

MENGHITUNG FAKTOR KONVERSI NILAI PAPARAN KE DOSIS KEDALAMAN FOTON ENERGI TINGGI MENGUNAKAN DOSIMETER FILM

Mukhlis Akhadi, Untung Poejiono, Tuyono
Pusat Standarisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

MENGHITUNG FAKTOR KONVERSI NILAI PAPARAN KE DOSIS KEDALAMAN FOTON ENERGI TINGGI MENGGUNAKAN DOSIMETER FILM. Telah dilakukan penelitian untuk menghitung faktor konversi nilai paparan ke dosis kedalaman 10 mm, Hp (10), untuk foton energi tinggi dari sumber Cs-137 (E=662 keV) dan Co-60 (E=1250 keV). Faktor konversi (F) didefinisikan sebagai perbandingan antara dosis kedalaman, Hp (10), dengan nilai paparan foton (X). Dari hasil perhitungan diperoleh harga F untuk Cs-137 dan Co-60 berturut-turut adalah $(0,827 \pm 0,067)$ mrem/mR dan $(0,878 \pm 0,086)$ mrem/mR. Namun, untuk keperluan praktis dalam proteksi radiasi dapat diambil satu harga F saja yang merupakan rata-rata dari dua harga tersebut. Dari perhitungan diperoleh harga F sebesar 0,853 mrem/mR yang bisa dipakai untuk mengkonversikan nilai paparan foton energi tinggi di atas 500 keV.

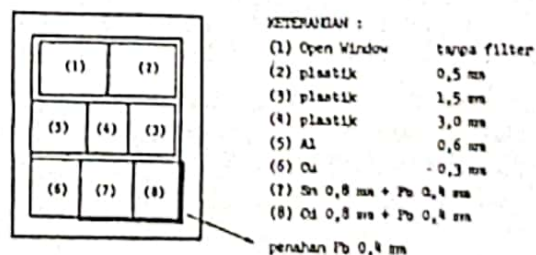
ABSTRACT

THE CALCULATION CONVERSION FACTOR OF EXPOSURE TO THE DEPTH DOSE OF HIGH PHOTON ENERGY USING FILM DOSIMETRY. Study to calculate conversion factor of exposure to depth dose of 10 mm, Hp (10), for high photon energy of Cs-137 (E= 662 keV) and Co-60 (E= 1250 keV) has been carried out. Conversion factor (F) is defined as a quotient of depth dose, obtained the value of F for Cs-137 and Co-60 are (0.827 ± 0.067) mrem/mR and (0.878 ± 0.086) mrem/mR respectively. For practical radiation protection purpose, single value of F which is as average of both value can be used. From the calculation it was obtained the value of F of 0.853 mrem/mR which can be used to convert exposure of high photon energy over 500 keV.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, dosimeter film sampai saat ini masih digunakan secara luas untuk pemantauan dosis eksterna perorangan. Untuk tujuan pemantauan radiasi y digunakan dosimeter film fotografi berupa film Kodak tipe 2 buatan Kodak, USA, yang dimasukkan ke dalam wadah film tipe universal buatan Chiyoda, Jepang, dengan komposisi filter di dalamnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [1,2].

Agar jumlah radiasi yang diterima film dapat dievaluasi, dosimeter film harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi ini dilakukan dengan cara menyinari film dengan radiasi γ di udara bebas dengan nilai paparan dinyatakan dalam milirontgen (mR). Dari penyinaran ini diperoleh kurva yang menunjukkan hubungan antara nilai paparan (dalam mR) dengan kerapatan optis film. Untuk keperluan praktis, kurva kalibrasi hanya ditentukan dari kerapatan optis di bawah filter 8 (filter CdPb). Hasil evaluasi dosimeter film yang diperoleh dari kurva kalibrasi ini adalah nilai paparan γ dalam mR.



Gambar 1. Komposisi filter dalam holder universal buatan Chiyoda

Pada tahun 1985, (ICRU) Komisi Internasional untuk Satuan dan Pengukuran Radiasi [3] mengeluarkan rekomendasi besaran

operasional baru dalam penentuan dosis ekuivalen dari sumber radiasi eksternal. Dalam rekomendasinya disebutkan bahwa untuk penentuan dosis perorangan radiasi tembus kuat digunakan besaran dosis ekuivalen tembus perorangan. $H_p(d)$, dengan d adalah kedalaman pengukuran sebesar 10 mm dari permukaan fantom. Untuk selanjutnya, dosis ekuivalen yang diukur pada kedalaman 10 mm ini disebut dosis kedalaman dan diberi simbol $H_p(10)$.

Dari uraian di atas dapat dikemukakan dua konsep untuk mengevaluasi radiasi yang diterima dosimeter. Jika hasil bacaan kerapatan optis pada film R , maka nilai paparan yang diterima film adalah:

$$X = K_x \cdot R \quad (1)$$

sedang dosis kedalaman yang terukur oleh dosimeter film adalah:

$$H_p(10) = K_h \cdot R \quad (2)$$

X = nilai paparan γ ; K_x = faktor kalibrasi untuk evaluasi nilai paparan pada film; R = hasil bacaan kerapatan optis film; $H_p(10)$ = dosis kedalaman yang terukur oleh dosimeter film; K_h = faktor kalibrasi untuk evaluasi dosis kedalaman pada film.

Nilai paparan dapat dikonversikan menjadi dosis kedalaman jika dikalikan dengan suatu faktor konversi F . Faktor konversi ini didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{H_p(10)}{X} \quad (3)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (1) dan (2) ke persamaan (3) diperoleh:

$$F = \frac{k_h}{k_x} \quad (4)$$

Penelitian ini bertujuan menghitung harga faktor konversi F untuk mengkonversikan nilai paparan γ pada dosimeter film menjadi dosis kedalaman. Dengan demikian, dosimeter film dapat dipakai mengevaluasi dosis kedalaman yang diterima oleh para pekerja radiasi seperti yang direkomendasikan dalam publikasi ICRU No. 30 [3].-

BAHAN DAN PERALATAN

1. Densitometer;
2. pesawat OB-85 (berisi Sumber Standar Cs-137 dan Co-60);
3. lemari pengering;
4. bak pencuci film;
5. holder film tipe universal;

6. film Kodak tipe 2 sebanyak 90 buah;
7. larutan developer;
8. larutan fixer.

TATA KERJA

Kalibrasi dosimeter film untuk evaluasi nilai paparan

Dilakukan penyinaran dosimeter film di udara bebas dengan sumber γ Cs-137 dan Co-60. Setiap film diberi nomor kode sesuai dengan nilai paparan yang dikehendaki. Tiap penyinaran digunakan tiga buah film. Nilai paparan yang digunakan untuk penyinaran tiap-tiap sumber adalah: 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1250, 1500, dan 2000 mR.

Kalibrasi dosimeter film untuk evaluasi dosis kedalaman

Metode kalibrasi untuk mengukur dosis kedalaman 10 mm dilakukan dengan cara mengkonversikan nilai paparan (dalam mR) ke dosis ekuivalen (dalam mrem atau mSv) [4]. Faktor konversi untuk tiap-tiap energi γ berbeda-beda diambil dari publikasi ICRP No. 51 [5]. Nilai paparan γ dari sumber Cs-137 dengan energi 662 keV dikalikan dengan faktor konversi 0,991 mrem/mR. Dari hasil perkalian ini diperoleh dosis ekuivalen γ dalam mrem.

Kalibrasi untuk pengukuran dosis kedalaman dilakukan dengan menggunakan fantom padat dari fleksiglas ukuran standar IAEA 30 cm x 30 cm x 30 cm. Dosimeter film dipasang di depan fantom dengan jarak dosimeter ke permukaan fantom 3 cm [4].

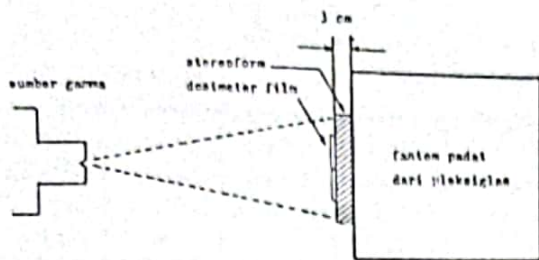
Selanjutnya film disinari gamma dari sumber Cs-137 dan Co-60. Perhatikan Gambar 2.

Setiap penyinaran digunakan tiga buah film. Dosis ekuivalen yang digunakan untuk penyinaran untuk tiap-tiap sumber adalah: 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1250, 1500, dan 2000 mrem.

Pencucian dosimeter film

Dosimeter film yang telah disinari selanjutnya dicuci di kamar gelap. Proses pencucian film dilakukan sebagai berikut:

1. Pembungkus film dibuka dan film ditempatkan pada rak pencuci.
2. Rak pencuci dimasukkan ke dalam larutan developer sambil digoyang perlahan-lahan selama lima menit.
3. Film dimasukkan ke dalam air pembilas selama satu menit.
4. Film dipindahkan ke dalam larutan fixer sambil digoyang perlahan-lahan selama sepuluh menit.



Gambar 2. Bagan metode kalibrasi dosimeter untuk evaluasi dosis kedalaman

5. Film dipindahkan ke dalam air pembilas yang mengalir selama 30 menit.
6. Film dikeringkan di dalam lemari pengering.

Menghitung nilai Kx, Kh dan F

Film yang telah kering dibaca kerapatan optisnya dengan densitometer pada posisi di bawah filter CdPb (filter 8). Data bacaan kerapatan optis (R) dari film yang dikalibrasi untuk evaluasi nilai paparan (langkah B) dipakai untuk menghitung Kx dengan menggunakan persamaan (1):

$$Kx = \frac{x}{R} \quad (1)$$

sedangkan, data kerapatan optis dari film yang dikalibrasi untuk evaluasi dosis kedalaman (langkah C) dipakai untuk menghitung Kh dengan menggunakan persamaan (2):

$$Kh = Hp \frac{(10)}{R} \quad (2)$$

Jika Kx dan Kh diketahui, nilai F dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep nilai paparan yang semula dipakai untuk menyatakan jumlah radiasi foton yang meliputi sinar-x dan γ sudah tidak dipakai lagi oleh ICRP dalam publikasinya No. 26 tahun 1977 [6]. Publikasi ICRP ini telah dipakai oleh BATAN sebagai dasar untuk memperbaharui buku Ketentuan Keselamatan Kerja terhadap Radiasi melalui surat keputusan Direktur Jenderal BATAN No. PN 03/160/DJ/89 [7].

Konsep terbaru untuk tujuan pemantauan dosis perorangan telah diperkenalkan dalam publikasi ICRP 60 tahun 1990 [8]. Dalam publikasinya itu, ICRP menggunakan besaran dosis ekuivalen perorangan untuk organ dan jaringan dalam tubuh yang disinari dengan radiasi berdaya tembus kuat. Pengukuran dosis ini

dilakukan pada kedalaman 10 mm pada suatu bola ICRU [3,8]. Oleh sebab itu, untuk keperluan praktis dalam proteksi radiasi, nilai paparan sebaiknya dikonversikan ke dosis kedalaman dengan suatu faktor konversi F.

Hasil perhitungan Kx, baik dari sumber Cs-137 (Kx_1) maupun sumber Co-60 (Kx_2) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Kx untuk sumber Cs-137 dan Co-60

| No | Nilai Paparan (mR) | Sumber | | | |
|-----------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | Cs-137 | | Co-60 | |
| | | R ₁ | Kx ₁ | R ₂ | Kx ₂ |
| 1. | 75 | 0,09 | 833 | 0,09 | 833 |
| 2. | 100 | 0,12 | 833 | 0,13 | 769 |
| 3. | 150 | 0,19 | 790 | 0,19 | 790 |
| 4. | 200 | 0,26 | 769 | 0,27 | 752 |
| 5. | 300 | 0,39 | 780 | 0,41 | 731 |
| 6. | 500 | 0,65 | 769 | 0,73 | 684 |
| 7. | 750 | 0,96 | 781 | 1,08 | 694 |
| 8. | 1000 | 1,24 | 807 | 1,42 | 704 |
| 9. | 1250 | 1,56 | 801 | 1,68 | 744 |
| 10. | 1500 | 1,85 | 811 | 1,97 | 761 |
| 11. | 2000 | 2,50 | 799 | 2,43 | 823 |
| Rata-rata | | | 798 ± 22 | | 753 ± 47 |

Dari berbagai variasi nilai paparan diperoleh harga $Kx_1 = (798 \pm 22)$ mR dengan standar deviasinya 3% dan harga $Kx_2 = (753 \pm 47)$ mR dengan standar deviasinya 6%. Selain itu, hasil perhitungan Kh, baik dari sumber Cs-137 (Kh_1) maupun sumber Co-60 (Kh_2) disajikan pada Tabel 2.

Dari berbagai variasi dosis ekuivalen diperoleh harga $Kh_1 = (659 \pm 46)$ mrem dengan standar deviasi 7% dan harga $Kh_2 = (658 \pm 39)$ dengan standar deviasinya 6%. Dari keempat data tersebut terlihat bahwa kepekaan film terhadap radiasi γ dari sumber Cs-137 dan Co-60 cukup stabil untuk nilai paparan/dosis ekuivalen rendah (75 mR/mrem) sampai tinggi (2000 mR/mrem), mengingat standar deviasi tertingginya harga 7%. Oleh sebab itu, baik Kx maupun Kh yang diperoleh dalam penelitian ini berlaku untuk semua nilai paparan/dosis ekuivalen dari rendah sampai tinggi.

Tabel 2. Perhitungan Kh untuk sumber Cs-137 dan Co-60

| No | Hp (10) (mrem) | Sumber | | | |
|-----------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | R ₁ | Kh ₁ | R ₂ | Kh ₂ |
| 1. | 75 | 0,13 | 577 | 0,12 | 623 |
| 2. | 100 | 0,16 | 625 | 0,16 | 630 |
| 3. | 150 | 0,21 | 714 | 0,24 | 625 |
| 4. | 200 | 0,32 | 625 | 0,30 | 667 |
| 5. | 300 | 0,47 | 638 | 0,50 | 600 |
| 6. | 500 | 0,75 | 667 | 0,70 | 714 |
| 7. | 750 | 1,09 | 688 | 1,17 | 641 |
| 8. | 1000 | 1,38 | 725 | 1,52 | 658 |
| 9. | 1250 | 1,73 | 723 | 1,79 | 698 |
| 10. | 1500 | 2,38 | 630 | 2,06 | 728 |
| 11. | 2000 | 3,16 | 633 | 3,05 | 655 |
| Rata-rata | | | 659± 46 | | 658± 39 |

Hasil perhitungan faktor konversi untuk Cs-137, F (Cs-137), disajikan pada Tabel 3, sedangkan untuk Co-60, F (Co-60), disajikan pada Tabel 4.

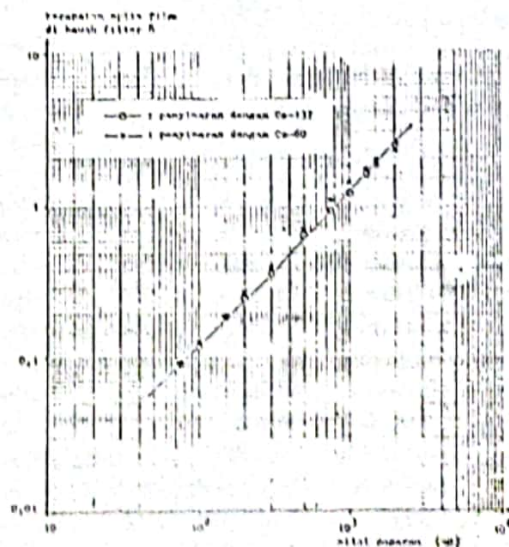
Tabel 3. Perhitungan Faktor Konversi untuk sumber Cs-137

| No | X (mR) atau Hp (10) (mrem) | Kx | Kh | F (Cs-137) (mrem/mR) |
|-----------|----------------------------|-----|-----|----------------------|
| 1. | 75 | 833 | 577 | 0,693 |
| 2. | 100 | 833 | 625 | 0,750 |
| 3. | 150 | 790 | 714 | 0,904 |
| 4. | 200 | 769 | 625 | 0,814 |
| 5. | 300 | 780 | 638 | 0,818 |
| 6. | 500 | 769 | 667 | 0,867 |
| 7. | 750 | 781 | 688 | 0,881 |
| 8. | 1000 | 807 | 725 | 0,898 |
| 9. | 1250 | 801 | 723 | 0,903 |
| 10. | 1500 | 811 | 630 | 0,777 |
| 11. | 2000 | 799 | 633 | 0,792 |
| Rata-rata | | | | 0,827 ± 0,067 |

Tabel 4. Perhitungan Faktor Konversi untuk Sumber Co-60

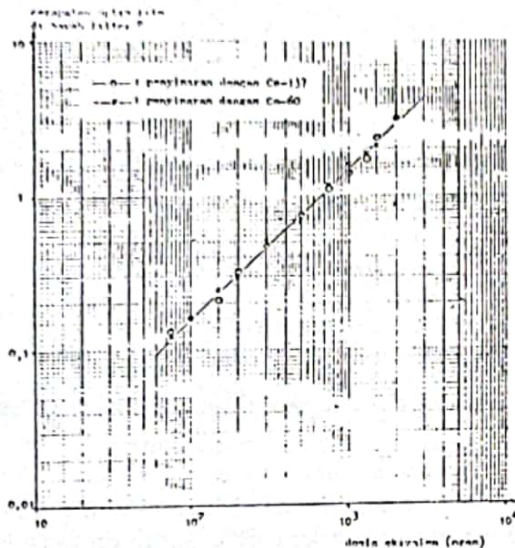
| No | X (mR) atau Hp (10) (mrem) | Kx | Kh | F (Co-60) (mrem/mR) |
|-----------|----------------------------|-----|-----|---------------------|
| 1. | 75 | 833 | 623 | 0,748 |
| 2. | 100 | 769 | 630 | 0,819 |
| 3. | 150 | 790 | 625 | 0,791 |
| 4. | 200 | 752 | 667 | 0,887 |
| 5. | 300 | 731 | 600 | 0,821 |
| 6. | 500 | 684 | 714 | 1,044 |
| 7. | 750 | 694 | 641 | 0,924 |
| 8. | 1000 | 704 | 658 | 0,935 |
| 9. | 1250 | 744 | 698 | 0,938 |
| 10. | 1500 | 761 | 728 | 0,957 |
| 11. | 2000 | 823 | 655 | 0,796 |
| Rata-rata | | | | 0,878 ± 0,086 |

Harga rata-rata untuk F (Cs-137) = (0,827 ± 0,067) mrem/mR, dengan standar deviasi 8%, sedangkan untuk F (Co-60) = (0,878 ± 0,086) mrem/mR dengan standar deviasi 10%. Untuk F (Cs-137), harga yang diperoleh dari penelitian ini relatif sama dengan harga yang diper-



Gambar 3. Grafik kalibrasi untuk evaluasi nilai paparan.

oleh dari penelitian sebelumnya, namun dengan metode yang berbeda, yaitu $(0,870 \pm 0,119)$ mrem/mR [9]. Karena harga Kx maupun Kh berlaku untuk semua nilai paparan/dosis ekivalen dari rendah hingga tinggi, harga F ini pun dapat dipakai untuk mengkonversikan nilai paparan ke dosis ekivalen dari rendah hingga tinggi.

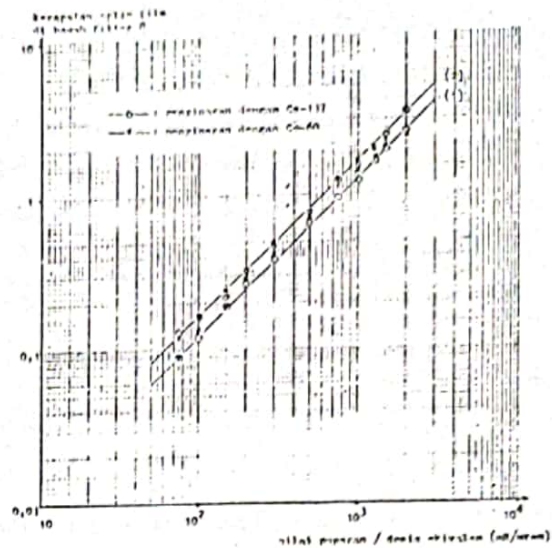


Gambar 4. Grafik kalibrasi untuk evaluasi dosis kedalaman.

Kepekaan film Kodak tipe 2 terhadap foton energi tinggi cukup independen terhadap energi foton [1]. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3, 4 dan 5 di mana kurva kalibrasi yang dibuat menggunakan sumber Cs-137 dan Co-60 hampir berhimpit pada setiap titik penyinaran. Di samping itu, untuk keperluan kalibrasi dosimeter, variasi faktor konversi nilai paparan ke dosis ekivalen relatif kecil untuk foton energi tinggi dari 500 keV (1,060 mrem/mR) sampai dengan 2000 keV (0,987 mrem/mR) [5]. Selisih antara nilai faktor konversi terendah dan tertinggi adalah 0,073 mrem/mR atau 6,9%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fujitaka, K. (transl.), A New Film Badge Case for X- and Gamma Rays (Summary), Chiyoda Safety Appliances, Tokyo (1988).
2. Chiyoda, Classification Catalogue, Chiyoda Safety Appliances, Tokyo.
3. ICRU, Report No. 39, Bethesda (1985).



Gambar 5. Grafik kalibrasi untuk evaluasi nilai paparan (1) dan dosis kedalaman (2).

Terdapat perbedaan harga hasil perhitungan F (Cs-137) dan F (Co-60) sebesar 0,051 mrem/mR atau sebesar 5,8%. Perbedaan itu cukup kecil dan dapat diabaikan untuk tujuan Proteksi Radiasi. Oleh sebab itu, dapat diambil satu harga F saja untuk foton energi tinggi di atas 500 keV. Harga F ini diperoleh dari rata-rata antara F (Cs-137) dan F (Co-60) yang cukup mewakili foton energi tinggi. Dari hasil perhitungan diperoleh harga F sebesar 0,853 mrem/mR.

KESIMPULAN

Dosis ekivalen perorangan di kedalaman 10 mm, Hp (10), dapat dihitung dari nilai paparan yang diterima dosimeter. Nilai paparan dari foton energi tinggi dapat dikonversikan ke dosis kedalaman jika dikalikan dengan faktor konversi $F = 0,853$ mrem/mR. Nilai F ini dapat dipakai untuk mengkonversikan nilai paparan foton dengan energi di atas 500 keV.

4. Akhadi, M., Laporan mengikuti Diklat Dosimetri Perorangan di JAERI, PSPKR-BATAN, Jakarta (1991).
5. ICRP, Publication 51, Pergamon Press, Oxford (1987).
6. ICRP, Publication 26, Pergamon Press, Oxford (1977).
7. BATAN, Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, BATAN, Jakarta (1989).
8. ICRP, Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1990).
9. Akhadi, M. dan Tuti B., Metoda penentuan dosis ekivalen perorangan tembus dengan dosimeter film kodak tipe 2, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta (1990).

DISKUSI

Nasir K.:

Bagaimana karakteristik film yang digunakan (hubungan antara *optical density* terhadap paparan)?

Mukhlis A. :

Untuk nilai dosis dari 75 sampai dengan 1000 mR masih linier (bisa dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4.

Rustam Rukmantara

Apa dasar teori bahwa penyinaran film di luar tubuh ekivalen dengan penyinaran di kedalaman 10 mm dalam tubuh?

Mukhlis A.:

Dasar teorinya kami kurang tahu, tetapi dari hasil pengukuran yang dilakukan menunjukkan bahwa hasil pengukuran di permukaan fantom sama dengan pengukuran di kedalaman fantom.