PENGGUNAAN FILM KODAK TIPE-2 SEBAGAI DOSIMETER PERORANGAN NEUTRON TERMIK

Mukhlis Akhadi, Nina Herlina, Tuyono
Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi- Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGGUNAAN FILM KODAK TIPE-2 SEBAGAI DOSIMETER PERORANGAN NEUTRON TERMIK. Telah dilakukan penelitian untuk mencoba penggunaan dosimeter film berupa film Kodak Tipe-2 yang dimasukkan ke dalam *holder* Chiyoda Tipe-A untuk pemantauan dosis perorangan neutron termik. Penelitian dilakukan dengan cara menyinari dosimeter dengan dosis neutron termik sebesar 50, 100 dan 200 mrem. Setelah film diproses dengan larutan pengembang dan pemantap, kerapatan optis film (S) pada posisi di bawah *filter* Sn dan *filter* Cd dibaca dengan densitometer sehingga diperoleh nilai S_{Sn} dan S_{Cd}. Nilai kerapatan optis tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam kurva kalibrasi film terhadap gamma, sehingga diperoleh dosis semu pada filter Sn (D_{Sn}) dan Cd (D_{Cd}). Nilai D_{Sn} dan D_{Cd} selanjutnya dipakai untuk menghitung nilai faktor kalibrasi dosimeter film terhadap neutron termik (FK_{ter}). Dosis neutron termik (D_{ter}) yang diterima dosimeter film dapat dihitung menggunakan persamaan matematika : $D_{ter} = FK_{ter} (D_{Cd} - D_{Sn})$. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai FK_{ter} sebesar 0,72. Nilai ini dapat dipakai untuk menghitung dosis neutron termik yang diterima dosimeter film Kodak Tipe-2 yang dalam pemakaiannya dimasukkan ke dalam *holder* Chiyoda Tipe-A.

ABSTRACT

APPLICATION OF TYPE-2 KODAK FILM FOR THERMAL NEUTRON PERSONAL DOSIMETER. Experiment on trying the application of film dosemeter for thermal neutron dose monitoring has been carried out. Dosemeter system consist of Type-2 Kodak film inserted to Type-A Chiyoda holder. The experiment was carried out by irradiating dosemeter with thermal neutron doses of 50, 100 and 200 mrem. After film processing with developer and fixer solution, optical density (S) of the film under Sn and Cd filter were read using densitometer to obtain the value of S_{Sn} and S_{Cd}. Furthermore, such optical density value were inserted to calibration curve of film against gamma to obtain apparent doses under Sn filter (D_{Sn}) and Cd filter (D_{Cd}). D_{Sn} and D_{Cd} value could be used for calculation of value of calibration factor of film dosemeter against thermal neutron (CF_{ter}). Thermal neutron dose (D_{ter}) which is received by film dosemeter could be calculated using mathematical equation of $D_{ter} = CF_{ter} (D_{Cd} - D_{Sn})$. From the experiment it was obtained the value of CF_{ter} of 0,72. This value could be used to calculate thermal neutron dose received by film dosemeter of Kodak Type-2 which during under use is inserted to holder of Chiyoda Type-A.

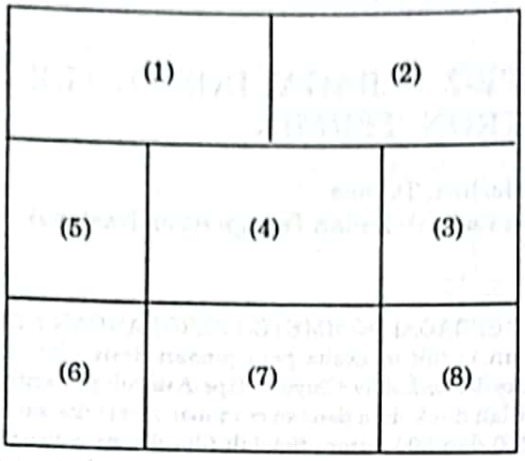
PENDAHULUAN

Di Indonesia, dosimeter film sampai saat ini masih digunakan secara luas untuk tujuan pemantauan dosis eksterna perorangan para pekerja radiasi. PSPKR-BATAN hingga saat ini telah melayani pemantauan dosis perorangan dengan dosimeter film kepada sekitar 250 instansi pemakai sumber radiasi dengan jumlah pekerja radiasinya mencapai sekitar 3.500 personil [1]. Seiring dengan perkembangan penggunaan zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya, dosimeter film akan tetap memegang peranan yang cukup penting dalam rangka pemantauan dosis eksterna perorangan.

Sistem dosimeter film untuk tujuan pemantauan dosis eksterna perorangan terdiri dari film emulsi yang dimasukkan ke dalam *holder* (wadah) film. Selama ini PSPKR-BATAN dalam memberikan pelayanan pemantauan dosis eksterna perorangan menggunakan film emulsi berupa film Kodak Tipe-2 buatan Kodak, USA, sedang *holder*nya menggunakan *holder* Tipe-A buatan Chiyoda, Jepang, dengan komposisi *filter* di dalamnya adalah seperti pada Gambar 1 [2].

Di PSPKR-BATAN dosimeter film umumnya hanya dimanfaatkan untuk pemantauan dosis eksterna perorangan foton berupa sinar-X dan gamma. Namun dengan penggunaan *holder* film yang memiliki *filter-filter* khusus, sistem dosimeter film ini mampu membedakan jenis

Dipindai dengan CamScanner



Keterangan:
(1) Open Window tanpa filter
(2) plastik 0,5 mm
(3) plastik 1,5 mm
(4) plastik 3,0 mm
(5) Aluminium (Al) 0,6 mm
(6) Tembaga (Cu) 0,3 mm
(7) Sn 0,8 mm + Pb 0,4 mm
(8) Cd 0,8 mm + Pb 0,4 mm

Gambar 1. Komposisi *filter* di dalam *holder* Tipe-A buatan Chiyoda.

dan energi radiasi yang mengenainya [3]. Oleh sebab itu, dosimeter film ini dapat juga dimanfaatkan untuk pemantauan dosis perorangan beta dan neutron.

Penelitian dalam rangka mencoba penggunaan dosimeter film untuk pemantauan dosis perorangan beta telah dilakukan sebelumnya dan ternyata memberikan hasil yang cukup bagus [4]. Untuk memperluas penggunaan dosimeter dalam pemantauan dosis eksterna perorangan, perlu juga diteliti kemungkinan penggunaan dosimeter film tersebut untuk pemantauan dosis perorangan neutron termik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode yang baik dan tepat dalam melakukan evaluasi dosis perorangan neutron termik menggunakan sistem dosimeter berupa film Kodak Tipe-2 yang dimasukkan ke dalam *holder* Chiyoda Tipe-A.

TEORI DASAR

Dosimeter film fotografi terdiri dari bahan dasar berupa selulosa asetat yang dilapisi bahan sensitif radiasi pada salah satu atau kedua permukaannya [5]. Lapisan peka radiasi ini disebut emulsi yang terdiri dari gelatin dan komponen-komponen peka cahaya berupa kristal-kristal perak bromida (AgBr) yang tersebar merata dalam gelatin. Sifat dari kristal AgBr ini mampu menyerap radiasi yang diterimanya.

Tebal bahan dosimeter film kira-kira 200 mikron, sedang tebal lapisan emulsi, bentuk dan ukuran kristal AgBr serta pengotor-pengotor lainnya berbeda-beda untuk setiap jenis film [6]. Lapisan emulsi untuk film pemantau sinar-x kira-kira 12 mikron, sedang untuk film pemantau neutron kira-kira tiga kalinya.

Pemantauan neutron termik dengan dosimeter film dilakukan dengan memanfaatkan film pada posisi di bawah *filter* SnPb dan *filter* CdPb atau posisi (7) dan (8) seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [7]. Radiasi pengion dapat memberikan proses foto kimia tertentu pada butir-butir emulsi sehingga dihasilkan bentuk-bentuk pengembangan berupa pengumpulan atom-atom Ag yang disebut bayangan laten [5]. Efek yang tampak pada film ialah timbulnya kehitaman setelah film mengalami proses pengembangan dan pemantapan. Tingkat kehitaman film atau lebih sering dikenal dengan kerapatan optis ini sebanding dengan besar dosis radiasi gamma yang diterimanya.

Jika dosimeter film disinari di medan radiasi campuran neutron termik dan gamma, maka dosis pada *filter* Sn dan Cd dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$D_{Sn} = K_{ter} D_{ter} + D_{gamma} \quad (1)$$

$$D_{Cd} = K'_{ter} D_{ter} + D_{gamma} \quad (2)$$

D_{Sn} = dosis semu setara gamma pada film di bawah *filter* Sn.
D_{Cd} = dosis semu setara gamma pada film di bawah *filter* Cd.
K_{ter} = faktor pengubah dosis neutron termik pada *filter* Sn ke dosis gamma.
K'_{ter} = faktor pengubah dosis neutron termik pada *filter* Cd ked osis gamma.
D_{ter} = dosis neutron termik yang diterima film.
D_{gamma} = dosis gamma yang diterima film.

Jika persamaan (2) dikurangi persamaan (1), maka diperoleh persamaan baru untuk perhitungan dosis neutron termik sebagai berikut :

$$D_{ter} = \frac{1}{(K'_{ter} - K_{ter})} (D_{Cd} - D_{Sn})$$

K' dan K mempunyai harga yang tetap, sehingga persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$D_{ter} = FK_{ter} (D_{Cd} - D_{Sn}) \quad (3)$$

Dipindai dengan CamScanner

dengan FK_{ter} adalah faktor kalibrasi dosimeter film terhadap neutron termik yang harganya :

$$FK_{ter} = (K'_{ter} - K_{ter})^{-1} \quad (4)$$

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai FK_{ter} untuk dosimeter film Kodak Tipe-2 dalam *holder* Chiyoda Tipe-A yang dipakai sebagai dosimeter perorangan neutron termik.

TATA KERJA

Kalibrasi Dosimeter Film terhadap Gamma

Dilakukan penyinaran dosimeter film dengan radiasi gamma dari sumber Co-60. Penyinaran dilakukan di udara dengan nilai paparan 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1.000, 1.500 dan 2.000 mR. Setiap nilai paparan disinari tiga buah film. Setelah penyinaran film dicuci atau dikembangkan dalam larutan pengembang (developer) dan larutan pemantap (fixer). Kerapatan optis film di bawah *filter* Cu (filter 6) dibaca dengan alat baca densitometer. Data hasil bacaan kerapatan optis selanjutnya dipakai untuk pembuatan kurva kalibrasi yang menunjukkan hubungan antara nilai paparan dan kerapatan optis pada film.

Penyinaran Dosimeter film dengan Neutron termik

Dilakukan penyinaran dosimeter film dengan neutron termik (D_{ter}) dengan dosis 50, 100 dan 200 mrem. Penyinaran dilakukan di dalam fasilitas kalibrasi neutron termik. Setiap nilai dosis disinari tiga buah film. Setelah penyinaran film dicuci dalam larutan pengembang dan pemantap. Kerapatan optis film (S) di bawah *filter* Sn dan Cd (filter 7 dan 8) dibaca dengan densitometer sehingga diperoleh S_{Sn} dan S_{Cd}.

Perhitungan Dosis Semu

Dilakukan perhitungan dosis semu setara gamma pada film di bawah *filter* Sn (D_{Sn}) dan Cd (D_{Cd}). Perhitungan dilakukan dengan cara memasukkan nilai S_{Sn} dan S_{Cd} hasil penyinaran film di dalam fasilitas kalibrasi neutron termik ke dalam kurva kalibrasi film terhadap gamma. Karena dalam fasilitas kalibrasi neutron termik digunakan sumber AmBe [8], maka di samping menerima dosis neutron termik, film juga menerima dosis gamma dari sumber AmBe. Dengan demikian, D_{Sn} dan D_{Cd} yang diperoleh dalam perhitungan ini merupakan gabungan dari dosis neutron termik setara gamma dan dosis gamma.

Perhitungan Faktor Kalibrasi Film Terhadap Neutron Termik :

Diperoleh masing-masing sembilan nilai D_{Sn} dan D_{Cd} dari penyinaran dosimeter film dengan D_{ter} 50, 100 dan 200 mrem. Dengan memasukkan D_{ter}, D_{Sn} dan D_{Cd} ke dalam persamaan (3) diperoleh tiga nilai faktor kalibrasi dosimeter film terhadap neutron termik (FK_{ter}). Kesembilan nilai tersebut dapat dirata-rata untuk mendapatkan nilai FK_{ter} yang dapat dipakai untuk kegiatan rutin pemantauan dosis perorangan neutron termik dengan dosimeter film.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam dosimetri proteksi radiasi, neutron diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok berdasarkan energi kinetik yang dimilikinya, yaitu : neutron termik dengan energi di bawah energi *cut-off* cadmium (kira-kira 0,5 eV), neutron epitermik dengan energi di atas 0,5 eV sampai dengan 10 keV, dan neutron cepat dengan energi di atas 10 keV [9].

Proses fisi U-235 dalam teras reaktor nuklir dapat memancarkan neutron dengan spektrum energi dari beberapa elektron Volt hingga di atas 10 MeV [9]. Neutron termik memberikan sumbangan yang cukup berarti terhadap total dosis ekivalen yang mungkin diterima oleh para pekerja radiasi di reaktor nuklir [10]. Oleh sebab itu dosimeter neutron termik memegang peranan yang cukup penting untuk pemantauan dosis perorangan para pekerja radiasi di reaktor.

Neutron termik tidak dapat dipantau secara langsung dengan dosimeter film. Pemantauan neutron hanya bisa dilakukan secara tidak langsung melalui reaksi nuklir berupa penyerapan neutron termik oleh *filter* cadmium (Cd) yang terdapat dalam *holder* [7]. Sedang pada *filter* Sn, terjadinya reaksi tersebut dapat diabaikan, mengingat penampang lintang serapan Sn terhadap neutron termik hanya 650 mbarn [7][11], sedang Cd dengan energi *cut-off* nya 0,5 eV mampu menyerap semua neutron termik dengan energi di bawah 0,5 eV [12].

Proses penyerapan neutron oleh *filter* Cd akan disertai dengan pemancaran radiasi gamma [13]. Radiasi gamma inilah yang akan dipantau oleh dosimeter film. Baik *filter* Sn maupun Cd mempunyai kemampuan menahan radiasi gamma yang relatif sama [7], sehingga perbedaan tingkat kerapatan optis pada film di

Dipindai dengan CamScanner

bawah kedua *filter* tersebut berasal dari gamma hasil reaksi (neutron, gamma) antara neutron termik dengan *filter* Cd.

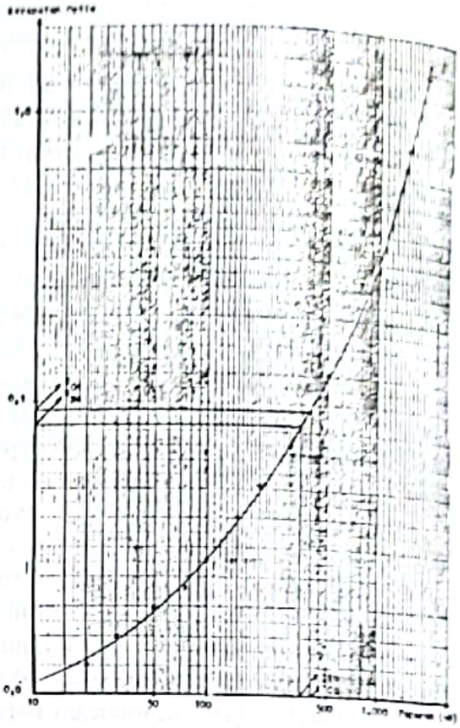
Data kalibrasi dosimeter film dengan sinar gamma disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil bacaan kerapatan optis film yang disinari dengan berbagai nilai paparan gamma dari Co-60.

Nilai Paparan (mR)	Kerapatn optis di bawah *filter* Cu			
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata-rata
10	0,00	0,00	0,01	0,0033 ± 0,0047
20	0,01	0,01	0,01	0,0100 ± 0,0000
30	0,02	0,02	0,02	0,0200 ± 0,0000
50	0,05	0,05	0,05	0,0500 ± 0,0000
75	0,08	0,07	0,07	0,0733 ± 0,0047
100	0,11	0,10	0,09	0,1000 ± 0,0082
150	0,14	0,14	0,14	0,1400 ± 0,0000
200	0,20	0,20	0,20	0,2000 ± 0,0000
300	0,29	0,29	0,29	0,2900 ± 0,0000
500	0,46	0,45	0,45	0,4533 ± 0,0047
750	0,60	0,60	0,59	0,5933 ± 0,0047
1000	0,77	0,77	0,75	0,7633 ± 0,0094
1500	1,02	1,01	1,01	1,0133 ± 0,0047
2000	1,30	1,26	1,31	1,2900 ± 0,0216

Penyinaran dilakukan dengan sumber gamma energi tinggi Co-60 dengan energi gamma yang dipancarkannya 1250 keV. Gamma energi tinggi sering dipilih sebagai sumber untuk kalibrasi dosimeter perorangan mengingat pada umumnya dosimeter perorangan mempunyai kepekaan yang relatif seragam terhadap gamma dengan energi tinggi di atas 250 keV [7]. Sedang untuk foton dengan energi di bawah 250 keV, nilai sinarannya biasanya dinormalisir atau disetarakan dengan foton energi tinggi.

Dari kalibrasi tersebut diperoleh kurva kalibrasi yang menunjukkan hubungan antara nilai sinaran dalam mili Roentgen dengan kerapatan optis film seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pembacaan kerapatan optis pada film kalibrasi hanya dilakukan pada bagian film di bawah *filter* Cu atau *filter* (8), mengingat *filter* Cu mempunyai kemampuan menahan radiasi yang relatif sama terhadap semua radiasi gamma berenergi tinggi [7]. Dengan demikian, untuk nilai sinaran yang sama, setiap radiasi gamma energi tinggi di atas 250 keV akan menghasilkan tingkat kerapatan optis yang sama pada film di bawah *filter* Cu.



Gambar 1. Kurva kalibrasi film Kodak tipe-2 di bawah *filter* Cu 0,3 mm terhadap radiasi gamma dari sumber Co-60.

Data kerapatan optis hasil penyinaran dosimeter film dengan neutron termik disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil bacaan kerapatan optis film yang disinari dengan dosis neutron termik dan hasil perhitungan dosis semu.

Dosis nt. termik (mrem)	Filter Sn		Filter Cd	
	Ker. Optis	Dosis semu	Ker. Optis	Dosis semu
50	0,45	505	0,48	580
	0,46	520	0,48	580
	0,44	500	0,47	540
100	0,60	710	0,71	860
	0,60	710	0,70	850
	0,61	720	0,71	860
200	1,15	1620	1,28	1900
	1,10	1550	1,26	1850
	1,14	1650	1,28	1900

Dipindai dengan CamScanner

Dengan memasukkan nilai kerapatan optis ke dalam kurva kalibrasi dapat diperoleh dosis semu setara gamma Co-60. Dikatakan dosis semu karena nilai dosis sebenarnya yang diterima film tersebut tidak diketahui. Dosis ini berasal dari radiasi gamma yang dipancarkan sumber neutron AmBe (D_{gamma}) dan radiasi gamma hasil interaksi antara neutron termik dengan *filter* Sn dan Cd. Tinggi rendahnya dosis semu yang diperoleh hanya didasarkan pada tinggi rendahnya nilai hasil bacaan kerapatan optis film.

Besar dosis gamma hasil interaksi antara neutron termik dan filter setara dengan dosis neutron termik (D_{ter}) yang berinteraksi, sehingga D_{ter} tersebut dapat dikonversikan secara langsung ke dosis gamma dengan faktor konversi tertentu. Untuk *filter* Sn, konversinya dilakukan dengan cara mengalikan D_{ter} dengan K_{ter}, sedang untuk *filter* Cd dilakukan dengan cara mengalikan D_{ter} dengan K'_{ter}. Dengan demikian, dosis semu pada masing-masing *filter* dapat diformulasikan seperti persamaan (1) dan (2). Baik D_{gamma}, K_{ter} maupun K'_{ter} merupakan besaran skalar yang tidak perlu diketahui harganya, karena dengan substitusi kedua persamaan tersebut dapat diperoleh persamaan baru yang lebih sederhana dengan variabel-variabelnya dapat diukur langsung seperti ditunjukkan pada persamaan (3).

Untuk tujuan rutin pemantauan dosis perorangan, persamaan (3) dapat dipakai secara langsung untuk perhitungan D_{ter} yang diterima dosimeter film jika nilai FK_{ter} diketahui. Namun dalam penelitian ini dosimeter film tersebut dikalibrasi dengan D_{ter} yang diketahui nilainya untuk mendapatkan nilai FK_{ter}.

Hasil perhitungan FK_{ter} disajikan pada Tabel 3. Dari perhitungan diperoleh nilai FK_{ter} rata - rata sebesar (0,72 ± 0,07). Nilai ini cukup berdekatan dengan nilai yang digunakan oleh Institut Penelitian Tenaga Atom Jepang (JAERI) yang besarnya 0,8 [14]. Adanya sedikit perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis film yang digunakan, JAERI menggunakan film merek Fuji sedang dalam penelitian ini digunakan film merek Kodak.

Tabel 3. Hasil perhitungan faktor kalibrasi dosimeter film terhadap neutron termik

No.	D_{ter}	D_{Sn}	D_{Cd}	D_{Cd}-D_{Sn}	FKter
1	50	505	580	75	0,67
2	50	520	580	60	0,83
3	50	500	560	60	0,83
4	100	710	860	150	0,67
5	100	710	850	160	0,63
6	100	720	860	140	0,71
7	200	1620	1900	280	0,71
8	200	1550	1850	300	0,67
9	200	1650	1900	250	0,80
FK_{ter} rata-rata				0,72 ± 0,07	

KESIMPULAN

Dosis perorangan neutron termik yang diterima oleh para pekerja radiasi dapat dipantau menggunakan dosimeter film. Dosis neutron termik yang diterima dosimeter film tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan $D_{ter} = FK_{ter} (D_{Cd} - D_{Sc})$ dengan D_{Cd} dan D_{Sn} merupakan dosis semu setara gamma yang dapat diketahui nilainya dari pembacaan langsung bagian dosimeter film di bawah *filter* Cd dan Sn. Untuk dosimeter film Kodak Tipe-2 yang dalam pemakaiannya dimasukkan ke dalam *holder* Chiyoda Tipe-A dapat digunakan FK_{ter} yang nilainya 0,72.

DAFTAR PUSTAKA

1. Akhadi, M., Kalibrasi Dosimeter Film Gamma, Pusdiklat - BATAN (1993).
2. Chiyoda, Chiyoda Classification Catalogue, Chiyoda Safety Appliances Co. Ltd., Tokyo, Japan.
3. Martin, A. and Harbinson, A.S., An Introduction to Radiation Protection, Chapman & Hall, London (1986).
4. Akhadi, M, dkk., Prosiding Simposium Fisika Jakarta 1992, Jurusan Fisika ISTN, Jakarta (1992) 145-153.
5. ASNT, External Dosimetry, Lucas Height, NSW 2234, Australia (1989).

Dipindai dengan CamScanner

6. Dudley, R.A., Radiation Dosimetry, Vol. 2 (1966) 326-382.
7. Chiyoda, A New Film Badge Case for x- and Gamma Rays (Summary) Chiyoda Safety Appliances & Co. Ltd., Japan (translated by K. FUJITAKA) (1988).
8. Akhadi, M., dkk., Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-BATAN (1992) 393-400.
9. ICRU REPORT NO. 26, Washington, D.C., 20014, USA (1977).
10. ICRU REPORT NO. 20, Washington, D.C., 20014, USA (1971).
11. CRC, Hand Book of Radiation Measurement and Protection, Section A, Vol. 1, CRC Press Inc.,Florida 33409 (1978).
12. Glower, D.D., Experimental Reactor Analysis and Radiation Measurements, McGraw-Hill Book Company, New York (1962).
13. Kaplan, I., Nuclear Physics, Addison Wesley Publishing CompanyLondon (1979).
14. Murakami, H., Department of Health Physics, JAERI, Japan, Personal Comunication.

DISKUSI

P. Ilham Y. :

1. Berapa buah *holder* yang digunakan dalam penelitian ini?
2. Apakah ada data pembanding ?

Muhlis Akhadi:

1. Ada 15 buah dosimeter film yang disinari dengan neutron termik.
2. Data pembanding dari JAERI;
   JAERI : Film Fuji + *holder* Chiyoda Tipe-B diperoleh FK_{ter} = 0,8.
   PSPKR : Film Kodak Tipe-2 + *holder* Chiyoda Tipe-B diperoleh FK_{ter} = 0,72.

Rustan Rukmantara:

Apakah Saudara juga menyinari film dosimeter itu dengan radiasi neutron termik dan bagaimana hasilnya dibandingkan dengan hasil pemantauan faktor kalibrasi FK_{ter} ?

Mukhlis Akhadi:

Telah dilakukan pengujian, yaitu menyinari film di dalam fasilitas kalibrasi neutron termik dengan dosis tertentu. Setelah penyinaran film di evaluasi penerimaan dosisnya dengan persamaan $D_{ter} = 0,72\ (D_{Cd} - D_{Sn})$. Hasil yang diperoleh relatif sama dengan dosis untuk penyinaran.

Dipindai dengan CamScanner