blok;
- e. Memastikan secara berkala bahwa blok pasien telah selesai dibuat;
- f. Memastikan secara berkala bahwa blok pasien tersebut digunakan selama penyinaran;
- g. Memasukkan dan memperbaharui data pemakaian materi dalam pembuatan blok, seperti Styrofoam, cerrobend, moulding tray, cutting wire, dan moulding tray;
- h. Memastikan kebersihan dan fungsi setiap alat di Mould Room;
- i. Berkoordinasi dengan Kepala Terapis Radiasi jika ada kerusakan alat;
- j. Membantu terapis radiasi dalam menyiapkan pasien;
- k. Membantu mengantarkan pasien ke ruangan penyinaran; dan
- l. Melakukan tugas-tugas lain yang diberikan oleh atasan dari waktu ke waktu

C. PERSYARATAN PROTEKSI RADIASI

Dalam menerapkan Persyaratan Proteksi dan Keselamatan Radiasi, personil terkait menerapkan prinsip-prinsip :

1. Justifikasi

Dimana pertimbangan bahwa manfaat yang diperoleh jauh lebih besar daripada risiko bahaya Radiasi yang ditimbulkan. Justifikasi diterapkan terhadap pemberian Paparan Radiasi kepada pasien untuk keperluan Radioterapi dengan mempertimbangkan indikasi klinis. Penerapan justifikasi ini dilaksanakan oleh Dokter Spesialis Onkologi Radiasi atau Dokter Spesialis Radiologi Konsultan Onkologi Radiasi dengan mempertimbangkan indikasi klinis

2. Limitasi Dosis

Mengacu pada Nilai Batas Dosis dan tidak boleh dilampaui dalam kondisi operasi normal. Nilai Batas Dosis berlaku dan dibedakan untuk Pekerja Radiasi dan anggota masyarakat serta tidak berlaku untuk pasien. Sesuai ketentuan yang ada, Nilai Batas Dosis untuk Pekerja Radiasi tidak boleh melampaui Dosis Efektif sebesar 20 mSv (dua puluh *milisievert*) per tahun rata-rata selama 5 (lima) tahun berturut-turut; Dosis Efektif sebesar 50 mSv dalam 1 (satu) tahun tertentu; Dosis Ekuivalen untuk lensa mata sebesar 20 mSv per tahun rata-rata selama 5 (lima) tahun berturut-turut dan 50 mSv dalam 1 (satu) tahun tertentu; dan Dosis Ekuivalen untuk tangan dan kaki, atau kulit sebesar 500 mSv dalam 1 (satu) tahun.

Sedangkan Nilai Batas Dosis untuk anggota masyarakat tidak boleh melampaui: Dosis Efektif sebesar 1 mSv dalam 1 (satu) tahun; Dosis Ekuivalen untuk lensa mata sebesar 15 mSv *dalam* 1 (satu) tahun; dan Dosis Ekuivalen untuk kulit sebesar 50 mSv dalam 1 (satu) tahun.

Untuk memastikan agar Nilai Batas Dosis tersebut tidak terlampaui, Manajemen menempuh langkah melalui :

- a. melakukan pembagian daerah kerja;
- b. melakukan pemantauan paparan radiasi di daerah kerja; dan
- c. melakukan pemantauan dosis yang diterima oleh pekerja radiasi.

Pemegang Izin, dalam melaksanakan kewajiban tersebut juga telah menyediakan perlengkapan proteksi radiasi.

3. Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi.

Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana harus

diupayakan agar Pekerja Radiasi di Instalasi Radioterapi dan anggota masyarakat di sekitar Instalasi Radioterapi menerima Paparan Radiasi serendah mungkin yang dapat dicapai. Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan agar Paparan Radiasi terhadap pasien minimum sesuai dengan yang diperlukan untuk mencapai tujuan Radioterapi. Penerapan optimisasi sebagaimana dimaksud merupakan proses pengambilan keputusan untuk mendapatkan skenario terbaik dan tindakan yang optimal dengan mempertimbangkan faktor teknologi, ekonomi, dan sosial. Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diterapkan dalam pelaksanaan Radioterapi dengan mengupayakan agar:

- a. Paparan Radiasi terhadap jaringan normal selama Radioterapi dipertahankan serendah mungkin yang dapat dicapai sesuai dengan pemberian Dosis yang diperlukan pada Volume Target;
 - b. Perisai organ digunakan sesuai dengan kebutuhan;
 - c. Tindakan Radioterapi yang menyebabkan Paparan Radiasi pada bagian perut, dan panggul wanita hamil atau diduga hamil dihindari, kecuali adanya indikasi klinis yang mengharuskannya;
 - d. Setiap tindakan terapi pada wanita hamil direncanakan sehingga Dosis yang diterima embrio atau janin serendah mungkin;
 - e. Pasien diberi penjelasan mengenai risiko yang mungkin diterima; dan
 - f. Pasien menandatangani surat persetujuan tindakan medik (*informed consent*).
- Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana dimaksud diatas dilaksanakan melalui Pembatas Dosis seperti yang tercantum dalam perencanaan desain fasilitas.

Instalasi radioterapi dibagi menjadi daerah pengendalian dan daerah supervisi. Penentuan suatu daerah sebagai daerah pengendalian berarti bahwa tidak ada orang yang diizinkan untuk memasuki daerah tersebut, kecuali yang berhubungan dengan alur kerja.

Pada daerah supervisi harus dibatasi secara fisik. Dengan kata lain, dapat dipetakan dengan tepat. Untuk tindakan Proteksi dan Keselamatan Radiasi pada daerah supervisi adalah:

- a. Dalam keadaan tertentu, daerah supervisi dijaga oleh petugas yang mengawasi secara terus menerus dan memberitahukan secara lisan kepada setiap orang yang berada dekat dengan daerah tersebut untuk tetap menjaga jarak tertentu.

- b. Pada daerah supervisi shielding atau dinding dirancang sedemikian rupa sehingga tidak ada paparan berlebih di luar daerah supervisor
- c. Memasang tanda-tanda radiasi pada daerah kerja
 - 1) Daerah radiasi. Instalasi Radioterapi memasang tanda radiasi pada setiap daerah dengan tanda yang mencolok atau simbol radiasi dan disertai tulisan “PERHATIAN, DAERAH RADIASI”
 - 2) Daerah radiasi tinggi. Perusahaan memasang tanda radiasi untuk daerah radiasi tinggi dengan tanda-tanda yang mencolok atau simbol radiasi dan disertai tulisan “AWAS BAHAYA, DAERAH RADIASI TINGGI”. Selain isi tanda-tanda dan label yang telah ditentukan, beberapa tambahan informasi yang diperlukan untuk membuat setiap pekerja menyadari potensi bahaya paparan radiasi dan mengetahui cara meminimalisir.

Selain itu, diperlukan alat proteksi radiasi dalam memastikan proteksi pasien, pekerja dan masyarakat terpenuhi diperlukan peralatan proteksi radiasi seperti surveymeter, TLD, Apron, dll. Dalam pemantauan perorangan dan program proteksi. Alat pemantauan perorangan, seperti TLD harus diberikan pada setiap pekerja yang terpapar radiasi pengion. Alat pemantau perorangan disebut juga monitor radiasi perorangan. Monitor tersebut harus digunakan oleh orang yang sama selama jangka waktu pemantauan. Semua dokter, fisikawan medis, terapis radiasi, dan semua yang diperbantukan di Instalasi Radioterapi harus mempunyai TLD *Badges*.

Pengecekan jaminan mutu rutin dari masing-masing peralatan radioterapi harus dilakukan untuk memastikan bahwa setiap parameter operasional berada dalam standard yang berlaku.

D. PERSYARATAN TEKNIS

1. Sumber Radiasi pengion

Pembangkit Radiasi Pengion harus memiliki sertifikat sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar lain yang tertelusur.

2. Peralatan Radioterapi

Zat Radioaktif Terbungkus harus memiliki sertifikat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar lain yang tertelusur.

3. Bangunan Fasilitas Radioterapi

Bangunan fasilitas Radioterapi harus didesain sesuai dengan persyaratan Proteksi Radiasi sehingga Paparan Radiasi yang diterima oleh Pekerja Radiasi dan anggota masyarakat memenuhi ketentuan pembatas Dosis. Pemegang Izin harus memastikan bahwa bangunan fasilitas Radioterapi memiliki

1. sistem interlok, yang tidak bisa di bypass oleh siapapun, kecuali di bawah kendali langsung Teknisi Elektromedis pada saat pengoperasian selama pemeliharaan;
2. tanda Radiasi pada pintu, panel kendali, head sumber pada peralatan Teleterapi ^{60}Co , mesin *after-loading* dan kontener penampung Zat Radioaktif Terbungkus; dan
3. saluran kabel dosimetri untuk kegiatan kalibrasi peralatan Radioterapi.

Pada Fasilitas Radioterapi yang mempunyai Terapi Eksternal harus memiliki:

- a. ruang pemeriksaan
- b. ruang simulator
- c. ruang cetak (mould room)
- d. ruang TPS
- e. ruang penyinaran
- f. ruang tunggu.

Sedangkan untuk fasilitas brakhiterapi harus memiliki:

- a. ruang pemeriksaan
- b. ruang persiapan
- c. ruang aplikasi
- d. ruang TPS
- e. ruang penyinaran
- f. tempat penyimpanan Zat Radioaktif Terbungkus
- g. ruang tunggu.

4. Pengangkutan Zat Radioaktif Terbungkus

Dalam proses pengangkutan, terdapat pihak yang bersangkutan, yaitu pengirim, pengangkut, dan penerima. Pengirim adalah pemegang izin Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion/Bahan Nuklir. Pengangkut adalah badan hukum di bidang pengangkutan yang melakukan pengangkutan zat radioaktif. Penerima adalah pemegang izin Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion atau Pemanfaatan Bahan Nuklir, yang menerima zat radioaktif dari pengirim dan dinyatakan dalam dokumen

pengiriman. Pengangkutan Zat Radioaktif adalah pemindahan Zat Radioaktif yang memenuhi ketentuan teknis keselamatan radiasi dan teknis keamanan Zat Radioaktif dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan lalu lintas umum, dengan menggunakan sarana angkutan darat, air dan udara

Dalam pelaksanaan pengangkutan ZRA, harus mendapat persetujuan dari badan pengawas. Bungkusan ZRA yang akan diangkut, wajib mempunyai sertifikat persetujuan desain ZRA yang diterbitkan oleh :

- a. Kepala BAPETEN untuk ZRA yang berasal dari dalam negeri, dan
- b. Otoritas pengawas (*competent authority*) Negara asal untuk ZRA yang berasal dari luar negeri.

Penandaan bungkusan dilakukan dengan melekatkan tanda pada sisi luar bungkusan, yang memuat antara lain :

- a. Identitas pengirim dan penerima.
- b. Nomor PBB dan type bungkusan.
- c. Keterangan mengenai massa, jika lebih dari 50 kg.

Pemberian label bungkusan, dilakukan dengan melekatkan label pada kedua sisi luar yang berlawanan pada bungkusan, yang memuat informasi tentang:

- a. Tanda radiasi
- b. Tulisan Radioaktif
- c. Kategori bungkusan
- d. Isi bungkusan atau radionuklida
- e. Aktifitas radionuklida
- f. Indeks angkutan, dan
- g. Kelas bahan berbahaya untuk radioaktif yaitu kelas 7.

Pengangkutan ZRA menggunakan kendaraan darat berupa truk dobel engkel bak tertutup, yang mempunyai ruang berpenyekat/terpisah antara supir dengan bungkusan. Pelaksanaan pengangkutan, mencakup tentang :

- a. Dokumen izin pengangkutan dari Kepala BAPETEN.
- b. Personil yang melaksanakan pengangkutan.
- c. Peta/jalur transportasi yang akan dilalui (jalur utama maupun alternative).
- d. Pengukuran paparan radiasi selama pengangkutan.

5. Penanganan Limbah Radioaktif

Limbah radioaktif dari zat radioaktif terbungkus diusahakan semaksimal

mungkin dikembalikan ke negara asal pengekspor zat radioaktif tersebut. Oleh sebab itu, perlunya komitmen dari Importir/Instalator untuk mengembalikan sumber radioaktif bekas yang sudah tidak akan dipergunakan kembali.

E. VERIFIKASI KESELAMATAN

Verifikasi keselamatan radiasi di instalasi radioterapi berupa:

1. Pengkajian Keselamatan Sumber

Pengkajian Keselamatan Sumber pada instalasi radioterapi berupa terhadap Zat Radioaktif Terbungkus dan Pembangkit Radiasi Pengan. Untuk keselamatan terhadap zat radioaktif terbungkus berupa:

- a. pemesanan, pengangkutan dan penerimaan Zat Radioaktif Terbungkus
- b. komisioning dan pengoperasian peralatan Radioterapi
- c. penentuan Dosis terhadap pasien
- d. penggunaan Zat Radioaktif Terbungkus yang telah melampaui jangka waktu efektif
- e. penggantian Zat Radioaktif Terbungkus
- f. pengelolaan Zat Radioaktif Terbungkus yang tidak digunakan.

Sedangkan untuk keselamatan sumber pembangkit radiasi meliputi

- a. pemesanan dan penerimaan Pembangkit Radiasi Pengan
- b. komisioning dan pengoperasian peralatan Radioterapi
- c. penentuan Dosis terhadap pasien
- d. penggantian tabung akselerator dan pesawat sinar-X

2. Pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan

Pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan pada masing-masing peralatan radioterapi perlu dilakukan Uji Keberterimaan (*Acceptance Test*), Uji Komisioning (*Commissioning Test*), kendali mutu, pengukuran keluaran berkas (*output*) untuk Terapi Eksternal dan pengukuran aktivitas untuk Brakhiterapi *Remote Afterloading*.

3. Rekaman hasil verifikasi Keselamatan Radiasi

Rekaman hasil verifikasi keselamatan radiasi pada instalasi radioterapi berupa hasil Pengkajian Keselamatan Sumber dan hasil pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan.

F. PRAKTIKUM PENGUJIAN KEBOCORAN KEPALA KOLIMATOR

1. Pendahuluan

Radiasi, jika digunakan dengan tepat, merupakan alat yang sangat berharga dalam bidang medis, khususnya dalam pengobatan kanker. Radioterapi memanfaatkan radiasi untuk menghancurkan sel-sel kanker. Namun, jika tidak dikelola dengan benar, radiasi dapat menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Pengujian kebocoran pada fasilitas radioterapi merupakan langkah penting untuk memastikan keselamatan dan keamanan semua pihak yang terlibat. Dengan melakukan pengujian secara rutin, risiko paparan radiasi dapat diminimalkan dan kepercayaan masyarakat terhadap layanan radioterapi dapat ditingkatkan.

Pengetahuan tentang cara pengujian kebocoran merupakan bagian integral dari kompetensi seorang pekerja radiasi. Dengan memahami pentingnya pengujian ini, pekerja diharapkan dapat berkontribusi dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman, melindungi pasien, dan memenuhi semua persyaratan regulasi yang berlaku.

2. Peralatan dan Bahan

- a. Desain shielding
- b. Surveimeter gamma yang telah terkalibrasi
- c. Meteran
- d. Alat radioterapi

3. Langkah Kerja

- a. Periksa surveimeter gamma yang akan digunakan
- b. Atur bukaan kolimator pada
- c. Letakkan surveimeter pada jarak 100cm dari target
- d. Tutup pintu ruang radioterapi
- e. Atur parameter penyinaran
- f. Lakukan penyinaran
- g. Catat bacaan surveimeter melalui kamera

G. RANGKUMAN

Radioterapi merupakan jenis terapi yang menggunakan modalitas radiasi intensitas tinggi untuk membunuh sel tumor. Linac adalah pesawat Terapi Eksternal yang menggunakan tabung lurus tempat partikel bermuatan (elektron) mendapat peningkatan energi akibat osilasi medan elektromagnetik yang dapat memancarkan berkas elektron dan sinar-X energi tinggi. Brakhiterapi adalah jenis radioterapi jarak dekat dengan peralatan pemancar berkas radiasi yang diberikan secara manual atau Remote Afterloading.

Profesi yang terlibat dalam radioterapi adalah dokter spesialis onkologi radiasi, fisikawan medis, radioterapis, petugas proteksi radiasi, elektromedis, petugas mould room, dan perawat khusus radioterapi. Prinsip proteksi radiasi di instalasi radioterapi yaitu justifikasi, optimisasi dan limitasi. Pekerja radiasi di instalasi radioterapi wajib dipantau dosis menggunakan *personal dose monitoring* dan dilakukan MCU.

H. EVALUASI

1. Pilihan Ganda

1. Sinar X ditemukan oleh

- a. Henri Becquerel, 1896
- b. Marie and Pierre Curie, 1898
- c. John Dalton, 1776
- d. Albert Einstein, 1915–1916
- e. Wilhelm Roentgen, 1895

Jawaban : e

2. Berikut parameter pada *safety check* yang dalam pelaksanaannya perlu surveimeter adalah

- a. *Interlocks*
- b. *warning lights*
- c. *patient monitoring equipment*
- d. *collimator and head leakage*
- e. *emergency button*

Jawaban : d

3. Tugas dan tanggung jawab radioterapis, kecuali

- a. Melaksanakan pencitraan untuk simulasi terapi;
- b. Melaksanakan terapi Radiasi sesuai data perencanaan pemberian Radiasi;
- c. Mengontrol tindakan pengobatan secara rutin atau berkala
- d. Memberikan proteksi terhadap pasien dan masyarakat di sekitar ruang peralatan Radioterapi;
- e. Menerapkan teknik dan prosedur yang tepat untuk meminimalkan Paparan Radiasi yang tidak perlu bagi pasien;

Jawaban : c

4. Berikut merupakan modalitas di radioterapi, kecuali

- a. Simulator
- b. Linac
- c. C-ARM
- d. SPECT-CT
- e. Teleterapi Co-60

Jawaban : d

5. Sumber radiasi yang digunakan di instalasi radioterapi

- a. Lutetium 177
- b. Iridium 192
- c. Technetium 99m
- d. Samarium 153
- e. Iodium 131

Jawaban : b

2. Penugasan Praktikum

Bandingkan hasil pengukuran dengan nilai maksimum 0,1% dari pengukuran paparan utama (*isocenter*).

MATERI POKOK 3:

IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI PADA PAPARAN KERJA DI BIDANG RADIODIAGNOSTIK

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu Menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang radiodiagnostik sesuai regulasi

A. PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi sinar-X dalam bidang radiodiagnostik memainkan peran penting dalam diagnosis medis dan penyembuhan penyakit. Namun, penggunaan radiasi tersebut juga menyertakan risiko terhadap kesehatan, baik bagi pasien maupun pekerja yang terpapar radiasi. Oleh karena itu, penerapan keselamatan dan proteksi radiasi yang ketat dan efektif sangat penting untuk meminimalkan potensi dampak negatif dari paparan radiasi. Keselamatan radiasi yang baik adalah bagian integral dari upaya untuk memastikan bahwa teknologi medis, seperti radiodiagnostik, tidak membahayakan kesehatan pasien maupun pekerja medis. Implementasi praktik keselamatan yang optimal tidak hanya melindungi pekerja dari paparan radiasi yang berbahaya tetapi juga memastikan bahwa pasien menerima diagnosis yang tepat dengan risiko minimal. Hal ini sejalan dengan tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yang salah satunya adalah berfokus pada kesehatan yang baik, pencegahan penyakit, dan pengurangan risiko kesehatan kerja.

B. TANGGUNG JAWAB PERSONIL

Keselamatan dan proteksi radiasi dalam bidang radiodiagnostik tidak hanya bergantung pada teknologi dan peralatan yang digunakan, tetapi juga pada pengaturan tanggung jawab yang jelas dan tegas bagi setiap personil yang terlibat dalam proses tersebut. Setiap individu yang terlibat dalam penggunaan sinar-X, baik sebagai operator, dokter, atau tenaga medis lainnya, memiliki peran penting dalam menjaga standar keselamatan radiasi. Pengaturan tanggung jawab yang tepat membantu memastikan bahwa setiap langkah yang diambil dalam prosedur radiodiagnostik memenuhi prinsip keselamatan dan proteksi radiasi, dengan tujuan

untuk meminimalkan paparan radiasi terhadap pasien, pekerja, dan lingkungan sekitar.

Pemegang Izin bertanggung jawab untuk :

- a. Mempromosikan dan mengembangkan Budaya Keselamatan
- b. Menyusun, menetapkan, mengembangkan, melaksanakan, dan mendokumentasikan program proteksi dan Keselamatan Radiasi
- c. Membentuk dan menetapkan penyelenggara proteksi dan Keselamatan Radiasi
- d. Menyelenggarakan pemantauan kesehatan bagi Pekerja Radiasi
- e. Menyediakan personel sesuai dengan jenis pesawat sinar-X yang digunakan dan tujuan penggunaan
- f. Menetapkan personel yang menjadi Petugas Proteksi Radiasi dan Pekerja Radiasi sesuai dengan beban kerja
- g. Memfasilitasi pelatihan proteksi dan Keselamatan Radiasi bagi personel
- h. Menyelenggarakan pemantauan radiasi di daerah kerja
- i. Menyelenggarakan pemantauan dosis perorangan bagi Pekerja Radiasi;
- j. Menyediakan perlengkapan Proteksi Radiasi bagi personel
- k. Menetapkan prosedur dengan semua pihak yang terkait dengan Keselamatan Radiasi, dan
- l. Memelihara Rekaman yang terkait dengan Keselamatan Radiasi

Tenaga medis dalam bidang Radiologi (dokter spesialis Radiologi, dokter spesialis lain yang menggunakan sumber radiasi, dokter gigi spesialis Radiologi kedokteran gigi dan atau dokter gigi) memiliki tugas dan tanggung jawab sebagai berikut:

- a. Memberikan rujukan dan justifikasi pelaksanaan diagnosis dengan mempertimbangkan informasi pemeriksaan sebelumnya;
- b. Menjamin bahwa paparan pasien serendah mungkin untuk mendapatkan citra radiografi yang seoptimal mungkin dengan mempertimbangkan pedoman nasional tingkat panduan diagnostik; dan
- c. Menyediakan kriteria untuk pemeriksaan wanita hamil, anak-anak, dan pemeriksaan kesehatan Pekerja Radiasi

Petugas Proteksi Radiasi memiliki tugas dan tanggung jawab:

- a. Membantu Pemegang Izin dalam menyusun, mengembangkan, dan melaksanakan program proteksi dan Keselamatan Radiasi
- b. Memantau pelaksanaan program proteksi dan Keselamatan Radiasi;
- c. Memastikan ketersediaan dan kelayakan perlengkapan Proteksi Radiasi dan memantau pemakaiannya;
- d. Memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan Keselamatan Radiasi;
- e. Berpartisipasi dalam mendesain ruangan Radiologi;
- f. Mengidentifikasi kebutuhan dan mengoordinasikan pelatihan proteksi dan Keselamatan Radiasi;
- g. Melaporkan kepada Pemegang Izin setiap kejadian kegagalan operasi yang berpotensi menimbulkan kecelakaan radiasi;
- h. Memantau pelaksanaan verifikasi Keselamatan Radiasi; dan
- i. Menyiapkan laporan tertulis mengenai pelaksanaan program proteksi dan Keselamatan Radiasi.

C. PERSYARATAN PROTEKSI RADIASI

Pemegang Izin wajib menerapkan Persyaratan Proteksi Radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir, yang meliputi:

1. Prinsip Proteksi Radiasi
2. Proteksi Radiasi terhadap Paparan Kerja
3. Proteksi Radiasi terhadap Paparan Medik

Persyaratan dan implementasi dari prinsip proteksi radiasi adalah sebagai berikut :

1. Prinsip Proteksi Radiasi

a. Justifikasi

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:

- 1) Adanya penerapan teknologi lain dimana risiko yang ditimbulkan lebih kecil daripada jenis pemanfaatan tenaga nuklir yang sudah ada sebelumnya

- 2) Ekonomi dan sosial, dan
- 3) Kesehatan dan keselamatan

b. 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. 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 somatic yang berarti akibat pemanfaatan tenaga nuklir.

Limitasi dosis tidak berlaku untuk paparan medik dan paparan yang berasal dari alam. 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:

- 1) Dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv pertahun dalam periode 5 tahun, sehingga dosis yang terakumulasi dalam 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv;
- 2) Dosis efektif sebesar 50 mSv dalam 1 tahun tertentu.

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

- 1) Dosis ekuivalen untuk lensa mata sebesar 20 mSv pertahun dalam periode 5 tahun, dan 50 mSv dalam satu tahun tertentu;
- 2) Dosis ekuivalen untuk kulit sebesar 500 mSv pertahun
- 3) Dosis ekuivalen untuk tangan atau kaki sebesar 500 mSv pertahun.

c. Optimisasi Proteksi

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 :

- 1) Pembatas dosis dan/ atau
- 2) Tingkat panduan untuk paparan medik.

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

fasilitas atau instalasi baru dan/atau tahap operasi, dan dekomisioning atau penutupan untuk fasilitas atau instalasi yang sudah beroperasi. Penentuan pembatas dosis tidak boleh melampaui NBD, dan diberlakukan apabila terdapat lebih dari satu fasilitas atau instalasi di satu kawasan atau personil 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.

2. Proteksi Radiasi terhadap Paparan Kerja

Untuk memastikan NBD bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui, Pemegang Izin wajib melakukan Proteksi Radiasi terhadap Paparan Kerja yang meliputi:

- a. Pembagian daerah kerja
- b. Penyusunan prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X
- c. Penetapan dan peninjauan ulang Pembatas Dosis,
- d. Pemantauan paparan radiasi di daerah kerja,
- e. Pemantauan dosis perorangan, dan
- f. Pertimbangan khusus Pekerja Radiasi wanita hamil atau diperkirakan hamil.

a. Pembagian Daerah Kerja

Dalam melaksanakan pembagian daerah kerja PI wajib menetapkan daerah pengendalian dan daerah supervisi.

Daerah Pengendalian

Daerah pengendalian meliputi ruangan pesawat sinar-X dan daerah pengoperasian Pesawat Sinar-X Mobile dan pesawat sinar-X CT-Scan mobile. Pemegang Izin wajib melakukan tindakan proteksi dan keselamatan radiasi di daerah Pengendalian, antara lain:

- 1) Memasang tanda peringatan atau petunjuk pada titik akses dan lokasi lain yang dianggap perlu,

- 2) Menyediakan perlengkapan proteksi radiasi yang meliputi peralatan pemantau dosis perorangan dan peralatan protektif radiasi (apron, pelindung tiroid, pelindung mata, dan sarung tangan), dan
- 3) Memastikan bahwa pekerja radiasi yang berada di daerah pengendalian memakai perlengkapan proteksi radiasi.

Daerah Supervisi

Daerah Supervisi merupakan daerah di sekitar ruangan pesawat sinar-X yang meliputi ruangan panel kendali, ruangan pembacaan citra dan/atau ruangan pemroses citra. Pada daerah ini, PI harus memberi tanda dan batas yang jelas dan memasang tanda pada titik akses keluar masuk.

b. Penyusunan prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X

Prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X bertujuan untuk menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi; dan meminimalkan paparan kerja saat pengoperasian pesawat sinar-X.

c. Penetapan dan Peninjauan Ulang Pembatas Dosis

Menurut Perka BAPETEN nomor 4 tahun 2013, pembatas dosis meliputi pembatas dosis untuk pekerja radiasi dan anggota masyarakat. Pembatas dosis untuk pekerja radiasi ditetapkan oleh Pemegang Izin dengan Persetujuan Kepala BAPETEN. Pembatas dosis dapat ditetapkan melalui kaji ulang terhadap hasil evaluasi dosis selama setahun. Sedangkan untuk fasilitas yang baru, usulan pembatas dosis dapat ditetapkan dengan memperhatikan perkiraan beban kerja dalam setahun dan hasil pengukuran paparan radiasi di daerah sekitar fasilitas.

Pemegang Izin harus menetapkan dan meninjau ulang pembatas dosis pada tahap konstruksi untuk fasilitas baru dan operasional untuk fasilitas yang sudah beroperasi. Untuk personel yang bekerja di lebih dari satu fasilitas, pembatas dosis harus ditetapkan dengan mempertimbangkan kontribusi dosis dari masing-masing fasilitas. Perhitungan penetapan dan peninjauan pembatas dosis mengacu pada pedoman mengenai pembatas dosis yang ditetapkan oleh Kepala BAPETEN.

d. Pemantauan Paparan Radiasi di Daerah Kerja

Pemantauan paparan radiasi di daerah kerja wajib dilakukan pada ruangan pesawat sinar-X secara berkala dan ketika ruangan baru selesai dibangun, ruangan

baru direnovasi, pesawat sinar-X baru diperbaiki; dan/atau perangkat lunak terkait pesawat sinar-X baru dimodifikasi.

Pemantauan paparan radiasi di daerah kerja harus menggunakan alat ukur yang memenuhi kriteria:

- 1) Respons energi yang sesuai,
- 2) Rentang pengukuran yang cukup pada tingkat radiasi yang diukur, dan
- 3) Terkalibrasi sesuai dengan tingkat energi yang diukur.

e. Pemantauan Dosis Perorangan

Pemantauan dosis perorangan dilakukan dengan menggunakan peralatan pemantauan dosis perorangan meliputi:

- 1) Dosimeter aktif (dosimeter perorangan bacaan langsung) dengan kriteria sama dengan surveimeter dan/atau
- 2) Dosimeter pasif (TLD dan OSL badge), yang merupakan dosimeter untuk seluruh tubuh dan wajib digunakan oleh pekerja radiasi ketika berada dalam medan radiasi di daerah kerja.

Dalam pelaksanaan prosedur radiologi intervensional, PI wajib menyediakan:

- a) Dosimeter aktif untuk personel selain pekerja radiasi,
- b) Dosimeter pasif untuk setiap pekerja radiasi, yang meliputi dosimeter pasif untuk seluruh tubuh dan dosimeter pasif untuk lensa mata.

Hasil bacaan dosis pada dosimeter aktif wajib dicatat untuk setiap kali prosedur radiologi intervensional.

Dosimeter pasif wajib dievaluasi oleh laboratorium dosimetri eksterna yang terakreditasi atau yang telah ditunjuk oleh Kepala BAPETEN. Evaluasi dosimeter pasif tersebut harus dilakukan berdasarkan potensi bahaya radiasi, minimal dipengaruhi oleh beban kerja, daerah kerja, dan jenis tindakan radiologi yang dilakukan. PI wajib memberitahukan hasil evaluasi pemantauan dosis perorangan kepada pekerja radiasi secara berkala. Hasil evaluasi tersebut wajib disimpan dan dipelihara oleh PI minimal 30 (tiga puluh) tahun terhitung sejak pekerja radiasi berhenti bekerja atau pekerja radiasi telah mencapai usia 75 (tujuh puluh lima) tahun. Untuk pekerja radiasi yang bekerja di lebih dari satu fasilitas kesehatan, yang bersangkutan wajib melaporkan hasil evaluasi pemantauan dosis perorangan

yang diterima di fasilitas lain kepada setiap PI secara berkala.

Jika hasil evaluasi pemantauan dosis perorangan melampaui NBD, maka PI wajib melakukan rekonstruksi dosis dan penatalaksanaan kesehatan bagi pekerja radiasi. Laporan hasil rekonstruksi dosis dan pemantauan kesehatan serta langkah tindak lanjut wajib disampaikan PI kepada Kepala BAPETEN paling lama 10 (sepuluh) hari kerja sejak diterimanya hasil evaluasi pemantauan dosis perorangan.

f. **Pertimbangan Khusus Pekerja Radiasi Wanita Hamil atau Diperkirakan Hamil**

Pemegang Izin tidak diizinkan menempatkan pekerja radiasi wanita hamil atau diperkirakan hamil di daerah pengendalian. Yang bersangkutan harus ditempatkan di daerah kerja yang tingkat radiasinya kurang dari 1 mSv (satu milisievert) per tahun.

3. Proteksi Radiasi terhadap Paparan Medik

Penerapan persyaratan proteksi radiasi terhadap paparan medik meliputi:

- a. Justifikasi paparan medik dan
- b. Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap paparan medik.

a. **Justifikasi Paparan Medik**

Semua Paparan Medik harus melalui proses justifikasi paparan medik yang dilakukan dengan mempertimbangkan:

- 1) Indikasi klinis yang menunjukkan pasien harus diberikan paparan medik,
- 2) Pemberian paparan medik sebelumnya, termasuk yang diterima dari fasilitas lain,
- 3) Manfaat modalitas radiasi pengion lebih besar dan risiko yang ditimbulkan lebih kecil dibandingkan modalitas selain radiasi pengion,
- 4) Besarnya dosis radiasi yang akan diberikan serta dampaknya terhadap pasien,
- 5) Kondisi pasien dengan radiosensitivitas yang tinggi (bayi, anak-anak, dan wanita hamil atau diperkirakan hamil), dan
- 6) Kondisi kesehatan pasien sebelum dan setelah pemberian paparan medik.

Justifikasi paparan medik tersebut diberikan dalam bentuk surat rujukan dari tenaga medis dalam bidang radiologi sebelum pasien menjalani prosedur radiologi diagnostik dan radiologi intervensional. Pemberian surat rujukan tersebut harus mengacu pada pedoman rujukan (referral guideline) nasional atau internasional.

PI wajib menetapkan prosedur dalam melaksanakan justifikasi paparan medik. Setiap pemeriksaan radiologi diagnostik dan radiologi intervensional yang dilakukan untuk keperluan pekerjaan, legal, atau asuransi kesehatan harus berdasarkan justifikasi. Pemeriksaan tersebut dilakukan untuk keperluan pemberian informasi penting mengenai kesehatan seseorang yang diperiksa atau proses pembuktian atas terjadinya suatu pelanggaran hukum.

b. Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi terhadap Paparan Medik

Pemegang Izin wajib menerapkan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap paparan medik melalui:

- 1) Pertimbangan operasional pesawat sinar-X,
- 2) Tingkat panduan diagnostik, dan
- 3) Pendampingan pasien

1) Pertimbangan operasional pesawat sinar-x

Pertimbangan operasional pesawat sinar-X meliputi prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X sehingga tercapai optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap pasien. Pertimbangan operasional pesawat sinar-X meliputi pertimbangan umum dan pertimbangan khusus, yang tercantum dalam lampiran IV Peraturan BAPETEN nomor 4 Tahun 2020.

2) Tingkat Panduan Diagnostik

Dalam menerapkan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi pada paparan medik perlu dilakukan upaya agar besar dosis radiasi yang diterima pasien dapat serendah mungkin yang dapat dicapai untuk mendapatkan citra radiografi yang seoptimal mungkin dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi. Salah satu upaya pencapaian tersebut dilaksanakan melalui penggunaan Tingkat Panduan Diagnostik atau *Diagnostic Reference Level* (DRL). DRL ditetapkan berdasarkan jenis modalitas tertentu dan jenis pemeriksaan tertentu pada radiologi diagnostik dan intervensional sesuai dengan infrastruktur nasional Indonesia. Nilai tingkat panduan diagnostik Indonesia (I-DRL) ditetapkan dalam Peraturan BAPETEN nomor 1211/K/V/2021.

3) Pendampingan Pasien

Jika dalam pelaksanaan pemeriksaan radiologi dibutuhkan pendampingan

pasien, maka pendamping pasien harus memenuhi ketentuan:

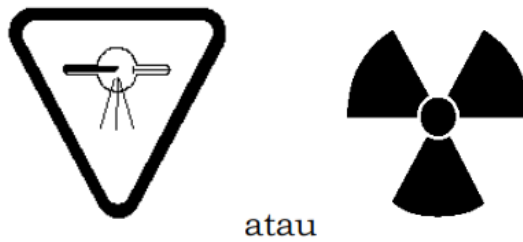
- a) Berusia di atas 18 (delapan belas) tahun,
- b) Tidak dalam kondisi hamil atau diperkirakan hamil bila wanita,
- c) Menggunakan peralatan protektif radiasi sesuai kebutuhan, dan
- d) Diberi informasi mengenai:
 - Prinsip optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi,
 - cara dan posisi pendampingan yang tepat, dan
 - cara penggunaan peralatan protektif radiasi yang tepat.

Pembatas dosis untuk pendamping pasien ditetapkan oleh PI dengan mengupayakan agar dosis yang diterima pendamping pasien tidak melebihi 5 mSv (lima milisievert) untuk setiap periode penyinaran.

D. PERSYARATAN TEKNIS

Persyaratan Teknis diatur dalam Perka Bapeten No 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-X Dalam Radiologi Diagnostik Dan Intervensional meliputi ruang pesawat sinar-x dan fitur pesawat sinar-x. Pemegang Izin harus memastikan ukuran ruangan sesuai dengan aturan yang berlaku dimana jarak antara titik fokus tabung pesawat sinar-x terhadap dinding paling sedikit satu meter. Sedangkan persyaratan ruangan pesawat sinar-X, paling sedikit meliputi:

1. Desain ruangan memenuhi ketentuan Pembatas Dosis
2. Penahan radiasi terpasang pada dinding, pintu, dan jendela;
3. Ukuran ruangan cukup memadai untuk tercapai optimisasi proteksi dan Keselamatan Radiasi;
4. Desain ruangan memungkinkan personel dapat dengan jelas mengobservasi atau berkomunikasi dengan pasien dari ruang panel kendali;
5. Dalam satu ruangan pesawat sinar-X tidak boleh terdapat 2 (dua) atau lebih pesawat sinar-X yang dioperasikan secara bersamaan;
6. Pada pintu ruangan pesawat sinar-X terpasang dengan jelas tanda radiasi, peringatan bahaya radiasi, dan peringatan terhadap wanita hamil;



(Sumber: Perka Bapeten No 4 Tahun 2020)

Gambar 1. Tanda Radiasi

7. Pada pintu ruangan pesawat sinar-X terpasang lampu peringatan yang harus menyala ketika penyinaran berlangsung;
8. Pintu pesawat sinar-X harus selalu tertutup rapat pada saat penyinaran berlangsung; dan
9. Terdapat sistem pendingin ruangan yang memadai.

Untuk memenuhi persyaratan ukuran ruangan pesawat sinar-x, Pemegang Izin juga harus memperhitungkan faktor-faktor berikut ini:

1. Faktor ergonomis;
2. Letak meja penyinaran dan pergerakan pasien;
3. Jenis pesawat sinar-X yang digunakan;
4. Beban kerja maksimum;
5. Faktor orientasi berkas;
6. Faktor okupansi;
7. Jenis pemeriksaan;
8. Tujuan penggunaan ruangan;
9. Ketentuan penahan radiasi; dan
10. Modifikasi fasilitas dan pesawat sinar-X di masa mendatang.

Penahan radiasi pada ruangan pesawat sinar-x radiodiagnostik dan intervensional memiliki ketentuan sebagai berikut:

1. Mengikuti ketentuan kalkulasi penahan radiasi dengan mempertimbangkan antara lain faktor beban kerja maksimum, okupansi, dan orientasi berkas;
2. Memperhatikan pemasangan saluran dan sambungan pada penahan radiasi agar tidak terjadi kebocoran radiasi;
3. Menggunakan material yang efektif dalam menahan radiasi; dan
4. Menggunakan penahan radiasi pada dinding ruangan paling rendah 2 (dua)

meter dari lantai, sedangkan untuk ruang Pesawat Sinar-X CT-Scan dan selain ruang Radiologi Intervensional terpasang penuh pada seluruh dinding ruangan untuk ruangan pesawat sinar-X pada fasilitas pelayanan kesehatan bergerak (mobile station).

Selain memenuhi diatas, Pemegang Izin harus memenuhi persyaratan tambahan, diantaranya:

1. Fasilitas pelayanan kesehatan bergerak harus cukup memadai untuk menjaga kestabilan pesawat sinar-X dari perubahan mekanik;
2. Catu daya harus memadai dan koneksi catu daya harus dapat diandalkan;
3. Pintu masuk ke fasilitas pelayanan kesehatan bergerak harus berada di bawah kendali personel; dan
4. Apabila terdapat ruang tunggu di dalam fasilitas pelayanan kesehatan bergerak, dinding ruang tunggu harus diberi penahan radiasi yang memadai sehingga tidak melampaui Pembatas Dosis untuk masyarakat.

Persyaratan teknis yang kedua adalah fitur pesawat sinar-X. Fitur pesawat sinar-X terbagi menjadi fitur umum dan fitur khusus. Fitur umum minimal yang harus ada pada pesawat sinar-X adalah:

1. Perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi;
2. Semua parameter operasi dapat ditampilkan dengan jelas dan akurat;
3. Terdapat mekanisme kendali berkas radiasi, termasuk anda yang menunjukkan secara jelas secara visual atau audio ketika penyinaran sedang berlangsung;
4. Terdapat sistem untuk meminimalkan kesalahan manusia;
5. Terdapat kolimator untuk membatasi berkas radiasi;
6. Terdapat filter bawaan dan filter tambahan untuk mengurangi energi rendah radiasi; dan
7. Kebocoran radiasi pesawat sinar-X tidak melampaui 1 mGy (satu miligray) dalam 1 (satu) jam pada jarak 1 (satu) meter dari fokus.

Untuk pesawat sinar-X berbasis digital, harus memiliki tampilan dosis real-time dan laporan dosis yang ada dalam informasi di DICOM, termasuk transfer data dosis untuk tujuan tingkat panduan diagnostik dan perhitungan dosis pasien, serta tersambung dengan sistem RIS (*Radiology Information System*) atau PACS (*Picture Archive and Communication System*). Sedangkan fitur khusus, sesuai dengan jenis modalitas pesawat sinar-X. Fitur khusus untuk Pesawat Sinar-X CT-Scan dan

pesawat sinar-X *CT Scan mobile* meliputi:

1. Konsol tampilan semua parameter CT yang secara langsung memengaruhi akuisisi citra;
2. Konsol tampilan indeks kerma udara CT volume terukur (Cvol atau CTDIvol) dan perkalian panjang dengan kerma udara CT (PKL, CT atau DLP) untuk prosedur atau akuisisi;
3. Sinyal atau tanda peringatan jika kondisi penyinaran terlalu tinggi;
4. Modulasi dosis pada sumbu rotasi dan sumbu-Z;
5. Tebal irisan, pitch, dan kolimasi dinamik; dan
6. Algoritma rekonstruksi.

Fitur khusus untuk pesawat sinar-x mamografi meliputi diantaranya:

1. Kombinasi variasi anoda atau filter;
2. Kemampuan untuk kompresi dan imobilisasi;
3. Magnification views; dan
4. Tampilan indeks dosis pada konsol.

Fitur khusus untuk Pesawat Sinar-X Fluoroskopi meliputi:

1. Kemampuan penyinaran secara kontinu;
2. Tampilan waktu penyinaran, DAP (Dose-Area Product), dan/atau dosis permukaan kulit;
3. ABC; dan
4. Alat untuk menampilkan citra yang terakhir diperoleh (last image hold).

Fitur khusus penggunaan Pesawat Sinar-X Fluoroskopi untuk Radiologi Intervensional meliputi antara lain:

1. Tabung pesawat sinar-X dengan kapasitas panas yang tinggi sehingga dapat beroperasi pada arus tabung yang rendah dan waktu yang panjang;
2. Generator dengan daya paling rendah 80 kW (delapan puluh kilowatt);
3. Untuk penyinaran anak-anak :
 - a. generator penunjang tabung pesawat sinar-X dioperasikan dengan minimal 3 (tiga) focal spot;
 - b. grid antihambur dihilangkan;
 - c. kemampuan laju frame akuisisi citra ditingkatkan sampai 60 (enam puluh) frame per detik; dan

- d. terdapat pengaturan ABC;
- 4. Ruang untuk menempatkan DAP (Dose-Area Product) meter di ujung kolimator;
- 5. Bidang pandang yang berbeda untuk meningkatkan resolusi spasial;
- 6. Kolimasi otomatis;
- 7. Filter tambahan;
- 8. Sistem untuk menampilkan dan merekam laporan dosis dengan format digital untuk parameter berikut:
 - a. kerma udara acuan kumulatif;
 - b. perkalian kerma udara-luas kumulatif (DAP);
 - c. waktu fluoroskopi kumulatif; dan
 - d. jumlah akuisisi citra kumulatif; dan
 - e. Sistem untuk DSA (Digital Subtraction Angiography)

E. VERIFIKASI KESELAMATAN

Verifikasi keselamatan dilakukan untuk memastikan Penerapan Program proteksi dan Keselamatan Radiasi, mengevaluasi pelaksanaan Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi dan melakukan Tindakan korektif yang diperlukan. Kegiatan dan hasil Verifikasi keselamatan harus dicatat di dalam logbook. Verifikasi keselamatan pada Radiologi Diagnostik dan Intervensional, dilakukan melalui :

1. Pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja

Pengukuran dilakukan pada saat fasilitas yang baru dimiliki sebelum digunakan dan pada saat fasilitas yang mengalami perubahan. Pemantauan Paparan Radiasi dilakukan oleh Petugas Proteksi Radiasi pada ruang kendali pesawat sinar-X, ruang di sekitar pesawat sinar-X dan personel yang sedang melaksanakan prosedur fluoroskopi.

2. Identifikasi terjadinya Paparan Potensial

Identifikasi terjadinya Paparan Potensial dilakukan dengan mempertimbangkan kelemahan dalam desain pesawat sinar-x, kegagalan pesawat sinar-x saat beroperasi, kegagalan dan kesalahan perangkat lunak yang mengendalikan atau memengaruhi pengiriman radiasi dan atau kesalahan manusia.

3. Kendali mutu pesawat sinar-x

Kendali mutu pesawat sinar-x meliputi kendali mutu internal dan eksternal. Kendali mutu internal dilakukan atau disupervisi oleh fisikawan medik, sedangkan

kendali mutu eksternal antara lain melalui Uji Kesesuaian pesawat sinar-x, untuk memastikan bahwa pesawat sinar-x yang digunakan dalam keadaan yang handal

F. UPAYA PRAKTIKUM KERJA SELAMAT DI BIDANG RADIODIAGNOSTIK

1. Pendahuluan

Paparan radiasi sinar-X merupakan bagian penting dalam praktik radiodiagnostik, yang digunakan untuk menghasilkan gambar medis guna membantu diagnosis penyakit. Namun, penggunaan sinar-X juga membawa potensi risiko terhadap kesehatan jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penting bagi tenaga medis dan pekerja yang terlibat dalam prosedur radiodiagnostik untuk memahami dan menguasai prinsip-prinsip keselamatan radiasi agar paparan terhadap diri mereka dapat diminimalisir.

Pada praktikum ini, Peserta akan dilakukan :

1. Pengaturan eksposi pada imaging phantom
2. Pengukuran nilai paparan di sekitar ruang pesawat sinar-X
3. Interpretasi data uji

Melalui praktikum ini, peserta diharapkan dapat menilai paparan di area sekitar ruangan pesawat sinar-X diagnostik yang dilakukan untuk memastikan keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi dan masyarakat umum.

2. Peralatan dan Bahan

1. Pesawat Sinar-x Umum/ Mobile
2. Alat ukur radiasi (Surveymeter)
3. *Imaging Phantom*
4. Meteran

3. Langkah Kerja

1. Catat data administrasi pesawat sinar-x yang akan diuji
2. Tentukan titik pengujian paparan, ruangan disekitar pesawat sinar-X (minimal 5 titik)
3. Gambar denah ruangan pesawat sinar-x dan sekitarnya beserta struktur dinding dan pintu ruangan
4. Catat suhu dan kelembaban pada saat pengambilan data
5. Letakkan *imaging phantom* diatas meja pemeriksaan, dengan FOD (*Fokus Object Distance*) sebesar 77 cm

6. Atur kondisi eksposi kVp dan mAs dengan kondisi klinis tertinggi yang dapat digunakan
7. Lakukan eksposi dan ukur laju paparan pada titik yang telah ditentukan
8. Catat data laju paparan yang terukur pada formulir data teknis pesawat sinar-x diagnostik

G. RANGKUMAN

Persyaratan proteksi radiasi meliputi prinsip proteksi radiasi (justifikasi, limitasi dosis, dan penerapan optimisasi proteksi radiasi dan keselamatan radiasi), proteksi radiasi terhadap paparan kerja, dan proteksi radiasi terhadap paparan medik.

Justifikasi penggunaan pesawat sinar-X pada radiologi diagnostik dan intervensional berdasarkan pada pertimbangan bahwa manfaat yang diperoleh jauh lebih besar daripada risiko bahaya radiasi yang ditimbulkan.

Limitasi dosis wajib diberlakukan melalui penerapan nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan oleh Bapeten dan tidak boleh dilampaui dalam kondisi operasi normal. Limitasi dosis tidak berlaku untuk paparan medik (pasien dan pendamping pasien) dan paparan yang berasal dari alam.

Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dilaksanakan berdasarkan pada upaya agar paparan radiasi yang diterima pekerja radiasi, pasien, dan anggota masyarakat serendah mungkin yang dapat dicapai.

Persyaratan Teknis pada penggunaan pesawat sinar-X dalam Radiologi Diagnostik Dan Intervensional meliputi ruang pesawat sinar-x dan fitur pesawat sinar-x.

Verifikasi keselamatan dilakukan untuk memastikan Penerapan Program proteksi dan Keselamatan Radiasi, mengevaluasi pelaksanaan Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi dan melakukan Tindakan korektif yang diperlukan.

Verifikasi keselamatan pada Radiologi Diagnostik dan Intervensional, dilakukan melalui pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja, identifikasi terjadinya paparan potensial dan kendali mutu pesawat sinar-x.

H. EVALUASI

1. Pilihan Ganda

1. Pengertian paparan kerja yang paling tepat adalah
 - a. Paparan yang diterima oleh pekerja radiasi
 - b. Paparan yang diperkirakan akan diterima dalam kondisi pengoperasian normal suatu fasilitas atau instalasi, termasuk kecelakaan minor yang dapat dikendalikan
 - c. Paparan yang diakibatkan terjadinya kondisi darurat nuklir atau radiologik
 - d. Jawaban B dan C

Jawaban : b

2. Penerapan prinsip justifikasi di bidang kesehatan adalah
 - a. Hanya memberikan penyinaran kepada pasien jika memang benar benar diperlukan
 - b. Operator berada pada jarak yang sejauh mungkin dari sumber radiasi
 - c. Mengatur kolimator dari pesawat sinar-X sesuai dengan luas lapangan yang diperlukan
 - d. Jawaban A, B dan C benar

Jawaban : a

3. Penerapan prinsip optimisasi dalam bidang kesehatan dapat dilakukan dengan upaya berikut, KECUALI
 - a. Menggunakan film dan screen dengan kecepatan tinggi dan menerapkan baku mutu citra dalam pemeriksaan
 - b. Pada pemeriksaan CT-Scan jumlah irisan/slice diusahakan maksimum
 - c. Membatasi luas lapangan penyinaran dengan mengatur kolimator sesuai dengan objek yang diinginkan
 - d. Menerapkan tingkat acuan (reference level) untuk dosis radiasi yang diterima pasien dari tiap-tiap jenis pemeriksaan

Jawaban : b

4. Tanggung jawab Petugas Proteksi Radiasi sebagai berikut, KECUALI
 - a. Mengidentifikasi kebutuhan dan mengorganisasi kegiatan pelatihan
 - b. Menjamin bahwa Paparan Radiasi yang diterima pasien serendah
 - c. Memantau pemakaian perlengkapan Proteksi Radiasi
 - d. Berpartisipasi dalam mendesain fasilitas

Jawaban : b

5. Hasil verifikasi keselamatan harus didokumentasikan oleh Petugas Proteksi Radiasi. Berikut ini yang merupakan salah satu hasil verifikasi keselamatan adalah
- a. Hasil pemantauan paparan radiasi
 - b. Logbook operasi
 - c. Kartu dosis
 - d. Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi

Jawaban : a

2. Tugas Praktikum

Lakukan uji paparan disekitar pesawat sinar-x dan bandingkan nilai paparannya dengan Nilai Batas Dosis atau Pembatas Dosis untuk memastikan keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi dan masyarakat umum.

MATERI POKOK 4:

IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI DI BIDANG KEDOKTERAN NUKLIR

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang kedokteran nuklir sesuai regulasi

A. PENDAHULUAN

Proteksi Radiasi dalam kedokteran nuklir merupakan isu penting karena zat radioaktif dengan aktivitas tinggi digunakan, kontak dengan zat radioaktif sangat mungkin untuk terjadi. Selain itu, jenis radiasi berupa partikel beta atau beta/gamma sering digunakan. Pekerja radiasi yang bekerja di fasilitas kedokteran nuklir sangat berpotensi untuk terkena paparan radiasi eksternal dan kontaminasi internal. Paparan radiasi eksternal yang didapatkan pekerja radiasi di fasilitas kedokteran nuklir biasanya berasal dari penanganan pasien. Untuk penanganan pencitraan menggunakan modalitas gamma, dosis efektif seluruh tubuh tahunan dapat mencapai 3 mSv. Pada penanganan modalitas pencitraan menggunakan Positron Emission Tomography (PET), dosis efektif seluruh tubuh dapat mencapai 6 mSv per tahun. Berkaitan dengan ekstremitas untuk dosis pada tangan, dosis efektif pekerja radiasi mungkin saja bisa tinggi. Hal ini dikarenakan tangan biasanya berinteraksi sangat dekat dengan sumber radioaktif dan mungkin tidak terlindungi. Selain itu, keselamatan pasien merupakan hal prioritas yang wajib dicapai pada seluruh kegiatan kedokteran nuklir baik diagnosis ataupun terapi. Fokus pada keselamatan pasien bertujuan untuk memastikan manfaat klinis yang optimal, namun dapat mengurangi risiko terhadap radiasi. Untuk mencapai keselamatan bagi pekerja, pasien, pendamping pasien dan masyarakat diperlukan kepatuhan terhadap persyaratan-persyaratan yang sudah ditetapkan oleh badan regulasi. Selain itu, praktik-praktik terbaik dalam berkegiatan dengan bahaya radiasi juga perlu diterapkan sebagai upaya optimalisasi agar dosis radiasi dapat didapatkan seminimal mungkin.

B. TUGAS DAN TANGGUNG JAWAB PERSONEL

Pembagian tugas dan tanggung jawab personel merupakan bagian dari persyaratan manajemen pada fasilitas kedokteran nuklir berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN No. 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir. Pemegang izin merupakan penanggung jawab keselamatan radiasi pada fasilitas kedokteran nuklir. Selain itu, personel-personel yang terlibat juga memiliki tugas dan tanggung jawab yang juga merupakan bagian dari persyaratan manajemen.

1. Pemegang Izin memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- a. menetapkan penyelenggara proteksi dan keselamatan radiasi;
- b. menyusun, menetapkan, mengembangkan, melaksanakan dan mendokumentasikan program proteksi dan keselamatan radiasi;
- c. menyusun, menetapkan, mengembangkan, melaksanakan dan mendokumentasikan program jaminan mutu;
- d. menyusun dan menetapkan rencana penanggulangan keadaan darurat;
- e. memverifikasi kompetensi setiap personil;
- f. menyelenggarakan pelatihan proteksi dan keselamatan radiasi;
- g. menyelenggarakan pemantauan kesehatan bagi Pekerja Radiasi;
- h. menyediakan perlengkapan Proteksi Radiasi; dan
- i. melaporkan kepada Kepala BAPETEN mengenai pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi, dan verifikasi Keselamatan Radiasi.

2. Personel kedokteran nuklir in vitro

a. Analis kesehatan

Seorang analis kesehatan memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- 1) melakukan elusi dan preparasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
- 2) mencatat dan melaporkan jumlah dan aktivitas radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang telah digunakan;
- 3) mencatat sisa radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang tidak digunakan dan memastikan penyimpanannya;
- 4) membuat logbook harian dan laporan bulanan secara tertulis mengenai penggunaan radionuklida dan/atau Radiofarmaka;

- 5) mendokumentasikan seluruh kegiatan penggunaan radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
 - 6) melaporkan segera kepada Petugas Proteksi Radiasi bila terjadi Kecelakaan Radiasi; dan
 - 7) membantu Petugas Proteksi Radiasi dalam melakukan dekontaminasi
- b. Petugas proteksi radiasi

Seorang petugas proteksi radiasi memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- 1) membuat program proteksi dan keselamatan radiasi;
- 2) memantau aspek operasional program proteksi dan keselamatan radiasi;
- 3) menjamin bahwa perlengkapan Proteksi Radiasi tersedia dan berfungsi dengan baik;
- 4) memantau pemakaian perlengkapan Proteksi Radiasi;
- 5) meninjau secara sistematis dan periodik pelaksanaan pemantauan Paparan Radiasi pada saat penggunaan, pengangkutan dan penyimpanan radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
- 6) memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi;
- 7) berpartisipasi dalam mendesain fasilitas Kedokteran Nuklir;
- 8) mengelola Rekaman;
- 9) mengidentifikasi, merencanakan dan mengkoordinasikan kebutuhan pelatihan proteksi dan keselamatan radiasi;
- 10) melaksanakan latihan penanggulangan keadaan darurat;
- 11) melaporkan kepada Pemegang Izin setiap kejadian kegagalan operasi yang berpotensi menimbulkan Kecelakaan Radiasi;
- 12) melaksanakan penanggulangan keadaan darurat dan pencarian fakta dalam hal terjadi Kecelakaan Radiasi;
- 13) menyiapkan laporan tertulis mengenai pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi; dan
- 14) melakukan inventarisasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka.

Pada kedokteran nuklir in vitro, kategori petugas proteksi radiasi yang dapat digunakan adalah medik Tingkat 3.

3. Personel kedokteran nuklir in vivo, penelitian medik klinik, dan kedokteran nuklir terapi

- a. Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir;

Seorang dokter spesialis kedokteran nuklir memiliki tugas dan tanggung jawab untuk

- 1) menjamin pelaksanaan seluruh aspek keselamatan terhadap pasien;
 - 2) memberi rujukan dan menjustifikasi diagnosis maupun terapi secara tertulis, dengan mempertimbangkan informasi terkait dari pemeriksaan sebelumnya;
 - 3) menjamin bahwa Paparan Radiasi yang diterima pasien serendah mungkin yang dapat dicapai sesuai dengan Tingkat panduan aktivitas;
 - 4) memberikan konsultasi dan evaluasi klinis pasien;
 - 5) menetapkan protokol optimisasi untuk kegiatan diagnosis dan terapi bekerja sama dengan Fisikawan Medis;
 - 6) memberikan evaluasi pengobatan dan pemantauan pasien; dan
 - 7) memberikan informasi kepada pasien mengenai risiko pemberian radionuklida dan/atau Radiofarmaka.
- b. Tenaga Ahli dan/atau Fisikawan Medis;

Seorang tenaga ahli harus memiliki latar belakang S2 Fisika Medik dan memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- 1) meninjau ulang program proteksi dan keselamatan radiasi; dan
- 2) memberikan pertimbangan kepada Pemegang Izin mengenai aspek Keselamatan Radiasi, praktik rekayasa yang teruji, dan keselamatan secara komprehensif untuk peningkatan layanan Kedokteran Nuklir.

Seorang fisikawan medik diharuskan memiliki latar belakang pendidikan S1 atau yang setara dan memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- 1) berpartisipasi dalam meninjau ulang secara terus menerus tersedianya sumber daya manusia, peralatan, prosedur, dan perlengkapan Proteksi Radiasi;
- 2) melakukan dan menetapkan prosedur perhitungan Dosis;
- 3) memberikan kontribusi terhadap program pelatihan proteksi dan keselamatan radiasi;
- 4) bekerja sama dengan Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir dan Petugas Proteksi Radiasi dalam merencanakan fasilitas Kedokteran Nuklir;
- 5) menyiapkan spesifikasi unjuk kerja peralatan yang berkaitan dengan proteksi dan keselamatan radiasi;

- 6) mengembangkan persyaratan dan spesifikasi dalam pembelian peralatan Kedokteran Nuklir yang menjamin Keselamatan Radiasi;
- 7) melaksanakan uji keberterimaan, komisioning, dan kalibrasi peralatan Kedokteran Nuklir;
- 8) menetapkan faktor fisika dalam perencanaan dan prosedur pengobatan;
- 9) mendesain, menerapkan dan mengawasi penerapan prosedur jaminan mutu Kedokteran Nuklir;
- 10) mengawasi pemeliharaan peralatan Kedokteran Nuklir; dan
- 11) berpartisipasi dalam hal pencarian fakta dan evaluasi Kecelakaan Radiasi.

c. Petugas Proteksi Radiasi (Medik Tingkat 1);

Petugas proteksi radiasi yang ditugaskan untuk tujuan medik klinik dan kedokteran nuklir in vivo adalah petugas proteksi radiasi medik Tingkat 1. Tugas dan tanggung jawabnya sama dengan Petugas Proteksi Radiasi yang ada pada kedokteran nuklir in vitro.

d. Radiofarmasis;

Radiofarmasis harus memiliki latar belakang setidaknya S1 Farmasi. Radiofarmasis memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- 1) memiliki pemahaman mengenai radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang digunakan dalam Kedokteran Nuklir;
- 2) bekerja sama dengan Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir dalam hal penggunaan radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
- 3) melaporkan hasil elusi dan preparasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka kepada Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir sebelum diberikan kepada pasien;
- 4) membuat petunjuk pelaksana, dan kontrol kualitas elusi dan preparasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
- 5) memberikan rujukan dan justifikasi hasil elusi dan preparasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka kepada Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir;
- 6) melaporkan segera kepada Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir, Petugas Proteksi Radiasi, dan Fisikawan Medis bila terjadi kecelakaan dalam melakukan elusi maupun preparasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka; dan
- 7) memastikan bahwa peralatan medis yang telah selesai digunakan disimpan/dibuang pada tempat yang telah ditentukan.

e. Radiografer;

Radiografer diwajibkan memiliki latar belakang pendidikan paling kurang D-III Radiologi. Radiografer memiliki tugas dan tanggung jawab untuk:

- 1) memberikan proteksi terhadap pasien dan masyarakat di sekitar fasilitas Kedokteran Nuklir;
- 2) menerapkan teknik dan prosedur yang tepat untuk meminimalkan paparan yang diterima pasien sesuai kebutuhan dan standar operasional prosedur yang berlaku;
- 3) menerapkan dengan benar prosedur kerja dan Teknik khusus penggunaan peralatan Kedokteran Nuklir; d. menjamin bahwa pasien diidentifikasi dengan benar dan bahwa informasi mengenai pasien telah direkam dengan benar;
- 4) menyediakan informasi untuk pasien mengenai prosedur yang akan mereka jalani;
- 5) menyediakan informasi kepada orang yang menemani pasien dan kepada personil yang mengurus pasien setelah diagnosis atau terapi Kedokteran Nuklir;
- 6) memverifikasi radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang digunakan dan menghitung Dosis radionuklida dan/atau Radiofarmaka sebelum diberikan kepada pasien;
- 7) melaksanakan akusisi dan proses citra yang tepat;
- 8) melakukan pemantauan Paparan Radiasi dan kontaminasi radioaktif di daerah kerja secara regular sesuai instruksi Petugas Proteksi Radiasi;
- 9) menginformasikan Petugas Proteksi Radiasi dalam kasus Kecelakaan Radiasi;
- 10) menginformasikan Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir dan Petugas Proteksi Radiasi dalam kasus tindakan atau pemberian radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang tidak sesuai prosedur kerja atau standar pelayanan medis; dan
- 11) berpartisipasi dalam pelatihan teknologi baru Kedokteran Nuklir.

f. Perawat

Perawat wajib memiliki latar belakang pendidikan paling kurang D-III keperawatan. Seorang perawat memiliki tugas dan tanggung jawab untuk :

- 1) melaksanakan instruksi kerja dari Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir dalam hal pelayanan terhadap pasien;
- 2) mempersiapkan peralatan kesehatan yang akan digunakan;

- 3) melakukan pengambilan sampel darah maupun pemberian radionuklida dan/atau Radiofarmaka kepada pasien atas instruksi Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir;
- 4) membersihkan dan membuat peralatan kesehatan yang telah digunakan ke tempat pembuangan yang telah disepakati bersama;
- 5) membuat catatan medik mengenai identifikasi pasien, dan pemberian penomoran rekaman medik secara berurutan;
- 6) mempersiapkan ruang isolasi dan ruang rawat inap untuk pasien terapi;
- 7) menjelaskan kepada pasien mengenai prosedur perawatan pasien terapi dengan radionuklida dan/atau Radiofarmaka sesuai dengan petunjuk pelaksanaan yang berlaku; dan
- 8) melaporkan kondisi pasien selama perawatan kepada Dokter Spesialis Kedokteran Nuklir.

Pelatihan proteksi dan keselamatan radiasi sangat penting untuk menjamin keselamatan pekerja dan lingkungan dari bahaya paparan radiasi. Pelatihan ini mencakup beberapa materi, yaitu:

1. Peraturan perundang-undangan di bidang keselamatan radiasi yang bertujuan agar peserta memahami ketentuan hukum dan standar yang berlaku.
2. Pemahaman tentang sifat radiasi yang membantu peserta mengidentifikasi berbagai jenis radiasi beserta karakteristiknya. Pengetahuan ini memungkinkan peserta untuk memahami bagaimana radiasi berinteraksi dengan tubuh manusia dan material di sekitar.
3. Efek radiasi terhadap kesehatan. Hal ini meliputi risiko dari penggunaan radiasi yang mungkin timbul, sehingga peserta dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat.
4. Prinsip dan metode proteksi dan keselamatan radiasi seperti pengaturan waktu, jarak, dan penggunaan perisai akan diajarkan sebagai upaya untuk mengurangi paparan radiasi bagi para pekerja.
5. Pengetahuan mengenai pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi di lingkungan kerja (yang dilakukan oleh petugas proteksi radiasi) juga akan diberikan agar peserta dapat secara teratur mengetahui keadaan lingkungan tersebut.

6. Prosedur tindakan darurat dalam menghadapi kecelakaan radiasi. Diharapkan peserta dapat mengambil langkah-langkah perlindungan yang cepat dan tepat dalam situasi darurat.

C. PRINSIP PROTEKSI RADIASI

Prinsip proteksi radiasi (sebelum ada Peraturan Pemerintah 45 tahun 2023 dikenal sebagai Persyaratan Proteksi Radiasi) dalam pemanfaatan radiasi pengion harus mengedepankan prinsip justifikasi, optimasi dan limitasi.

1. Justifikasi

Justifikasi penggunaan radiasi dalam kedokteran nuklir didasarkan pada pertimbangan bahwa manfaat dari diagnosis dan terapi lebih tinggi daripada risiko radiasi yang mungkin timbul. Pemanfaatan kedokteran nuklir memberikan kontribusi penting dalam bidang kesehatan, terutama dalam mendiagnosis dan mengobati penyakit seperti kanker, gangguan kardiovaskular, dan masalah endokrin. Penggunaan radiofarmaka dan modalitas pencitraannya memungkinkan dokter spesialis kedokteran nuklir untuk mengetahui fungsi organ secara non-invasif. Keunggulan ini tidak dimiliki oleh modalitas lain sehingga berharga untuk menawarkan diagnosis dan terapi yang lebih efisien serta dapat meningkatkan harapan kesembuhan ataupun kualitas hidup pasien.

Prosedur dalam kedokteran nuklir menerapkan standar proteksi radiasi yang ketat untuk melindungi pasien dan tenaga medis dari paparan yang tidak perlu. Teknologi yang digunakan semakin canggih, dilengkapi dengan fungsi perangkat yang mampu mengukur dan mengatur dosis radiasi secara presisi. Hal ini memastikan manfaat klinis dapat dicapai dengan paparan radiasi yang minimal. Dari segi ekonomi dan sosial, kedokteran nuklir memberikan dampak positif dengan kemampuannya mengurangi biaya perawatan melalui diagnosis dan terapi yang lebih cepat dan akurat.

2. Optimisasi

Sasaran utama proteksi radiasi pada fasilitas kedokteran nuklir adalah dosis radiasi yang diterima seluruh orang termasuk pasien, klinisi dan pengunjung dapat seminimal mungkin, namun dengan manfaat setinggi-tingginya. Aspek penting dalam proses ini melibatkan pengetahuan mendalam tentang karakteristik dan sifat dari sumber radiasi, serta berbagai metode untuk membatasi paparan dari sumber

radiasi tersebut. Pengetahuan ini tidak hanya relevan untuk mengurangi paparan radiasi eksternal, tetapi juga untuk mencegah kontaminasi internal yang bisa membahayakan kesehatan jangka panjang. Dengan pemahaman yang baik tentang prinsip-prinsip dasar proteksi radiasi, seperti ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), dan penggunaan peralatan pelindung yang tepat, kita dapat menciptakan lingkungan yang lebih selamat.

Dosis serap radiasi yang diterima pasien dalam penggunaan Kedokteran Nuklir Diagnostik in Vivo dan Kedokteran Nuklir Terapi harus diupayakan serendah mungkin dengan mempertimbangkan informasi dari pemeriksaan sebelumnya, panduan aktivitas radionuklida, serta penyiapan radionuklida dan/atau radiofarmaka yang sesuai dengan jenis pemeriksaan. Dosis serap radiasi juga harus dioptimalkan pada jaringan tumor, namun perlu diminimalkan melalui penggunaan metode yang tepat untuk mencegah radionuklida/radiofarmaka masuk ke organ yang tidak menjadi sasaran. Selain itu, diperlukan juga upaya untuk mempercepat ekskresi radionuklida, dan memastikan akuisisi serta pengolahan citra dilakukan secara optimal.

Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi bertujuan untuk meminimalkan dosis radiasi dan memastikan manfaat medis yang maksimal. Prinsip optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi ini berlaku untuk pekerja radiasi, masyarakat, pasien dan pendamping pasien.

Adapun upaya-upaya yang dapat dilakukan adalah

- a. Penetapan dan penerapan pembatas dosis untuk Pekerja Radiasi dan anggota masyarakat

Pembatas dosis ini harus ditentukan oleh pemegang izin pada tahap desain bangunan fasilitas. Pembatas dosis bagi pekerja radiasi ditetapkan sebesar 10 mSv per tahun atau 0,2 mSv per minggu. Sementara untuk anggota masyarakat, pembatas dosis untuk masyarakat adalah 0,5 mSv per tahun atau 0,01 mSv per minggu.

- b. Penetapan dan penerapan pembatas dosis untuk pendamping pasien

Pendamping pasien wajib mendapatkan perlindungan agar dosis radiasi yang diterima tidak melebihi 2 mSv. Untuk menjamin hal itu, pemegang izin wajib memastikan bahwa prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) diterapkan dengan baik.

c. Penerapan tingkat panduan aktivitas radionuklida untuk pasien diagnostik

Pasien diagnostik menerima besaran (dosis) aktivitas radionuklida sesuai dengan tingkat panduan yang telah ditetapkan oleh BAPETEN, dimana pemberian dosis dilakukan oleh dokter spesialis kedokteran nuklir. Jika terdapat justifikasi berdasarkan kebutuhan klinis, maka aktivitas radionuklida yang diberikan dapat melebihi tingkat panduan untuk memastikan pemenuhan kebutuhan medis pasien.

Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) untuk Kedokteran Nuklir Diagnostik ditetapkan tanggal 24 November 2022 melalui Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 3426/K/XI/2022 tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) untuk Pemeriksaan Pasien dengan Kedokteran Nuklir Diagnostik dan Pesawat Sinar-X Fluoroskopi Intervensional.

Tabel 1. Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) untuk Kedokteran Nuklir Diagnostik di Indonesia

Jenis Pemeriksaan	Radiofarmaka	Kelompok Usia	Aktivitas (MBq)
PET Tumor	^{18}F FDG	Dewasa	340
Thyroid scan	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ Pertechnetate	Dewasa	170
Thyroid WBS scan	^{131}I Iodide	Dewasa	150
WBS scan	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI	Dewasa	1030
Renal scan	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ DTPA	Dewasa	200
Myocardial perfusion Imaging Stress *	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ Tetrofosmin, MIBI	Dewasa	410
Myocardial perfusion Imaging Rest *	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ Tetrofosmin, MIBI	Dewasa	410
Myocardial perfusion Imaging	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ Tetrofosmin, MIBI	Dewasa	1260
Bone Scan	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ MDP, Pyrophosphate	Dewasa	770

Sering kali nilai aktivitas yang diberikan tidak sesuai dengan panduan pada tabel 1. Hal ini disebabkan oleh perbedaan berat badan dan metabolisme serta fungsi organ antar pasien. Oleh karena itu, biasanya fasilitas kedokteran nuklir menetapkan dengan cara tersendiri dengan menggunakan referensi yang dapat dipertanggungjawabkan sehingga hasil diagnosis berupa citra dapat lebih baik.

- d. penerapan tingkat panduan aktivitas maksimum radionuklida untuk pasien terapi yang akan keluar dari rumah sakit.

Tingkat panduan aktivitas maksimum radionuklida untuk pasien terapi ^{131}I yang akan keluar dari rumah sakit ditetapkan sebesar 1.100 MBq. Ketentuan ini juga berlaku bagi pasien yang telah meninggal selama pemberian ^{131}I . Untuk pasien dengan terapi radiofarmaka lainnya juga dapat mengikuti panduan ini, atau berdasarkan estimasi paparan radiasi yang setara.

Selain optimasi di atas, bentuk optimasi lainnya yang diperlukan agar dosis yang diterima oleh pasien lebih kecil pada Kedokteran Nuklir Diagnostik in Vivo dan Kedokteran Nuklir Terapi adalah dengan cara mempertimbangkan informasi dari pemeriksaan sebelumnya, panduan aktivitas radionuklida, serta penyiapan radionuklida dan/atau radiofarmaka yang sesuai dengan jenis pemeriksaan. Dosis juga harus diminimalkan melalui penggunaan metode yang tepat untuk mencegah radionuklida atau radiofarmaka masuk ke organ yang tidak menjadi sasaran, mempercepat ekskresi, dan memastikan akuisisi serta pengolahan citra dilakukan secara optimal.

- a. Contoh optimisasi untuk proteksi radiasi eksternal adalah:

- 1) Pembatasan waktu paparan

Berikut ini adalah contoh praktik yang baik yang dapat dilakukan untuk mengurangi waktu terpapar radiasi, yaitu:

- a) Perencanaan dan organisasi kerja yang efektif
- b) Kecepatan kerja yang optimal
- c) Pembatasan agar personel hanya berada dalam medan radiasi selama waktu kerja yang dibutuhkan
- d) Pembagian pekerjaan dengan jumlah staf yang optimal
- e) Persiapan peralatan di area dengan paparan radiasi minimal.

- 2) Maksimalisasi jarak dari sumber radiasi

Berikut ini adalah contoh upaya yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan jarak dari sumber radiasi ke tubuh pekerja, yaitu:

- a) Penggunaan tang, pinset, dan alat lainnya yang memberikan jarak lebih jauh namun tetap mudah dalam pengoperasian.
- b) Alat berupa mesin atau elektronik yang dapat dioperasikan dari jarak jauh
- c) Pengawasan dilakukan dengan menggunakan CCTV
- d) Komunikasi dilakukan dari jarak jauh, seperti menggunakan interkom

3) Penggunaan Penahan (*Shielding*) Radiasi

Semua sumber radioisotop/radiofarmaka yang digunakan dalam kedokteran nuklir dikirim dalam kontainer penahan tersendiri, dan sebaiknya semua kegiatan bersinggungan dengan radioisotop/radiofarmaka termasuk proses pemindahan dari satu tempat ke tempat lain menggunakan kontainer atau penahan tersebut. Ketebalan penahan biasanya berkisar antara 5 hingga 20 mm setara timbal, tergantung pada energi dan jenis radiasi.

Penting bagi pekerja untuk mengetahui nilai-nilai seperti HVL saat bekerja dengan medan radiasi x-ray/gamma seperti saat imaging in vivo menggunakan CT dari SPECT atau PET, proses preparasi radiofarmaka, proses administrasi radiofarmaka ke pasien dan proses lainnya yang bersinggungan dengan radiasi. Nilai-nilai HVL untuk x-ray/gamma dengan energi yang berbeda dapat dilihat pada tabel 2.

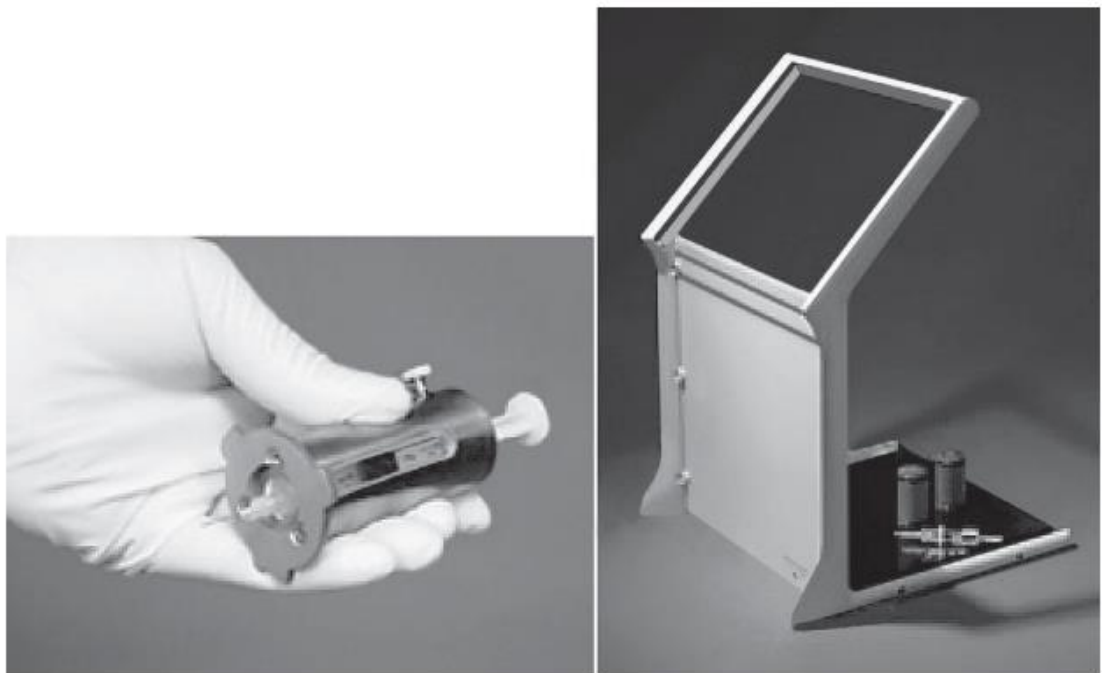
Tabel 2. Nilai-nilai HVL pada energi yang berbeda dan timbal dan air

Energi foton (keV)	HVL $d_{1/2}$ (cm)	
	Timbal	H ₂ O
25	0.002	1.5
50	0.008	3.2
100	0.01	4.1
250	0.08	5.5
500	0.40	7.1

Sebagai contoh, penahan yang sering digunakan adalah apron timbal. Sebuah apron timbal setebal 0,25 mm dapat mengurangi dosis sebesar 59% untuk radiasi dari Tc-99m (140 keV), sementara apron timbal setebal 0,5 mm, yang beratnya sekitar 8,5 kg, dapat mengurangi dosis sekitar 76%. Namun, apron timbal memiliki

manfaat yang sangat terbatas pada energi yang lebih tinggi, seperti pada isotop ^{131}I (360 keV) dan ^{18}F (511 keV). Misalnya, apron timbal setebal 0,25 mm hanya memberikan pengurangan dosis terhitung sekitar 3% untuk ^{18}F dan 6% untuk ^{131}I . Di sisi lain, apron timbal yang lebih tebal, yaitu 0,5 mm, hanya memberikan pengurangan dosis terhitung sekitar 6% untuk ^{18}F dan 11% untuk ^{131}I .

Dengan kata lain, efektivitas apron timbal dalam mengurangi paparan radiasi menurun secara signifikan pada energi radiasi yang lebih tinggi. Pada tingkat energi seperti ^{131}I dan ^{18}F , ketebalan pelindung yang lebih besar diperlukan untuk mendapatkan pengurangan dosis yang berarti, sehingga apron standar, meskipun berguna untuk radiasi dengan energi lebih rendah, kurang efektif dalam melindungi dari isotop berenergi tinggi yang memerlukan strategi perlindungan tambahan.



(Sumber: Photographs courtesy Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NJ.)

Gambar 2. Contoh peralatan yang digunakan sebagai penahan di kedokteran nuklir. *Kiri*, pemegang jarum suntik berpenahan tungsten. *Kanan*, Tabletop shield untuk menangani radioaktif dengan energi gamma rendah (<150 keV). Lead glass akan memberikan pandangan yang jelas sekaligus menahan radiasi.

Konstanta dosis radiasi gamma spesifik (Γ) memungkinkan perhitungan estimasi dosis untuk setiap jenis isotop. Dalam kedokteran nuklir, konstanta-konstanta ini sering digunakan dan tersedia dalam literatur ilmiah sebagai referensi untuk isotop yang umum digunakan. Dosis bergantung secara langsung pada durasi

paparan dan aktivitas radioaktif pada titik asal sumber radiasi, serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari titik sumber tersebut. Hal ini berarti bahwa semakin lama waktu paparan dan semakin tinggi aktivitas, semakin besar dosis, sedangkan peningkatan jarak akan mengurangi dosis secara signifikan. Sebagai contoh, dari Tabel 2 terlihat bahwa dengan paparan 1 jam pada isotop F-18 dengan aktivitas 1 MBq pada jarak 1 meter, akan diperoleh dosis sebesar 0,143 mSv. Contoh ini menunjukkan pentingnya pengendalian waktu paparan, aktivitas, dan jarak dalam melindungi pekerja dari paparan berlebih. Pengetahuan mengenai konstanta dosis gamma spesifik membantu praktisi untuk menghitung dan mengelola dosis secara efektif dalam aplikasi kedokteran nuklir dan praktik proteksi radiasi.

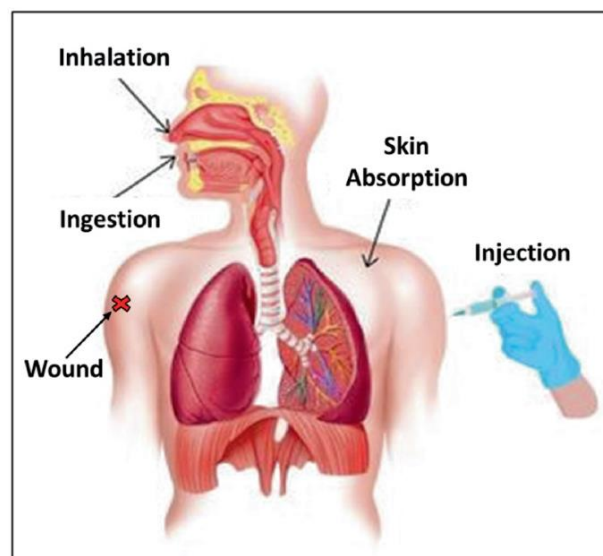
Tabel 3. Waktu paro fisik dan konstanta gamma untuk beberapa radionuklida

Radionuklida	Waktu paro fisik	Konstanta gamma (mSv.m ² /MBq.h)
⁶⁴ Cu	0.529 hari	0.0324
⁶⁷ Cu	2.578 hari	0.0157
¹⁸ F	109.8 menit	0.143
⁶⁷ Ga	3.261 hari	0.0204
⁶⁸ Ga	68.3 menit	0.134
¹²³ I	0.55 hari	0.0435
¹²⁴ I	4.2 hari	0.185
¹²⁵ I	14 hari	0.0384
¹³¹ I	8.04 hari	0.0595
¹¹¹ In	2.83 hari	0.0868
¹³ N	9.96 menit	0.148
¹⁵ O	2.04 menit	0.148
⁸² Rb	76 detik	0.159
^{99m} Tc	0.251 hari	0.0204
²⁰¹ Tl	3.044 hari	0.0121
¹⁷⁷ Lu	6.02 hari	0.00517

b. Optimisasi melalui proteksi terhadap paparan radiasi internal.

Paparan radiasi internal terjadi ketika bahan radioaktif terdapat di dalam tubuh manusia. Umumnya pada saat di area kerja masuknya radioaktif ke dalam tubuh berasal dari tertelannya atau terhirupnya bahan radioaktif (radionuklida). Radionuklida dapat masuk ke dalam tubuh melalui berbagai cara, di antaranya :

- a) Ingesti melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi;
- b) Inhalasi melalui udara yang tercemar yang dihirup;
- c) Absorpsi melalui kulit, terutama jika terjadi kontak langsung dengan bahan radioaktif;
- d) Absorpsi melalui luka terbuka, yang memungkinkan bahan radioaktif masuk langsung ke dalam tubuh.
- e) Injeksi (dilakukan secara sengaja dalam proses diagnosis atau terapi kedokteran nuklir)



(Sumber: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-2799-5_15)

Gambar 3. Jalur masuk zat radioaktif ke dalam tubuh manusia

Paparan internal umumnya lebih berbahaya daripada paparan eksternal, terutama jika melibatkan jenis radiasi alfa dan beta, karena partikel alfa dan beta memiliki kemampuan mengionisasi lebih tinggi dibandingkan dengan sinar-X atau gamma sehingga dapat menyebabkan kerusakan serius pada sel atau jaringan tubuh yang terpapar secara langsung. Seiring waktu, konsentrasi radionuklida dalam tubuh akan berkurang dengan sendirinya jika tidak ada paparan internal

tambahan. Penurunan ini disebabkan oleh peluruhan radioaktif secara fisis dan proses eliminasi biologis melalui sistem pencernaan, saluran kemih, dan pernapasan. Namun, pilihan untuk mempercepat proses pembersihan radionuklida dari tubuh secara artifisial sangat terbatas, sehingga strategi perlindungan utama terhadap paparan radiasi internal adalah pencegahan masuknya radionuklida ke dalam tubuh. Oleh karena itu, langkah proteksi perlu dilakukan mulai dari pencegahan kontaminasi pada lingkungan kerja. Lingkungan kerja yang bersih dan terjaga dari kontaminasi radioaktif baik permukaan atau udara daerah kerja akan mengurangi risiko masuknya radionuklida ke dalam tubuh. Dalam kasus paparan internal, dosis serap radiasi yang diterima tidak dapat diukur secara langsung seperti pada paparan eksternal, tetapi hanya bisa dihitung atau diestimasi menggunakan perhitungan dengan model matematis seperti model kompartemen ataupun model eksponensial.

Paparan radiasi internal dapat dicegah dan dikendalikan dengan mengikuti beberapa prinsip penting yang dirancang untuk membatasi risiko kontaminasi. Prinsip-prinsip proteksi radiasi internal ini meliputi pembatasan sumber radiasi, pemantauan lingkungan kerja, serta perlindungan bagi pekerja, sebagaimana diuraikan di bawah ini :

1) Pembatasan Sumber Terbuka:

Sumber radiasi yang berpotensi menyebabkan kontaminasi radioaktif pada permukaan atau udara harus dibatasi penggunaannya dan hanya ditempatkan di area tertentu seperti hotcell, glovebox atau fumehood. Pembatasan ini bertujuan untuk mengurangi risiko kontaminasi di luar area kerja dan mencegah penyebaran radiasi ke bagian lain dari fasilitas kedokteran nuklir. Dengan menempatkan sumber radioaktif terbuka hanya di beberapa lokasi tertentu, personel di fasilitas dapat lebih mudah melakukan kontrol dan pemantauan terhadap kontaminasi zat radioaktif.

2) Pemantauan dan Desain Area dengan Sumber Radioaktif Terbuka

Area kerja yang di dalamnya menggunakan sumber radioaktif terbuka harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek keselamatan radiasi. Misalnya, permukaan di area ini harus terbuat dari bahan yang mudah dibersihkan untuk memudahkan proses dekontaminasi jika terjadi tumpahan. Selain itu, area tersebut harus memiliki sistem drainase yang terkontrol untuk mencegah penyebaran kontaminasi melalui air, serta ventilasi yang baik yang dilengkapi dengan sistem

filtrasi udara guna mengurangi paparan melalui inhalasi. Pekerjaan dengan sumber terbuka yang berisiko tinggi terhadap kontaminasi harus dilakukan di dalam area yang terkontrol dan dibatasi aksesnya secara fisik. Di area ini, hanya pekerja yang telah memenuhi persyaratan tertentu, seperti memiliki surat izin bekerja, menggunakan alat pelindung diri dan telah mendapatkan pelatihan proteksi radiasi, yang diizinkan masuk. Di pintu keluar area pengendalian, harus tersedia peralatan untuk memeriksa kontaminasi personel seperti Hand and Foot Monitor atau Whole Body Monitor. Jika kontaminasi terdeteksi, proses dekontaminasi dapat dilakukan dengan segera untuk mencegah penyebaran lebih lanjut.

3) Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) oleh Pekerja

Semua pekerja yang menangani sumber radiasi harus selalu menggunakan alat pelindung diri sesuai prosedur keselamatan yang berlaku. APD ini mencakup:

- a) pakaian pelindung yang dirancang untuk mencegah kontak langsung antara kulit pekerja dan bahan radioaktif seperti Jas Laboratorium, coverall
- b) peralatan pernapasan untuk membatasi masuknya partikel radioaktif ke dalam saluran pernapasan seperti masker bedah, masker N95, masker half-face, dan masker full-face.

Dengan mengenakan APD yang sesuai, risiko kontaminasi internal melalui inhalasi maupun kontak langsung dengan kulit dapat diminimalkan secara signifikan, sehingga keselamatan pekerja tetap terjaga selama melakukan pekerjaan yang melibatkan bahan radioaktif.

c. Praktik terbaik dalam proteksi radiasi

Selain prinsip utama di atas, contoh ketentuan praktis berikut dapat membantu mencegahnya paparan radiasi atau kontaminasi radioaktif yang tidak diperlukan :

- 1) Makanan dan minuman tidak boleh disimpan di tempat sumber radioaktif disimpan, seperti di kulkas laboratorium.
- 2) Pengambilan sampel menggunakan pipet tidak boleh menggunakan mulut.
- 3) Personel harus mencuci tangan setelah bekerja dengan sumber radioaktif terbuka. Sebelum meninggalkan fasilitas radiasi untuk makan, minum, istirahat dan pulang, personel perlu melakukan pemeriksaan kontaminasi dengan menggunakan hand and foot monitor.

- 4) Pekerjaan dengan sumber radioaktif terbuka sebaiknya menggunakan alas dengan bahan yang mudah menyerap.
- 5) Pekerjaan dengan radioaktif berbentuk gas ataupun material radioaktif yang mudah menguap seperti I-131 harus dilakukan dalam fume hood, atau glove box. Jika sudah selesai digunakan, I-131 harus disimpan dalam tempat tersebut.
- 6) Area kerja harus dijaga agar tetap tertata rapi, penerapan budaya kerja 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat, dan Rajin) akan sangat membantu.
- 7) Limbah radioaktif seperti alas kertas, APD dan material yang tidak digunakan lagi yang terkontaminasi harus segera dibuang ke tempat penyimpanan limbah radioaktif
- 8) Area penyimpanan radioaktif tidak boleh digunakan untuk menyimpan bahan non radioaktif.
- 9) Hindari kontaminasi yang tidak perlu seperti pada sakelar lampu, gagang pintu, dan barang lain yang dapat menyebabkan kontaminasi. Penggunaan sarung tangan ganda, dan penggantian sarung tangan lebih sering dapat mencegahnya.
- 10) Wadah dengan tepi yang tajam atau pecah tidak boleh digunakan untuk bahan radioaktif karena dapat menyebabkan luka terbuka.

Contoh penerapan optimisasi proteksi radiasi dalam bentuk panduan keselamatan radiasi untuk perawat pasien terapi ¹³¹I :

Persiapan dan Perencanaan:

- 1) Merencanakan dan mendiskusikan dengan klinisi lain setiap tindakan perawatan sebelum pasien menerima dosis terapi.
- 2) Melarang perawat yang hamil untuk merawat pasien yang diterapi I-131.
- 3) Perawat wajib menggunakan TLD selama bertugas.

Kebersihan dan Pemantauan Ruang:

- 1) Setelah pasien keluar, PPR dapat diminta untuk memeriksa ruang terapi dan kamar mandi, setelah itu pembersihan menyeluruh dapat dilakukan.
- 2) Kain atau bahan yang dapat digunakan lagi namun terkontaminasi berat harus dipantau oleh PPR dan disimpan sebagai limbah radioaktif.

Perawatan Pasien:

- 1) Menyajikan makanan pasien menggunakan peralatan makan sekali pakai.

- 2) Pasien disarankan untuk minum banyak cairan, mandi setiap hari, mencuci rambut pagi hari, dan mencuci pakaian dalam secara manual di kamar mandi terapi.
- 3) Berikan obat anti-mual untuk mencegah pusing selama terapi.
- 4) Komunikasi bisa menggunakan interkom untuk mengurangi kontak langsung dengan pasien.

Prosedur Kontak dengan Pasien:

- 1) Melakukan tugas dalam jarak 2 meter dari pasien dengan cepat dan efisien untuk meminimalkan paparan radiasi.
- 2) Gunakan sarung tangan dan apron pelindung saat kontak langsung dengan pasien atau peralatan seperti kateter dan botol urin.
- 3) Kosongkan kantong kateter, tempat tidur dorong, dan botol urin di toilet khusus kamar terapi untuk mengurangi risiko tumpahan.

Kunjungan:

- 1) Batasi kunjungan maksimal 15-30 menit per hari dengan jarak minimal 2 meter dari pasien. Jika diperlukan benar-benar tidak boleh dikunjungi.
- 2) Wanita hamil dan anak-anak tidak diperbolehkan berkunjung.

Penanganan Keadaan Darurat:

- 1) Melaporkan secara segera tumpahan atau potensi bahaya lainnya kepada PPR, termasuk kebutuhan perbaikan fasilitas terapi.

3. Limitasi Dosis

Limitasi dosis ditetapkan oleh pemegang izin dalam bentuk nilai batas dosis, yang hanya berlaku untuk pekerja radiasi dan anggota masyarakat, namun tidak berlaku untuk pasien dan pendamping pasien. Untuk menegakkan agar nilai batas dosis ini tidak terlampaui, pemegang izin wajib melakukan beberapa langkah pengendalian. Langkah-langkah tersebut mencakup pembagian daerah kerja untuk membatasi akses sesuai tingkat paparan radiasi dan potensi kontaminasi, pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi untuk mendeteksi adanya radiasi berlebih di lingkungan kerja, serta pemantauan dosis pekerja radiasi. Selain itu, pemantauan radioaktivitas lingkungan juga diperlukan untuk memastikan bahwa paparan radiasi atau lepasan radioaktif ke lingkungan yang mungkin berdampak terhadap masyarakat sekitar tetap berada dalam batas yang ditentukan.

Pembagian daerah kerja umumnya dibagi menjadi 2 yaitu daerah pengendalian dan daerah supervisi. Pembagian ini dapat diimplementasikan juga pada fasilitas kedokteran nuklir.

a. Daerah Pengendalian, memiliki potensi penerimaan dosis melebihi 6 mSv dalam satu tahun dan daerah tersebut memiliki potensi kontaminasi, yang meliputi:

- 1) ruang penyiapan, pencacahan, dan penyimpanan radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
- 2) ruang pasien setelah pemberian radionuklida;
- 3) ruang pencitraan pasien diagnostik dengan PET atau PET/CT;
- 4) ruang isolasi untuk pasien terapi; dan/atau
- 5) ruang toilet yang ada di dalam ruang isolasi untuk pasien terapi.

Agar daerah pengendalian dapat beroperasi secara optimal, pemegang izin wajib menyediakan berbagai sarana proteksi radiasi di area tersebut. Sarana yang diperlukan meliputi tanda radiasi untuk menandai keberadaan bahaya radiasi, batas yang jelas antara daerah pengendalian dan daerah supervisi, serta prosedur pendampingan pengunjung untuk memastikan keselamatan mereka. Daerah pengendalian juga harus dilengkapi dengan peralatan pemantau untuk mendeteksi kontaminasi pada kulit dan pakaian, tempat penyimpanan pakaian dan peralatan proteksi radiasi yang telah terkontaminasi, serta fasilitas dekontaminasi untuk membersihkan anggota tubuh yang terkontaminasi. Di samping itu, hand and foot monitor perlu disediakan di pintu masuk/keluar untuk mengetahui adanya kontaminasi pada kaki dan tangan ataupun tubuh bagian lainnya dan berguna untuk memblokir jalan masuk kontaminan ke dalam tubuh, serta diperlukan tempat penyimpanan perlengkapan pribadi untuk menjaga kebersihan dan keamanan area kerja.

b. Daerah Supervisi, yang meliputi:

- 1) ruang pemeriksaan sampel untuk diagnostik in-vitro
- 2) ruang pencitraan pasien diagnostik dengan Kamera Gamma
- 3) ruang dekontaminasi
- 4) ruang penyimpanan sementara limbah radioaktif padat; dan/atau

5) tempat pengolahan limbah radioaktif cair

Pemegang izin bertanggung jawab untuk menyediakan sarana yang memadai di daerah supervisi. Sarana yang disediakan paling kurang mencakup tanda radiasi yang jelas untuk memberikan peringatan visual mengenai potensi bahaya di area tersebut. Selain itu, batas yang tegas antara daerah supervisi dan daerah pengendalian harus ditetapkan untuk memisahkan akses dan tingkat kontrol yang diperlukan di masing-masing area, sehingga risiko paparan radiasi dapat diminimalkan. Pemegang izin juga wajib menyediakan peralatan pemantauan khusus untuk memeriksa pengunjung yang memasuki daerah supervisi.

Pemantauan **Tingkat paparan dan kontaminasi** pada daerah kerja meliputi:

- 1) pengukuran tingkat Paparan Radiasi dan kontaminasi;
- 2) penetapan lokasi dan frekuensi pemantauan;
- 3) penyediaan metode dan prosedur pemantauan; dan
- 4) penetapan tingkat acuan paparan dan tindakan jika tingkat acuan terlampaui.

Implementasi pemantauan tingkat paparan radiasi dan kontaminasi di area kerja dirancang untuk menjaga keselamatan seluruh pekerja radiasi, pasien dan pengunjung. Pemantauan ini dilakukan secara berkala, kontinu, dan sewaktu-waktu. Pemantauan Berkala dilakukan sesuai jadwal menggunakan surveymeter dan monitor kontaminasi untuk memantau kondisi radiasi secara rutin. Pemantauan kontinu dilakukan di area penyimpanan dan penanganan radiofarmaka dengan monitor area yang memantau paparan radiasi sepanjang waktu, sehingga perubahan paparan segera terdeteksi. Pemantauan sewaktu-waktu dilakukan jika terjadi keadaan darurat, seperti tumpahnya zat radioaktif, untuk segera mengetahui tingkat paparan dan memastikan keselamatan pekerja.

Pemantauan dosis para pekerja radiasi di fasilitas kedokteran nuklir dilakukan menggunakan perangkat seperti *thermoluminescent dosimeter* (TLD), *Optically Stimulated Luminescence* (OSL) atau dosimeter pembacaan langsung. TLD dan OSL digunakan untuk memantau dosis ekuivalen secara akumulatif dalam periode tertentu, sementara dosimeter pembacaan langsung memungkinkan pemantauan real-time untuk respons cepat terhadap potensi paparan radiasi berlebih. Pemantauan langsung ini bertujuan memastikan nilai batas dosis pekerja tidak terlampaui. Selain itu, data pemantauan dosis digunakan untuk mengevaluasi dan

meningkatkan langkah-langkah proteksi radiasi, sehingga daerah kerja tetap selamat dan pekerja terlindungi dari risiko efek radiasi.

Pemantauan radioaktivitas lingkungan bertujuan memastikan nilai batas dosis bagi anggota masyarakat tidak terlampaui dan pelepasan zat radioaktif ke lingkungan baik ke udara ataupun badan air tetap berada di bawah nilai batas lepasan radioaktif yang ditetapkan BAPETEN. Pemantauan radioaktivitas lingkungan ini mencakup pengukuran radioaktivitas di udara, badan air, tanah, dan rantai makanan di sekitar fasilitas kedokteran nuklir. Selain itu, pemantauan radioaktivitas lingkungan juga mencakup pemantauan lepasan ke lingkungan melalui udara atau badan air. Data yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi kepatuhan fasilitas terhadap standar keselamatan, sekaligus sebagai sistem deteksi dini terhadap kebocoran atau lepasan zat radioaktif yang tidak terduga. Dengan pemantauan yang rutin dan cermat, perlindungan terhadap masyarakat dan lingkungan dapat dijaga secara optimal.

Prinsip limitasi dalam proteksi radiasi diterapkan tidak hanya melalui hal-hal diatas namun juga melalui penyediaan peralatan proteksi radiasi yang sesuai dengan jenis kegiatan di fasilitas kedokteran nuklir. Pada diagnostik in vitro, peralatan yang dibutuhkan meliputi surveymeter, monitor kontaminasi, dan dosimeter perorangan seperti TLD atau OSL. Untuk diagnostik in vivo dan penelitian medis klinis, perlengkapan tambahan mencakup kontainer, tabung suntik berperisai, apron, jas laboratorium, sarung tangan, pelindung organ, peralatan proteksi pernapasan, glove box, alat penjepit, dan monitor area untuk memastikan keselamatan seara menyeluruh. Sementara itu, pada kedokteran nuklir terapi, yang melibatkan penggunaan radiofarmaka dengan radiasi yang cukup tinggi, diperlukan tambahan dosimeter pembacaan langsung dan monitor area di ruang penyiapan radiofarmaka untuk pemantauan paparan radiasi secara real-time.

D. PERSYARATAN TEKNIS

Pelayanan kedokteran nuklir memerlukan standar teknis yang ketat untuk menjamin kualitas, keselamatan, dan keefektifan diagnostik maupun terapi yang melibatkan penggunaan radionuklida dan/atau radiofarmaka. Hal ini mencakup pemenuhan kualitas bahan, pengelolaan fasilitas, ketersediaan peralatan yang sesuai, hingga penanganan limbah radioaktif. Dengan mematuhi peraturan dan

prosedur yang berlaku, pelayanan kedokteran nuklir dapat memberikan manfaat maksimal bagi pasien sekaligus menjaga keselamatan lingkungan dan tenaga kesehatan yang terlibat

1. Radionuklida dan/atau radiofarmaka

Radionuklida dan/atau radiofarmaka yang digunakan harus memenuhi kualitas sesuai dengan spesifikasi yang dibuktikan dengan sertifikat mutu, serta selalu disimpan dalam wadah atau kemasan dari pabrikan yang sesuai dengan peraturan yang berlaku. Kemasan tersebut wajib diberi label yang mencantumkan informasi minimal, seperti nama, bentuk kimia, aktivitas total, tanggal pengukuran aktivitas, masa kadaluwarsa, volume total (jika berbentuk cair), dan nomor produk atau identitas lain untuk memudahkan penelusuran. Sebelum diberikan kepada pasien, aktivitas setiap radionuklida dan/atau radiofarmaka harus diukur menggunakan *dose calibrator* yang telah dikalibrasi untuk memastikan dosis administrasi yang tepat. Proses penyimpanan dan persiapan radionuklida dan/atau radiofarmaka harus dilakukan sesuai dengan prosedur di fasilitas, serta memenuhi kriteria fasilitas penyimpanan dan persiapan radionuklida/radiofarmaka.

2. Peralatan

Peralatan utama mencakup dalam pencitraan diagnostik in vivo adalah Kamera Gamma/SPECT-CT/PET-CT/SPECT-MRI/PET-MRI. Peralatan pendeteksian radionuklida dan/atau radiofarmaka diagnostik in vivo, seperti *Gamma Probe dan Counting System*, serta peralatan non-pencitraan diagnostik in vitro, seperti *Gamma Counter*. Sementara itu, peralatan penunjang mencakup alat *dose calibrator* untuk diagnostik in vivo dan **sentrifuge** untuk diagnostik in vitro. Semua peralatan ini harus memenuhi standar yang ditetapkan untuk menjamin kualitas dan keselamatan dalam penggunaannya.

3. Fasilitas dan ruangan

Fasilitas ruangan untuk kedokteran nuklir diagnostik in vitro setidaknya harus memiliki fungsi:

- a. Ruang administrasi
- b. Ruang dokter dan personel,
- c. Ruang pemeriksaan sampel.

Fasilitas ruangan untuk kedokteran nuklir in vivo/penelitian medik klinik setidaknya harus memiliki fungsi:

- a. ruang administrasi
- b. ruang dokter dan personel
- c. ruang proteksi dan keselamatan radiasi
- d. ruang penyiapan, pencacahan dan penyimpanan radionuklida/radiofarmaka
- e. ruang up take yang memiliki ketebalan penahan tertentu
- f. ruang pencitraan pasien yang memiliki ketebalan penahan tertentu
- g. ruang pasien setelah pemberian radionuklida/radiofarmaka yang terpisah dengan pasien umum
- h. ruang penyimpanan sementara limbah radioaktif

Sementara fasilitas ruangan untuk kedokteran nuklir terapi setidaknya harus memiliki fungsi:

- a. ruang administrasi;
- b. ruang dokter dan personil;
- c. ruang proteksi dan keselamatan radiasi;
- d. ruang penyiapan, pencacahan, dan penyimpanan radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang dilengkapi dengan fumehood dan glovesbox;
- e. ruang pemberian radionuklida dan/atau Radiofarmaka kepada pasien;
- f. ruang dekontaminasi yang dilengkapi shower dan pemantau kontaminasi;
- g. ruang isolasi yang dilengkapi toilet;
- h. ruang penyimpanan sementara limbah radioaktif; dan
- i. tempat pengolahan limbah radioaktif cair.

4. Pengolahan limbah radioaktif

Ruang penyimpanan sementara limbah radioaktif harus memenuhi beberapa ketentuan, yaitu terkunci dan diberi ventilasi yang baik, terpasang tanda radiasi yang jelas, serta tersedia kontainer yang sesuai untuk memisahkan limbah berdasarkan jenisnya. Ketentuan ini bertujuan untuk memastikan keselamatan dan mencegah kontaminasi di sekitar area penyimpanan limbah radioaktif.

Terdapat teknik yang dapat digunakan dalam proses pelimbahan pada kegiatan kedokteran nuklir, yaitu:

- a. Mengelompokkan, menyimpan dan klirens.

Untuk bahan terkontaminasi dengan zat radioaktif dengan waktu paruh yang relatif pendek (beberapa hari) dan jika ruang penyimpanan yang sesuai tersedia, pengelompokan dan penyimpanan untuk perluruhan dapat menjadi teknik

pembuangan yang ekonomis dan efektif. Setelah periode peluruhan selama 10 waktu paruh, hanya 0,1% dari aktivitas awal yang tersisa. Disarankan untuk memisahkan bahan limbah menjadi dua kategori: yang memiliki waktu paruh lebih pendek dari 3 hari dan yang lebih panjang dari 3 hari, agar akumulasi jangka panjang dari volume besar bahan limbah dapat dihindari. Setelah itu, klirens limbah radioaktif dapat dilakukan.

b. Mengirim ke Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif.

Cara ini merupakan opsi yang dapat dilakukan, terutama jika ruang penyimpanan terbatas. Dan di Indonesia, instalasi yang mampu mengelola limbah radioaktif adalah BRIN.

E. VERIFIKASI KESELAMATAN

1. Pengkajian keselamatan sumber

Pengkajian keselamatan sumber dilakukan untuk memastikan bahwa setiap tahap kegiatan yang melibatkan radionuklida dan/atau radiofarmaka memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan. Kegiatan yang harus dikaji keselamatannya meliputi pemesanan, pengangkutan, dan penerimaan radionuklida dan/atau radiofarmaka beserta pengelolaannya. Selanjutnya, pembukaan bungkus, penyimpanan, persiapan, dan pemberian radionuklida dan/atau radiofarmaka kepada pasien juga harus dipastikan dilakukan dengan prosedur yang selamat untuk mencegah kesalahan yang tidak diperlukan.

Pengkajian keselamatan sumber juga diperlukan pada kegiatan pemeriksaan terhadap pasien diagnostik, atau pengobatan dan perawatan pasien terapi untuk memastikan tindakan pemeriksaan dan perawatan dilakukan dengan cara yang tepat. Selain itu, pengoperasian peralatan kedokteran nuklir harus diperiksa menyesuaikan dengan prosedur yang telah ditetapkan, serta penyimpanan dan pengolahan limbah radioaktif harus memenuhi persyaratan untuk menghindari kontaminasi ke lingkungan. Semua kegiatan ini perlu dievaluasi secara komprehensif dalam pengkajian keselamatan untuk memastikan keselamatan pekerja, pasien, dan lingkungan. Hasil pengkajian ini harus direkam dengan baik sebagai dokumentasi yang dapat dipertanggungjawabkan.

2. Pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan

Pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan harus mencakup berbagai kegiatan penting untuk memastikan keselamatan dan kualitas dalam penggunaan radionuklida dan/atau radiofarmaka. Kegiatan tersebut antara lain meliputi uji keberterimaan, uji komisioning, kendali mutu, dan pengukuran aktivitas untuk diagnostik in vivo, yang bertujuan untuk memastikan bahwa peralatan dan prosedur diagnostik yang digunakan telah memenuhi standar keselamatan dan kualitas yang diinginkan.

Kendali mutu dan pengukuran aktivitas juga harus diterapkan untuk diagnostik in vitro dan terapi guna memastikan keakuratannya. Kendali mutu tersebut harus dilakukan secara periodik, terjadwal, dan konsisten, mengikuti prosedur yang ditetapkan oleh Pemegang Izin. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar kualitas pelayanan dan keselamatan tetap terjaga sepanjang waktu. Kendali mutu yang dimaksud menjadi bagian dari program jaminan mutu yang lebih besar guna memastikan bahwa seluruh proses pengelolaan radionuklida dan/atau radiofarmaka berlangsung dengan selamat dan terstandarisasi. Semua pemantauan dan pengukuran tersebut juga harus direkam dengan baik, sehingga hasilnya dapat dipertanggungjawabkan dan dijadikan acuan dalam evaluasi keselamatan secara berkelanjutan.

3. Intervensi paparan darurat

Pemegang izin wajib melakukan intervensi terhadap paparan darurat sesuai dengan rencana penanggulangan keadaan darurat yang telah disusun. Rencana ini harus mencakup;

- a. identifikasi potensi kejadian yang dapat menyebabkan paparan radiasi atau kontaminasi radioaktif.
- b. prediksi kecelakaan radiasi yang mungkin terjadi dan tindakan penanggulangannya.
- c. detail tanggung jawab personil dalam prosedur kedaruratan.
- d. daftar alat dan perlengkapan yang diperlukan, pelatihan periodik.
- e. bagaimana cara melakukan perekaman dan pelaporan.
- f. bagaimana cara melakukan tindakan yang cepat untuk menghindari dosis radiasi yang tidak diperlukan bagi pekerja dan masyarakat.

- g. termasuk bagaimana melakukan pencegahan agar orang masuk ke daerah terdampak.

Umumnya, paparan darurat yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:

- h. kesalahan dalam identifikasi pasien atau jaringan target pasien,
- i. pemberian dosis yang sangat tidak sesuai
- j. kegagalan alat
- k. kesalahan lainnya yang menyebabkan paparan kepada pasien sangat berbeda dari dosis yang diharapkan.

Untuk mencegah paparan darurat, Pemegang Izin harus melakukan evaluasi kehandalan sistem keselamatan dan memastikan program pelatihan, perawatan, serta jaminan mutu berjalan dengan baik. Jika terjadi kecelakaan radiasi, Pemegang Izin harus segera menanggulangi keadaan darurat sesuai rencana, melakukan pencarian fakta mengenai dosis yang diterima, menganalisis penyebab kecelakaan, dan mengambil tindakan korektif. Hasil pencarian fakta harus dicatat dalam logbook, dan jika diperlukan, Pemegang Izin dapat meminta bantuan dari pihak berkompeten untuk melaksanakan pencarian fakta. Namun, tanggung jawab atas hasil pencarian fakta tetap ada pada Pemegang Izin.

4. Prosedur penanganan tumpahan

Tumpahan radioaktif mungkin saja jarang terjadi di laboratorium kedokteran nuklir yang dikelola dengan baik. Selain itu, jumlah radioaktivitas yang digunakan dalam kedokteran nuklir tidak menimbulkan risiko "membahayakan jiwa." Namun, tetap tumpahan radioaktif masuk ke dalam kategori kedaruratan. Hal ini penting agar tumpahan radioaktif tidak dianggap sebagai peristiwa yang sepenuhnya bebas risiko, dan personel laboratorium harus mengetahui prosedur yang tepat untuk diikuti jika tumpahan terjadi. Langkah-langkah penanganannya meliputi:

- a. Memberi Informasi

Peringatkan personel di sekitar area tumpahan untuk menghindari kontaminasi, dan beri tahu petugas proteksi radiasi agar dapat mengawasi proses penanganan lebih lanjut sesegera mungkin.

- b. Mengendalikan Tumpahan

Upayakan untuk membatasi penyebaran kontaminasi tanpa menambah risiko. Wadah zat radioaktif yang tumpah perlu didirikan dengan tegak, tumpahan cairan ditutup dengan bahan penyerap, dan area ditutup agar kontaminan radioaktif tidak

menyebarkan ke udara atau ruang lainnya. Lakukan pemantauan kontaminasi terhadap personel sesegera mungkin untuk memisahkan individu yang terkontaminasi dan yang tidak. Akses perimeter dapat dibuat untuk keluar-masuk personel pada saat dekontaminasi. Personel yang terkontaminasi hanya boleh keluar dari area terkontaminasi setelah dimonitor dan dinyatakan bebas kontaminasi oleh petugas proteksi radiasi. Peralatan yang dapat digunakan pada situasi ini adalah monitor kontaminasi bertipe Geiger-Mueller (GM) berlapis tipis.

c. Dekontaminasi Personel

Dekontaminasi personel harus menjadi prioritas utama, selanjutnya dekontaminasi daerah kerja dapat dilakukan. Personel yang terlibat dalam proses dekontaminasi daerah kerja harus menggunakan alat pelindung diri untuk mencegah kontaminasi internal. Jika terjadi kontaminasi pada kulit personel, kulit harus dibilas secara menyeluruh. Perhatian khusus diperlukan jika terdapat kontaminasi pada bagian luka terbuka, mata, hidung, dan mulut. Pakaian yang terkontaminasi dapat dilepas dan dimasukkan ke dalam plastik untuk disimpan. Setelah sebagian besar kontaminasi pada tubuh telah ditangani, mandi dapat dilakukan untuk menghilangkan kontaminasi lebih luas.

Pemantauan dan langkah-langkah dekontaminasi yang cepat dan tepat sangat penting untuk memastikan keamanan personel dan mencegah penyebaran radioaktivitas. Dekontaminasi area laboratorium hanya boleh dilakukan di bawah pengawasan petugas proteksi radiasi. Jika permukaan dan lantai terbuat dari material non-absorben, sabun dan air biasanya cukup untuk dekontaminasi. Proses pembersihan harus dilakukan dari luar ke dalam untuk meminimalkan penyebaran kontaminasi. Permukaan yang retak dapat menimbulkan kesulitan dalam proses dekontaminasi. Jika dekontaminasi tidak dapat dilakukan sepenuhnya, mungkin perlu menutup atau melindungi permukaan yang terkontaminasi, atau bahkan mengganti permukaan tersebut

F. PRAKTIKUM UPAYA KERJA SELAMAT

1. Pendahuluan

Penggunaan kertas pH adalah metode sederhana dan cepat untuk mengukur pH larutan. Pengukuran pH termasuk dalam proses kendali kualitas radiofarmaka. Dalam melakukan kegiatan ini diperlukan situasi di mana paparan radiasi harus

diminimalkan. Praktikum ini dirancang untuk memastikan bahwa pekerja radiasi memahami cara menggunakan kertas pH dengan selamat dan akurat sambil mematuhi prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

2. Alat dan Bahan

a. Alat

- 1) Surveymeter untuk memantau paparan radiasi.
- 2) Monitor kontaminasi.
- 3) Syringe shield (pelindung untuk alat suntik).
- 4) Wadah penahan (shielding tambahan).
- 5) Lead glass.
- 6) TLD dan TLD ring

b. Bahan

- 1) Sampel radiofarmaka (misalnya larutan Tc-99m).
- 2) Kertas pH dengan skala warna.
- 3) Air deionisasi untuk pembilasan jika terjadi kontaminasi.

c. Pelindung

Alat pelindung diri (sarung tangan, masker, jas laboratorium, dan apron timbal).

3. Langkah Kerja

a. Persiapan

1) Pengaturan Area Kerja:

- a) Siapkan area kerja dengan proteksi radiasi memadai, seperti *hotcell* atau *fume hood*.
- b) Pastikan hanya personel berwenang yang berada di area kerja.

2) Proteksi Radiasi:

- a) Gunakan APD lengkap (sarung tangan, masker, jas laboratorium).
- b) Periksa tingkat paparan radiasi di area kerja menggunakan surveymeter sebelum memulai.

b. Pengambilan Sampel Radiofarmaka

- 1) Gunakan *syringe shield* untuk mengambil larutan radiofarmaka dari vial.
- 2) Tempatkan beberapa tetes sampel pada wadah kecil yang bershielding atau langsung pada kertas pH jika memungkinkan.
- 3) Hindari kontak langsung dengan sampel dan jaga jarak aman.

- c. Pengukuran pH dengan kertas pH
 - 1) Ambil sepotong kecil kertas pH menggunakan pinset untuk menghindari kontaminasi langsung.
 - 2) Celupkan kertas pH ke dalam larutan atau teteskan sampel pada kertas pH menggunakan syringe shield.
 - 3) Tunggu beberapa detik hingga warna kertas berubah.
 - 4) Cocokkan warna pada kertas pH dengan skala warna yang tersedia pada kemasan.
 - 5) Catat hasil pH yang diperoleh.
- d. Pembersihan dan Pembuangan
 - 1) Buang kertas pH bekas ke dalam kontainer limbah radioaktif.
 - 2) Lakukan pemantauan kontaminasi di area kerja menggunakan monitor kontaminasi.
 - 3) Jika terjadi kontaminasi pada alat atau area kerja, lakukan dekontaminasi sesuai dengan prosedur dekontaminasi.
 - 4) Saat hendak keluar laboratorium, lakukan pemeriksaan kontaminasi pada tubuh dengan menggunakan hand and foot monitor
- e. Prinsip ALARA yang Diterapkan
 - 1) **Waktu:**
 - a) Kurangi durasi paparan dengan bekerja cepat dan efisien.
 - b) Persiapkan semua alat dan bahan sebelum memulai pengukuran.
 - 2) **Jarak:**
 - a) Gunakan syringe shield dan alat bantu lainnya untuk menjaga jarak dari sumber radiasi.
 - b) Tempatkan shielding tambahan di antara pekerja dan sampel.
 - 3) **Perisai (Shielding):**
 - a) Gunakan hotcell atau alat pelindung lainnya untuk melindungi pekerja dari paparan langsung.
- f. Analisis Hasil
 - 1) Bandingkan nilai pH dengan spesifikasi standar radiofarmaka (biasanya antara 4,5–8,5).
 - 2) Jika pH berada di luar rentang spesifikasi, laporkan kepada supervisor untuk tindak lanjut.

G. RANGKUMAN

Proteksi radiasi didasarkan pada prinsip justifikasi, optimisasi (termasuk prinsip ALARA), dan limitasi. Justifikasi memastikan manfaat medis lebih besar daripada risiko radiasi, optimisasi meminimalkan paparan radiasi bagi pekerja dan pasien, sementara limitasi menetapkan batas dosis yang diizinkan untuk pekerja radiasi dan masyarakat.

Pemegang izin bertanggung jawab penuh atas keselamatan radiasi di fasilitas. Petugas proteksi radiasi memastikan pelaksanaan program keselamatan, radiofarmasi bertanggung jawab atas preparasi radionuklida, sementara dokter spesialis kedokteran nuklir menjamin keselamatan pasien selama prosedur diagnostik dan terapi.

Melibatkan pembatasan waktu paparan, maksimalisasi jarak dari sumber radiasi, dan penggunaan perisai (shielding) seperti apron timbal atau pelindung tungsten. Strategi ini bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi bagi pekerja.

Pencegahan paparan internal dilakukan dengan penggunaan fume hood atau glove box, alat pelindung diri (APD), dan prosedur kerja yang tepat untuk menghindari kontaminasi melalui inhalasi, ingestasi, atau absorpsi.

Pemantauan dosis dilakukan dengan perangkat seperti dosimeter TLD, OSL, atau dosimeter pembacaan langsung. Pelatihan reguler diperlukan untuk memastikan pekerja memahami risiko radiasi dan langkah-langkah proteksi yang sesuai.

Limbah radioaktif ditangani melalui penyimpanan sementara hingga peluruhan atau dikirim ke instalasi pengelolaan limbah radioaktif. Proses ini dirancang untuk memastikan keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan sekitar.

H. EVALUASI

1. Pilihan Ganda

1. Siapa yang bertanggung jawab atas keselamatan radiasi di fasilitas kedokteran nuklir?
 - a. Dokter spesialis kedokteran nuklir
 - b. Pemegang izin
 - c. Petugas proteksi radiasi
 - d. Analis kesehatan

Jawaban: b

2. Dalam konteks proteksi radiasi internal, inhalasi bahan radioaktif dapat dicegah dengan:
 - a. Menggunakan fume hood atau glove box
 - b. Mempercepat ekskresi radionuklida
 - c. Meningkatkan dosis maksimum yang diizinkan
 - d. Memperpanjang waktu paparan

Jawaban: a

3. Apa metode yang paling sering digunakan untuk menangani limbah radioaktif dengan waktu paro pendek?
 - a. Pengenceran dalam air
 - b. Penyimpanan untuk peluruhan
 - c. Penguburan dalam tanah
 - d. Penghancuran dengan reaksi kimia

Jawaban: b

4. Peralatan utama yang digunakan untuk pencitraan diagnostik in vivo adalah:
 - a. Sentrifuge
 - b. Kamera Gamma atau PET-CT
 - c. Monitor kontaminasi
 - d. Dose calibrator

Jawaban: b

5. Nilai aktivitas maksimum radionuklida untuk pasien terapi I-131 yang akan keluar dari rumah sakit adalah:
 - a. 100 MBq
 - b. 500 MBq

c. 1.100 MBq

d. 2.000 MBq

Jawaban: c

6. Apa yang dimaksud dengan pembatasan sumber terbuka dalam proteksi radiasi?

a. Membatasi jumlah pasien yang dirawat dengan terapi radionuklida

b. Menggunakan radionuklida hanya di area kerja tertentu seperti glove box atau fume hood

c. Menurunkan aktivitas radionuklida yang digunakan untuk diagnostik

d. Meningkatkan frekuensi pelatihan proteksi radiasi

Jawaban: b

7. Mengapa apron timbal kurang efektif untuk radiasi berenergi tinggi seperti I-131 atau F-18?

a. Apron timbal terlalu berat untuk digunakan

b. Ketebalan apron tidak cukup untuk energi tinggi

c. Radiasi energi tinggi tidak membutuhkan perlindungan

d. Apron timbal tidak digunakan untuk proteksi eksternal

Jawaban: b

8. Dalam hal terjadi kecelakaan radiasi, siapa yang harus segera dilaporkan oleh analis kesehatan?

a. Pemegang izin

b. Dokter spesialis kedokteran nuklir

c. Petugas proteksi radiasi

d. Radiofarmasis

Jawaban: c

9. Apa fungsi utama dari hotcell di fasilitas kedokteran nuklir?

a. Mempermudah penyimpanan radionuklida

b. Melindungi pekerja dari paparan radiasi selama penanganan sumber terbuka

c. Memastikan radionuklida tetap aktif lebih lama

d. Meningkatkan efisiensi diagnostik

Jawaban: b

10. Apa yang dilakukan untuk mencegah kontaminasi internal di area kerja?

a. Meningkatkan dosis aktivitas radionuklida

- b. Menangani sumber radioaktif di fume hood atau glove box
- c. Mengurangi frekuensi penggunaan radionuklida
- d. Membatasi waktu kerja di area tersebut

Jawaban: b

2. Evaluasi Praktikum

- a. Sebutkan langkah-langkah proteksi radiasi yang diterapkan selama pengukuran pH!
- b. Apa yang harus dilakukan untuk mempercepat proses pengukuran pH, namun tetap memprioritaskan keselamatan?
- c. Apa yang harus dilakukan jika nilai pH berada di luar spesifikasi?

MATERI POKOK 5:

IMPLEMENTASI PROTEKSI RADIASI PADA PAPARAN KERJA DI BIDANG INDUSTRI

Indikator Hasil Belajar:

Peserta mampu menerapkan keselamatan dan proteksi radiasi di bidang kedokteran nuklir sesuai regulasi

A. PRINSIP KERJA PEMANFAATAN RADIASI DI BIDANG INDUSTRI

Pemanfaatan radiasi di bidang industri merupakan salah satu inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keamanan berbagai proses industri. Radiasi digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, seperti inspeksi non-destruktif, sterilisasi, modifikasi material, dan produksi radioisotop maupun radiofarmaka. Prinsip kerja pemanfaatan radiasi memanfaatkan interaksi radiasi dengan materi untuk mendeteksi karakteristik material maupun untuk mengubah sifat fisika dan kimianya.

Radiasi adalah energi yang merambat dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel. Dalam konteks industri, radiasi ionisasi seperti sinar gamma, sinar X, neutron, dan partikel beta banyak digunakan karena energinya cukup tinggi untuk menembus material dan berinteraksi dengan atom atau molekul dalam bahan tersebut. Prinsip kerja radiasi ionisasi bergantung pada kemampuannya untuk mengionisasi atom, memutus ikatan kimia, atau memodifikasi struktur molekul. Kemampuan ini menjadikan radiasi sebagai alat yang efektif untuk analisis material, sterilisasi, dan bahkan modifikasi sifat bahan.

Salah satu keunggulan radiasi dibandingkan metode non-radiasi adalah sifatnya yang tidak merusak (non-destructive). Radiasi dapat digunakan untuk memeriksa struktur dalam material tanpa harus membongkar atau merusaknya. Hal ini memungkinkan penghematan biaya dan waktu dalam proses inspeksi dan pengujian. Selain itu, teknologi radiasi dapat digunakan untuk mengakses area yang sulit dijangkau oleh alat konvensional, menjadikannya teknologi yang fleksibel untuk berbagai kebutuhan industri. Contoh aplikasi radiasi dalam bidang industri diantaranya:

1. Radiografi Industri

Prinsip kerja radiografi industri mirip dengan prinsip kerja sinar-X dalam dunia medis, di mana radiasi digunakan untuk menghasilkan gambar struktur internal suatu objek. Dalam radiografi industri, sinar-X atau sinar gamma diarahkan pada material, dan radiasi yang menembus material tersebut ditangkap oleh detektor atau film khusus untuk menghasilkan gambar. Proses ini digunakan untuk mendeteksi cacat seperti retakan, porositas, atau ketidaksempurnaan lainnya dalam logam, pipa, atau sambungan las. Contohnya, dalam industri minyak dan gas, radiografi digunakan untuk memeriksa kualitas sambungan pipa yang digunakan untuk mengangkut minyak mentah. Dengan cara ini, potensi kegagalan dapat dideteksi sebelum terjadi, sehingga mengurangi risiko kecelakaan atau kerugian ekonomi yang besar. Keunggulan radiografi industri terletak pada tingkat akurasi yang tinggi serta kemampuannya untuk memberikan informasi detail tentang struktur internal suatu material.

2. Sterilisasi dengan Radiasi

Sterilisasi adalah aplikasi radiasi yang sangat penting dalam industri medis, farmasi, dan pangan. Radiasi gamma atau sinar-X digunakan untuk menonaktifkan mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur yang dapat menyebabkan kerusakan produk atau penyakit pada manusia. Proses sterilisasi ini bekerja dengan cara merusak DNA mikroorganisme, sehingga mencegahnya untuk berkembang biak atau bertahan hidup.

Dalam industri medis, sterilisasi dengan radiasi digunakan untuk mensterilkan alat-alat medis sekali pakai, seperti jarum suntik, kateter, dan perban. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk mensterilkan produk tanpa menggunakan panas atau bahan kimia, sehingga cocok untuk bahan-bahan yang sensitif terhadap suhu tinggi atau reaksi kimia. Selain itu, sterilisasi radiasi juga banyak digunakan dalam industri pangan untuk memperpanjang umur simpan produk tanpa mengubah rasa, tekstur, atau nilai gizinya.

Proses ini dilakukan dengan pengawasan ketat untuk memastikan dosis radiasi yang digunakan cukup untuk mensterilkan produk tanpa merusak kualitas produk. Teknologi ini telah diakui oleh berbagai badan internasional, seperti Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) dan Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO), sebagai

metode yang aman dan efektif untuk sterilisasi.

3. Tracer Radiasi

Prinsip kerja tracer radiasi adalah dengan menggunakan isotop radioaktif sebagai penanda untuk melacak aliran fluida atau mendeteksi kebocoran dalam sistem tertutup. Isotop radioaktif yang dipilih biasanya memiliki waktu paruh pendek dan sifat kimia yang sesuai dengan fluida yang sedang dilacak.

Tracer radiasi banyak digunakan dalam industri minyak dan gas untuk memantau pergerakan minyak mentah atau gas alam dalam pipa. Selain itu, aplikasi ini juga berguna dalam industri kimia untuk mengoptimalkan proses reaksi di dalam reaktor atau untuk memantau efisiensi proses pemisahan. Keuntungan menggunakan tracer radiasi adalah kemampuannya untuk memberikan data real-time tentang sistem tanpa mengganggu operasi normal.

4. Modifikasi Material dengan Radiasi

Proses ini sering dilakukan dalam industri polimer untuk meningkatkan kekuatan, daya tahan panas, atau sifat lainnya. Radiasi gamma atau elektron digunakan untuk memutus ikatan kimia dalam polimer, yang kemudian membentuk ikatan baru yang lebih kuat atau lebih stabil.

Contoh aplikasi ini adalah pembuatan karet vulkanisasi yang digunakan dalam ban kendaraan atau komponen industri lainnya. Selain itu, radiasi juga digunakan untuk meningkatkan sifat permukaan material, seperti ketahanan terhadap korosi atau sifat adhesi. Proses ini memungkinkan pembuatan material dengan karakteristik yang lebih unggul tanpa harus menambahkan bahan kimia tambahan. Modifikasi material dengan radiasi juga diaplikasikan dalam pembuatan perangkat elektronik, seperti semikonduktor. Radiasi digunakan untuk mengubah sifat listrik bahan, sehingga dapat meningkatkan performa perangkat elektronik tersebut.

B. TANGGUNG JAWAB PERSONIL

Tanggung jawab terhadap keselamatan radiasi pada sebuah fasilitas radiasi yang memanfaatkan tenaga nuklir melekat pada Pemegang Izin dan personil lain yang terlibat dalam pemanfaatan tenaga nuklir (Petugas Proteksi Radiasi, Pekerja Radiasi, dll). Secara umum seluruh personil harus mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi yang diatur dalam

peraturan perundangan yang berlaku, yaitu Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Kepala Badan, dan sebagainya.

Dalam rangka mewujudkan tujuan keselamatan, Pemegang Izin perlu mempromosikan dan mengembangkan budaya keselamatan. Pemegang Izin memiliki tanggung jawab untuk menyusun, menetapkan, mengembangkan, melaksanakan, dan mendokumentasikan, program proteksi & Keselamatan Radiasi dan program jaminan mutu di fasilitas yang dimiliki. Dalam mengoperasikan fasilitasnya, Pemegang Izin perlu menyediakan personil yang kompeten yang dapat bekerja sesuai keahliannya, termasuk menyediakan perlengkapan proteksi radiasi yang diperlukan. Setiap personil wajib dipantau penerimaan dosisnya dan diberikan fasilitas pemantauan kesehatan. Dalam rangka mempertahankan dan meningkatkan pengetahuan, Pemegang izin perlu memberikan pendidikan dan pelatihan bagi personil. Selain melakukan pengawasan terhadap keselamatan radiasi bagi personil, Pemegang Izin juga harus melakukan pengawasan terhadap keselamatan radiasi di daerah kerja dan lingkungan, termasuk memelihara rekaman yang terkait keselamatan radiasi. Pemegang Izin wajib melaporkan kepada Kepala BAPETEN mengenai pelaksanaan program proteksi & keselamatan radiasi, dan verifikasi keselamatan di fasilitas yang dimiliki.

Petugas Proteksi Radiasi mempunyai tanggung jawab untuk membantu Pemegang Izin dalam menyusun program proteksi dan keselamatan radiasi, mengelola/memelihara rekaman pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi, termasuk menyiapkan laporan tertulis mengenai pelaksanaan program proteksi/keselamatan radiasi serta melakukan verifikasi keselamatan atas sepengetahuan Pemegang Izin untuk dilaporkan kepada kepala BAPETEN. Ia juga harus mengidentifikasi kebutuhan dan mengorganisasi kegiatan pelatihan, meninjau aspek operasional program proteksi/keselamatan radiasi dan program pemantauan di semua tempat di mana zat radioaktif digunakan, disimpan, atau diangkut secara sistematis dan periodik. Seorang Petugas Proteksi Radiasi perlu berpartisipasi dalam mendesain fasilitas penyimpanan zat radioaktif, termasuk melakukan inventarisasi zat radioaktif atau tabung sinar-x, serta mengambil sampel uji kebocoran terhadap zat radioaktif. Petugas Proteksi Radiasi juga harus menjamin bahwa perlengkapan proteksi radiasi tersedia dan berfungsi dengan baik, serta memantau penggunaannya di daerah kerja. Apabila terjadi kegagalan operasi

yang berpotensi kecelakaan radiasi, Petugas Proteksi Radiasi harus melaporkan kepada Pemegang Izin. Tugas lain sebagai seorang Petugas Proteksi Radiasi yaitu, melaksanakan latihan maupun melaksanakan penanggulangan dalam hal terjadi keadaan darurat termasuk memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi.

Pekerja radiasi juga memiliki tanggung jawab masing-masing dalam melaksanakan tugasnya. Secara umum setiap pekerja radiasi wajib menggunakan perlengkapan proteksi radiasi sesuai prosedur ketika sedang bekerja dan berhubungan dengan radiasi. Dibawah ini adalah deskripsi tugas dan tanggung jawab khusus yang diemban oleh pekerja radiasi dalam bidang industri.

1. Gauging Industri

Dalam penggunaan zat radioaktif dan pesawat sinar-x untuk peralatan gauging, Petugas Perawatan bertanggung jawab untuk merawat dan memantau fungsi pada peralatan gauging sesuai prosedur yang diberikan oleh pabrik dan prosedur kerja dari pemegang izin, termasuk melakukan perbaikan dibawah pengawasan Petugas Proteksi Radiasi. Hal tersebut perlu dilakukan untuk menjamin bahwa peralatan gauging berfungsi dengan baik dan memenuhi prinsip proteksi radiasi. Laporan hasil kegiatan perawatan, analisis kerusakan, dan tindakan perbaikan pada peralatan gauging, diserahkan kepada Pemegang Izin melalui Petugas Proteksi Radiasi. Operator harus mematuhi semua instruksi yang diberikan oleh Pemegang Izin dan/atau Petugas Proteksi Radiasi untuk mengoperasikan peralatan gauging sesuai dengan prosedur kerja dan memperhatikan prinsip proteksi radiasi. Apabila ada kerusakan terhadap peralatan gauging dan/atau perlengkapan proteksi radiasi, Operator harus melaporkan kondisi tersebut kepada Petugas Perawatan dan Petugas Proteksi Radiasi.

2. Radiografi Industri

Dalam pemanfaatan tenaga nuklir dibidang radiografi industri, Ahli Radiografi bertugas mempelajari ketentuan pengoperasian Peralatan Radiografi dari referensi untuk diterapkan ke dalam prosedur pemeriksaan Peralatan Radiografi dan peralatan penunjang. Tugas lain yang diemban oleh Ahli Radiografi yaitu menyiapkan instruksi kerja berdasarkan prosedur pengoperasian; menyiapkan dan memverifikasi kesiapan Peralatan Radiografi; melaksanakan dan memantau

pengujian radiografi (termasuk mengelola hasil pengujian radiografi). Selain memantau pekerjaan, Operator Radiografi, Ahli Radiografi juga harus melatih atau membimbing Operator Radiografi. Sedangkan Operator Radiografi sendiri bertugas melakukan pengujian sesuai instruksi kerja berdasarkan prosedur pengoperasian dan melaporkan hasil pengujian radiografi kepada Ahli Radiografi. Ketika terjadi insiden atau kecelakaan, baik Operator Radiografi atau Ahli Radiografi harus melaporkan kejadian tersebut kepada Petugas Proteksi Radiasi, termasuk melaporkan gangguan kesehatan yang dirasakan (yang diduga akibat bekerja dengan radiasi) kepada Pemegang Izin melalui Petugas Proteksi Radiasi.

3. Produksi Radioisotop/Radiofarmaka

Dalam kegiatan produksi radioisotop untuk radiofarmaka, pekerja radiasi terdiri dari Operator, Supervisor Produksi Radioisotop, Petugas/Supervisor Perawatan dan Petugas Kendali Mutu. Setiap personil memiliki tanggung jawab masing-masing dalam bekerja. Jika terjadi kecelakaan radiasi, mereka harus melaporkan kejadian tersebut kepada Petugas Proteksi Radiasi. Berikut ini adalah tugas dan tanggung jawab pekerja radiasi dalam kegiatan produksi radioisotop dan radiofarmaka:

Operator bertanggung jawab dalam menyiapkan target untuk produksi radioisotop. Selain itu, Operator juga bertanggung jawab dalam melakukan rekaman/dokumentasi terhadap jenis dan aktivitas produk radioisotop hasil produksi, termasuk mendokumentasikan jenis dan jumlah radioisotop dan radiofarmaka yang tidak digunakan. Apabila terjadi kontaminasi, Operator harus melakukan dekontaminasi daerah kerja di bawah pemantauan PPR.

Supervisor Produksi Radioisotop bertanggung jawab dalam menyusun program perawatan fasilitas produksi Radioisotop, jadwal produksi Radioisotop, prosedur produksi radioisotop (termasuk mengembangkan prosedur jika diperlukan). Supervisor Produksi Radioisotop juga harus memantau pelaksanaan perawatan fasilitas produksi Radiosiotop untuk Radiofarmaka dan mengawasi jalannya proses produksi Radioisotop, serta melakukan evaluasi dan koreksi apabila terdapat ketidaksesuaian pengoperasian dan perawatan fasilitas produksi Radiosiotop untuk Radiofarmaka. Apabila terdapat ketidaksesuaian pada pelaksanaan proses produksi Radioisotop untuk Radiofarmaka, Supervisor Produksi Radioisotop harus melaporkannya kepada Pemegang Izin.

Petugas Perawatan bertanggung jawab melaksanakan pemeriksaan fungsi dan perawatan berkala pada peralatan produksi radiosiotop sesuai prosedur yang diberikan oleh pabrikan dan prosedur kerja dari pemegang izin, termasuk melakukan perbaikan pada peralatan produksi radiosiotop. Hasil kegiatan perawatan, analisis kerusakan, dan tindakan perbaikan terhadap peralatan produksi radioisotop disusun menjadi sebuah laporan. Tanggung jawab lain sebagai Petugas Perawatan yaitu memastikan bahwa fasilitas produksi radioisotop berfungsi dengan baik dan memenuhi ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi.

Supervisor Perawatan bertanggung jawab dalam memantau pelaksanaan produksi Radioisotop; dan perawatan fasilitas. Supervisor Perawatan juga harus menyusun program perawatan fasilitas produksi Radioisotop dan prosedur pengoperasian/perawatan fasilitas produksi Radioisotop, termasuk mengembangkan prosedur tersebut jika diperlukan. Apabila terdapat ketidaksesuaian terhadap pengoperasian dan perawatan fasilitas produksi Radiosiotop, supervisor perawatan harus melaporkannya kepada Pemegang Izin serta melakukan tindakan evaluasi dan koreksi.

Petugas Kendali Mutu bertanggung jawab dalam melaksanakan kegiatan kendali mutu; melakukan pemeriksaan kualitas bahan target untuk produksi Radioisotop; melakukan pengujian kualitas produk Radioisotop; dan melakukan evaluasi dan koreksi terhadap mutu Radioisotop untuk Radiofarmaka. Petugas Kendali Mutu harus berperan dalam pengembangan proses kendali mutu, termasuk membuat dan memelihara rekaman kegiatan kendali mutu.

C. PERSYARATAN PROTEKSI RADIASI

Persyaratan proteksi radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir dalam bidang industri meliputi justifikasi, limitasi dosis dan optimisasi. Ketiganya merupakan prinsip dasar proteksi radiasi yang harus diterapkan secara simultan.

1. Justifikasi

Justifikasi dipahami sebagai asas bahwa pemanfaatan sumber radiasi pengion dan pembangkit radiasi pengion didasarkan pada pertimbangan bahwa manfaat yang diperoleh jauh lebih besar daripada risiko bahaya radiasi yang ditimbulkan. Konsekuensi yang harus dipertimbangkan tidak terbatas pada hal-hal yang terkait dengan radiasi, termasuk risiko lain dan benefit dari aktivitas yang akan dilakukan.

Hal tersebut harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa aktivitas pemanfaatan tenaga nuklir tersebut memberikan kebaikan yang nyata bagi individu atau sekelompok orang.

2. Limitasi Dosis

Prinsip ini dapat dilakukan dengan penerapan Nilai Batas Dosis (NBD) yang berlaku bagi pekerja radiasi; pekerja magang untuk pelatihan kerja, pelajar, atau mahasiswa yang berumur 16 sampai dengan 18 tahun; dan masyarakat. Ketentuan terkait besaran nilai NBD tersebut diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Pembatasan nilai dosis kerja ini dimaksudkan untuk menjamin bahwa tidak satupun personil yang terpapar dengan risiko yang tidak dapat diterima dan untuk mencegah efek deterministik serta membatasi peluang terjadinya efek stokastik. Penerimaan dosis efektif didasarkan pada akumulasi penerimaan dosis yang berasal dari paparan radiasi eksternal dan paparan radiasi internal.

NBD untuk pekerja radiasi adalah dosis efektif sebesar 20 mSv pertahun dalam periode 5 tahun, sehingga dosis yang terakumulasi dalam 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv. Walau demikian, pekerja radiasi masih dapat menerima dosis efektif sebesar 50 mSv dalam 1 tahun tertentu. Dosis ekuivalen untuk lensa mata rata-rata sebesar 20 mSv pertahun dalam periode 5 tahun dan 50 mSv dalam 1 tahun tertentu. Sedangkan dosis ekuivalen untuk kulit dan tangan/kaki masing-masing ditetapkan sebesar 500 mSv pertahun.

NBD pekerja magang untuk pelatihan kerja, pelajar, atau mahasiswa yang berumur 16 sampai dengan 18 tahun dapat menerima dosis efektif sebesar 6 mSv pertahun. Dosis ekuivalen untuk lensa mata ditetapkan sebesar 50 mSv pertahun. Sedangkan dosis ekuivalen untuk kulit dan tangan/kaki masing-masing ditetapkan sebesar 150 mSv pertahun. Apabila pekerja magang untuk pelatihan kerja, pelajar, atau mahasiswa telah berumur lebih dari 18 tahun, maka diberlakukan NBD yang sama seperti pekerja radiasi.

NBD bagi anggota masyarakat ditetapkan oleh BAPETEN. Nilai NBD yang telah ditetapkan oleh BAPETEN bagi masyarakat yaitu dosis efektif sebesar 1 mSv per tahun, dosis ekuivalen untuk lensa mata sebesar 15 mSv pertahun dan dosis ekuivalen untuk kulit sebesar 50 mSv pertahun.

Untuk membatasi penerimaan dosis agar tidak melebihi NBD PI harus melakukan upaya proteksi radiasi antara lain:

- a. melakukan pemantauan paparan radiasi dengan surveimeter (Pada saat pengoperasian, loading atau unloading sumber, pengecekan tempat penyimpanan dan lain-lain)
- b. melakukan pemantauan dosis yang diterima personal dengan dosimeter perorangan.
- c. Menyediakan perlengkapan Proteksi Radiasi (Penahan radiasi, rambu-rambu keselamatan, kolimator, kontainer, dan lain-lain)

3. Optimisasi

Penerapan terhadap prinsip optimasi dapat dilakukan dengan menerapkan prinsip bahwa pekerja radiasi dan anggota masyarakat diusahakan menerima paparan radiasi serendah mungkin yang dapat dicapai. Prinsip yang dikenal dengan ALARA (*as low as reasonably achievably*) ini juga mengandung makna bahwa setiap fasilitas radiasi harus dilengkapi dengan sistem keselamatan yang cukup dan memadai. Setiap pengambilan keputusan perlu mempertimbangkan faktor teknologi, ekonomi, dan sosial untuk mendapatkan skenario terbaik dan tindakan yang optimal. Penerapan optimasi termasuk penetapan pembatas dosis (*dose constraints*) untuk pekerja radiasi dan masyarakat. Pembatas dosis pekerja radiasi ditetapkan oleh Pemegang Izin setelah mendapat persetujuan dari Kepala BAPETEN, sedangkan nilai pembatas dosis bagi masyarakat ditetapkan langsung oleh BAPETEN yaitu 0,3 mSv pertahun.

D. PERSYARATAN TEKNIS

Pemanfaatan teknologi radiasi di bidang industri memerlukan pengelolaan yang ketat untuk memastikan keefektifan aplikasinya sekaligus melindungi pekerja, lingkungan, dan masyarakat dari potensi bahaya radiasi. Oleh karena itu, terdapat berbagai persyaratan teknis yang harus dipenuhi, mulai dari pemilihan sumber radiasi, desain fasilitas, hingga pengelolaan limbah radioaktif. Persyaratan ini berdasarkan standar internasional yang ditetapkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan disesuaikan dengan regulasi nasional yang diatur oleh BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) di Indonesia.

1. Sumber Radiasi

Sumber radiasi dapat berupa isotop radioaktif atau mesin pembangkit radiasi seperti *sinar-X* dan akselerator partikel. Persyaratan teknis untuk sumber radiasi meliputi:

- a. **Karakteristik Fisik dan Kimia Sumber Radiasi:** Sumber harus stabil, memiliki energi radiasi yang sesuai dengan aplikasi, dan dilengkapi dengan kapsul pelindung untuk mencegah kebocoran.
- b. **Kalibrasi dan Dosis Radiasi:** Sumber harus dikalibrasi secara berkala untuk memastikan dosis radiasi yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan dan aman untuk digunakan.
- c. **Waktu Paruh Isotop:** Pemilihan isotop radioaktif harus mempertimbangkan waktu paruhnya, sehingga penggunaannya efisien dan limbahnya mudah dikelola.

Contohnya, dalam aplikasi radiografi industri, isotop seperti Iridium-192 atau Cobalt-60 sering digunakan karena daya tembusnya yang tinggi dan sifatnya yang cocok untuk memeriksa struktur logam.

2. Perangkat dan Sistem Pengamanan

Teknologi radiasi membutuhkan perangkat yang dirancang khusus untuk mendukung pengoperasian yang aman dan efisien. Beberapa persyaratan teknis terkait perangkat radiasi meliputi:

- a. **Shielding (Pelindung Radiasi):** Semua perangkat radiasi harus dilengkapi dengan pelindung, seperti timbal atau beton, untuk mengurangi paparan radiasi ke lingkungan.
- b. **Sistem Interlock:** Perangkat radiasi harus dilengkapi dengan mekanisme penguncian otomatis yang memastikan radiasi hanya dihasilkan saat kondisi operasi aman.
- c. **Detektor Radiasi:** Alat deteksi radiasi, seperti dosimeter atau monitor area, harus dipasang untuk mengukur tingkat radiasi di sekitar area kerja.
- d. **Pemeliharaan dan Kalibrasi:** Semua perangkat harus diperiksa secara berkala untuk memastikan kinerja optimal dan mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan kebocoran radiasi.

3. Fasilitas dan Desain Ruangan

Desain fasilitas yang digunakan untuk aplikasi radiasi harus memenuhi standar

teknis tertentu untuk melindungi pekerja dan lingkungan. Persyaratan teknis untuk fasilitas meliputi:

- a. **Lokasi Fasilitas:** Fasilitas radiasi harus dibangun di lokasi yang jauh dari pemukiman penduduk dan area sensitif lingkungan.
- b. **Desain Struktur:** Dinding, lantai, dan atap fasilitas harus dirancang untuk mampu menahan radiasi, biasanya menggunakan bahan seperti beton tebal atau timbal.
- c. **Sistem Ventilasi:** Fasilitas harus memiliki sistem ventilasi yang mencegah akumulasi gas radioaktif, seperti radon, di dalam ruangan.
- d. **Area Aman:** Fasilitas harus memiliki area kerja yang diklasifikasikan berdasarkan tingkat paparan radiasi, seperti zona kontrol dan zona aman.

Sebagai contoh, dalam fasilitas sterilisasi radiasi untuk alat medis, desain fasilitas harus memastikan bahwa radiasi tidak bocor ke area sekitar selama proses sterilisasi berlangsung.

4. Pengoperasian dan Pengendalian Paparan Radiasi

Pengoperasian sumber radiasi di industri harus dilakukan oleh tenaga ahli yang telah mendapatkan pelatihan dan sertifikasi. Selain itu, pengendalian paparan radiasi harus menjadi prioritas utama. Persyaratan teknis dalam pengoperasian meliputi:

- a. **Prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable):** Paparan radiasi kepada pekerja harus ditekan seminimal mungkin dengan mengatur waktu, jarak, dan pelindung radiasi.
- b. **Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD):** Pekerja harus dilengkapi dengan APD seperti baju anti-radiasi, sarung tangan, dan kacamata pelindung.
- c. **Pemantauan Dosis:** Setiap pekerja harus menggunakan dosimeter pribadi untuk memantau dosis radiasi yang diterima selama bekerja.
- d. **Prosedur Darurat:** Fasilitas harus memiliki prosedur darurat yang jelas untuk menangani kebocoran radiasi atau insiden lainnya.

Contoh: Selama inspeksi radiografi menggunakan sinar-X untuk NDT (Non-Destructive Testing), terdeteksi kebocoran radiasi akibat kegagalan sistem pelindung atau penghentian tidak normal dari perangkat sinar-X. Langkah-langkah yang perlu dilakukan yaitu : penghentian operasi, evakuasi area, cek tingkat radiasi,

laporkan insiden, evaluasi penyebab, periksa paparan pada petugas. Jika sudah aman maka pengoperasian dapat dijalankan kembali.

5. Pengelolaan Limbah Radioaktif

Penggunaan radiasi di industri sering menghasilkan limbah radioaktif yang harus dikelola dengan hati-hati untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan. Penjelasan lebih lanjut terdapat pada modul 1.

6. Regulasi dan Sertifikasi

Untuk memastikan semua persyaratan teknis dipenuhi, setiap aplikasi radiasi harus mematuhi regulasi yang berlaku dan memperoleh izin dari otoritas yang berwenang. Di Indonesia, BAPETEN mengatur penggunaan radiasi di sektor industri melalui perizinan, inspeksi, dan pengawasan. Sertifikasi tenaga kerja juga diperlukan untuk memastikan bahwa semua operator memahami risiko dan prosedur keselamatan. Selain itu, fasilitas dan peralatan harus menjalani audit teknis secara berkala untuk memastikan bahwa semuanya berfungsi sesuai standar. Jika ditemukan pelanggaran, otoritas berwenang dapat memberikan sanksi atau menghentikan operasi fasilitas hingga masalah diperbaiki.

7. Sistem Manajemen Keselamatan Radiasi

Sebagai bagian dari persyaratan teknis, setiap fasilitas radiasi industri harus menerapkan sistem manajemen keselamatan radiasi yang komprehensif. Sistem ini mencakup kebijakan, prosedur, dan pelatihan untuk memastikan bahwa semua aspek keselamatan diimplementasikan secara konsisten. Manajemen keselamatan juga mencakup pelaporan insiden dan evaluasi risiko secara berkala untuk meningkatkan kinerja keselamatan.

E. VERIFIKASI KESELAMATAN

Verifikasi keselamatan diperlukan untuk memastikan agar semua aktivitas yang melibatkan radiasi dilakukan dengan aman, sesuai standar teknis dan regulasi yang berlaku. Verifikasi keselamatan bertujuan untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari potensi bahaya radiasi. Proses ini mencakup serangkaian langkah untuk mengidentifikasi, menilai, dan memitigasi risiko, serta memastikan sistem pengamanan berjalan sebagaimana mestinya. Dengan pendekatan sistematis ini, risiko paparan radiasi yang tidak diinginkan dapat diminimalkan,

sehingga teknologi radiasi dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan. Verifikasi keselamatan diperlukan untuk memastikan bahwa:

1. Sumber Radiasi dan Peralatan berfungsi sesuai spesifikasi teknis tanpa adanya kebocoran radiasi.
2. Fasilitas dan Infrastruktur dirancang dan dioperasikan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan.
3. Pekerja dan Operator mematuhi protokol keselamatan, menggunakan alat pelindung diri (APD), dan menjalani pelatihan yang memadai.
4. Regulasi dan Standar Internasional dipatuhi dalam setiap tahap operasi.

Proses verifikasi keselamatan melibatkan beberapa tahapan yang dirancang untuk memastikan bahwa setiap aspek operasional memenuhi persyaratan keselamatan. Tahapannya sebagai berikut :

1. Identifikasi Sumber Bahaya

Tahap pertama adalah mengidentifikasi semua potensi bahaya yang terkait dengan aktivitas radiasi. Ini mencakup analisis terhadap jenis sumber radiasi, dosis yang digunakan, serta risiko paparan terhadap pekerja atau lingkungan.

2. Analisis Risiko

Setelah sumber bahaya diidentifikasi, langkah berikutnya adalah melakukan analisis risiko. Proses ini melibatkan penilaian terhadap kemungkinan terjadinya insiden serta tingkat keparahan dampaknya. Berdasarkan hasil analisis ini, langkah mitigasi dapat dirancang untuk mengurangi risiko hingga tingkat yang dapat diterima.

3. Evaluasi Peralatan dan Infrastruktur

Semua perangkat radiasi, termasuk sumber radiasi, pelindung (shielding), dan detektor radiasi, harus diuji untuk memastikan perangkat tersebut memenuhi spesifikasi teknis dan berfungsi sebagaimana mestinya. Infrastruktur fasilitas, seperti ruang penyimpanan sumber radiasi atau area operasi, juga harus diverifikasi untuk memastikan kesesuaian terhadap standar keselamatan.

4. Kalibrasi dan Pengujian Peralatan

Verifikasi keselamatan mencakup pengujian dan kalibrasi peralatan secara berkala untuk memastikan bahwa dosis radiasi yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

5. Pemeriksaan Prosedur Operasional

Prosedur operasional standar (SOP) harus diverifikasi untuk memastikan bahwa semua langkah yang diambil dalam pengoperasian radiasi sesuai dengan prinsip keselamatan ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Prosedur ini juga mencakup penanganan sumber radiasi, penyimpanan limbah radioaktif, dan protokol darurat.

6. Pelatihan dan Kompetensi Tenaga Kerja

Verifikasi keselamatan juga mencakup pemeriksaan kompetensi tenaga kerja. Semua pekerja yang terlibat dalam aktivitas radiasi harus memiliki sertifikasi yang relevan dan menjalani pelatihan tentang keselamatan radiasi, penggunaan alat pelindung diri (APD), dan respons terhadap keadaan darurat.

7. Pemantauan dan Inspeksi Rutin

Pemantauan paparan radiasi dilakukan secara rutin menggunakan alat seperti dosimeter pribadi dan monitor area. Inspeksi fasilitas juga dilakukan untuk memastikan tidak ada kerusakan pada perangkat atau pelindung radiasi. Dalam pemantauan rutin termasuk juga uji kebocoran mingguan, bulanan dan enam bulanan.

8. Pengujian Keandalan Sistem Keamanan

Sistem pengamanan seperti interlock, alarm radiasi, dan mekanisme penghentian darurat harus diuji secara berkala untuk memastikan fungsinya. Misalnya, dalam fasilitas dengan akselerator partikel, sistem interlock harus dapat menghentikan radiasi secara otomatis jika terdeteksi kondisi yang tidak aman.

9. Audit dan Sertifikasi Keselamatan

Proses audit dilakukan oleh otoritas pengawas seperti BAPETEN untuk memastikan semua aspek operasional mematuhi regulasi yang berlaku. Setelah audit, fasilitas yang memenuhi persyaratan keselamatan akan mendapatkan sertifikasi yang memungkinkan mereka untuk melanjutkan operasinya.

10. Dokumentasi dan Pelaporan

Dokumentasi adalah bagian penting dari verifikasi keselamatan. Semua hasil analisis risiko, kalibrasi, inspeksi, dan audit harus dicatat dengan baik untuk memastikan transparansi dan akuntabilitas. Dokumentasi ini juga menjadi dasar untuk melakukan evaluasi dan perbaikan di masa depan.

F. PRAKTIKUM UPAYA KERJA SELAMAT DI BIDANG INDUSTRI

1. Pendahuluan

Dalam rangka untuk meningkatkan keselamatan kerja serta mengurangi/mencegah risiko bahaya radiasi, analisis potensi bahaya dan pengendaliannya perlu diterapkan di dunia kerja industri. Teknik analisis potensi bahaya dapat diterapkan pada kondisi fasilitas sedang dalam kondisi start-up, normal, maupun shut-down. Dalam praktikum ini, peserta akan diperkenalkan dengan analisis potensi bahaya beserta pengendaliannya. Setiap peserta akan mengidentifikasi potensi bahaya dari pekerjaan yang dilakukan ditempat kerja masing-masing. Setiap potensi bahaya akan dilengkapi dengan teknik pengendalian yang tepat untuk agar potensi bahaya tersebut dapat dihilangkan atau berkurang. Dengan memperkenalkan analisis potensi bahaya dan pengendaliannya ini, peserta diharapkan dapat lebih berhati-hati dalam bekerja dan memperhatikan keselamatan diri sendiri, orang lain dan tempat kerja/lingkungan.

2. Peralatan Dan Bahan

- a. ATK
- b. Formulir identifikasi bahaya dan risiko

3. Langkah Kerja

- a. Tentukan salah satu tugas/tanggung jawab yang Anda lakukan setiap hari di tempat kerja, tulis sebagai judul pekerjaan.
- b. Identifikasi potensi bahaya dari kegiatan tersebut!
- c. Tentukan risiko dari potensi bahaya yang telah diidentifikasi!
- d. Tentukan tindakan pengendalian yang dapat diupayakan!

V. TUGAS

Tuangkan hasil identifikasi bahaya, konsekuensi dan tindakan pengendalian yang dapat dilakukan dalam dalam formulir yang telah disediakan dalam data praktikum.

G. RANGKUMAN

Pemanfaatan radiasi dalam industri didasarkan pada prinsip kerja interaksi energi tinggi dari isotop radioaktif atau perangkat penghasil radiasi untuk mendukung proses seperti radiografi, sterilisasi, dan tracer isotop. Radiasi ini diaplikasikan untuk meningkatkan efisiensi, mendeteksi cacat tanpa merusak material, dan memastikan kualitas produk. Untuk menjamin keamanan, pemanfaatannya harus memenuhi persyaratan teknis yang meliputi penggunaan sumber radiasi yang stabil, fasilitas dengan pelindung radiasi, alat pelindung diri (APD), dan sistem pemantauan dosis yang sesuai dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). Selain itu, pengelolaan limbah radioaktif menjadi elemen krusial, memastikan limbah disimpan dan dibuang sesuai prosedur yang aman. Semua aktivitas harus mengikuti regulasi nasional dan standar internasional, seperti yang diatur oleh BAPETEN dan IAEA.

Tanggung jawab keselamatan radiasi melekat pada Pemegang Izin (PI) dan personil lain yang terlibat dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Setiap personil harus mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan radiasi yang berlaku. Disamping itu, setiap personil juga bertanggung jawab untuk melaksanakan tugas sesuai dengan kompetensinya masing-masing dan mematuhi prosedur keselamatan, termasuk menggunakan alat pelindung diri yang sesuai.

Persyaratan proteksi radiasi didasarkan pada tiga prinsip utama yaitu justifikasi, limitasi dosis, dan optimasi. Justifikasi memastikan bahwa manfaat dari pemanfaatan tenaga nuklir lebih besar daripada risikonya. Limitasi dosis dapat dilakukan dengan menetapkan ambang batas dosis radiasi (NBD) yang diterima oleh personil untuk mencegah efek deterministik serta membatasi peluang terjadinya efek stokastik. Sementara optimasi, melalui prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), bertujuan untuk meminimalkan paparan radiasi bagi pekerja dan masyarakat, dengan mempertimbangkan faktor teknologi, ekonomi, dan sosial untuk memastikan keselamatan yang maksimal.

Verifikasi keselamatan menjadi langkah penting untuk memastikan pemanfaatan radiasi aman dan sesuai standar. Proses ini meliputi identifikasi sumber bahaya, analisis risiko, kalibrasi peralatan, pelatihan tenaga kerja, dan pemantauan rutin menggunakan dosimeter. Audit dan sertifikasi oleh otoritas terkait memastikan fasilitas mematuhi regulasi yang berlaku. Verifikasi juga mencakup

evaluasi prosedur operasional dan pengujian sistem keamanan seperti interlock dan alarm radiasi. Langkah ini bertujuan untuk meminimalkan risiko terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan, sekaligus memastikan operasi berjalan optimal dan efisien. Dengan pengelolaan yang tepat, teknologi radiasi dapat dimanfaatkan secara aman dan berkelanjutan dalam mendukung kemajuan industri.

H. EVALUASI

1. Evaluasi Teori

1. Personil yang bertanggung jawab terhadap keselamatan radiasi di fasilitas yang memanfaatkan sumber radiasi adalah
 - a. Pemegang Izin (PI)
 - b. Petugas Proteksi Radiasi
 - c. Pekerja radiasi
 - d. Pemegang Izin (PI) dan personil lain yang terlibat

Jawaban : d

2. Dibawah ini yang bukan termasuk persyaratan proteksi radiasi yaitu
 - a. *Justifikasi*
 - b. *Limitasi Dosis*
 - c. *Simulasi*
 - d. *Optimasi*

Jawaban : c

3. Apa tujuan utama penerapan prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable) dalam pemanfaatan radiasi?
 - a. Meningkatkan efisiensi operasional.
 - b. Mengurangi dosis radiasi seminimal mungkin.
 - c. Mengoptimalkan penggunaan sumber daya.
 - d. Meningkatkan produksi industri.

Jawaban: b. Mengurangi dosis radiasi seminimal mungkin.

4. Apa yang harus dilakukan untuk memastikan peralatan radiasi bekerja sesuai standar teknis?
 - a. Menyimpan peralatan di ruang tertutup.
 - b. Menggunakan peralatan secara terus-menerus tanpa jeda.
 - c. Melakukan pengujian dan kalibrasi secara berkala.
 - d. Meminimalkan pelatihan tenaga kerja.

Jawaban: c. Melakukan pengujian dan kalibrasi secara berkala.

5. Apa langkah pertama dalam proses verifikasi keselamatan radiasi?
 - a. Melakukan audit fasilitas.
 - b. Mengidentifikasi sumber bahaya.
 - c. Melatih tenaga kerja.

d. Melakukan pembuangan limbah radioaktif.

Jawaban: b. Mengidentifikasi sumber bahaya.

2. Evaluasi Praktikum

Tuangkan hasil identifikasi bahaya, konsekuensi dan tindakan pengendalian yang dapat dilakukan dalam dalam formulir yang telah disediakan dalam data praktikum.

DAFTAR PUSTAKA

- Arhatin, R. E. & Wahyuningrum, P. I. (2013). Algoritma indeks vegetasi mangrove menggunakan satelit landsat ETM+. *Buletin PSP*, 21(2): 215-227.
- Chavez Jr., P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment*, 24(3): 459-479.
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar penginderaan jauh digital*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W. & Li, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing*, 8(4): 354-362.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J. & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of environment*, 81(2): 416-426.
- IAEA Specific Safey Guide No. SSG-46, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation, 2018
- Peraturan Kepala Bapeten No 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional
- Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No 3 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator untuk Iradiasi.
- Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- Peraturan Kepala Bapeten No 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional

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

Radiation oncology physics : a handbook for teachers and students / editor E. B.
Podgorsak ; sponsored by IAEA ... [et al.]. — Vienna : International Atomic
Energy Agency, 2005.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

**Lampiran 1. Formulir Praktikum Praktikum Upaya Kerja Selamat di Bidang
Radiodiagnostik**

LAPORAN PRAKTIKUM UJI PAPARAN PESAWAT SINAR X

a) Denah Ruangan

--	--

b) Lembar Kerja

Data Administrasi Pesawat Sinar-x

Jenis Pesawat	:	
Wadah Tabung		
Merek	:	
Model	:	
No Seri	:	
Tabung Inseri		
Merek	:	
Model	:	
No Seri	:	
Tahun Pembuatan	:	

Data Pengujian

Ruang Penyinaran	Lokasi Pengukuran		Struktur <i>Shielding</i> (Ketebalan & Material)	Paparan (Nett) (uGy/jam)
	No	Nama ruang		
Panjang : _____ m	1 :			
Lebar : _____ m	2 :			
Tinggi : _____ m	3 :			
set kV : _____ kV	4 :			
set mAs : _____ mAs	5 :			

Lampiran 2. Formulir Praktikum Identifikasi Bahaya dan Risiko Bidang Industri

LAPORAN PRAKTIKUM IDENTIFIKASI BAHAYA DAN RISIKO

Pekerjaan : Dibuat :
 Lokasi : Diperiksa :
 Tanggal : Disetujui :

No	Kegiatan	Potensi Bahaya	Risiko Bahaya	Tindakan Pengendalian	
1				Eliminasi	
				Substitusi	
				Rekayasa Teknik	
				Administrasi	
				Alat Pelindung Diri	
2				Eliminasi	
				Substitusi	
				Rekayasa Teknik	
				Administrasi	
				Alat Pelindung Diri	
3				Eliminasi	
				Substitusi	
				Rekayasa Teknik	
				Administrasi	
				Alat Pelindung Diri	
4				Eliminasi	
				Substitusi	
				Rekayasa Teknik	
				Administrasi	
				Alat Pelindung Diri	



DIREKTORAT PENGEMBANGAN KOMPETENSI
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
2024