

PENENTUAN PARAMETER DOSIMETRI AWAL BERKAS FOTON 6 MV DARI 5 BUAH PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK ELEKTA DAN VARIAN CLINAC BARU

Sri Inang Sunaryati, Fendinugroho, Assef Firnando Firmansyah, Nurman R dan Gatot Wurdianto

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

Kawasan Nukir Pasar Jumat, Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440

email: sri.inang12@gmail.com

ABSTRAK

PENENTUAN PARAMETER DOSIMETRI AWAL BERKAS FOTON 6 MV DARI LIMA BUAH PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK ELEKTA DAN VARIAN CLINAC BARU. Telah dilakukan pengukuran untuk menentukan parameter dosimetri awal berkas foton 6 MV dari lima buah pesawat pemercepat linier medik Elekta yang pesawat pemercepat linier medik Varian Clinac iX Silhouette baru dipasang di beberapa rumah sakit. Parameter dosimetri meliputi persentase dosis di kedalaman dan luaran. Pengukuran persentase dosis di kedalaman dilakukan menggunakan sistem dosimeter IBA, sedangkan pengukuran luaran menggunakan sistem dosimeter Farmer. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm. Perhitungan laju dosis serap air berkas foton dilakukan menggunakan publikasi International Atomic Energy Agency yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398. Hasil yang diperoleh menunjukkan parameter dosimetri awal berkas foton 6 MV dari kelima pesawat sudah memenuhi spesifikasi yang dikeluarkan oleh pabrik. Perhitungan laju dosis serap air menunjukkan bahwa laju dosis serap air sebesar $200 \text{ cGy}/200 \text{ MU} \pm 2 \%$. Sebagai kesimpulan berkas foton 6 MV dari keempat pesawat pemercepat linier medik Elekta dan Varian Clinac tersebut sudah dapat digunakan untuk penyinaran pasien.

Kata kunci: pesawat pemercepat linier medik Elekta, Varian Clinac, berkas foton, persentase dosis di kedalaman dan dosis serap air.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE INITIAL DOSIMETRY PARAMETER FOR 6 MV FROM FIVE NEW ELEKTA AND VARIAN CLINAC LINEAR ACCELERATOR MACHINES. Measurement on the some initial dosimetry parameter for 6 MV photon beams from four new Elekta and Varian Clinac linear accelerator machines has been carried out. The dosimetry parameter consists of the percentage depth doses and the output. The measurement of the percentage depth doses has been carried out inside a water phantom by using an IBA dosimeter system, while the output of the machines by using a Farmer dosimeter system. Measurement has been performed at the source to the surface distance of 100 cm. The calculation of the absorbed doses to water of the machines has been done with The International Atomic Energy Agency publication in The Technical Report Series No. 398. The result obtained show that the dosimetry parameter meet the written specification from the manufacturer. The output of the machines were $200 \text{ mGy}/200 \text{ MU} \pm 2 \%$. In summary the 6 MV photon beams from four new Elekta and Varian Clinac linear accelerator machines were ready for use for clinical purposes.

Keywords: Elekta linear accelerator machine, Varian Clinac, photon beam, percentage depth dose and absorbed dose to water

PENDAHULUAN

Perkembangan penggunaan radiasi pengion di bidang radioterapi beberapa tahun terakhir ini sangat pesat baik secara kuantitas maupun kualitas. Dua tahun terakhir ini saja sekurang-kurangnya 7 buah pesawat terapi baru baik pesawat Co-60 atau pesawat pemercepat linier medik dipasang di beberapa rumah sakit [1].

Pada akhir tahun 2015, Rumah Sakit Santosa Hospital Bandung Kopo selesai memasang sebuah pesawat pemercepat linier medik Varian iX Silhouette.

Pesawat tele terapi ini dapat memancarkan berkas radiasi foton 6 dan 10 MV serta berkas radiasi elektron dengan energi nominal 6, 9, 12, 15 dan 18 MeV.

Pada bulan Februari 2016, Rumah Sakit Umum Daerah Abdul Wahab Sjahranie, Samarinda selesai memasang sebuah pesawat pemercepat linier medik Elekta Precise Treatment no. seri 153540. Pesawat tele terapi ini dapat memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV serta berkas elektron dengan energi nominal 4, 6, 8, 10, 12, 15 dan 18 MeV. Pesawat ini

merupakan pesawat pemercepat linier medik yang pertama di Pulau Kalimantan.

Pada bulan Maret 2016, Rumah Sakit Umum Daerah dr. Kariadi, Semarang juga selesai memasang pesawat dengan model yang sama no. seri 153960 untuk menggantikan pesawat Mitsubishi yang sudah lama tidak digunakan karena mengalami kerusakan.

Pada bulan Juni 2016 Rumah Sakit Umum Daerah dr. Sardjito, Yogyakarta juga selesai memasang pesawat model Elekta Synergy Platform no. seri 154929 yang memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV serta berkas elektron dengan energi nominal 6, 8, 10, 12, 15 dan 18 MeV. Terakhir pada bulan yang sama, Rumah Sakit Ken Saras, Ungaran yang memasang pesawat dengan model berbeda yaitu Elekta Compact no. seri 201165 mono energi yang hanya memancarkan berkas foton 6 MV.

Setelah sebuah pesawat pemercepat linier medik selesai dipasang, maka dilakukan serangkaian tes keberterimaan (*acceptance test*) yang bertujuan untuk menjamin bahwa pesawat memenuhi spesifikasi tertulis yang dikeluarkan oleh pabrik. Salah satu tes keberterimaan adalah pengukuran parameter dosimetri yang antara lain adalah persentase dosis di kedalaman [2,3]. Setelah tes keberterimaan selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan laju dosis serap air dari berkas radiasi yang dipancarkan oleh pesawat pemercepat linier medik tersebut [4]. Pengukuran terakhir ini sangat penting untuk mendapatkan Sertifikat Kalibrasi dari pesawat pemercepat linier medik yang digunakan sebagai salah satu syarat untuk izin penggunaan sumber radiasi yang dikeluarkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Sudah tentu data pengukuran pertama ini sangat penting, karena akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan kegiatan kendali mutu pesawat tersebut [5].

Makalah ini menguraikan penentuan parameter dosimetri awal berkas radiasi foton 6 MV yang dipancarkan dari lima buah pesawat pemercepat linier medik Elekta yang baru dipasang di beberapa rumah sakit tersebut di atas. Pesawat pemercepat linier medik Elekta model Elekta Precise Treatment, Elekta Compact dan Elekta Synergy Platform dan Pesawat Pemercepat Linier Medik Varian iX Silhoutte nomor Seri 1057 dapat dilihat pada Gambar 1.

TEORI

Kualitas Radiasi Berkas Foton

Salah satu parameter dosimetri yang penting dari sebuah pesawat pemercepat linier medik adalah kurva persentase dosis di kedalaman. Untuk berkas foton, indeks kualitas radiasi dapat ditentukan berdasarkan perbandingan dosis pada dua kedalaman yang diperoleh dari kurva persentase dosis di kedalaman ini. Disamping itu juga dapat ditentukan kedalaman

dosim mencapai nilai maksimum, D_{mak} . Kualitas berkas radiasi dari berkas foton sangat penting, karena faktor koreksi detektor yang digunakan untuk menentukan luaran bergantung pada besaran ini. Faktor koreksi ini diperlukan karena detektor dikalibrasi terhadap berkas Co-60, sedangkan berkas radiasi foton yang diukur adalah 6 MV.



Gambar 1. Pesawat pemercepat linier medik model Elekta Precise Treatment no. seri 153540 milik Rumah Sakit Umum Daerah Abdul Wahab Sjahranie, Elekta Compact no. seri 201165 milik Rumah Sakit Ken Saras dan Elekta Synergy Platform no. seri 154929 milik Rumah Sakit Umum Daerah dr. Sardjito, Yogyakarta dan Pesawat Pemercepat Linier Medik Varian iX Silhoutte nomor Seri 1057 milik Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung

Untuk menyatakan kualitas radiasi berkas foton protokol Nordic menggunakan $PDD_{20,10}$ yaitu perbandingan persentase dosis di kedalaman 10 cm dan 20 cm dengan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom konstan yaitu 100 cm. Sementara itu protokol AAPM menggunakan perbandingan dosis di kedalaman 10 cm dan 20 cm dengan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke detektor konstan yaitu 100 cm [6,7]. Perbandingan ini disebut sebagai *Tissue Phantom Ratio*, $TPR_{20,10}$. Publikasi IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 menyebutnya sebagai Indeks Kualitas Radiasi. $TPR_{20,10}$ pada protokol AAPM dapat juga dihitung dari $D_{20,10}$ pada protokol Nordic menggunakan persamaan di bawah ini.

$$TPR_{20,10} = 1,2661 \times PDD_{20,10} - 0,0595 \quad (1)$$

Untuk kepentingan "acceptance test" pabrik pesawat Elekta ini menyatakan bahwa untuk berkas foton 6 MV persentase dosis di kedalaman 10 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dan jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm adalah $67,0\% \pm 2\%$ [8].

Penentuan Laju Dosis Serap Air Berkas Foton

Penentuan laju dosis serap air berkas foton dengan kualitas radiasi Q dapat ditentukan berdasarkan pengukuran menggunakan detektor ionisasi yang dikalibrasi dalam besaran dosis serap air terhadap berkas gamma Co-60, $N_{D,w}$ menggunakan persamaan berikut ini [9];

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w} \cdot k_Q \quad (2)$$

dengan

$D_{w,Q}$: dosis serap berkas foton dengan kualitas Q (mGy)

M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi terhadap temperatur, tekanan udara, polaritas dan rekombinasi ion (nC)

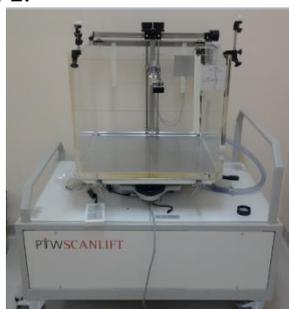
$N_{D,w}$: faktor kalibrasi detektor dengan berkas sinar gamma Co-60 (mGy/nC)

k_Q : faktor koreksi kualitas berkas foton, untuk detektor (Tabel 14 TRS No. 398)

TATA KERJA

Pengukuran Persentase Dosis Di Kedalaman (PDD) Berkas Foton 6 MV

Pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV dilakukan di dalam fantom air berukuran 50 cm x 50cm x 50 cm menggunakan sistem dosimeter IBA dengan jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm [9]. Fantom air yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fantom air yang digunakan untuk pengukuran PDD

Mula-mula detektor ionisasi diletakkan di permukaan air pada sumbu utama berkas radiasi. Untuk mendapatkan posisi yang akurat, maka digunakan alat bantu berupa *Optical Field Size Indicator* yang terdapat pada *Head* pesawat pemercepat linier tersebut. Kemudian dengan bantuan komputer, secara otomatis detektor tersebut

digerakkan di sepanjang sumbu utama berkas radiasi untuk pemindaian (*scanning*) yang menggambarkan distribusi dosis radiasi berkas foton tersebut di setiap kedalaman. Pengukuran dilakukan sampai pada kedalaman tertentu yang sesuai dengan kebutuhan. Hasil pemindaian distribusi dosis pada setiap kedalaman ini ditampilkan pada layar computer dalam bentuk kurva. Dari kurva yang diperoleh dapat diketahui persentase dosis pada kedalaman yang diinginkan.

Pengukuran Laju Dosis Serap Air Berkas Foton

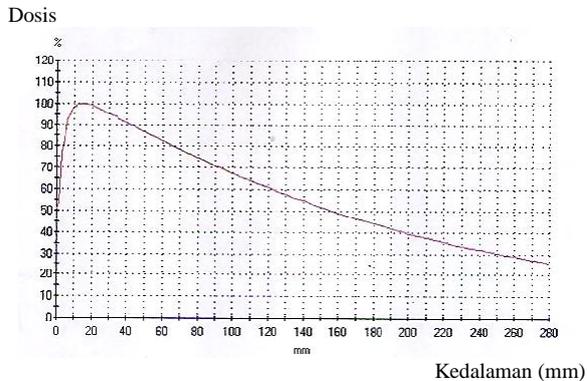
Pengukuran laju dosis serap air dilakukan menggunakan detektor pengionan volume 0,6 cc tipe TW 30013 no.seri 6367 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe 2570/1B no. seri 1182. Pertama *Gantri* pesawat diletakkan pada sudut 90° sehingga berkas radiasi datang pada arah vertical terhadap permukaan fantom air yang berjarak 100 cm dari sumber radiasi. Lapangan radiasi pada permukaan fantom diatur 10 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 10 cm. Selanjutnya waktu penyinaran pada panel control pesawat diatur pada 200 MU. Setelah itu dilakukan pengukuran faktor-faktor koreksi seperti rekombinasi ion dan efek polaritas [9]. Setelah pengukuran faktor-faktor koreksi pada Persamaan 2 itu selesai, maka dilakukan pengukuran laju dosis serap air dari berkas radiasi foton 6 MV. Pengambilan data dilakukan 5 buah. Temperatur dan tekanan ruang selama pengukuran diamati. Susunan peralatan pada pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3. Pada pengukuran ini laju dosis serap air yang diperoleh harus mendapatkan nilai $1 \text{ cGy} \sim 1 \text{ MU} \pm 2\%$. Jika di luar nilai ini maka harus diusahakan sedekat mungkin dengan cara memutar (*adjustment*) potensiometer dari pesawat.



Gambar 3. Susunan peralatan pada pengukuran berkas foton 6 MV. Detektor diletakkan di dalam fantom air pada kedalaman 10 cm, jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi pada permukaan air 10 cm x 10 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dari pesawat pemercepat linier model Elekta Synergy Platform no. seri154929 disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva persentase dosis di kedalaman dari pesawat pemercepat linier model Elekta Synergy Platform no. seri 154929 untuk berkas foton 6 MV pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm.

Dari kurva persentase dosis di kedalaman tersebut di atas dapat diperoleh kedalaman dosis mencapai maksimum, R_{100} , persentase dosis di kedalaman 10 cm, PDD_{10} dan 20 cm, PDD_{20} dan rasionya disajikan pada Tabel 1. Dari rasio $PDD_{20,10}$, maka dengan menggunakan Persamaan 1 diperoleh $TPR_{20,10}$ yang hasilnya disajikan pada tabel yang sama. Nilai $TPR_{20,10}$ ini akan menentukan nilai faktor

koreksi k_Q dari detektor yang digunakan untuk pengukuran menggunakan Tabel 14. Dalam *Technical Report Series* No. 398, yang hasilnya disajikan pada table yang sama. Untuk pesawat pemercepat linier yang lain hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Spesifikasi tertulis yang diberikan pabrik pesawat pemercepat linear menyatakan bahwa untuk berkas foton 6 MV, persentase dosis di kedalaman 10 cm adalah 67,5 % dengan deviasi maksimum sebesar 2 %^[12]. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa semua persentase dosis pada kedalaman 10 cm mendapatkan hasil yang sangat baik dengan perbedaan maksimum 0,5 % terhadap nilai 67,5 % yang diberikan oleh pabrik. Dengan demikian berkas foton 6 MV dari keempat pesawat tersebut sudah memenuhi spesifikasi tertulis yang dikeluarkan oleh pabrik.

Dapat dilihat juga dari Tabel 2 untuk pesawat pemercepat linier medik Varian Clinac IX Silhoutte dengan Merk dan pabrik yang berbeda juga memenuhi spesifikasi tertulis yang dikeluarkan oleh pabrik.

Hasil penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dari keempat pesawat pemercepat linier medik Elekta pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm yang dihitung menggunakan Persamaan 2 dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dilihat bahwa keempat pesawat pemercepat linier medik Elekta dan pesawat pemercepat linier medik Varian Clinac iX Silhoutte tersebut mendapatkan laju dosis serap air yang cukup baik dengan deviasi maksimum sebesar 0,8 % terhadap nilai 1,00 Monitor Unit \sim 1,00 cGy.

Tabel 1. Parameter dosimetri berkas radiasi foton 6 MV dari 4 pesawat pemercepat linier medik Elekta pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi di permukaan 10 cm x 10 cm

No. seri	R_{100} mm	D_{10} %	D_{20} %	D_{20}/D_{10}	$TPR_{20,10}$	k_Q
153540	13,02	67,31	39,65	0,589	0,683	0,9914
153960	16,2	67,51	39,03	0,578	0,672	0,9908
154929	15,1	67,2	39,24	0,584	0,680	0,9900
201165	15,1	67,0	38,4	0,573	0,666	0,9914

Tabel 2. Parameter dosimetri berkas radiasi foton 6 MV pesawat pemercepat linier medik Varian Clinac IX Silhoutte pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm menggunakan detektor Wellhöfer IC 69 Farmer no. seri 30013-0689 [11]

No. seri	R_{100} mm	D_{10} %	D_{20} %	D_{20}/D_{10}	$TPR_{20,10}$	k_Q
153540	15,1	67,0	38,5	0,575	0,669	0,9919

Tabel 3. Luaran berkas foton 6 MV pesawat permercepat linier medik Elekta pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm

No. seri	M_Q nC/200MU	$N_{D,w}$ mGy/nC	k_Q	K_s	K_{pol}	D_{10} mGy/200MU	PDD %	D_{mak}^* mGy/200MU
153540	25,047	54,27	0,9897	1,0018	1,001	1349,302	67,31	2004,61
153960	24,984	54,27	0,9908	1,0018	1,0025	1347,279	67,51	1995,67
154929	25,161	54,27	0,9900	1,0018	1,0002	1354,564	67,20	2016,00
201165	24,598	54,27	0,9914	1,0023	1,001	1328,553	66,12	2009,31

*Ketidakpastian terentang (*expanded uncertainty* $\pm 2,17\%$) untuk tingkat kepercayaan 95 % [10]

Tabel 4. Luaran berkas foton 6MV pesawat permercepat linier medik Varian Clinac iX Silhouette pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm

Foton MV	M_Q nC/200MU	$N_{D,w}$ mGy/nC	M_Q	K_s	K_{pol}	D_{10} mGy/200MU	PDD %	D_{mak}^* mGy/200MU
6	24,841	54,27	0,9919	1,0025	1,000	1341,30	67,0	2001,95

*Ketidakpastian terentang (*expanded uncertainty* $\pm 2,17\%$) untuk tingkat kepercayaan 95 % [10]

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa berkas radiasi foton 6 MV dari kelima pesawat pemercepat linier medik Elekta dan pesawat pemercepat linier medik Varian Clinac iX Silhouette tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh pabrik. Demikian juga halnya laju dosis serap air berkas foton 6 MV yang dipancarkan dari pesawat tersebut sudah cukup baik. Dengan demikian secara teknis berkas radiasi foton 6 MV dari keempat pesawat teleterapi ini sudah dapat digunakan untuk penyinaran pasien. Data awal ini dapat juga dijadikan acuan dalam melaksanakan kegiatan kendali mutu dari masing-masing pesawat pemercepat linier tersebut di atas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Umum Daerah Abdul Wahab Sjahranie, Samarinda, Rumah Sakit Umum Daerah dr. Kariadi, Semarang, Rumah Sakit Ken Saras, Ungaran, Rumah Sakit Umum Daerah dr. Sardjito, Yogyakarta, staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Santosa Hospital Bandung Kopuserta PT Indosopha Sakti sebagai *vendor* pesawat pemercepat linier Elekta atas kerjasamanya sehingga penulisan ini dapat selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Komunikasi pribadi dengan beberapa personil *Vendor* pesawat teleterapi di Indonesia.
2. William, J.R., and Twaites, D.I., *Radiotherapy in practice*, Oxford Medical Publication, 1993.
3. Jhon Horton. Ph.D., *Handbook Radiation Therapy Physics*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1987.

4. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala BAPETEN NOMOR 1 TAHUN 2006 tentang kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi, standardisasi radionuklida dan fasilitas kalibrasi*, BAPETEN, Jakarta, 2007.
5. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Keputusan Ka. BAPETEN No. 21/Ka-BAPETEN/XII-02 tentang Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi*, Jakarta, 2002.
6. International Commission On Radiological Units and Measurement, *Radiation dosimetry: electron beams with energies between 1 and 50 MeV*, ICRU Rep. 35, ICRU Publications, Bethesda, MD, 1984.
7. American Association Of Physicists In Medicine, *Code of practice of X-ray therapy linear accelerator, a protocol for the determination of absorbed dose from high-energy and electron beam*, Medical Physics 10, 1983.
8. Manual Elekta Synergy, Acceptance Test, 2007.
9. International Atomic Energy Agency, *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy ; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water*, Technical Report Series No. 398, IAEA, Vienna, 05June 2006.
10. International Standardization Organization, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO, Switzerland, 1995.
11. Sunaryati, S.I., *Penentuan Dosimetriawal Berkas Foton Dan Elektron Pesawat Pemercepat Linier Medik Varian Clinac Ix Silhouette Nomor Seri 1057*. Jakarta, 2016.
12. High Energy C-Series Clinac, *Costumer Acceptance Test Procedure*. Varian Medical System , Revision U, 2009.