

LAYANAN PEMANTAUAN DOSIS TARA PERORANGAN EKSTERNAL DI LABORATORIUM KESELAMATAN, KESEHATAN, DAN LINGKUNGAN PTKMR – BATAN^{*)}

Nur Rohmah, Tuyono, Nina Herlina dan Rofiq Syaifudin

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

- Jalan Cinere Pasar Jumat, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070

PENDAHULUAN

Pada saat ini perkembangan pemanfaatan radiasi pengion di berbagai bidang terutama industri dan kesehatan semakin meningkat seiring dengan laju perkembangan pemanfaatan iptek nuklir di berbagai bidang. Pemanfaatan radiasi pengion disamping memberikan manfaat, juga dapat memberikan dampak radiologis atau resiko terkena pajanan radiasi bagi para pekerja selama melaksanakan pekerjaannya. Dalam pemanfaatan radiasi pengion, faktor keselamatan terhadap para pekerjanya harus mendapat prioritas utama. Hal tersebut didasarkan pada Peraturan Pemerintah (PP) RI No.63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Radiasi Pengion ($\alpha, \beta, \gamma, x, n$), yang umum disebut keselamatan radiasi. Dalam pasal 10 disebutkan bahwa “Pengusaha instalasi harus mewajibkan setiap pekerja radiasi untuk memakai peralatan pemantau dosis perorangan, sesuai dengan jenis instalasi dan sumber radiasi yang digunakan (ayat 1)”. Untuk itu, para pekerja radiasi perlu memakai peralatan pemantau dosis perorangan untuk mendapatkan layanan pemantauan dosis tara perorangan secara rutin terutama dari sumber radiasi eksternal, sehingga dosis yang diterima

oleh para pekerja radiasi selama menjalankan pekerjaannya dapat diketahui. Sedangkan pada ayat 2 disebutkan bahwa “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”. Laboratorium Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan (LKKL) – Unit Keselamatan, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional merupakan laboratorium pengujian yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (LP-206-IDN) dan ditunjuk oleh Badan Pengawas (BAPETEN).

Struktur organisasi Unit Keselamatan – LKKL yang terdiri dari seorang manajer dan seorang deputi manajer, 2 orang penyelia dan 9 orang pelaksana, merupakan laboratorium pengujian/pemroses dosimeter perorangan. Jasa layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal dilakukan berdasarkan ISO/IEC 17025:2005 meliputi persyaratan manajemen dan teknis dengan menggunakan termoluminisensi dosimeter (TLD) dan dosimeter film.

Dalam pemakaiannya, baik TLD maupun dosimeter film dimasukkan ke dalam suatu *holder*

^{*)} Telah disampaikan pada Pertemuan Teknis “Hasil Interkomparasi Personal Dose Equivalent, Hp (10)”, Jakarta, 22 September 2006

(wadah), yang umum dikenal dengan *TLD* dan *film badge*, masing-masing untuk layanan pemantauan dosis tara perorangan di lingkungan BATAN dan di luar BATAN baik pemerintah maupun swasta (instansi/perusahaan/rumah sakit/laboratorium klinik). Sampai saat ini unit keselamatan telah memberikan jasa layanan *TLD* dan *film badge* kepada ± 412 institusi pemakai radiasi pengion dengan jumlah pekerja radiasi ± 4000 orang.

Setiap pekerja radiasi yang dipantau memerlukan 2 dosimeter, satu dosimeter digunakan saat melaksanakan pekerjaannya sementara dosimeter lain yang dipakai sebelumnya diproses dan dievaluasi. Sedangkan frekuensi pertukaran dosimeter disesuaikan dengan jenis dosimeter yang digunakan, yaitu 1 bulan untuk *film badge* dan 3 bulan untuk *TLD badge*. Untuk operasional rutin, penggunaan satu buah dosimeter yang dipasang di tubuh sudah cukup memadai, namun pekerja radiasi yang bekerja pada medan radiasi tak seragam, diperlukan tambahan dosimeter pada bagian tubuh. Umumnya, untuk radiasi dengan daya tembus kuat (radiasi gamma, sinar-X, neutron), dosimeter harus dipasang pada posisi dimana pajanan tertinggi pada permukaan tubuh diperkirakan akan terjadi dan biasanya dianggap berada di bagian depan tubuh setinggi dada [4].

Untuk maksud pemantauan perorangan, pemilihan dosimeter perorangan harus disesuaikan dengan situasi dan kondisi kerjanya, jenis radiasi, tingkat laju dosis daerah kerja dan tujuan pengendalian radiasi di tempat kerja. Disamping itu, dosimeter perorangan yang digunakan harus memenuhi persyaratan dosimetriknya yaitu mampu mengukur besaran dosis tara perorangan pada jaringan lunak di kedalaman 0,07 mm dan 10 mm di permukaan tubuh, yaitu $H_p(0.07)$ dan $H_p(10)$ sekaligus dan dosimeter yang dipilih juga mempunyai kegunaan praktis, artinya dosimeter tersebut harus dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya untuk pengukuran dosis tara perorangan seluruh tubuh maupun dosis ekstremitas [1,2].

Makalah ini bertujuan untuk memberikan gambaran sekilas tentang layanan dosis tara perorangan eksternal di Unit Keselamatan – LKKL, PTKMR BATAN. Diharapkan dari tulisan ini pembaca dapat memperoleh gambaran tentang jenis dosimeter perorangan yang digunakan untuk layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal (*film* dan *TLD badge*), mengetahui sistematika atau urutan pengujian/evaluasi *TLD* dan *film badge* serta metodologi penentuan dosis tara perorangan eksternal yang diterima oleh pekerja radiasi selama melaksanakan pekerjaannya.

LAYANAN PEMANTAUAN DOSIS TARA PERORANGAN EKSTERNAL

Unit Keselamatan – LKKL menggunakan *film* dan *TLD badge* untuk layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal.

1. *Film Badge*

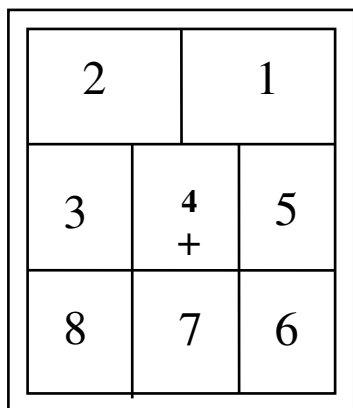
Film badge merupakan kombinasi dari dosimeter *film* Kodak tipe 2 (USA) dan holder *film* Chiyoda tipe AA (Jepang). Dosimeter *film* terbuat dari bahan selulosa asetat yang dilapisi bahan sensitif radiasi yang disebut emulsi pada salah satu atau kedua permukaannya. Emulsi itu terbuat dari gelatin dan komponen-komponen fotosensitif (peka cahaya) berupa *kristal-kristal perak bromida* ($AgBr$) yang tersebar merata dalam gelatin dan mampu mengabsorpsi radiasi yang datang. Berbeda dengan *film* fotografik biasa, dosimeter *film* ini terdiri atas dua lapisan yaitu lapisan emulsi cepat dan lambat. Kedua lapisan ini mempunyai reaksi yang berbeda ketika berinteraksi dengan radiasi pengion. Lapisan emulsi cepat akan cepat menghitam sehingga lapisan ini digunakan untuk memantau radiasi dosis rendah dan lapisan emulsi lambat tidak bereaksi terhadap dosis rendah, hanya bereaksi terhadap dosis tinggi. Sehingga jika suatu dosimeter *film* mendapatkan dosis tinggi, maka tingkat kehitaman (kerapatan optis) paduan kedua lapisan dapat melebihi kemampuan baca alat ukur. Untuk penanganannya dilakukan dengan

melepaskan bagian lapisan emulsi cepat dari dosimeter film, dan evaluasi dosis tingginya dihitung hanya berdasarkan pada tingkat kehitaman lapisan emulsi lambat.

Holder film Chiyoda dilengkapi dengan kombinasi beberapa filter dari bahan dan ketebalan yang berbeda (plastik, Al, Cu, Sn, Pb, Cd), yang mampu membedakan jenis dan energi radiasi yang datang [3-5]. Komposisi holder film terbagi dalam 8 kotak, yaitu satu kotak di bawah *open window* (tanpa filter) dan 7 kotak di bawah filter-filter tertentu.

Komposisi filter serta radiasi yang terukur pada *holder* disajikan pada Gambar 1.

- Sinar gamma pada rentang energi 80 keV – 3 MeV
- Sinar-X pada rentang energi 20 keV – 80 keV
- Sinar Beta pada rentang energi 0,5 keV – 3 MeV



Keterangan :

1. Open window (OW) tanpa filter
2. Filter Plastik-1 (Pl-1) tebal 0,5 mm
3. Filter Plastik-2 (Pl-2) tebal 1,5 mm
4. Filter Plastik-3 (Pl-3) tebal 3.0 mm
5. Filter Aluminium (Al) tebal 0,6 mm
6. Filter Copper (Cu) tebal 0,3 mm
7. Filter Tin (Sn) 0,8 mm + Lead (Pb) 0.4 mm (Sn/Pb)
8. Filter Cadmium(Cd) 0,8mm+Lead(Pb) 0.4mm(Cd/Pb)

Gambar 1. Komposisi filter pada *holder* film Chiyoda [5]

Dalam pemakaiannya, jika sebuah dosimeter fotografik terpajan radiasi pengion,

maka radiasi tersebut dapat memberikan proses fotokimia tertentu pada butir-butir emulsi sehingga emulsi menjadi hitam. Setelah diproses dalam larutan pengembang, tingkat kehitaman yang kemudian disajikan dalam derajat kehitaman sebanding dengan dosis pajanan. Film akan bertambah hitam jika energi radiasi yang diterima dosimeter fotografik bertambah besar. Selanjutnya dengan menggunakan kurva kalibrasi yang merupakan hubungan matematik antara derajat kehitaman dan dosis pajanan, maka dengan derajat kehitaman film diketahui dapat diperoleh dosis perorangan [1-4].

Karakteristik dosimeter film, yang digunakan dalam pemantauan dosis tara perorangan adalah ;

(1) *Fading* dan *Fogging*

Dosimeter film sangat terpengaruh pada suhu dan kelembaban. Penyimpanan dosimeter film yang relatif lama saat tidak terpakai pada ruangan dengan kondisi suhu dan kelembaban yang tinggi, menyebabkan film mengalami *fogging* sehingga dapat menyulitkan pembacaan atau bahkan tidak terbaca karena informasi di bawah filter-filter tertentu mengalami kerusakan. Disamping itu, informasi rapat optis juga dapat terpengaruh oleh waktu tunda antara saat film terpajan radiasi dan saat pemrosesannya atau waktu penyimpanan semakin lama setelah pemajanan sehingga dosimeter film akan mengalami pemucatan (*fading*). Untuk mengurangi gangguan pada informasi rapat optis, beberapa langkah yang biasa dilakukan adalah menyimpan dosimeter film yang tidak digunakan di ruangan berpendingin (AC) dan segera mengembalikannya kepada laboratorium penguji untuk dievaluasi setelah periode pemakaian berakhir.

(2) Rentang Pengukuran Dosis

Film *badge* dengan kombinasi dosimeter film Kodak tipe-2 dan *holder* Chiyoda mempunyai rentang pengukuran dosis dari 0,1 mSv–10 Sv.

(3) Tanggapan energi

Film *badge* mempunyai rentang tanggapan energi dari rendah hingga tinggi terhadap radiasi foton, seperti disajikan pada Gambar 3 dan karakteristik sumber radiasi foton standar dapat dilihat pada Tabel 1.

2. Dosimeter Termoluminisensi (TLD)

Secara garis besar, jenis bahan termoluminisensi dibedakan atas bahan dengan

nomor atom efektif [Z] rendah dan tinggi. Bahan dengan Z rendah seperti LiF dan Li₂B₄O₇, mendekati kesetaraan komposisinya dengan jaringan tubuh, sehingga umum digunakan pada pengukuran dosis tara perorangan foton (gamma dan sinar-X), beta dan neutron. Sedangkan bahan-bahan dengan Z tinggi seperti CaSO₄ (Z=15.1), digunakan untuk pemantauan perorangan dengan efisiensi tinggi. Disamping itu, bahan-bahan dengan tambahan ⁶Li atau ¹⁰B dapat digunakan pada pengukuran dosis neutron (*thermal*) [8].

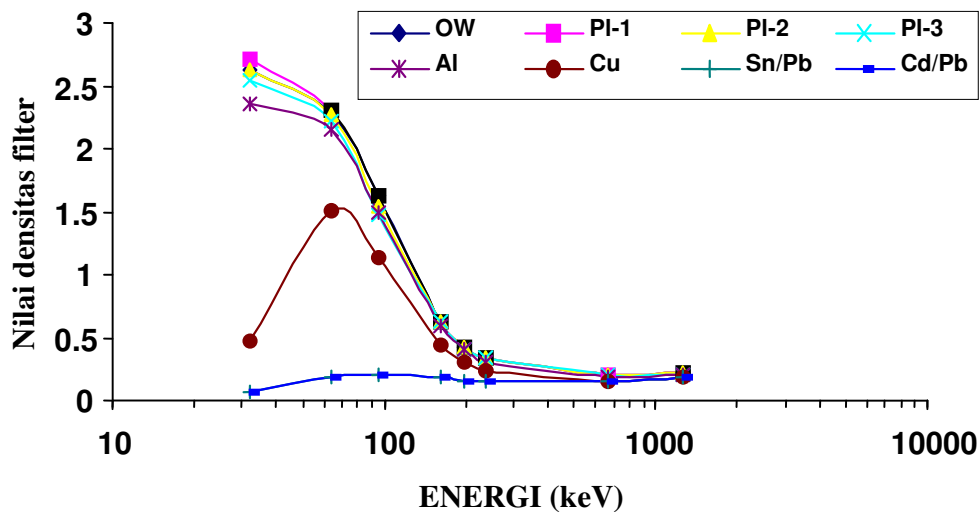


(a). Holder dan dosimeter film.



(b). Alat baca dosimeter film

Gambar 2. Peralatan pelayanan menggunakan film *badge*.



Gambar 3. Kurva energi foton terhadap film badge Kodak tipe 2

Tabel 1. Karakteristik sumber radiasi foton standar (γ dan sinar-X).

Arus (mA)	Tegangan Tabung (kV)	Tambahkan filter (mm)			Energi Rata-rata (keV)	Output (mR/jam)	Jarak (cm)	Waktu iradiasi (detik)
		Cu	Sn	Pb				
14	40	0,59	-		32,3	18	2	6897
20,0	80	2,81	-		63,8	83	3	1192
25,0	120	7,08	-		94,5	202	3	431
3,8	200	-	3,54	0,52	160,0	1439	3	379
3,4	250	-	1,52	1,99	197,0	1960	3	357
1,9	300	-	1,01	2,99	236,0	3800	3	369
-	Cs-137	-	-	-	662,0	-	2,181	6
-	Co-60	-	-	-	1250,0	-	2,637	3

Tabel 2. Data nilai kerapatan optis di bawah OW, PI-1, PI-2, PI-3, Al, Cu, Sn/Pb, Cd/Pb dari hasil penyinaran *film badge* dengan radiasi foton berbagai energi

Energi (keV)	Nilai Kerapatan optis di bawah filter							
	OW	PI-1	PI-2	PI-3	Al	Cu	Sn/Pb	Cd/Pb
32,3	2,62±0,005	2,71±0,007	2,62±0,005	2,54±0,005	2,36±0,005	0,47±0,007	0,06±0,005	0,06±0,005
63,8	2,28±0,005	2,31±0,005	2,27±0,005	2,22±0,005	2,16±0,005	1,51±0,007	0,19±0,005	0,19±0,005
94,5	1,63±0,005	1,62±0,007	1,54±0,007	1,48±0,005	1,49±0,007	1,14±0,028	0,21±0,005	0,21±0,005
160	0,62±0,005	0,63±0,014	0,62±0,005	0,62±0,005	0,60±0,005	0,44±0,007	0,18±0,005	0,18±0,007
197	0,42±0,007	0,42±0,005	0,42±0,005	0,41±0,014	0,40±0,007	0,31±0,007	0,16±0,005	0,16±0,005
236	0,34±0,005	0,34±0,005	0,34±0,005	0,34±0,005	0,31±0,005	0,24±0,005	0,16±0,005	0,16±0,005
662	0,20±0,005	0,20±0,005	0,20±0,005	0,20±0,005	0,19±0,005	0,16±0,005	0,16±0,005	0,16±0,005
1250	0,22±0,005	0,22±0,005	0,22±0,005	0,20±0,005	0,20±0,005	0,19±0,005	0,19±0,005	0,19±0,005

LKKL PTKMR – BATAN, menggunakan TLD kartu buatan Harshaw untuk layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal di lingkungan BATAN. Selanjutnya untuk kemudahan layanan dan persyaratan teknis, Laboratorium menyamakan jenis *TLD badgenya* yaitu TLD kartu Harshaw tipe 8814, dimana bahan fosfornya (material TLD) adalah litium flourida, yang terdiri atas 4 elemen (*chips*) TLD, elemen 1, 2 dan 3 merupakan TLD-700 (bahan ${}^7\text{LiF}$ dengan pengkayaan isotop ${}^7\text{Li}$), sedangkan elemen 4 merupakan TLD-600 (bahan ${}^6\text{LiF}$ dengan pengkayaan isotop ${}^6\text{Li}$). *TLD badge* ini mampu mendeteksi radiasi foton (gamma dan sinar-X), beta dan neutron sekaligus dan mengukur Hp(10) dan Hp (0,07) (Gambar 4). Selain kelompok TLD kartu Harshaw 8814, juga dikenal TLD kartu kelompok 8810/8815,

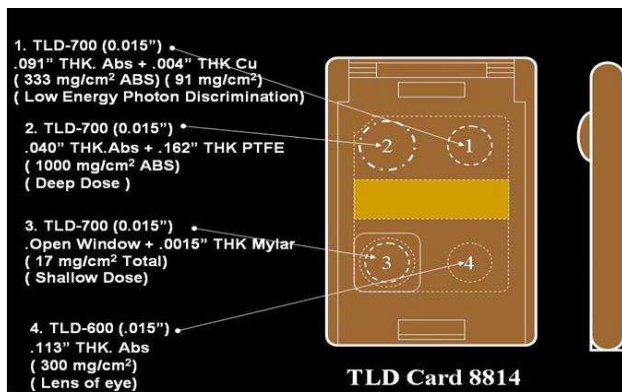
8805/8802 (beta/gamma/neutron), dan 8806 (neutron, gamma). Sedangkan alat baca TLDnya (*TLD Reader*) adalah model 6600 buatan Harshaw yang dapat menampung antrian 200 TLD kartu untuk satu rangkaian pembacaan.

Disamping itu, pada saat ini Unit Keselamatan sedang mengembangkan pemanfaatan *TLD badge* buatan BARC (*Bhaba Atomic Research Center*) – India, dari bahan fosfor $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ untuk layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal, yang mampu mendeteksi radiasi foton dan beta dan harganya relatif lebih murah dibandingkan *TLD badge* buatan Harshaw. *TLD Reader* yang diperlukan adalah model 1010 buatan *Nucleonix Systems* (P) Ltd. – India (Gambar 5b). Adapun karakteristik TLD kartu ini adalah sebagai berikut :

- Dimensi kartu TLD: 52,5 mm x 30 mm x 1,0 mm
- Dimensi *disk* TLD : 13,3 mm diameter
- *Open window* : Diameter – 14,5 mm
- Filter Cu : 30 mm x 16 mm x 1 mm
- Filter Al : Diameter 15,6 mm, ketebalan 1,0 mm
- Filter plastik : 30,5 mm x 21 mm x 1,6 mm
- Puncak utama (*glowcurve*) pada 230°
- Tanggapan dosis linier : 50 μ Sv – 5 Sv (gamma)
- Tanggapan dosis linier : 100 μ Sv – 5 Sv (beta)
- Fading : di bawah 5 %.



(a). Paket TLD reader.



Gambar 4. TLD Kartu Model 8814



(b). TLD Barc.

PENGUJIAN KESELAMATAN PEKERJA RADIASI

Proses pengujian keselamatan pekerja radiasi terdiri atas 2 tahap : Kalibrasi film *badge* dan Pengujian/evaluasi dosimeter film.

1. Kalibrasi Film *Badge*

Langkah yang dilakukan sebelum dosimeter film dievaluasi/dihitung dosisnya, ini bertujuan untuk memperoleh hubungan antara dosis iradiasi/penyinaran dengan tingkat kehitaman di bawah filter Sn/Pb atau Cd/Pb. Kalibrasi film *badge* dilakukan dengan menyinari *film badge* pada jarak kalibrasi (200 cm) dari permukaan fantom padat dengan sumber radiasi gamma (^{60}Co) dengan variasi dosis. Dari hasil penyinaran, dibuat kurva kalibrasinya.



(c). Rak TLD Card.

Gambar 5. TLD Barc dan peralatan lainnya.

2. Pengujian/Evaluasi Dosimeter Film

Kegiatan ini merupakan kegiatan pengujian/evaluasi dosis tara perorangan eksternal yang diterima oleh pekerja radiasi dalam melaksanakan pekerjaannya. Sistematis atau urutan pengujian dosis tara perorangan eksternal sebagai berikut :

- Pendataan dosimeter film
- Pemrosesan/pencucian dan pengeringan dosimeter film
- Pengukuran tingkat kehitaman dosimeter film di bawah filter tertentu (d disesuaikan dengan jenis radiasi yang terdeteksi/terukur oleh dosimeter)
- Evaluasi dosimeter film dan penghitungan dosis

Dosis foton yang diterima oleh pekerja radiasi dihitung dengan memasukkan nilai bacaan tingkat kehitaman dari filter Plastik 1,5mm (Pl` 1,5mm), Aluminium 0,6mm (Al` 0,6mm) dan Cd 0,8mm+Pb 0,4mm (Cd/Pb`) ke dalam kurva kalibrasi untuk memperoleh dosis semu. Selanjutnya nilai dosis semu dari ketiga filter tersebut dimasukkan dalam rumus berikut, sehingga diperoleh dosis yang diterima oleh pekerja radiasi.

$$D = 1/6 (D_{Pl} - D_{Al}) + 1/60 (D_{Al}) - D_{Cd/Pb}$$

Dimana :

D = Dosis yang diterima (mSv), D_{Pl} = Dosis semu di bawah filter plastik 1,5mm, D_{Al} = Dosis semu di bawah filter Aluminium 0,6 mm, $D_{Cd/Pb}$ = Dosis semu di bawah filter Cd/Pb.

- Pembuatan hasil laporan uji pemantauan dosis tara perorangan eksternal

Laporan hasil uji merupakan hasil evaluasi dosis/laporan akhir dari pemantauan dosis tara perorangan eksternal yang akan dikirim ke pelanggan. Dalam layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal dengan TLD dan film badge, besaran dosis operasional yang dilaporkan atau diukur adalah Hp (d), yang merupakan dosis tara pada jaringan

lunak di kedalaman *d* dari bola ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*) yang sesuai dengan daya tembus masing-masing radiasi, yang meliputi Hp(10) dan Hp (0,07). Besaran Hp (10) ditujukan untuk radiasi tembus kuat yaitu dosis gamma dan neutron atau umum dinamakan dosis seluruh tubuh, sedangkan besaran Hp (0,07) untuk radiasi tembus lemah yaitu dosis beta dan foton berenergi rendah atau istilah umumnya disebut dosis kulit.

UJI BANDING ANTAR LABORATORIUM (UJI PROFISIENSI)

Laboratorium layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal merupakan laboratorium pengujian di bawah Unit Keselamatan – LKKL. Sebagai Laboratorium pengujian, maka harus mempunyai prosedur pengendalian mutu untuk memantau keabsahan pengujian yang dilakukan. Jadi, jaminan mutu untuk hasil pengujian dapat dipantau dan ditelusuri (ketelusuran pengukuran), dimana salah satunya dengan berpartisipasi dalam uji banding antar laboratorium pengujian seperti pelaksanaan kegiatan uji banding besaran Hp (10) antar laboratorium pengujian/pengevaluasi dosimeter perorangan di lingkungan Departemen Kesehatan (BPFK Jakarta, BPFK Surabaya, BPFK Medan dan BPFK Makasar) dan Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMR dan PTPLR) dengan Laboratorium Metrologi Radiasi – PTKMR BATAN sebagai laboratorium Acuan yang saat ini sedang dilakukan. Hal itu merupakan salah satu butir persyaratan teknis suatu laboratorium pengujian.

Hasil uji banding besaran Hp (10) khusus untuk radiasi foton baik untuk film maupun TLD badge terlampir dalam tulisan ini. Namun, hasilnya belum dapat dibahas maupun disimpulkan karena belum diketahui nilai-nilai dosis acuannya (*delivery dose*) dari laboratorium standard (*Secondary Standards Dosimetry Laboratory, SSDL*).

FASILITAS LAYANAN PEMANTAUAN DOSIS TARA PERORANGAN EKSTERNAL



(a). Harshaw TLD card dan holder



(b). TLD Reader Harshaw

Gambar 6. Peralatan pemantauan dosis tara perorangan.

PENUTUP

Pemantauan dosis tara perorangan eksternal merupakan suatu kegiatan yang mutlak harus dilakukan pada institusi/fasilitas yang memanfaatkan radiasi pengion. Selanjutnya data dosis yang diperoleh disamping untuk menjamin keselamatan pekerjaanya, juga dapat membantu

memberikan gambaran tentang status kesehatan pekerja selama masa kerjanya. Kami harapkan pembaca dapat memperoleh/mengambil pemahaman pengetahuan layanan pemantauan dosis tara perorangan eksternal di Unit Keselamatan-LKKL. Pada tahun-tahun mendatang, diharapkan uji banding tidak hanya ditujukan untuk besaran Hp (10), tetapi juga besaran Hp (0,07), walaupun pada umumnya besaran Hp (0,07) tidak diukur oleh beberapa laboratorium pengujian/pengevaluasi.



Gambar 7. Peralatan penunjang layanan pemantauan dosis tara perorangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation*, Safety Standards Series No.RS-G-1.3, IAEA, Vienna (1999)
2. MARSHALL, T.O., *Type of Area Monitors and Personal Dosimeters in Common Use*, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon OXII, ORQ, 1-3
3. ANONIM, *Kodak Technical Pamphlet No. P-31, 268-271-C Minor Revision Printed in the USA* (1971)
4. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *Personal Photographic Dosimeter*, ISO 1757, second edition (1996)
5. Chiyoda Safety Appliance Co., Ltd., *Technical Guide of Personal Dosimeters*, Japan (1993) / in Japanese language

6. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosemeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy*, ISO 4073/Part 3: Calibration of Area and Personal Dosemeters and the Measurement of their Response as a Function of Energy and Angle of Incidence, ISO, Geneva (1998)
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Calibration of Radiation Protection Monitoring Instrument*, Safety Series No. 16, IAEA, Vienna (2000)
8. EUROPEAN COMMISSION RADIOPROTECTION UNIT, *TL Materials and Their Properties, Personnel Thermoluminescence Dosimetry*, Report EUR 16277 EN, Ispra/Giessen, Italy (1995)
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (BSS)*, Safety Series No.115, IAEA, Vienna (1996)
10. BAPETEN, *Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion*, PP RI No.63 Tahun 2000, BAPETEN (2000)
11. BAPETEN, *Keselamatan Kerja terhadap Radiasi*, Keputusan Kepala No.:01/Ka-BAPETEN/V-99 (1999)
12. AKHADI, M., *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*, Rineka Cipta, Jakarta (2000) 226 - 229

Contoh Hasil Evaluasi

No.	No.Kode Dosimeter (Film/TLD badge)	Sumber Irradiasi	Dosis hasil evaluasi, Hp(10)	Ketidakpastian
1.	Film : K _{I-1}	Cs-137	2,226	2,237 ± 3,9 %
	Film : K _{I-2}		2,286	
	Film : K _{I-3}		2,213	
	Film : K _{I-4}		2,224	
	Film : K _{II-1}	Cs-137	5,912	5,916 ± 3,6 %
	Film : K _{II-2}		5,808	
	Film : K _{II-3}		5,971	
	Film : K _{II-4}		5,973	
	Film : K _{III-1}	Cs-137	12,041	12,010 ± 3,6 %
	Film : K _{III-2}		12,043	
	Film : K _{III-3}		11,793	
	Film : K _{III-4}		12,173	
2.	TLD : KTH _{I-1}	Cs-137	1,936	1,927 ± 3,8 %
	TLD : KTH _{I-2}		1,940	
	TLD : KTH _{I-3}		1,886	
	TLD : KTH _{I-4}		1,944	
	TLD : KTH _{II-1}	Cs-137	4,973	4,794 ± 20,2%
	TLD : KTH _{II-2}		5,047	
	TLD : KTH _{II-3}		4,075	
	TLD : KTH _{II-4}		5,079	
	TLD : KTH _{III-1}	Cs-137	9,127	9,845 ± 12,1%
	TLD : KTH _{III-2}		10,500	
	TLD : KTH _{III-3}		10,067	
	TLD : KTH _{III-4}		9,687	

Catatan :

Nilai ketidakpastian yang dinyatakan dalam hasil adalah untuk tingkat kepercayaan 95% (2σ)