



KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 02-P/Ka-BAPETEN/I-03
TENTANG
SISTEM PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA
PERORANGAN

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

Menimbang : bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 16 Peraturan Pemerintah Nomor 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pngion perlu menetapkan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Sistem Pelayanan Pemantauan Dosis Eksterna Perorangan;

Mengingat :

1. Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Nomor Tambahan Lembaran Negara Nomor 3676);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pngion (Lembaran Negara Tahun 2000 Nomor 136, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3992);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 64 Tahun 2000 tentang Perizinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir (Lembaran Negara Tahun 2000 Nomor 137, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3993);
4. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01/Ka-BAPETEN/ V-99 tentang Keselamatan Kerja terhadap Radiasi;

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
TENTANG SISTEM PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS
EKSTERNA PERORANGAN.

Pasal 1

Pedoman sistem pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan
adalah sebagaimana tercantum dalam Lampiran Keputusan Kepala
Badan Pengawas Tenaga Nuklir ini.

Pasal 2

Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir ini mulai berlaku
pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta

pada tanggal 14 Januari 2003

Kepala,

Ttd

DR. MOHAMMAD RIDWAN, M.Sc., APU

LAMPIRAN
KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 02-P/Ka-BAPETEN/I-03
TENTANG
SISTEM PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA
PERORANGAN

DAFTAR ISI

	halaman
BAB I. PENDAHULUAN.....	2
A. Latar Belakang.....	2
B. Tujuan	3
C. Ruang Lingkup	3
D. Definisi.....	3
BAB II. ORGANISASI DAN SUMBER DAYA PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA PERORANGAN.....	6
A. Pelayanan Pemantauan Dosis	6
B. Organisasi Dan Sumber Daya Pelayanan	7
BAB III. PENETAPAN PILIHAN SISTEM DOSIMETRI	11
A. Dosimeter.....	11
B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Sistem Dosimetri	23
BAB IV. PENGOPERASIAN PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA PERORANGAN.....	30
A. Umum	30
B. Penanganan dan Pemrosesan Dosimeter	30
C. Otomatisasi	31
D. Akuntabilitas Dosimeter	31
E. Persyaratan dalam Penggunaan Dosimeter	31
F. Kalibrasi	32
G. Kendali Mutu	32
H. Persetujuan Dosis	33
BAB V. JAMINAN MUTU.....	34
A. Umum	34
B. Persyaratan-persyaratan Jaminan Mutu.....	34
C. Pemasok Dosimeter	34
D. Dokumentasi	34
E. Panduan Mutu	35
F. Organisasi Dan Manajemen	35
G. Personel	36
H. Prosedur	36
I. Persyaratan Fasilitas	37
J. Mampu Telusur	37
K. Kendali Mutu dan Dosimeter Audit	37
L. Hubungan dengan Sistem-sistem Pendukung	38
M. Tinjauan	38
BAB VI. SISTEM PENCATATAN DAN PELAPORAN.....	39
A. Tujuan	39
B. Pencatatan Pemrosesan Dosimeter	39
C. Pemeliharaan Pencatatan Dosis	39

D. Pelaporan Dosis Perorangan	40
E. Penerimaan Dosis Berlebih	40
ANAK LAMPIRAN	41
- Gambar 1 contoh Holder Film	42
- Gambar 2 Kepekaan Film terhadap Energi Radiasi	43
- Gambar 3 Kurva Kalibrasi Film	44
- Gambar 4 Satu Jenis Alat Baca TLD	45
- Gambar 5 Kurva Pancar TLD -LiF	46
- Gambar 6 Contoh TLD dan Holder.....	47

BAB I PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Paparan kerja sumber radiasi eksternal dapat terjadi sebagai akibat berbagai kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir, antara lain tahapan daur bahan bakar nuklir, penggunaan zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya di bidang kesehatan, penelitian ilmiah, pertanian, industri, dan pekerjaan yang menggunakan radionuklida alam dengan konsentrasi cukup tinggi. Berkaitan dengan kegiatan tersebut, Pasal 10 Peraturan Pemerintah Nomor 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion menetapkan bahwa :

- (1) Pengusaha Instalasi harus mewajibkan setiap pekerja radiasi untuk memakai peralatan pemantau dosis perorangan, sesuai dengan jenis instalasi dan sumber radiasi yang digunakan.
- (2) Peralatan pemantau dosis perorangan sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) harus diolah dan dibaca oleh instansi atau badan yang telah terakreditasi dan ditunjuk oleh Badan Pengawas.
- (3) Persyaratan untuk dapat ditunjuk sebagaimana dimaksud dalam ayat (2) diatur lebih lanjut dengan Keputusan Kepala Badan Pengawas.

Sistem pemantauan dosis perorangan harus sesuai dengan jenis instalasi dan sumber radiasi yang digunakan, dan hanya dapat dilakukan oleh instansi atau badan lain yang telah terakreditasi dan ditunjuk oleh BAPETEN. Ukuran dan kemampuan instansi atau badan lain untuk melakukan pemantauan dosis perorangan merupakan persyaratan penting dalam melaksanakan pelayanan pemantauan. Sumber dana, staf, dan perlengkapan yang tersedia harus mampu mendukung operasional pelayanan tersebut.

Dalam sistem pelayanan pemantauan dosis eksternal perorangan yang harus mendapat perhatian besar adalah nilai kuantitas yang diukur, ketepatan, dan ketelitian dosimeter yang digunakan. Selain itu, kelancaran dan keandalan sistem pelayanan serta penyampaian laporan hasil evaluasi dosis harus sesuai dengan permintaan pelanggan.

B. TUJUAN

Pedoman ini memberi petunjuk bagi instansi atau badan lain yang menyelenggarakan program pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan, agar sistem pelayanan yang dilakukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

C. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup pedoman ini meliputi:

- a. organisasi dan sumber daya pelayanan pemantauan dosis;
- b. penetapan pilihan sistem dosimetri;
- c. pelaksanaan pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan;
- d. jaminan mutu; dan
- e. sistem pencatatan dan pelaporan dosis.

D. DEFINISI

Dalam Pedoman ini, yang dimaksud dengan :

1. Dosis ekuivalen atau HT adalah hasil kali antara dosis serap rata-rata dari radiasi R pada organ atau jaringan T, DTR dengan faktor bobot radiasi, w_R . dengan satuan Sievert (Sv), jika medan radiasi terdiri dari berbagai jenis dan energi dengan berbagai w_R , dosis ekuivalen merupakan penjumlahan masing-masing perkalian dosis serap rata-rata dengan faktor bobot radiasinya.
2. Dosis ekuivalen perorangan atau $H_p(d)$ adalah dosis ekuivalen suatu titik jaringan lunak di kedalaman d (model bola ICRU) sesuai dengan yang berdaya tembus radiasi kuat atau lemah, kedalaman d dalam hal radiasi yang berdaya tembus kuat seperti sinar gamma dan neutron adalah 10 mm, sehingga $H_p(d)$ dapat ditulis sebagai $H_p(10)$, sedang kedalaman untuk radiasi tembus lemah seperti sinar-X atau sinar beta untuk kulit adalah 0,07 mm dan untuk lensa mata 3 mm, sehingga $H_p(d)$ masing-masing ditulis sebagai $H_p(0,07)$ dan $H_p(3)$.
3. Paparan adalah pasangan ion (dQ) yang terbentuk dalam satuan volume udara (dm) akibat radiasi dan seluruh partikel yang terbentuk oleh radiasi terserap dalam volume udara tersebut, dinyatakan sebagai :
$$X = dQ/dm$$
4. Paparan kerja adalah paparan yang diterima sebagai akibat pekerjaan, tidak termasuk

radiasi alam dan atau paparan untuk tujuan medik.

5. Instansi atau badan pelayanan dosis eksterna perorangan, selanjutnya disingkat instansi atau badan PPDP adalah instansi atau badan yang menyelenggarakan pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan.
6. Mampu telusur adalah kemampuan dari suatu hasil ukur secara individual untuk dihubungkan dengan standardd nasional atau internasional untuk satuan ukuran dan atau sistem pengukuran yang disahkan secara nasional maupun internasional melalui suatu rantai perbandingan yang tak terputus-putus.
7. Uji Profisiensi adalah upaya untuk mengetahui unjuk kerja sistem pelayanan instansi atau badan PPDP, antara lain dengan pengujian pada laboratorium uji atau melalui uji banding.
8. Uji Banding antar instansi atau badan PPDP adalah salah satu cara untuk mengetahui hasil ukur suatu sistem dosimeter yang dilayani oleh suatu instansi atau badan PPDP terhadap instansi atau badan PPDP lain.
9. Pernyataan Penghentian (*Termination statement*) adalah suatu laporan singkat mengenai pemberhentian pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan yang dilakukan oleh suatu instansi atau badan PPDP terhadap pelanggan yang bersangkutan.
10. Jaminan Mutu adalah seluruh tindakan yang terencana dan sistematis yang diperlukan untuk memberikan jaminan bahwa komponen, alat, sistem atau jasa memenuhi persyaratan mutu.
11. Kendali Mutu adalah kegiatan yang bertujuan untuk mengawasi dan mengukur karakteristik benda, proses, layanan, fasilitas, dan pelaksanaan, agar memenuhi jaminan mutu yang diterapkan.
12. Panduan Mutu adalah suatu dokumen yang berisi kebijakan mutu, sistem mutu, dan pelaksanaan mutu dalam suatu organisasi, yang dapat juga memuat dokumen lain yang berhubungan dengan pengaturan mutu dari laboratorium.
13. Pemucatan atau Pemudaran (*Fading*) adalah hilangnya bayangan laten sebagai fungsi waktu antara pembentukan bayangan laten dan pengembangan emulsi film, yang pada dosis thermoluminesensi (TLD), pemucatan atau pemudaran adalah berkurangnya respon TLD, dalam hal ini intensitas cahaya luminesensi pada saat pembacaan TLD.
14. Annealing adalah proses pemanasan TLD untuk menghilangkan elektron-elektron dalam perangkat elektron pada bahan TLD.

15. Etsa (*Etching*) adalah suatu proses kimia atau elektrokimia pada detektor jejak nuklir zat padat (*Solid State Nuclear Track Detector*) untuk mewujudkan jejak laten menjadi jejak tampak.
16. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, selanjutnya disingkat BAPETEN adalah badan yang bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir.

BAB II
ORGANISASI DAN SUMBER DAYA
PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA PERORANGAN

A. PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS

Pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. sistem dosimetri, terdiri dari dosimeter yang digunakan oleh pelanggan dan peralatan pemrosesan untuk mengevaluasi dosimeter;
2. sistem administrasi, meliputi pangkalan data (*data base*) yang berisi data pelanggan untuk keperluan pengadaan dosimeter yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan, termasuk informasi rinci pemakai;
3. sistem pencatatan dosis yang aman dan sesuai agar mempermudah pemeliharaan dan pemutahiran catatan dosis para pemakai dosimeter; dan
4. jaminan mampu telusur pada kalibrasi dosimeter.

Kerangka kegiatan pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan, meliputi:

1. penerimaan permintaan dari pelanggan;
2. penawaran rincian pelayanan, bentuk, dan kondisi yang terkait;
3. pendaftaran pelanggan dan pemakai atau laporan registrasi;
4. persiapan jumlah dosimeter untuk memenuhi permintaan pelanggan pada setiap periode pemakaian;
5. pengiriman dosimeter ke pelanggan;
6. penerimaan dosimeter pada akhir periode pemakaian, yaitu saat pelanggan berkewajiban mengumpulkan dosimeter dari para pemakai untuk segera dikembalikan ke instansi atau badan PPDP, dan frekuensi penggantian dosimeter harus ditetapkan oleh instansi atau badan PPDP, yang tergantung pada jenis pekerjaan dan paparan yang mungkin terjadi selama bekerja, karakteristik dosimeter, dan atau batas deteksi sistem dosimeter, untuk periode pergantian maksimum yang umum dilakukan adalah satu bulan untuk TLD, dan tiga bulan untuk film;
7. melakukan evaluasi dosimeter dalam skala waktu yang ditetapkan sesuai ketentuan;
8. memasukkan data pada pangkalan data dalam periode waktu yang ditetapkan;
9. melaporkan hasil evaluasi dosis kepada Pelanggan dan BAPETEN;
10. atas permintaan pelanggan, instansi atau badan PPDP dapat membuat Surat

Pernyataan penghentian pelayanan (*Termination Statement*) yang kemudian disampaikan kepada pelanggan dan BAPETEN; dan

11. menyimpan catatan dosis perorangan sesuai dengan ketentuan umum yang berlaku.

B. ORGANISASI DAN SUMBER DAYA PELAYANAN

1. Organisasi dan Personalia

a. Organisasi

Instansi atau badan PPDP sekurang-kurangnya mempunyai 4 (empat) fungsi dasar, yaitu sebagai:

- 1) pengelola dosimeter;
- 2) pemeliharaan catatan;
- 3) administrasi dan keuangan; dan
- 4) jaminan mutu.

Untuk menjalankan fungsi tersebut di atas, instansi atau badan PPDP harus memiliki struktur organisasi yang mempunyai kegiatan antara lain :

- 1) kalibrasi dosimeter;
- 2) pemrosesan dan evaluasi dosimeter;
- 3) pengiriman dosimeter;
- 4) pelaporan dan pencatatan dosis;
- 5) kendali mutu dan jaminan mutu;
- 6) perawatan peralatan;
- 7) penelitian dan pengembangan di bidang dosimetri perorangan; dan
- 8) kegiatan lain yang terkait.

Agar manajemen organisasi dan kegiatan pelayanan berjalan dengan baik, maka instansi atau badan PPDP harus :

- 1) memiliki staf manajerial yang mempunyai wewenang dan sumber daya untuk melaksanakan tugasnya;
- 2) memiliki karyawan dalam jumlah yang cukup, berpendidikan, memiliki pengetahuan teknis yang sesuai dengan pekerjaannya, dan memiliki pengalaman dalam bidang tugasnya;
- 3) memiliki ketentuan untuk menjamin agar karyawannya bebas dari pengaruh tekanan komersial, keuangan, dan tekanan lainnya yang dapat

mempengaruhi mutu kerja mereka;

- 4) diorganisasikan seefektif mungkin sehingga mampu mengambil keputusan secara mandiri dan integritasnya selalu terpelihara;
- 5) merinci dan mendokumentasikan aturan kerja yang berisi tanggung jawab, wewenang, dan hubungan kerja antar personel yang mengelola, melaksanakan atau memeriksa pekerjaan yang mempengaruhi mutu kalibrasi dan evaluasi dosis dari dosimeter;
- 6) mempunyai petugas penyelia yang paham tentang kalibrasi atau prosedur, metode pengujian, dan evaluasi dosimeter, serta dapat mengkaji hasil-hasilnya;
- 7) mempunyai seorang manajer teknis yang mempunyai tanggung jawab menyeluruh terhadap kegiatan teknis, memiliki profesionalisme dan kualifikasi yang seimbang di bidang proteksi radiasi pada umumnya dan khususnya di bidang dosimetri radiasi;
- 8) mempunyai seorang manajer mutu yang mempunyai tanggung jawab atas sistem mutu dan penerapannya;
- 9) mempunyai kebijakan dan prosedur yang terdokumentasi untuk menjamin adanya perlindungan atas kerahasiaan informasi dan hak berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku;
- 10) berpartisipasi dalam program uji profisiensi dan uji banding antar instansi atau badan PPDP;
- 11) memberikan pendidikan dan pelatihan, pengetahuan, dan keterampilan yang mutakhir bagi karyawannya;
- 12) memiliki peralatan yang memadai untuk melaksanakan kegiatan pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan; dan
- 13) melakukan perawatan dan kalibrasi terhadap peralatan.

b. Personalia

Selain memiliki manajer administrasi, manajer teknis, petugas penyelia dan manajer mutu, suatu instansi atau badan PPDP harus memiliki personel yang memadai jumlahnya dan mendapat pendidikan, pelatihan, pengetahuan teknis yang cukup serta memiliki pengalaman yang sesuai dengan bidang tugasnya. Manajemen instansi atau badan PPDP harus memberikan kesempatan kepada karyawannya

untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan profesionalitas. Semua data kualifikasi, pelatihan, keterampilan, dan pengalaman personel harus selalu disimpan dan dipelihara.

2. Desain Fasilitas

a. Desain Ruangan

Desain ruangan harus cukup untuk peralatan, bahan-bahan, dan personel. Agar pelayanan dapat berjalan dengan lancar, setiap kegiatan harus dilakukan pada tempat terpisah, terutama untuk menghindari saling mempengaruhi antar kegiatan. Untuk alur penanganan dosimeternya dibuat demikian juga. Apabila suatu instansi atau badan PPDP memiliki fasilitas kalibrasi dosimeter sendiri, maka selain ruangan kalibrasi harus memenuhi standardd keselamatan, instansi atau badan PPDP juga harus memiliki izin pemanfaatan zat radioaktif.

b. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan harus dijamin tidak akan mempengaruhi unjuk kerja peralatan dan dosimeter. Parameter lingkungan harus terjaga dalam rentang yang dipersyaratkan, misalnya temperatur berkisar antara 18^o - 23^oC, kelembaban udara relatif sebesar 40-80% RH, dan cahaya sebesar 700 - 1000 lux. Debu, getaran, dan asap kimia yang reaktif harus diupayakan agar tidak berlebihan. Radiasi latar dalam ruang penyimpanan dosimeter dan peralatan harus diperhatikan.

c. Kondisi Listrik

Tegangan dan frekuensi listrik harus dijaga kestabilannya sesuai dengan spesifikasi teknis peralatan dan dosimeter yang digunakan.

d. Pengamanan

Aspek keselamatan dan pengamanan perlu diperhatikan, tidak hanya terhadap personel yang melakukan kegiatan tetapi juga peralatan, sehingga kelangsungan pelayanan berjalan dengan lancar dan teratur. Untuk itu sarana pengamanan fisik harus tersedia di lingkungan kerja.

3. Informasi Bagi Pelanggan.

Suatu instansi atau badan PPDP harus memberikan informasi kepada pelanggan mengenai apa yang boleh atau harus dan tidak boleh dilakukan terhadap dosimeter. Pada saat awal pelayanan dilaksanakan, informasi yang harus disampaikan antara lain, meliputi :

- a. informasi singkat mengenai dosimeter yang digunakan, antara lain meliputi :
 - 1) jenis;
 - 2) kegunaan;
 - 3) kepekaan;
 - 4) metode dosimetri yang digunakan; dan
 - 5) identifikasi dosimeter.
- b. periode pemakaian dosimeter;
- c. letak dan cara menggunakan dosimeter;
- d. penyimpanan catatan dosis, hasil evaluasi dosimeter, dan pelaporan hasil;
- e. prosedur pengiriman dan prosedur pengembalian;
- f. cara melakukan, mengubah, dan membatalkan pemesanan;
- g. biaya pelayanan dan periode waktu pemrosesannya; dan
- h. informasi pelayanan khusus yang dilakukan oleh instansi atau badan PPDP, seperti :
 - 1) pelaporan segera melalui telepon atau faksimil dalam kasus dosis tinggi yang terjadi diluar kebiasaan;
 - 2) pemrosesan dosimeter dalam kondisi darurat; dan atau
 - 3) memberikan bantuan secara teknis, supervisi, dan saran legal.

4. Jaminan Kelangsungan Penyelenggaraan Pelayanan

Beberapa faktor yang harus mendapat perhatian pengelola untuk menjamin kelangsungan penyelenggaraan pelayanan, antara lain:

- a. tersedianya dosimeter;
- b. tersedianya modal atau jaminan dana, peralatan, dan suku cadang;
- c. perawatan alat dan fasilitas;
- d. pengembangan dan pelatihan sumber daya manusia; dan
- e. penelitian dan pengembangan di bidang dosimetri perorangan.

BAB III

PENETAPAN PILIHAN SISTEM DOSIMETRI

A. Dosimeter

Pemilihan dosimeter perorangan tergantung pada jenis radiasi dan nilai dosis ekuivalen perorangan $H_p(d)$ yang akan dipantau. Menurut jenis radiasi yang akan dipantau, dosimeter perorangan terbagi dalam :

1. dosimeter foton, yang menunjukkan nilai dosis ekuivalen perorangan $H_p(10)$;
2. dosimeter beta-foton, yang menunjukkan nilai dosis ekuivalen perorangan $H_p(0,07)$ dan $H_p(10)$;
3. dosimeter foton jenis diskriminasi, kecuali $H_p(10)$, memberikan informasi jenis radiasi dan energi efektif, serta deteksi elektron energi tinggi;
4. dosimeter ekstrimitas, biasanya berupa dosimeter jari tangan, menunjukkan nilai dosis radiasi beta-foton $H_p(0,07)$ dan neutron bila terdapat sumber neutronnya; dan
5. dosimeter neutron, yang menunjukkan nilai dosis ekuivalen perorangan $H_p(10)$.

Metode dosimetri radiasi yang dapat digunakan antara lain :

1. dosimetri film fotografi;
2. dosimetri thermoluminesensi (TLD);
3. sistem dosimetri lainnya, seperti :
 - a. radiofotoluminesensi (RPL);
 - b. dosimetri luminesensi yang dipicu dengan optik (*Optically Stimulated Luminescence*);
 - c. detektor jejak nuklir zat padat (*Solid State Nuclear Track Detector*);
 - d. detektor gelembung (*Bubble Detector*);
 - e. dosimetri neutron alarm personel (*Personal Alarm Neutron Dosimetry*); dan
 - f. dosimetri kekritikan.

Karakteristik ketiga sistem dosimetri tersebut diatas adalah sebagai berikut :

1. Dosimetri Film Fotografi

a. Prinsip Kerja

Film fotografi mempunyai lapisan tipis butir emulsi yang biasanya terbuat dari kristal perak bromida ($AgBr$) dan tersebar merata dalam lapisan gelatin yang peka terhadap radiasi pengion. Butir-butir $AgBr$ yang tidak efektif dilarutkan dalam larutan

pemantap (*fixer*) dalam emulsi film yang telah terkena radiasi, apabila diproses dalam larutan pengembang akan berubah menjadi perak metalik dan akan terlihat sebagai kehitaman film. Tingkat kehitaman film sebanding dengan dosis radiasi yang diterimanya. Kehitaman film ini diukur dengan menggunakan peralatan yang disebut densitometer, yang umumnya mempunyai kemampuan mengukur 0,02 sampai 4,00. Dosimeter film merupakan dosimeter relatif yang memerlukan kalibrasi yang dibutuhkan dalam perhitungan dosis yang diterimanya, apabila digunakan sebagai alat pemantau dosis perorangan.

Apabila digunakan sebagai dosimeter neutron, jenis film yang digunakan adalah film emulsi jejak. Hasil interaksi neutron dengan emulsi bila dikembangkan akan terlihat sebagai jejak partikel pengion hasil tumbukan neutron dengan atom hidrogen dalam emulsi. Jejak ini dapat dilihat dan dihitung melalui mikroskop dengan perbesaran sampai dengan 1000 (seribu) kali.

b. Kemampuan Pengukuran

Dosimeter film ini dapat digunakan sebagai dosimeter foton seperti gamma dan sinar-X, beta, dan neutron, dengan kemampuan mengukur dosis 200 μSv - 1 Sv. Kepekaan perak bromida dalam emulsi sangat tergantung pada energi, dimana 50 keV dapat lebih besar 25 (duapuluh lima) kali pada energi Co-60. Untuk mengatasi kebergantungan film terhadap energi tersebut, maka dalam pemakaiannya sebagai dosimeter perorangan digunakan *holder* yang mengandung bermacam filter sebagaimana tercantum dalam Gambar 1 dan Gambar 2 Anak Lampiran. Untuk memperoleh dosis $H_p(10)$ dan $H_p(0,07)$ secara teliti diperlukan algoritma yang diperoleh secara empiris dari *holder* yang digunakan, untuk mengombinasikan dosis semu dari setiap luasan film di bawah filter. Dosis semu yang dimaksud adalah dosis yang diperoleh dari kurva kalibrasi sebagaimana tercantum dalam Gambar 3 Anak Lampiran, yang besarnya bergantung pada kehitaman film yang diukur untuk luasan tertentu di bawah suatu filter.

Sumber radiasi standard yang umum digunakan dalam kalibrasi adalah Cs-137, Co-60, dan sinar-x. Pada umumnya emulsi film fotografi untuk dosimeter perorangan terdiri dari dua lapis, salah satu lapisan emulsinya mempunyai perbedaan kepekaan, yaitu dengan faktor sekitar 100 (seratus). Dalam hal terjadi dosis berlebih, lapisan emulsi yang peka akan jenuh dan dapat dihilangkan, dan yang tertinggal adalah

lapisan emulsi yang tidak peka yang dapat digunakan untuk pengukuran dosis foton dari 2 Sv – 10 Sv. Namun, diperlukan kalibrasi khusus untuk pengevaluasian dosis tinggi tersebut dengan suatu perlakuan yang sedikit berbeda dengan keadaan normal. Sedangkan dosimeter film neutron akan jenuh pada lebih kurang 50 mSv dan mempunyai energi ambang 0,7 MeV. Dosimeter film umumnya digunakan untuk periode waktu satu bulan, apabila dipakai lebih lama dari waktu tersebut pemudaran film harus mendapat perhatian khusus dan merupakan masalah besar dalam evaluasi dosis.

Keuntungan dan kerugian penggunaan dosimeter film fotografi adalah sebagai berikut :

1) Keuntungan :

- a) film dan peralatan relatif lebih murah dan sederhana;
- b) dapat mendeteksi radiasi α , β , γ , dan neutron dengan filter yang sesuai;
- c) dapat memberikan informasi energi efektif radiasi;
- d) dapat memberikan informasi adanya kontaminasi zat radioaktif;
- e) dapat memberikan informasi tambahan tentang sudut datang radiasi pada tubuh;
- f) cocok untuk pelayanan skala kecil; dan
- g) dapat merupakan rekaman permanen dosis terukur, bila semua data kalibrasi terekam baik.

2) Kerugian :

- a) kebergantungan film pada energi mengakibatkan perlunya rancangan filter yang rumit pada *holder* dan algoritma perhitungan dosisnya;
- b) hubungan antara dosis dan kehitaman film tidak linier sehingga memerlukan prosedur kalibrasi yang tidak mudah;
- c) sangat peka pada temperatur dan kelembaban udara, sehingga pemudaran dan pengabutan (*fogging*) film sulit diprediksi;
- d) ada risiko kehilangan informasi dosis akibat penyinaran cahaya, baik dalam penggunaan ataupun pemrosesan di ruang gelap;
- e) peralatan pemroses otomatis sangat sedikit dan mahal; dan
- f) ukurannya terlalu besar untuk digunakan sebagai dosimeter ekstrimitas.

2. Dosimetri Thermoluminesensi (TLD)

a. Prinsip Kerja

TLD didasarkan pada eksitasi elektron oleh radiasi pengion, diikuti proses terperangkap dan pelepasan elektron yang terperangkap dengan pemanasan, menyebabkan pancaran cahaya yang jumlahnya sebanding dengan dosis radiasi pengion yang diterima oleh bahan TLD tersebut. Pengukuran kuantitas keluaran cahaya oleh alat baca TLD sebagaimana tercantum dalam Gambar 4, dilakukan dengan menggunakan tabung pengganda cahaya (*photomultiplier* disingkat PM) dan keluarannya digambarkan sebagai fungsi temperatur yang disebut kurva pancar (*glow curve*) sebagaimana tercantum dalam Gambar 5 Anak Lampiran. Pelepasan elektron yang tertangkap sebelum pembacaan dilakukan, disebut sebagai pemudaran. Hubungan antara bacaan TLD dengan dosis yang diterimanya harus ditentukan dengan kalibrasi.

b. Kemampuan Pengukuran

TLD dapat digunakan sebagai dosimeter foton, beta, neutron, diskriminasi. Ekstremite TLD lebih peka dan mempunyai rentang pengukuran yang relatif lebih lebar, yaitu 0,01 mSv - 2 Sv, untuk contoh TLD adalah sebagaimana tercantum dalam Gambar 6 Anak Lampiran. Pengaruh pemudaran pada TLD umumnya lebih kecil bila dibandingkan dengan dosimeter film. TLD juga mampu mengukur besaran Hp(10) dan Hp(0,07). Kombinasi TLD-⁶LiF dan ⁷LiF digunakan untuk mendeteksi neutron dalam sistem dosimeter albedo, yaitu mengukur dosis neutron lambat yang dihamburkan oleh tubuh manusia dan dosis radiasi gamma yang menyertainya dalam medan radiasi tersebut. TLD CaSO₄:Dy dalam kombinasi dengan filter disebut sebagai dosimeter diskriminating, yaitu dosimeter yang memungkinkan pengkajian energi radiasi yang diterima pemakai. Bila TLD digunakan untuk radiasi beta maka harus dengan ketebalan yang sangat tipis yaitu 0,015 inci atau ~4 mgcm⁻² dan dilapisi dengan lapisan pelindung ~4 mgcm⁻². Periode waktu pemakaian TLD untuk pemantauan dosis eksternal perorangan dapat mencapai tiga bulan.

c. Karakteristik Beberapa Macam TLD

Karakteristik beberapa macam TLD adalah sebagaimana tercantum dalam Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik TLD

Tipe TLD	LiF	Li ₂ B ₄ O ₇ : Mn	**CaF ₂ :Mn	**CaF ₂ (TLD -200)	**CaSO ₄ : Mn	**CaSO ₄ : Dy
Kerapatan (gm/cc) (Serbuk~1/2 padat)	2,64	~2,4	3,18	3,18	2,61	2,61
No atom efektif (Z) untuk penyerapan fotoelektrik	8,2	7,4	16,3	16,3	15,3	15,5
Spektrum emisi TL	3500- 6000Å (4000maks)	5300- 6300Å (6050maks)	4400- 6000Å (5000maks)	Puncak pada 4835Å pada 5765 Å	4500- 6000Å (5000maks)	4800Å 5700Å
Temperatur puncak pancar TL	195°C	200°C	260°C	180°C	110°C	220°C
Efisiensi Co-60 relatif terhadap LiF	1,0	0,15	10	30	70	20
Respon energi 30 Kev / Co-60	1,25	0,9	~13	~12,5	~10	~12,5
Jangkauan Pemakaian	MR- 3 X 10 ⁵ R	50 mR-10 ⁶ R	100µR - 3 X 10 ⁵ R	10µR - 10 ⁶ R	µR- 10 ⁴ R	100µ.- 10 ⁵ R
Tipe TLD	LiF	Li ₂ B ₄ O ₇ : Mn	**CaF ₂ :Mn	**CaF ₂ (TLD -200)	**CaSO ₄ : Mn	**CaSO ₄ : Dy
Pemudaran	Dpt diabaikan* 5%/th pd 200C	<5% dlm 3 bl	10% pd 24 j pertama 15% total dlm 2 mg	*10% pd 24 j pertama 16% total dlm 2 mg	50% dlm 24 j pertama	2% dlm 1 bl 8% dlm 6 bl

Bentuk Fisik	TLD 100, 600,700 Serbuk Pita Batang Bohlam Kartu Kristal Belah	TLD-800 Serbuk Chip/Pita Bohlam Kartu	TLD-400 Serbuk Chip/pita Batang Bohlam	TLD-200 Serbuk Kristal Bohlam Kartu	serbuk	serbuk
--------------	--	---------------------------------------	--	-------------------------------------	--------	--------

- * Pasca irradiasi, anneal sebelum evaluasi untuk 10 menit untuk LiF dan 20 menit untuk CaF₂ (TLD-200) pada temperatur 100°C untuk menormalisasi materi dan mengeliminasi pemudaran.
- ** Material sensitivitas tinggi seperti CaF₂ dan CaSO₄ sangat sensitif terhadap sinar UV dan peningkatan pemudaran yang terjadi harus dipertimbangkan semua material sensitivitas tinggi harus ditangani, digunakan, dan disimpan dalam wadah yang sesuai untuk mencegah pemudaran dari paparan cahaya. Materi TLD lain termasuk BeO;Mn, CaSO₄ (tanah jarang), Al₂O₃ (Mn), CaSO₄ (Tm) dan Mg₂SiO₄ (Tb).

Keuntungan dan kerugian penggunaan TLD adalah sebagai berikut :

1) Keuntungan :

- a) TLD relatif lebih ekivalen dengan jaringan tubuh sehingga mempunyai tingkat ketelitian yang lebih baik;
- b) mempunyai kepekaan dan ketelitian tinggi;
- c) karena ukurannya kecil, dapat digunakan sebagai dosimeter ekstrimitas;
- d) alat baca yang manual maupun otomatis banyak diperdagangkan;
- e) mempunyai kestabilan jangka panjang yang sangat baik terhadap berbagai kondisi lingkungan;
- f) mudah pemrosesannya dan dapat digunakan ulang; dan
- g) linier terhadap dosis dan laju dosis untuk rentang yang lebar.

2) Kerugian :

- a) memerlukan modal relatif besar;
- b) perawatan dan pemeliharaan peralatan memerlukan staf teknis tingkat tinggi;
- c) kegagalan proses pembacaan pertama tidak dapat diulang, sehingga informasi akan hilang; dan

d) tidak ada pencatatan permanen karena proses pembacaan tidak dapat diulang.

3. Sistem Dosimetri Lainnya

a. Dosimetri Perorangan Elektronik (*Electronic Personnel Dosimetry* disingkat EPD)

- 1) EPD didasarkan pada penggunaan detektor yang dihubungkan dengan elektronik untuk mengukur dosis;
- 2) karakteristik dosimetri EPD sangat bergantung pada pemilihan detektornya;
- 3) EPD digunakan untuk memantau paparan kerja pada pekerja secara langsung, saat pekerjaan sedang berlangsung (*realtime*);
- 4) keuntungan utama dari EPD adalah kemampuannya mengukur dosis radiasi secara lokal dan tidak membutuhkan kemampuan laboratorium, alat baca, dan hal lain yang merupakan karakteristik sistem dosimetri lain;
- 5) EPD menunjukkan hasil yang memuaskan dalam pengujian kinerja, dengan pengecualian terhadap foton energi rendah dan radiasi neutron; dan
- 6) EPD sering digunakan sebagai alat utama untuk mengendalikan dosis pekerja yang juga menggunakan film *badge* atau TLD.

b. Radiofotoluminesensi (RPL)

- 1) prinsip dasar eksitasi elektronnya sama dengan dosimeter thermoluminesensi;
- 2) pembacaannya menggunakan cahaya ultraviolet untuk menaikkan energi elektron yang terperangkap dengan perlambatan yang singkat kembali ke posisi awal dengan mengemisikan sejumlah cahaya yang sebanding dengan dosis yang diterima oleh bahan RPL tersebut;
- 3) RPL dapat menyimpan data atau catatan secara permanen dari integral dosis yang diterima; dan
- 4) dosis dalam satu periode tertentu harus ditentukan sebagai selisih dua bilangan yang besar karena nomor atom efektif bahan yang peka, seperti gelas fosfat yang teraktivasi perak, lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan lunak tubuh, sehingga harus menggunakan filter-filter. RPL tidak banyak digunakan untuk pemantauan dosis perorangan tetapi untuk beberapa sistem yang lebih maju termasuk yang otomatis tersedia secara komersial.

c. Dosimetri Luminesensi yang Dipicu secara Optik (*Optically Stimulated Luminescence* disingkat OSL)

Teknik OSL menggunakan metode optis untuk melepaskan energi elektron dalam perangkat pada bahan luminesensi yang disebabkan oleh radiasi pengion. Teknologi yang baru-baru ini secara luas digunakan, sebagian besar karena pengembangan terbaru dari bahan OSL yang ekuivalen dengan jaringan lunak tubuh dan pengembangan sistem alat bacanya yang praktis. Sumber cahaya yang digunakan untuk mengeksitasi bahan luminesensi secara khas dihasilkan oleh laser atau diode pemancar cahaya (LED). Teknologi OSL memberikan kemungkinan proses ulang dosimeter, jika dianggap selama pembacaan tunggal hanya sebagian kecil OSL yang terhapus. Tingkat deteksi relatif rendah karena kepekaan fosfor. Serupa dengan RPL atau TLD, tabung pengganda cahaya juga digunakan untuk melakukan pengukuran kuantitas cahaya yang keluar, detektor cahaya lain seperti silikon foto detektor dapat digunakan dalam aplikasi pengukuran yang kurang peka. Jumlah cahaya yang dipancarkan selama pembacaan dan kuantitas radiasi yang diukur harus ditentukan dengan kalibrasi.

Teknologi OSL terus dikembangkan karena beberapa faktor berikut :

- 1) pemrosesannya cepat;
- 2) dapat dibaca ulang;
- 3) mampu mendeteksi dosis rendah;
- 4) mempunyai banyak keuntungan jika dibandingkan dengan RPL dan TLD; dan
- 5) memberikan karakteristik bayangan sama dengan film.

Namun, teknologi OSL ini masih dalam penelitian dan pengembangan. Belum terdapat alat baca yang dipasarkan secara komersial dan dosimeter masih digunakan dalam sistem *in-house*.

d. Detektor Jejak Nuklir Zat Padat (*Solid State Nuclear Track Detector* disingkat SSNTD)

Untuk dosimetri neutron ada 3 (tiga) detektor yang umum digunakan, yaitu :

- 1) Detektor Jejak Fisi (*Fission track detector*)

Suatu radiator atau konverter bahan dapat belah mengemisikan fragmen fisi mengikuti paparan neutron. Fragmen fisi dideteksi dengan suatu detektor jejak nuklir zat padat seperti polikarbonat. Reaksi fisi mempunyai energi ambang yaitu 0,6 MeV untuk Np^{237} , 1,3 MeV untuk Th^{232} dan 1,5 MeV untuk U^{238} atau

penampang lintang tinggi untuk neutron termal U^{235} . Di negara-negara tertentu penggunaan bahan dapat belah dalam dosimeter dibatasi atau dilarang, karena bahan-bahan tersebut radioaktif.

2) Detektor Jejak Pentalan (*Recoil Track Detector* disingkat RTD)

Hamburan elastik neutron dengan inti detektor plastik dapat menghasilkan pentalan (*recoil*) partikel bermuatan, seperti proton, karbon, oksigen dan nitrogen. Pentalan ini menghasilkan jejak laten yang juga akan dapat dilihat dengan cara etsa. Etsa kimia atau etsa elektrokimia (*Electrochemical Etching* disingkat EcE) digunakan untuk memperbesar jejak. Kerapatan jejak adalah sebanding dengan paparan neutron yang dapat dihitung dengan alat baca mikrofis (*microfiche*) atau pencacah partikel otomatis. LET pentalan proton dan jangkauan pendek partikel berat dan berbagai jenis plastik mempunyai kepekaan yang berbeda terhadap neutron dan responnya tergantung pada energi neutron. Untuk setiap bahan detektor atau kombinasi, radiator, penyerap, bahan detektor, dan teknik etsa harus dioptimisasikan dan kurva respon energi harus diuji dengan eksperimen. Bahan yang umum digunakan adalah polikarbonat, selulosa nitrat dan CR-39.

3) Detektor Jejak Didasarkan pada Reaksi (n, α)

Neutron berinteraksi dengan ${}^6\text{Li}$ atau ${}^{10}\text{B}$ dalam radiator eksterna. Partikel alfa yang dihasilkan melalui reaksi n, α , mempunyai energi maksimum lebih kurang 2,5 MeV dan 1,5 MeV untuk energi neutron di bawah beberapa ratus keV. Penampang lintang reaksi tinggi untuk neutron termal dan menurun mengikuti hukum $1/V$ dengan kenaikan energi neutron. Plastik detektor dapat mendeteksi partikel alfa yang diemisikan. Efisiensi deteksi tergantung pada jenis bahan dan kondisi etsa.

e. Detektor Gelembung (*Bubble Detector*)

- 1) detektor gelembung adalah dosimeter neutron jenis baru dengan pembacaan langsung;
- 2) detektor sebagaimana dimaksud dalam angka 1) disiapkan dengan menggantungkan *superheated droplets* dalam *polymer elastics foam*, yang dapat dilakukan dengan neutron yang menimbulkan uap cahaya gelembung yang ditangkap pada posisi formasi. Jumlah gelembung memberikan nilai dosis

netron;

- 3) detektor ini merupakan alat pasif, tidak memerlukan peralatan elektronik untuk pengukuran atau pembacaan, tidak membutuhkan perlengkapan elektronik, dan alat baca otomatis yang dikontrol dengan komputer dapat digunakan untuk melakukan pembacaan, jika sejumlah besar detektor digunakan secara rutin;
- 4) detektor sensitif terhadap netron, mendeteksi sampai dengan rentang μSv , dan tidak peka terhadap sinar gamma;
- 5) detektor dapat dibuat agar mempunyai energi ambang netron yang berbeda dari 100 keV sampai dengan beberapa MeV, sehingga seperangkat detektor gelembung dapat digunakan untuk spektrometer netron sederhana; dan
- 6) detektor peka terhadap temperatur kamar, energi, dan rentang dosisnya dibatasi, sehingga bermacam dosimeter dengan kepekaan yang berbeda diperlukan untuk memenuhi rentang dosis yang akan dipantau.

f. Dosimetri Netron Alarm Perorangan (*Personal Alarm Neutron Dosimetry*)

Dosimeter netron alarm perorangan dapat memberikan indikasi pada dosis ekuivalen netron terhadap pemakai. Detektor didasarkan pada beberapa teknik yang meliputi :

- 1) pencacahan untuk pengukuran pentalan proton;
- 2) penggunaan detektor ^3He dalam moderator kecil polietilen dengan penahan terhadap netron termal;
- 3) penggunaan prinsip pencacah Rossi dengan mikroprosesor untuk mengonversikan cacahan kedalam dosis serap atau dosis ekuivalen; dan
- 4) penggunaan detektor sawar muka silikon (*silicon surface barrier*) untuk mendeteksi pentalan ion polietilen dan radiator ^{10}B .

g. Dosimeter Kekritikan atau Sistem Detektor Aktivasi

Dosimeter kekritikan adalah dosimeter yang digunakan untuk mendeteksi dosis radiasi pada peristiwa kecelakaan kekritikan, misalnya reaksi nuklir berantai yang tidak terkendali. Sistem dosimetri kekritikan ini banyak menggunakan prinsip pengukuran aktivasi dan pengukuran sodium tubuh, juga dengan pengukuran jejak fisi sebagaimana dimaksud dalam huruf d angka 1).

1) Pengukuran aktivasi

a) Au-197

Emas (Au-197) digunakan untuk mendeteksi fluens neutron berenergi rendah, penampang lintang untuk neutron termal (0,0253 eV) sebesar 98,8 barn. Detektor umumnya berbentuk piringan kecil dengan diameter bervariasi dan ketebalannya berkisar antara 10 sampai dengan 20 μm . Reaksi yang terjadi terhadap neutron energi rendah adalah Au-197 ($n,\bar{\alpha}$) Au-198. Nuklida Au-198 yang dihasilkan tersebut mempunyai waktu paro 2,7 hari dengan energi gamma yang dipancarkan 0,412 MeV dan energi beta maksimum sebesar 0,96 MeV.

b) Cu-63

Cu-63 digunakan untuk mendeteksi neutron energi rendah dengan reaksi yang terjadi Cu-63 ($n,\bar{\alpha}$) Cu-64. Nuklida Cu-64 yang dihasilkan ini memiliki waktu paro 12,8 jam. Selain memancarkan gamma berenergi 1,34 MeV, juga memancarkan positron berenergi 655 keV dan negatron berenergi 578 keV. detektor ini berbentuk lempengan dengan variasi ketebalan 10 sampai dengan 100 μm .

c) In-115

Aktivasi neutron berenergi 1,2 MeV yang merupakan ambang energi efektif. Pada In-115 menghasilkan reaksi In-115 (n,n') In^m-115. Nuklida In^m-115 mempunyai waktu paro 4,5 jam dan memancarkan radiasi gamma berenergi 829 keV dan 335 keV. Bentuk detektor In-115 ini berupa piringan kecil dengan variasi diameter 10 sampai dengan 20 mm dan ketebalan sekitar 1 mm.

d) P-31

Neutron cepat berenergi sekitar 2,8 MeV dapat mengaktivasi P-31, menghasilkan Si-32 melalui reaksi P-31 (n,p) S-32. S-32 mempunyai waktu paro 2,62 jam dan memancarkan radiasi beta murni berenergi 1,49 MeV. P-31 dapat teraktivasi pula oleh neutron termal melalui reaksi P-31 ($n,\bar{\alpha}$) P-32. Nuklida P-32 memancarkan radiasi beta murni berenergi 1,71 MeV dengan waktu paro 14,3 hari.

- e) S-32
- Sebagai dosimeter neutron cepat umum digunakan S-32, selain murah harganya, juga mudah diperoleh dengan kemurnian tinggi. Neutron cepat berenergi 3 MeV sangat efektif dideteksi dengan sulfur, dengan reaksi yang terjadi adalah S-32 (n,p) P-32 dan nuklida P-32 memancarkan radiasi beta murni berenergi 1,71 MeV dengan waktu paro 14,3 hari.
- f) Ni-58
- Aktivasi neutron cepat dengan energi 3,8 MeV akan menghasilkan Co-58 yang memancarkan positron berenergi 0,475 MeV dan waktu paro 71 hari dan juga memancarkan radiasi gamma berenergi 0,811 MeV dalam reaksi Ni-58 (n,p) Co-58.
- g) Mg-24
- Hasil aktivasi neutron energi cepat 7 MeV dengan Mg-24 menghasilkan reaksi Mg-24 (n,p) Na-24. Nuklida Na-24 ini mempunyai waktu paro 15 jam, memancarkan radiasi beta berenergi 1,39 MeV dan radiasi gamma berenergi 1,37 dan 2,75 MeV. Bentuk detektor biasanya pelet dengan ketebalan 1 sampai dengan 3 mm.
- h) Al-27
- Aktivasi neutron cepat berenergi 8 MeV dengan Al-27 akan menghasilkan reaksi Al-27 (n, α) Na-24. Nuklida Na-24 ini mempunyai waktu paro 15 jam, memancarkan radiasi beta berenergi 1,39 MeV dan radiasi gamma berenergi 1,37 dan 2,75 MeV.
- 2) Pengukuran Sodium Tubuh
- Aktivasi neutron terhadap sodium yang ada di dalam tubuh dapat dipantau dengan peralatan portabel yang bertujuan untuk memisahkan pekerja yang terpapar dan pekerja yang tidak terpapar oleh neutron. Hasil aktivasi neutron terhadap sodium tubuh menghasilkan Na-24 melalui reaksi N-23 (n, α) Na-24. Nuklida Na-24 ini mempunyai waktu paro 15 jam, memancarkan radiasi beta berenergi 1,39 MeV dan radiasi gamma berenergi 1,37 dan 2,75 MeV. Radiasi gamma tersebut dapat diukur dengan alat ukur portabel.

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Sistem Dosimetri

Instansi atau badan PPDP dapat melakukan pelayanan secara manual ataupun otomatis tergantung pada jumlah dosimeter yang dikelolanya. Oleh sebab itu sebelum menentukan sistem dosimetri yang harus digunakan, faktor-faktor berikut ini harus dipertimbangkan, antara lain :

1. Kondisi Geografis

Jumlah dan distribusi pelanggan serta pekerja yang dipantau merupakan pertimbangan utama dalam menentukan ukuran dan jumlah laboratorium dosimetri yang diperlukan.

- a. bila jumlah pekerja yang dipantau sedikit, maka cukup satu laboratorium; dan
- b. pendirian laboratorium cabang di daerah perlu dipertimbangkan, jika sarana pengiriman dosimeter ke atau dari suatu daerah menjadi kendala utama.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengiriman dosimeter antara lain :

- a. ketepatan waktu pengiriman;
- b. kondisi temperatur dan kelembaban udara terhadap paket pengiriman dosimeter; dan
- c. hilang atau rusaknya dosimeter.

2. Kondisi lingkungan

- a. dosimeter sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama penggunaan, penyimpanan, dan pengangkutannya. Pemilihan sistem dosimetri harus memikirkan kelayakan jenis dosimeter terhadap kondisi lingkungan; dan
- b. cahaya, panas dan kelembaban udara sangat mempengaruhi kinerja dosimeter. Setiap jenis sistem dosimetri dan desain dosimeternya dapat mempengaruhi kinerja dosimeter.

3. Sumber Radiasi

Karakteristik medan radiasi dimana pekerja akan terpapar merupakan hal yang sangat penting dalam pemilihan sistem dosimetri. Energi dan jenis radiasi yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sistem dosimetri adalah :

- a. Energi Foton Tinggi dengan Energi 100 keV sampai dengan 3 MeV

Semua sistem dosimetri pada umumnya dapat mengukur Hp(10) pada energi foton tinggi dengan energi 100 keV sampai dengan 3 MeV. Foton dalam rentang energi ini dapat ditemukan di sekitar reaktor, fasilitas radioterapi, radiografi industri, dan di sekitar akselerator.

b. Energi Foton 12 keV sampai dengan 100 keV

Beberapa sistem dosimetri umumnya dapat mengukur Hp(10) untuk foton energi antara 12 keV – 100 keV. Energi radiasi foton ini banyak ditemukan dalam diagnostik sinar-X, pada radionuklida ^{241}Am dan peralatan sinar-x untuk kristalografi dan penelitian lain.

c. Energi Foton Lebih Besar 3 MeV

Beberapa sistem dosimetri umumnya dapat mengukur Hp(10) untuk foton yang energinya lebih besar dari 3 MeV. Sumber radiasi utama adalah sinar gamma dari peluruhan ^{16}N yang dihasilkan, jika neutron termal berinteraksi dengan udara dan yang dihasilkan akselerator energi tinggi.

d. Sinar-x dibawah Energi 12 keV, Sinar Beta, dan Positron

Ada beberapa dosimeter yang dapat mengukur Hp(0.07) juga dapat mengukur Hp(10). Sinar beta, positron, dan elektron dapat ditemukan dari sumber radionuklida atau fasilitas penelitian.

e. Neutron

Hanya beberapa sistem dosimetri yang dapat mengukur Hp(10) radiasi neutron. Neutron dapat ditemukan di sekitar reaktor nuklir dan dari sumber neutron seperti Am-Be, ^{252}Cf .

4. Pertimbangan Operasional

a. Lingkup Pelayanan

Pemilihan sistem dosimetri perlu mempertimbangkan:

- 1) kebutuhan pelanggan;
- 2) jenis, energi, dan tingkat radiasi dalam lingkungan kerja; dan
- 3) ukuran atau skala pelayanan yang diperkirakan.

Dosimetri personel selain dapat mengukur Hp(10), juga dapat mengukur Hp(0.07), tergantung pada jenis radiasi, energi, dan kondisi penyinaran. Pengukuran lain juga diperlukan, seperti Hp(3) untuk lensa mata, dosis ekstrimitas, dan pengukuran dosis dalam keadaan darurat nuklir, seperti misalnya dosimeter kekritikan.

b. Persyaratan Legal untuk Retensi Informasi Dosimetri

BAPETEN mensyaratkan bahwa setiap pengguna zat radioaktif atau sumber radiasi lainnya diwajibkan untuk memantau dosis yang diterima oleh semua pekerja radiasinya dan mencatat hasil pantauan atau evaluasi tersebut kedalam kartu dosis.

Instansi atau badan PPDP wajib memberikan laporan hasil evaluasi dosis kepada BAPETEN. Selain itu, pelanggan harus melampirkan hasil evaluasi dosis para pekerjanya apabila akan memperpanjang izin penggunaan zat radioaktif dan sumber radiasi lainnya.

c. Persyaratan untuk Staf Pelaksana

Pemilihan sistem dosimetri yang akan digunakan dalam suatu instansi atau badan PPDP sangat berpengaruh terhadap penentuan tingkat keahlian staf yang dibutuhkan, makin canggih peralatan maka makin tinggi kualifikasi staf yang diperlukan. Para staf pelaksana selain mempunyai kualifikasi yang sesuai juga harus berpengalaman, dan mendapat pelatihan yang memadai.

Ruang lingkup pelatihan yang memadai untuk staf pelaksana pelayanan adalah yang berhubungan dengan :

- 1) falsafah dasar dan strategi pengkajian dosis eksterna;
- 2) prinsip, rincian metode, prosedur yang digunakan, dan pembatasannya;
- 3) rincian teknis dan potensi masalah suatu proses yang terkait;
- 4) pekerjaannya yang merupakan bagian dari program;
- 5) pedoman pada pengenalan dan pelaporan masalah yang timbul; dan
- 6) pengetahuan tentang sistem mutu secara keseluruhan dan tujuannya.

5. Ketersediaan dan Keandalan Sumber Daya

a. Listrik

Keandalan dan kestabilan pasokan listrik sangat dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan sistem dosimetri. Instansi atau badan PPDP perlu mempunyai cadangan tenaga listrik untuk mengantisipasi terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan.

b. Air

Diperlukan pasokan yang dapat diandalkan dengan kualitas yang memadai untuk memproses film, apabila film digunakan untuk dosimetri.

c. Pemasok

Untuk kelancaran pelayanan harus tersedia pemasok dosimeter dan sistem pemroses dosimeter yang berkualitas. Contohnya, untuk sistem TLD memerlukan pasokan nitrogen bebas oksigen (*white spot*).

6. Falsafah Pemeliharaan

- a. kemudahan pemeliharaan peralatan harus merupakan salah satu pertimbangan dalam pemilihan sistem dosimetri yang akan digunakan;
- b. alat baca TLD, RPL, dan OSL bersifat khusus, memerlukan perawatan dan pemeliharaan oleh seorang teknisi yang terlatih;
- c. umumnya, perawatan atau pemeliharaan densitometer film dan peralatan sistem pemroses film dapat dilakukan oleh teknisi instansi atau badan PPDP;
- d. semua jadwal pemeliharaan baik *on-site* ataupun *of-site* dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan harus sudah dipertimbangkan, termasuk jika terjadi kegagalan peralatan yang diperlukan dalam pelayanan dosimetri; dan
- e. mendesain suatu sistem yang tidak hanya bergantung pada satu peralatan tunggal yang kritis, menyediakan peralatan identik yang dapat menangani sebagian pekerjaan, sebagai contoh, akan lebih efektif jika membeli dua buah alat baca TLD daripada satu model alat baca TLD yang lebih canggih yang dapat dua kali lebih mahal.

7. Pertimbangan Biaya

- a. Biaya Total Pelayanan (*total life cost*) dan Harga Dosimeter

Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan antara lain :

- 1) biaya awal pengadaan peralatan dan beberapa perubahan atau modifikasi yang diperlukan untuk prasarana, seperti ruang gelap, peralatan pengontrol temperatur;
- 2) biaya pemeliharaan peralatan selama pelayanan berlangsung;
- 3) biaya awal dosimeter;
- 4) biaya penggantian selanjutnya;
- 5) biaya untuk staf yang diperlukan dalam pelayanan atau honor pekerja;
- 6) biaya yang diperlukan untuk pengadaan bahan yang habis pakai, seperti film, zat kimia untuk proses film, ATK; dan
- 7) biaya-biaya yang akan timbul apabila kalibrasi dilakukan, biaya pengiriman, pembungkusan atau biaya-biaya lain yang ada hubungannya dengan pengiriman dosimeter.

Pemilihan sistem dosimetri tergantung pada modal awal yang tersedia. Pertimbangan atas harga dosimeter adalah sebagai berikut :

- 1) TLD, OSL, RPL, dan EPD *badge* semua ini mahal harganya dan harga total *badge* dapat melebihi biaya peralatan bacanya. Hal ini dapat merupakan faktor penting jika laju hilangnya dosimeter di lapangan cukup berarti. Kadang di suatu negara, laju kehilangan 2% perpengeluaran merupakan hal yang umum apabila dosimeter diawasi secara ketat dan kehilangan karena pengangkutan atau pengiriman dapat diabaikan. Dosimeter cadangan disarankan sekitar 3 (tiga) kali jumlah personel yang dipantau dan biasanya dibutuhkan untuk memenuhi tuntutan pelanggan, baik yang dikirim, diproses dalam laboratorium, maupun yang digunakan untuk mengukur radiasi latar dan kalibrasi;
 - 2) harga film hanya merupakan bagian kecil dari biaya total penyediaan setiap dosimeter yang akan keluar, misalnya pelabelan, pengiriman pos, pemrosesan, pembacaan, perhitungan dosis, dan pencatatan dosis. *Holder* film juga relatif tidak mahal;
 - 3) pertimbangan lain dengan desain berbagai dosimeter, baik hal itu mengirim kembali dosimeter secara lengkap, film atau TLD dalam *holdernya* ke laboratorium atau hanya isinya saja misalnya berupa film atau TLD kartunya saja, untuk dilepas dari *badgenya* dalam pengiriman; dan
 - 4) EPD lebih mahal dalam pengadaannya tetapi lebih murah dalam penggunaannya. Tidak perlu pengadaan untuk seluruh personel yang ada, cukup hanya untuk personel yang melakukan tugas pada suatu waktu dan beberapa buah tambahan untuk keperluan kalibrasi atau bila ada yang rusak.
- b. Biaya Peralatan dan Perawatan Dosimetri
- 1) dosimetri film fotografi memerlukan peralatan yang sangat sederhana dan murah tetapi memerlukan fasilitas ruang gelap yang baik;
 - 2) untuk sistem TLD, sistem pembacaan yang tersedia adalah manual, yaitu dengan memasukkan dan mengambil setiap dosimeter dengan tangan dari *badge* dosimeter maupun ke alat bacanya, sampai alat baca TLD yang semua serba otomatis, yang dapat membaca ratusan dosimeter dan cocok untuk sistem pelayanan skala besar;

- 3) OSL dan RPL merupakan teknik yang membutuhkan peralatan yang spesifik dan mahal yang mungkin tidak tersedia bebas di pasaran;
- 4) alat baca EPD relatif lebih murah dan sederhana;
- 5) sedang untuk sistem dosimeter jejak etsa memerlukan peralatan yang spesifik dan mahal, namun tersedia di pasaran;
- 6) biaya perawatan dan perbaikan peralatan utama dan atau penunjang untuk menjaga operasional laboratorium adalah hal penting dan harus dievaluasi pada setiap awal tahun;
- 7) perawatan dilakukan oleh staf pelayanan, memerlukan pelatihan yang diberikan oleh personel yang ahli di bidangnya atau personel dari pemasok peralatan atau organisasi servis yang berkaitan yang telah teruji dan diakui;
- 8) pemeliharaan dan perawatan di tempat (*on-site*) dilakukan oleh teknisi dari luar instansi. Teknisi tersebut dapat berasal dari bagian organisasi dosimetri yang bertanggung jawab terhadap beberapa laboratorium, pemasok atau organisasi lain yang telah teruji dan diakui;
- 9) pengangkutan peralatan ke fasilitas pusat, waktu perbaikan, termasuk pengangkutan dan waktu selama di fasilitas servis, yaitu ketika peralatan tidak dapat digunakan, harus ditentukan. Rencana untuk keadaan yang tidak terduga harus dibuat bersama pemasok.

c. Perbandingan Sistem Dosimetri

Untuk mempermudah pemilihan suatu sistem dosimetri yang layak sesuai kondisi setempat, berikut ini adalah Tabel 3 yang menjelaskan beberapa karakteristik dosimeter dan peralatan yang diperlukan :

Tabel 3. Perbandingan Karakteristik Dosimeter

No	Parameter	Film	TLD	EPD
1.	Detektor ekivalen jaringan	-	+	-
2.	Cocok untuk radiasi foton (12	+	+	+
3.	Cocok untuk radiasi beta (200	±	+	- sampai +
4.	Cocok untuk netron	termal	Albedo	-
5.	Cocok untuk dosimetri	-	+	-
6.	Linier terhadap dosis	-	+	+
7.	Rentang dosis untuk Hp(10) rendah	0,1 mSv 10 Sv	0,01 mSv 2 Sv	0,002 mSv 100 Sv
8.	Keakurasian	+	+	+
9.	Ketelitian	±	+	+
10.	Kestabilan jangka panjang	-	+	+
11.	Peka terhadap temperatur	ya	tidak	tidak
12.	Peka terhadap kelembaban	ya	tidak	tidak
13.	Peka terhadap cahaya	ya	sedikit	tidak
14.	Informasi energi radiasi	ya	Ya-tidak	tidak
15.	Catatan permanen	ya	kurva	ya
16.	Kompleksitas alat baca	sederhana	kompleks	kompleks
17.	Harga dosimeter	sangat rendah	rendah-menengah	Sangat mahal
18.	Harga alat baca- manual	sangat tinggi	menengah	nil
19.	Harga alat baca- semi otomatis	tinggi	tinggi	rendah
20.	Harga alat baca- otomatis	sangat tinggi	sangat tinggi	menengah
21.	Tingkat keahlian yang diperlukan untuk	sangat rendah	sangat tinggi	sangat tinggi

BAB IV
PENGOPERASIAN PELAYANAN
PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA PERORANGAN

A. Umum

Instansi atau badan PPDP secara khusus bertanggung jawab atas semua pengaturan kegiatan yang menyangkut pengukuran, pencatatan, dan pelaporan dosis perorangan. Kegiatan tersebut meliputi penggunaan tipe dosimeter, periode pemakaian dosimeter, akuntansi dosimeter, pelaporan dosis, pencatatan dosis, dan persyaratan pelaksanaan kegiatan lainnya.

Pengoperasian suatu dosimeter memerlukan pengetahuan, antara lain tentang sumber radiasi yang dipantau, tipe dosimeter yang digunakan, dengan pertimbangan akurasi, tingkat dosis yang diukur, dan biaya. Suatu tipe dosimeter yang digunakan harus dipastikan dalam kondisi baik dan siap pakai, serta telah diberi label atau identifikasi sesuai dengan identifikasi yang diberikan oleh instansi atau badan PPDP. Pelabelan atau identifikasi secara umum meliputi informasi secara khusus untuk pekerja dan organisasi atau fasilitas pelanggan.

B. Penanganan dan Pemrosesan Dosimeter

Urutan prosedur harus diikuti untuk menjamin bahwa dosimeter yang tidak dievaluasi tidak akan diterbitkan ulang dan harus dilakukan pengawasan yang ketat dan hati-hati pada saat datang dan keluarnya dosimeter dari laboratorium.

Pengalaman menunjukkan bahwa, walaupun terdapat struktur organisasi pelayanan yang sempurna, namun masalah dapat timbul ketika ditemukan banyak penyimpangan dari pola normal. Khusus untuk pelayanan dosimetri yang besar perlu menggunakan sistem otomatis, seperti penggunaan komputer yang dapat mengawasi berbagai proses, menangani semua penyimpangan, dan memerlukan tindakan segera.

Beberapa penyimpangan yang mungkin terjadi, antara lain :

1. dosimeter tidak dibungkus oleh pelanggan saat dikirim ke laboratorium;
2. dosimeter tidak kembali atau terlambat;
3. dosimeter hilang dalam pengiriman;
4. identifikasinya rusak;
5. *holder* rusak;

6. detektor hilang atau rusak;
7. dosimeter terkontaminasi; dan atau
8. dosimeter teriradiasi oleh jenis radiasi yang seharusnya tidak diukur.

C. Otomatisasi

Keuntungan dari sistem otomatisasi adalah sistem tersebut dapat mengatasi atas kesalahan atau kelalaian manusia dalam pemrosesan, sehingga dapat meningkatkan ketelitian dan kecepatan pelayanan.

D. Akuntabilitas Dosimeter.

Pelanggan bertanggung jawab atas akuntabilitas dosimeter dan tujuan penggunaan semua dosimeter yang diterima. Penggunaan dosimeter harus diawasi dan pergantian dosimeter harus sesuai jadwal yang ditetapkan, hal ini penting diperhatikan agar tercapai ketelitian dan ketepatan waktu yang telah ditentukan.

E. Persyaratan dalam Penggunaan Dosimeter.

Untuk melakukan pemantauan dosis perorangan yang andal, diperlukan kerjasama yang baik dan pelayanan berkualitas tinggi terhadap pemakai. Berikut ini hal-hal yang harus diperhatikan oleh para pemakai yaitu :

1. mengikuti prosedur yang berlaku untuk keselamatan radiasi yang telah ditetapkan oleh pengusaha instalasi atau pemegang izin;
2. menggunakan peralatan pemantauan, peralatan pelindung, dan pakaian yang disediakan;
3. bekerja sama dengan pengusaha instalasi atau pemegang izin untuk tujuan perlindungan dan keselamatan serta pelaksanaan program kesehatan radiologi dan pengkajian dosis;
4. memberikan informasi mengenai riwayat pekerjaan yang terdahulu dan yang sedang berlangsung kepada pengusaha instalasi atau pemegang izin untuk menjamin perlindungan dan keselamatan yang efektif dan komprehensif;
5. menjauhkan diri dari tindakan yang dapat merugikan mereka sendiri atau orang lain yang berada dalam situasi yang bertentangan atau melanggar persyaratan; dan
6. menerima informasi, instruksi, dan pelatihan yang berkaitan dengan perlindungan dan

keselamatan, sehingga dapat melakukan pekerjaannya sesuai dengan persyaratan.

Jika pekerja dapat mengidentifikasi keadaan yang mempengaruhi kepatuhan terhadap pedoman, maka sesegera mungkin melaporkan tentang keadaan tersebut kepada pemegang izin atau pengusaha instalasi.

Untuk membantu pemakai mematuhi persyaratan ini, instansi atau badan PPDP harus memberikan petunjuk yang jelas bagi setiap pemakai dosimeter, dengan tujuan untuk menunjukkan apa yang boleh dilakukan dan yang tidak boleh dilakukan dalam pemakaian dosimeter tersebut.

Isi petunjuk antara lain :

1. pakailah dosimeter anda pada setiap waktu, saat melakukan tugas di medan radiasi;
2. pastikan bahwa anda memakai dosimeter anda sendiri;
3. pastikan bahwa dosimeter yang tidak digunakan, tidak disimpan pada tempat dengan latar medan radiasi tinggi;
4. kembalikan dosimeter dengan segera setelah periode pemakaian berakhir;
5. jaga dosimeter anda dan jangan hilang;
6. jaga dosimeter anda, jangan rusak dalam segala keadaan, dan jangan dibuka; dan
7. jangan biarkan dosimeter anda diletakkan pada keadaan temperatur tinggi atau kelembaban udara tinggi.

F. Kalibrasi

Dosis yang digunakan untuk kalibrasi rutin suatu dosimeter atau kelompok dosimeter dan untuk pemeriksaan operasi rutin alat baca, hendaknya mengikuti standard nasional atau internasional. Instansi atau badan PPDP dapat memiliki fasilitas kalibrasi sendiri dengan menggunakan standard yang tertelusur atau dosimeter acuan yang dapat dikirim ke suatu fasilitas kalibrasi, untuk mendapatkan penyinaran dosis acuan. Jika menggunakan sumber lokal, laju dosis harus dicek paling sedikit 1 (satu) kali setahun. Untuk tujuan ini, jika suatu standard yang tertelusur tidak tersedia, dosimeter personel yang terpapar oleh dosis acuan dapat digunakan sebagai standard pengalihan (*transfer*).

G. Kendali Mutu

Pemrosesan dosimeter harus dilakukan oleh staf yang terlatih dan memiliki pengetahuan. Semua data kendali mutu harus dicatat. Ukuran kendali mutu hendaknya

dapat menginterpretasikan pemrosesan dosimeter personel agar dapat mendeteksi keadaan abnormal. Data kendali mutu harus dapat mengidentifikasi dosimeter yang rawan terhadap hal-hal spesifik. Idealnya, terdapat data yang cukup untuk memperoleh dosis yang benar untuk dilaporkan sebagai hasil dosimeter rawan tersebut.

Data kendali mutu antara lain :

1. sinyal elektronik awal untuk setiap pembacaan dosimeter;
2. pemrosesan sejumlah dosimeter yang dipakai harus diikuti dengan pemrosesan dosis kontrol, misalnya setiap 50 (limapuluh) buah dosimeter yang terpakai, ada 1 (satu) buah dosis kontrol; dan
3. pemrosesan dosimeter audit yang terpapar berbagai jenis sumber radiasi dan tingkat dosis sesuai dengan rentang kondisi lingkungan kerja.

H. Persetujuan Dosis

Dosis yang dilaporkan harus disetujui oleh Manajer Teknis berdasarkan hasil pemrosesan dosimeter dan data kendali mutu. Jika terdapat penyimpangan dari prosedur rutin, hal tersebut harus didokumentasikan. Modifikasi terhadap data pemrosesan awal harus dicatat pada catatan yang dikomputerisasi dan dijelaskan dalam dokumentasi proyek. Formula atau algoritma yang digunakan untuk menghitung dosis harus dicatat pada catatan dosis akhir, untuk digunakan sebagai cara dalam menetapkan dosis yang dilaporkan. Catatan data pemrosesan yang tersedia harus dapat menunjukkan nilai pemrosesan yang dilakukan.

BAB V

JAMINAN MUTU

A. Umum

Jaminan Mutu merupakan konsep yang terdiri atas seluruh aspek manajemen, teknik, dan operasional pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan. Tujuan utama jaminan mutu adalah untuk menjamin akurasi dan kemampuan mempertahankan hasil evaluasi sesuai standardd yang telah ditentukan. Pelaksanaan jaminan mutu secara menyeluruh merupakan hal penting dalam memenuhi persyaratan, agar dapat membatasi potensi kesalahan yang serius.

B. Persyaratan-persyaratan Jaminan Mutu

Persyaratan jaminan mutu pada suatu pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan harus ditentukan dan didokumentasikan. Persyaratan harus ditetapkan untuk semua unsur pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan, termasuk manajemen, kepegawaian, tinjauan, pelayanan dosimetri apakah dilaksanakan di kalangan sendiri atau dari suatu pelayanan komersial, dan dukungan pelayanan dari setiap subkontraktor. Persyaratan diatas harus didasarkan pada potensi kesalahan yang mempengaruhi mutu dan kerumitan setiap kesalahan yang ditimbulkan. Keakurasian hasil evaluasi dosis didalam tingkat toleransi yang ditetapkan, merupakan bagian yang tak terpisahkan dari tujuan pokok pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan.

Dalam penentuan persyaratan jaminan mutu, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, meliputi jenis radiasi, yaitu radiasi beta, foton, dan atau netron, energi, dan pengukuran berkala pada tingkat dosis.

C. Pemasok Dosimeter

Pemilihan pemasok dosimeter merupakan keputusan dari pengelola pelayanan atau pelanggan.

D. Dokumentasi

Pendokumentasian seluruh kebijakan, kontrak, prosedur, pertanggungjawaban, dan penugasan pada pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan merupakan hal penting didalam suatu sistem pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan yang lengkap. Prosedur yang terdokumentasi harus dapat digunakan untuk semua pekerjaan yang

mempengaruhi mutu, misalnya mencakup kalibrasi peralatan pelayanan dosimetri, kendali mutu, dan pemrosesan. Pengadaan dosimeter, pengujian penerimaan, pelabelan, penyerahan, pertukaran, perhitungan dosis, pelaporan, dan pencatatan dosis juga memerlukan dokumentasi. Toleransi yang dapat diterima untuk kalibrasi, kendali mutu, dan atau data audit harus didokumentasikan.

E. Panduan Mutu

Pada panduan ISO 25 dan Pedoman BSN No.01. Tahun 1991 mensyaratkan perlunya suatu panduan mutu yang berisi penjelasan mengenai sistem mutu pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan. Panduan mutu berisi unsur-unsur sistem mutu yang menyeluruh, sebagai berikut :

1. kebijakan, tujuan, dan komitmen sistem mutu manajemen;
2. penugasan kepegawaian, tanggung jawab, dan kewenangan;
3. pelatihan personel dan kecakapannya;
4. prosedur teknik yang terdokumentasi, pengendalian, dan pemeliharaan prosedur;
5. daftar pelayanan atau kalibrasi laboratorium dan tinjauan terhadap pekerjaan baru, untuk menjamin fasilitas dan sumber daya yang sesuai telah tersedia sebelum dimulainya pekerjaan tersebut;
6. prosedur harus diikuti sebagai umpan balik dan tindakan perbaikan pada saat ketidaksesuaian terdeteksi atau dimulai dari kebijakan yang terdokumentasi dan prosedur-prosedur yang ada;
7. kebijakan manajemen laboratorium harus diikuti, untuk melakukan segala sesuatu dimulai dari kebijakan dan prosedur atau rincian standard;
8. kegiatan dan upaya manajemen laboratorium untuk menangani keluhan;
9. prosedur untuk melindungi kerahasiaan dan hak-hak pemilik; dan
10. prosedur untuk audit dan penilaian.

F. Organisasi Dan Manajemen

1. struktur organisasi, bagan organisasi, dan manajemen pelayanan dosimeter harus dicantumkan didalam panduan mutu. Hubungan antara manajemen, operasi teknik, pelayanan pendukung, dan sistem mutu harus terdokumentasi;
2. kebijakan dan komitmen organisasi terhadap mutu sistem operasi harus didefinisikan dengan jelas;

3. kualifikasi dan tanggung jawab manajer teknik dan manajer mutu atau jabatan yang setara harus didefinisikan, dan umumnya mencakup pengalaman dalam memimpin pelayanan dosimetri;
4. manajer mutu harus mempunyai akses langsung ke tingkat manajemen tertinggi yang menentukan kebijakan rutin, antara lain dalam organisasi, penempatan pegawai, dan alokasi sumber daya; dan
5. jika terdapat lebih dari satu laboratorium, subfasilitas, dan atau subkontraktor, maka panduan mutu harus ditujukan kepada manajemen dan kegiatan-kegiatan organisasi yang digunakan untuk menjamin keterpaduan kebijakan sistem mutu yang dapat melintas semua unsur pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan.

G. Personel

Persyaratan atau kualifikasi personel, tugas, dan tanggung jawab personel yang berkaitan dengan pengoperasian suatu pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan harus didokumentasikan. Umumnya, hal ini memuat penjelasan mengenai tugas, persyaratan pengalaman, tanggung jawab, kewenangan, dan persyaratan kecakapan yang berkelanjutan. Selain itu, berisi tentang pelatihan yang diperlukan untuk melatih personel, menilai kecakapan untuk penempatan personel, dan mencakup pelatihan kerja atau magang. Periode waktu yang digunakan untuk menyatakan bahwa pelatihan personel telah cukup memuaskan harus ditentukan. Untuk mengkalibrasi dan mengoperasikan pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan harus ditunjuk personel yang terlatih dan cakap dengan kinerja yang baik. Personel tersebut harus mengerjakan tugas-tugas pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan berdasarkan kinerja yang ditunjukkan pada pekerjaan yang dilaksanakan.

H. Prosedur

Prosedur yang terdokumentasi harus tersedia untuk seluruh kegiatan yang mempengaruhi mutu. Seluruh prosedur yang diperlukan secara umum harus tertulis dan menggunakan format standard yang mendefinisikan cakupan dasar, penerapan, acuan, peranan personel yang berpengaruh, pencegahan, dan persyaratan pencatatan, sesuai dengan prosedur instruksi teknik. Prosedur tersebut harus jelas, sehingga personel yang akan menggunakan tidak membutuhkan panduan tambahan. Penilaian ulang terhadap prosedur baik isi maupun penerapannya harus dilakukan secara berkala.

I. Persyaratan Fasilitas

Mutu instansi atau badan PPDP sangat tergantung pada persyaratan fasilitas, termasuk persyaratan tentang ruangan, kondisi ruangan misalnya suhu dan kelembaban, ventilasi, pencahayaan, pelistrikan, dan pemipaan. Untuk pelayanan dosimeter dalam kalangan sendiri, diperlukan suatu jalur listrik khusus dengan kemampuan pencatu daya tak terputuskan (UPS). Untuk film fotografi, diperlukan sebuah ruang gelap untuk mencuci film. Untuk sistem dosimetri luminesensi, diperlukan antara lain nitrogen, hampa udara, dan udara tekan untuk mengoperasikan peralatan dosimetri. Dalam beberapa kasus, persyaratan penerangan yang khusus diperlukan untuk memperkecil dampak potensial pada sistem dosimetri. Ruang yang memadai diperlukan untuk melaksanakan pengelolaan pemakaian dan pertukaran dosimeter.

J. Mampu Telusur

Keefektifan pengoperasian suatu instansi atau badan PPDP sangat tergantung pada ketersediaan peralatan dan ketepatan pengoperasiannya. Peralatan yang memadai diperlukan untuk memberi label, menilai, dan mengganti dosimeter, untuk selanjutnya mencatat dan melaporkan dosis kepada petugas secara individual dan atau organisasi. Metode yang digunakan untuk dosimetri harus mampu telusur pada standard kalibrasi dan pengukuran tingkat nasional dan atau internasional. Persyaratan kalibrasi peralatan utama, peralatan penunjang, dan metode yang digunakan harus tercantum dalam prosedur pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan.

K. Kendali Mutu dan Dosimeter Audit

Operasi instansi atau badan PPDP harus meliputi:

1. kendali mutu rutin pemrosesan dosimeter yang disinari sampai tingkat dosis yang diketahui;
2. kendali mutu rutin pemrosesan dosimeter yang tidak disinari, yaitu dosis nol; dan
3. pemrosesan dosimeter audit yang identik dengan dosimeter yang digunakan pada personel.

Harus ditentukan tingkat toleransi bagi setiap jenis kendali mutu dan data dosimeter audit, untuk menentukan dapat tidaknya kinerja diterima, misalnya penyimpangan antara dosis yang diberikan dengan dosis hasil hitungan. Umumnya, evaluasi kendali mutu dan kinerja dosimeter audit yang akan dikelola oleh personel tidak mencakup pemrosesan

dosimeter rutin. Seluruh prosedur harus tersedia untuk mengevaluasi penyebab pokok setiap kinerja yang tidak dapat diterima dan untuk mengevaluasi kecukupan data dosimeter rutin yang diproses melalui kendali mutu yang dapat diterima terakhir dan atau hasil dosimeter audit terakhir. Penyinaran dosimeter kendali mutu dan dosimeter audit harus meliputi jenis radiasi, rentang energi, dan dosis yang diukur oleh instansi atau badan PPDP. Harus ditempuh tindakan untuk menjamin personel yang memproses pemantauan dosis eksterna perorangan melaksanakan evaluasi perbandingan antara dosis yang diberikan dan dosis yang dihitung secara objektif. Kinerja instansi atau badan PPDP secara keseluruhan akan baik jika peralatan, bahan, dan semua proses terjaga secara seksama di bawah kendali mutu. Salah satu cara untuk mengetahui baik tidaknya kinerja instansi atau badan PPDP dapat dilakukan dengan simulasi dan melakukan program uji banding antar instansi atau badan PPDP.

L. Hubungan dengan Sistem-sistem Pendukung

Instansi atau badan PPDP umumnya mempunyai hubungan dengan berbagai sistem informasi lain, seperti informasi mengenai personel, pencatatan radiologik, dan fisika kesehatan pekerja. Sistem informasi personel berisi tentang informasi yang diperlukan untuk penetapan sebuah dosimeter dan dosis terukur secara perorangan. Sistem pangkalan data catatan radiologik yang lengkap, meliputi semua hasil evaluasi dosis untuk setiap orang yang dipantau harus selalu dimutakhirkan.

M. Tinjauan

Tinjauan terhadap kegiatan ini perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui sejauh mana kegiatan ini sesuai dengan tujuan sistem mutu. Tinjauan manajemen harus dikelola secara rutin, termasuk organisasi, manajemen, dokumentasi, personel, fasilitas, peralatan, dan kegiatan teknik proyek. Sebagai tambahan, kinerja pelayanan dosimeter harus diukur melalui partisipasi dalam uji banding antar instansi atau badan PPDP, pengujian jenis atau kinerja. Agar pengujian ini efektif, maka tidak boleh ada perbedaan antara yang dikerjakan personel dan yang digunakan dalam pengujian.

BAB VI

SISTEM PENCATATAN DAN PELAPORAN

A. Tujuan

Sistem pencatatan dan pelaporan dosis adalah pencatatan dan pemeliharaan terhadap semua informasi yang menyangkut pemrosesan dosimeter perorangan, mekanisme pelaporan dosis dan hal-hal yang mendukung keabsahan penerimaan dosis pekerja.

Tujuan sistem ini adalah untuk :

1. mendapatkan informasi yang lengkap tentang riwayat penerimaan dosis kerja; dan
2. mendapatkan informasi penelusuran kalibrasi peralatan dosimetri dan proses evaluasi dosis.

B. Pencatatan Pemrosesan Dosimeter

Hal-hal yang perlu dicatat dan dipelihara dalam pemroses dosimeter pada instansi atau badan PPDP adalah :

1. nama dan nomor identitas pemakai dosimeter;
2. jenis dosimeter yang digunakan;
3. kondisi ruang dan sistem pemroses dosimeter;
4. data kalibrasi sistem pemroses dosimeter;
5. data asli atau langsung pemrosesan dosimeter;
6. langkah-langkah perhitungan dosis yang dilaporkan; dan
7. data pendukung lainnya dalam pemrosesan.

C. Pemeliharaan Pencatatan Dosis

Pemeliharaan pencatatan dosis adalah sistem pembuatan dan pemeliharaan catatan agar tetap terjaga keamanannya dan memudahkan pencarian informasi. Catatan tersebut antara lain harus :

1. memberikan dukungan dalam membuat suatu keputusan;
2. menunjukkan dan memudahkan kepatuhan pada pengaturan;
3. menjadi rujukan jika dilakukan rekonstruksi hasil pada saat tertentu; dan
4. memudahkan koordinasi dengan pencatatan lain, seperti pencatatan pemantauan daerah kerja.

D. Pelaporan Dosis Perorangan

1. Instansi atau badan PPDP harus melaporkan hasil pemrosesan dosimeter perorangan secara periodik kepada pelanggan dan BAPETEN;
2. laporan hasil evaluasi dosis perorangan harus jelas, informatif, dan disahkan oleh manajer teknis; dan
3. pelanggan atau pengusaha instalasi wajib memberikan informasi mengenai laporan penerimaan dosis ini kepada para pekerjanya.

E. Penerimaan Dosis Berlebih

1. Yang dimaksud dosis berlebih adalah :
 - a. dosis yang diterima pekerja melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) yang diizinkan;
 - b. dosis yang diterima pekerja melebihi NBD, tetapi di bawah dosis ambang efek deterministik; atau
 - c. dosis yang diterima pekerja melebihi atau sekitar dosis ambang efek deterministik.
2. Jika ditemukan dosimeter perorangan yang diproses menunjukkan salah satu kriteria di atas, maka pelaksana harus segera melaporkan hasil pemrosesan sementara kepada penanggung jawab proses dosimetri agar segera dilakukan investigasi. Sementara itu, pihak penanggung jawab proses mengoreksi hasil perkiraan dosisnya dengan memperhatikan faktor-faktor yang dapat mendukung terjadinya kesalahan perkiraan dosis. Hasil investigasi penanggung jawab proses dilaporkan kepada penanggung jawab pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan untuk klarifikasi dosis tersebut.
3. Segera membuat laporan resmi kepada pelanggan dan BAPETEN.
4. Jika pekerja menerima dosis radiasi ≥ 2 NBD tahunan, laporan tersebut harus diberikan catatan bahwa yang bersangkutan perlu dilakukan pemeriksaan kesehatan khusus oleh tenaga medis yang berpengalaman dan mempunyai pengetahuan tentang efek deterministik.

ANAK LAMPIRAN
KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 02-P/Ka-BAPETEN/I-03
TENTANG
SISTEM PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA
PERORANGAN

Gambar 1 : Contoh *Holder Film*

Gambar 2 : Kepekaan Film terhadap Energi Radiasi

Gambar 3 : Kurva Kalibrasi Film

Gambar 4 : Satu Jenis Alat Baca TLD

Gambar 5 : Kurva Pancar TLD -LiF

Gambar 6 : Contoh TLD dan *Holder*