

PENENTUAN DOSIS SERAP BERKAS RADIASI ^{60}Co MENGGUNAKAN DETEKTOR IONISASI DENGAN FAKTOR KALIBRASI DOSIS SERAP AIR

Sri Inang Sunaryati, Dani

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir-Batan

ABSTRAK

PENENTUAN DOSIS SERAP BERKAS RADIASI ^{60}Co MENGGUNAKAN DETEKTOR IONISASI DENGAN FAKTOR KALIBRASI DOSIS SERAP AIR. Protokol IAEA TRS No. 398 merekomendasikan penentuan dosis serap air berkas radiasi ^{60}Co menggunakan detektor ionisasi dengan faktor kalibrasi dosis serap air pada kondisi standar dengan jarak sumber ke permukaan fantom, SSD = 80 cm, luas lapangan 10 cm x 10 cm dan kedalaman pengukuran 5 cm dan 10 cm. Pengukuran dilakukan dengan detektor volume 0,6 cc tipe 2581 yang dirangkai dengan elektrometer Farmer tipe 2570 A. Diuraikan juga hasil perbandingan dosis serap air tersebut dengan protokol TRS No. 277 yang menggunakan faktor kalibrasi paparan dan kerma udara. Hasil yang diperoleh menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan sebesar $\pm 2\%$.

Kata kunci: dosis serap di air berkas radiasi ^{60}Co , detektor ionisasi, faktor kalibrasi nilai paparan, faktor kalibrasi kerma udara, faktor kalibrasi dosis serap air.

ABSTRACT

DETERMINATION OF ABSORBED DOSE TO WATER IN THE ^{60}Co BEAM USING AN IONIZATION CHAMBER WITH ABSORBED DOSE TO WATER CALIBRATION FACTOR. This paper describes the absorbed dose determination in the ^{60}Co beam based on the use of an ionization chamber dosimeter calibrated in term of absorbed dose to water. The measurements were carried out under the reference condition with the source to surface distance, SSD of 80 cm, field size of 10 cm x 10 cm and the depth of 5 cm and 10 cm. The result obtained were compareds with the measurement based on the use of and ionization chamber calibrated in term of exposure and air kerma calibration factors using the previous protocol in the TRS No. 277. The results showed that the deviation between both protocols were within $\pm 2\%$.

Key words : absorbed dose to water for ^{60}Co beams, ionization chamber, air kerma calibration factor, absorbed dose to water calibration factor.

PENDAHULUAN

Tujuan radioterapi adalah memberikan dosis radiasi setepat-tepatnya terhadap jaringan yang sakit (*'target volume'*) tanpa memberikan efek atau kerusakan yang berarti pada jaringan sehat sekitarnya. Dengan demikian dosis serap berkas radiasi merupakan parameter dosimetri yang sangat menentukan keberhasilan tujuan radioterapi.

Akhir tahun 2000 IAEA mempublikasikan Technical Report Series (TRS) No. 398 yang diberi judul Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. Publikasi ini menguraikan suatu metodologi untuk penentuan dosis serap air berkas foton energi rendah, menengah dan tinggi, berkas elektron, proton dan ion berat yang digunakan untuk terapi eksterna [7].

Berbeda dengan beberapa publikasi IAEA sebelumnya yang merekomendasikan detektor ionisasi di kalibrasi di udara dengan faktor kalibrasi nilai paparan, N_x atau faktor kalibrasi kerma udara, N_k untuk digunakan dalam penentuan dosis serap air, maka untuk menerapkan protokol yang terdapat dalam TRS No. 398 ini detektor ionisasi harus dikalibrasi di dalam air dengan faktor kalibrasi dosis serap air, $N_{D,w}$ [4,6]. Jika belum dilakukan maka dianjurkan untuk tetap menggunakan protokol-protokol sebelumnya yang terdapat dalam TRS No. 277 dan TRS No. 381 atau mengadopsi dokumen dalam TRS No. 398 untuk mendapatkan faktor kalibrasi dosis serap air, $N_{D,w}$ yang diturunkan dari faktor kalibrasi kerma udara, N_k tetapi faktor kalibrasi dosis serap air hasil perhitungan ini tidak tertelusur ke dosis serap standar primer. Faktor kalibrasi dosis serap air hasil perhitungan ini dapat juga digunakan untuk membuktikan bahwa kalibrasi berkas radiasi terapi yang berdasarkan pada $N_{D,w}$ dan N_k menghasilkan nilai dosis serap yang tidak jauh berbeda.

Keuntungan menggunakan protokol yang didasarkan pada standar dosis serap air adalah meminimalkan ketidakpastian dalam penentuan dosis serap air karena perhitungannya tidak lagi memerlukan beberapa faktor konversi ketergantungan

detektor, k_{att} , k_m , faktor koreksi pertubasi, P_u dan nisbah daya henti masa air terhadap udara, $S_{w,air}$ yang ketidakpastiannya mencapai sekitar 2,4 % untuk berkas radiasi ^{60}Co dan 2,6 % untuk sinar-x energi tinggi serta 3,4 % untuk berkas elektron dengan tingkat kepercayaan 68 % [6]. Dengan demikian penentuan dosis serap air yang dimulai dari kalibrasi detektor ionisasi di dalam air akan menjadi lebih baik untuk mencapai ketelitian ± 5 % seperti yang direkomendasikan dalam laporan 24 ICRU [1].

Makalah ini akan menguraikan penentuan dosis serap air berkas ^{60}Co menggunakan faktor kalibrasi paparan, N_x , kerma udara, N_k dan faktor kalibrasi dosis serap air, N_{Dw} dengan protokol IAEA TRS no. 277 dan TRS No. 398 yang dilakukan di Rumah Sakit Dr Sutomo, Surabaya. Diharapkan pengguna mengkalibrasi alat ukur radiasinya dalam faktor kalibrasi dosis serap air, sehingga protokol TRS 398 ini dapat diterapkan di fasilitas radioterapi mereka.

TINJAUAN PUSTAKA

Protokol TRS No. 277

Dosis serap di dalam air pada titik efektif pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan berikut [4] :

$${}_5D_{w(\text{eff})} = M_u \cdot K_{pt} \cdot N_D \cdot S_{w,air} \cdot P_u \cdot P_s \quad (1)$$

dengan :

${}_5D_{w(\text{eff})}$ = dosis serap di air pada titik efektif pengukuran

Titik efektif pengukuran adalah titik yang memperhitungkan adanya gradien fluen dalam rongga detektor yang besarnya 0,5 x jari-jari detektor untuk berkas radiasi ^{60}Co .

M_u = bacaan dosimeter terkoreksi efek polaritas dan rekombinasi ion

K_{pt} = faktor koreksi temperatur dan tekanan udara

N_D = faktor kalibrasi dosis serap udara detektor

$S_{w,air}$ = nisbah daya henti masa air terhadap udara untuk energi ^{60}Co

Tabel XIII TRS 277

- P_u = faktor koreksi pertubasi
 P_s = faktor koreksi rekombinasi ion

Untuk mendapatkan dosis maksimum, D_{maks} menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D_{maks} = 100 / (PDD_{eff}) \times {}_5D_{w(eff)} \quad (2)$$

PDD_{eff} = persentase dosis di kedalaman efektif

Jika faktor kalibrasi detektor dari sertifikat kalibrasi dalam nilai paparan, N_x dengan satuan R/digit, maka untuk mendapatkan faktor kalibrasi dalam kerma udara, N_k dengan satuan Gy/digit digunakan persamaan berikut :

$$N_k = N_x \frac{W}{e} \frac{1}{1-g} \quad (3)$$

dengan :

W/e = Energi untuk menghasilkan satu ionisasi di udara per muatan elektron
($33,97 \pm 0,06$ J/C)

g = fraksi energi sekunder partikel bermuatan yang hilang menjadi
bremstrahlung (0,003 untuk berkas ^{60}Co)

Selanjutnya untuk mendapatkan faktor kalibrasi dosis serap udara detektor, N_D digunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_D = N_k (1 - g) k_{att} k_m \quad (4)$$

dengan :

k_{att} = faktor atenuasi dinding detektor

k_m = faktor ketidaksetaraan udara dari dinding dan selubung penimbul
(*build up cap*) detektor

Protokol TRS No. 398

Dosis serap di dalam air pada kedalaman acuan, z_{ref} , ditentukan dengan persamaan berikut [7] :

$$D_w = M \cdot K_{\text{pt}} \cdot N_{\text{D,w}} \quad (5)$$

dengan :

D_w = dosis serap di air di kedalaman acuan

M = bacaan dosimeter terkoreksi dengan efek polaritas dan rekombinasi ion

K_{pt} = koreksi tekanan udara dan temperatur

$N_{\text{D,w}}$ = faktor kalibrasi dosis serap air

Jika faktor kalibrasi detektor pada sertifikat kalibrasi masih dalam kerma udara, N_k , maka dengan menggunakan hubungan $N_k - N_D$ pada persamaan 3 dan hubungan $N_D - N_{\text{D,w}}$ pada persamaan 4 akan diperoleh faktor kalibrasi dosis serap air, $N_{\text{D,w}}$.

$$N_{\text{D,w}} = N_D (S_{\text{w,air}}) \cdot P_Q \quad (6)$$

dengan :

$N_{\text{D,w}}$ = faktor kalibrasi dosis serap air

N_D = faktor kalibrasi dosis serap udara detektor

$S_{\text{w,air}}$ = nisbah daya henti masa air terhadap udara untuk energi ^{60}Co
(Tabel XIII TRS 277)

P_Q = faktor koreksi pertubasi

Harga ($S_{\text{w,air}}$) dan P_Q untuk detektor yang digunakan dapat diperoleh dari Tabel 37 pada TRS no. 398 .

Faktor-faktor koreksi

Temperatur dan tekanan udara. Karena detektor ionisasi terbuka terhadap lingkungan di sekitarnya maka massa udara di dalam volume rongga detektor ionisasi selama pengukuran mungkin berbeda dari kondisi saat detektor dikalibrasi sehingga perlu dilakukan koreksi bacaan dosimeter menggunakan persamaan berikut :

$$K_{pt} = \frac{P_0(273,15 + T)}{P(273,15 + T_0)} \quad (7)$$

dengan P dan T adalah tekanan udara dan temperatur rongga detektor pada saat pengukuran sedangkan P₀ dan T₀ adalah nilai acuan (101,3 kPa dan 20°C)

Koreksi Pertubasi. Faktor koreksi pertubasi, P_u untuk detektor yang digunakan dalam pengukuran berkas ⁶⁰Co diperoleh dari Gambar 14 pada TRS 277.

Efek polaritas. Efek polaritas dilakukan dengan cara melakukan pengukuran menggunakan 2 (dua) buah tegangan detektor dan koreksinya dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$P_{poi} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (8)$$

dengan M₊ dan M₋ adalah bacaan elektrometer yang diperoleh pada tegangan positif dengan negatif sedangkan M adalah bacaan elektrometer menggunakan tegangan ketika detektor dikalibrasi (positif atau negatif)

Rekombinasi ion. Untuk menentukan rekombinasi ion maka dilakukan pengukuran menggunakan 2 (dua) buah tegangan . Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda V₁ (tegangan normal) dan V₂ dengan kondisi penyinaran yang sama. Pengaturan V₁ dengan bacaan M₁ dan V₂ dengan bacaan M₂ sedemikian rupa sehingga V₁/V₂ sekurang-kurangnya = 3 [4]. Faktor koreksi rekombinasi ion ditentukan menggunakan Gambar 13 protokol TRS

277[4]. Untuk protokol TRS 398 faktor koreksi rekombinasi ion diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{\text{ion}} = \frac{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{-1}}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{M_1}{M_2}\right)} \quad (9)$$

Kondisi acuan

Kondisi acuan untuk penentuan dosis serap air berkas radiasi ^{60}Co menggunakan kedua protokol diberikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan kedalaman pengukuran dapat dilakukan pada dua kedalaman yaitu 5 cm atau 10 cm. Prosedur ini dapat dilakukan untuk protokol TRS 398. Hal ini dimungkinkan karena penelitian menunjukkan bahwa faktor kalibrasi dosis serap air, $N_{D,w}$ konstan terhadap kedalaman [2]. Untuk protokol 277 kedalaman pengukuran hanya pada kedalaman 5 cm.

Tabel 1. Kondisi acuan untuk penentuan dosis serap air berkas radiasi ^{60}Co

Besaran	Nilai acuan atau karakteristik acuan
Material fantom	air
Tipe detektor	silindris
Kedalaman pengukuran, z_{ref}	5 cm atau 10 cm
Titik acuan detektor	sumbu utama di pusat volume detektor
Posisi detektor	di kedalaman acuan z_{ref}
Jarak sumber ke permukaan fantom, SSD	80 atau 100 cm
Luas lapangan radiasi	10 x 10 cm ²

PERALATAN DAN TATA KERJA

Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain pesawat ^{60}Co Alcyon II P1# 2038P, elektrometer Farmer model 2570 A no. seri 531, detektor ionisasi volume 0,6 cc model NE 2581 No.seri 327, fantom air, barometer dan termometer

Tata Kerja

Pengukuran Dosis Serap Air Berkas Radiasi ^{60}Co

Pengukuran dosis serap air berkas ^{60}Co dilakukan di dalam fantom air pada kedalaman 5 cm dan 10 cm dengan jarak permukaan fantom ke sumber radiasi, SSD = 80 cm dan luas lapangan radiasi, FS = 10 x 10 cm². Pengukuran dilakukan dengan detektor ionisasi volume 0,6 cc model NE 2581 yang dirangkai dengan elektrometer Farmer tipe 2570 A No. seri 327. Data temperatur dan tekanan udara dimasukkan ke dalam elektrometer sehingga bacaan yang diperoleh sudah terkoreksi terhadap temperatur dan tekanan udara.

Pengukuran Koreksi Polaritas, P_{pol}

Pengukuran koreksi polaritas, P_{pol} dilakukan dengan memberikan tegangan detektor positif dan negatif pada kondisi yang sama dengan pengukuran dosis serap

Pengukuran koreksi Rekombinasi ion, P_s

Pengukuran koreksi rekombinasi ion, P_{ion} dilakukan dengan menggunakan metoda 2 tegangan. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda V_1 (tegangan normal) dan V_2 dengan kondisi penyinaran yang sama. Pengaturan V_1 dan V_2 sedemikian rupa sehingga $V_1/V_2 = 4$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Protokol TRS No. 277

Hasil perhitungan dosis serap berkas radiasi ^{60}Co berdasarkan faktor kalibrasi paparan, N_x , faktor kalibrasi kerma udara, N_k menggunakan protokol TRS No. 277 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan dosis serap, D_{mak} dengan faktor kalibrasi nilai paparan, N_x menggunakan protokol IAEA TRS No. 277 yang dilakukan pada kedalaman acuan 5 cm.

M_u digit	N_D cGy/digit	$S_{w,\text{air}}$	P_u	P_s	${}_5D_w$ cGy /mnt	PDD_{eff} %	D_{mak} cGy/mnt
153,8	0,8455	1,133	1,007	1,0007	148,71	79,6	$186,83 \pm 2,72 \%$
25,46	52,24	1,133	1,007	1,0007	151,85	79,6	$190,77 \pm 1,33 \%$

Keterangan :

- $N_D = 0,8455$ cGy/digit diperoleh dari nilai faktor kalibrasi paparan $N_x = 1,006$ R/digit menggunakan persamaan 2 dan 3 untuk *switch* " 0,6 cc" yang memiliki ketertelusuran ke laboratorium dosimetri standar primer ETL, Jepang.
- $N_D = 52,24$ cGy/digit diturunkan dari $N_k = 53,2$ mGy/digit menggunakan persamaan. 3, untuk *switch* " CHARGE " yang memiliki ketertelusuran ke laboratorium dosimetri standar primer BIPM, Perancis.
- Ketidakpastian pada tabel di atas untuk tingkat kepercayaan 68% (1σ)

Protokol TRS No. 398

Hasil perhitungan dosis serap berkas radiasi ^{60}Co berdasarkan faktor kalibrasi dosis serap air, N_{Dw} menggunakan protokol IAEA TRS No. 398 dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil perhitungan dosis serap, D_{mak} dengan faktor kalibrasi dosis serap air, $N_{D,w}$ menggunakan protokol IAEA TRS No. 398

M_u Digit	$N_{D,w}$ mGy/digit	P_{pol}	P_{ion}	${}_5D_w$ cGy	PDD %	D_{mak} cGy/menit
153,8	9,64	0,997	1,0005	147,89	78,8	$187,86 \pm 2,72\%$
110,2	9,64	0,997	1,0005	105,97	56,4	$187,88 \pm 2,72\%$
25,46	58,39	0,997	1,0005	148,28	78,8	$188,18 \pm 1,33\%$

Keterangan :

- N_{Dw} = 9,64 mGy/digit adalah faktor kalibrasi dosis serap air untuk *switch* "0,6cc" yang memiliki ketertelusuran ke Laboratorium dosimetri standar primer BIPM, Perancis.
- N_{Dw} = 58,39 mGy/digit adalah faktor kalibrasi dosis serap air untuk *switch* "charge" yang memiliki ketertelusuran ke Laboratorium dosimetri standar primer BIPM, Perancis.
- M_u = 153,8 digit pengukuran di kedalaman 5cm air untuk *switch* "0,6 cc"
- M_u = 110,2 digit pengukuran di kedalaman 10cm air untuk *switch* "0,6 cc"
- M_u = 25,46 digit pengukuran di kedalaman 5cm air untuk *switch* "charge"
- PDD% = 78,8 untuk perhitungan D_{maks} hasil pengukuran di kedalaman 5 cm air
- PDD% = 56,4 untuk perhitungan D_{maks} hasil pengukuran di kedalaman 10 cm air
- Ketidakpastian pada tabel di atas untuk tingkat kepercayaan 68% (1σ)

Penentuan dosis serap air berkas ^{60}Co menggunakan protokol TRS no. 398 ini lebih sederhana namun kekeliruan dalam menafsirkan faktor kalibrasi detektor ionisasi dapat mengakibatkan kesalahan yang fatal.

Laporan ICRU tidak menjelaskan ketelitian sebesar $\pm 5\%$ tersebut untuk satu atau dua standar deviasi. Jika ketelitian itu dianggap untuk tingkat kepercayaan 95 % maka berarti untuk 1 standar deviasi akan mendapatkan ketelitian $\pm 2,5\%$ sedangkan sampai dengan tahapan penentuan dosis serap saja ketidakpastian sudah mendapatkan

harga $\pm 2,6\%$ untuk satu standar deviasi, padahal masih ada kontribusi kesalahan dari tahapan yang lain dalam pemberian dosis pada pasien seperti penentuan volume tumor.

Tabel 4. Hasil perhitungan dosis serap, D_{mak} dengan faktor kalibrasi dosis serap air, $N_{D,w}$ hasil penurunan dari faktor kalibrasi kerma udara, N_k menggunakan protokol IAEA TRS No. 398.

M_u digit	$N_{D,w}$ mGy/digit	P_{pol}	P_{ion}	${}_5D_w$ cGy /mnt	PDD ₅ %	D_{mak} cGy/menit
25,46	58,879	0,997	1,0005	149,53	78,8	$189,76 \pm 1,33\%$

Keterangan:

- $N_{D,w} = 58,879$ diperoleh dari hubungan $N_k - N_D$ pada TRS no. 277 dan dengan menggunakan persamaan pada TRS No. 398 $N_{D,w} = N_D(S_{w,\text{air}}) \cdot P_Q$

Dengan demikian penentuan dosis serap air dengan menggunakan faktor kalibrasi detektor dalam dosis serap air masih belum bisa memberikan ketelitian yang dibutuhkan tetapi jika ketelitian tersebut untuk 1,5 standar deviasi seperti yang diusulkan oleh Goitein [3] maka penerapan protokol TRS 378 ini sudah cukup baik.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Penentuan dosis serap air berkas ^{60}Co menggunakan protokol TRS no. 398 lebih sederhana namun kekeliruan dalam menafsirkan faktor kalibrasi detektor ionisasi dapat mengakibatkan kesalahan yang fatal.
2. Penentuan dosis serap air menggunakan kedua protokol menghasilkan deviasi yang berada dalam rentang ketidakpastian kedua protokol tersebut.
3. Protokol TRS no 398 cukup baik untuk mencapai rekomendasi ICRU sebesar $\pm 5\%$ bila ketelitian tersebut dianggap untuk 1,5 standar deviasi.