

VERIFIKASI PENENTUAN LAJU DOSIS SERAP AIR BERKAS FOTON 6 MV PESAWAT TOMOTERAPI HI ART ANTARA PTKMR DAN RSCM

Verification of the Determination of Absorbed Dose to Water for a 6 MV Photon Beam from a Hi Art Tomotherapy Machine between PTKMR and RSCM

Assef Firnando Firmansyah^{1*}, Nurman Rajagukguk², Nuruddin³, Wahyu Edi Wibowo⁴, dan Pearl Cheach⁵

^{1,2} Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440, Indonesia

^{3,4} Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jl. Diponegoro No. 71, Jakarta
Pusat 10430, Indonesia

⁵ Hospital Penjagaan Kesehatan, Kuala Lumpur, Malaysia

*E-mail korespondensi: firnando3154@gmail.com

ABSTRAK

Makalah ini menguraikan verifikasi penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV yang dipancarkan dari pesawat Tomoterapi Hi Art antara PTKMR dan Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air dan fantom air padat pada kondisi acuan spesifik mesin dengan jarak sumber radiasi ke permukaan 85 cm dan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm serta kedalaman 10 cm. Sebagai alat ukur radiasi digunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Unidos Weblin milik PTKMR dan detektor ionisasi volume 0,056 cc tipe A 1 SL yang dirangkaikan dengan elektrometer TomoElectrometer milik Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo. Perhitungan hasil pengukuran dilakukan menggunakan rekomendasi IAEA/AAPM yang terdapat dalam publikasi AAPM TG 148. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya kesesuaian yang cukup baik antara kedua pengukuran dengan perbedaan sebesar 1,2 % , namun lebih besar 2,0 % terhadap *Gold Data*. Sebagai kesimpulan pesawat tomoterapi Hi Art tersebut perlu *adjustment*.

Kata kunci: verifikasi, laju dosis serap air, berkas foton, detektor ionisasi, dan pesawat tomoterapi Hi Art

ABSTRACT

This paper describes the verification of the determination of the absorbed doses to water for 6 MV foton produced from the Hi Art tomotherapy machine. Measurement has been carried out inside water and solid water phantoms at the machine specific reference condition with the source to the surface distance of 85 cm, field size of 5 cm x 10 cm and the depth of 10 cm. Measurement has been carried out by using a 0.6 cc ionization chamber type of TW 30013 connected to a PTW Unidos Weblin electrometer owned by PTKMR and a 0.056 cc ionization chamber type of Exradin A 1 SL connected to a TomoElectrometer electrometer owned by Dr. Cipto Mangunkusumo National General Hospital. Calculation of the measurement were based on the the IAEA/AAPM recommendation at the AAPM TG 148 publication. The result obtained showed that there were a good agreement between the measurement with the difference of 2.0 %, but higher than 2.0 % against Gold Data. In summary, the Hi Art Tomotherapy machine should be adjusted.

Keywords: verification, absorbed dose to water, photon beam, ionization chamber and Hi Art tomotherapy machine

PENDAHULUAN

Pesawat tomoterapi Hi Art model H-0000-0003/0110065 buatan *Accuracy* adalah sumber radiasi terapi yang digunakan oleh Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo (RSCM) untuk penyinaran pasien kanker. Sumber radiasi dari pesawat tomoterapi Hi Art adalah berkas foton 6 MV yang dipancarkan dari pesawat pemercepat linier medik [1]. Perbedaan pesawat

tomoterapi dengan pesawat pemercepat linier medik konvensional adalah pada meja pasien yang dapat bergerak seiring dengan Bergeraknya sumber radiasi. Hal lain adalah data laju dosis serap air dari pesawat ini diperoleh berdasarkan pengukuran yang dilakukan di bunker pabrik sebelum pesawat tersebut dikirim ke rumah sakit. Data pengukuran di bunker pabrik ini disimpan dalam sistem pesawat sebagai data acuan yang

disebut *Gold Data* [2]. Pesawat tomoterapi Hi Art tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Pada tahun 2017 pesawat ini mengalami perbaikan sehingga perlu dilakukan pengukuran ulang untuk mengamati sejauh mana perubahan *Gold Data* khususnya untuk besaran laju dosis serap air dari pesawat tersebut pada kondisi acuan spesifik mesin (*machine specific reference condition*) yaitu pada lapangan radiasi 5 cm x 10 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan 85 cm [3].



Gambar 1. Pesawat Tomoterapi

Untuk menjamin kebenaran hasil pengukuran yang dilakukan oleh fisikawan medis rumah sakit tersebut, maka diperlukan verifikasi oleh pihak lain di luar rumah sakit yang independen yang dalam hal ini adalah Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi Radiasi – BATAN. Personil masing-masing pihak melakukan pengukuran untuk besaran yang sama dengan menggunakan alat ukur radiasi, protokol dan perangkat penunjang yang dimilikinya.

Makalah ini menguraikan pengukuran untuk memverifikasi laju dosis serap air pada kondisi acuan spesifik mesin antara PTKMR dan RSCM yang dilakukan setelah pesawat tersebut mengalami perbaikan.

TINJAUAN PUSTAKA

Kualitas Radiasi Berkas Foton

Salah satu parameter dosimetri yang penting dari sebuah pesawat pemercepat linier medik adalah kualitas radiasi dari berkas foton. Kualitas radiasi ini diperlukan terutama untuk detektor yang dikalibrasi terhadap berkas radiasi Co-60. Dengan menggunakan kualitas radiasi ini, maka akan diperoleh faktor koreksi kualitas radiasi dari detektor yang digunakan untuk menentukan laju dosis serap air berkas foton yang diukur [4,5].

Kualitas radiasi dapat ditentukan berdasarkan nilai rasio dosis di lapangan acuan 10 cm x 10 cm pada dua kedalaman yaitu 10 cm dan 20 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom (SSD) dan lapangan radiasi di permukaan tetap, D_{20}/D_{10} atau berdasarkan nilai rasio PDD_{20}/PDD_{10} yang diperoleh dari kurva persentase dosis di kedalaman pada kondisi acuan [6]. Disamping itu kualitas radiasi ini dapat ditentukan juga dari rasio dosis di dua kedalaman pada jarak sumber radiasi ke detektor (SDD) dan lapangan radiasi di permukaan tetap, $TPR_{20/10}$ [7].

Pada pesawat tomoterapi, kondisi acuan dengan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm yang diuraikan di atas tidak bisa dicapai karena kolimator binari pada pesawat ini salah satu sumbu hanya dapat membuka maksimal 5 cm. Dengan demikian untuk pesawat tomoterapi lapangan radiasi pada kondisi acuannya adalah minimal 5 cm x 10 cm yang disebut sebagai kondisi acuan spesifik mesin (*machine specific reference condition*) [8].

Dalam *Gold Data* diukur juga nilai rasio kedua kedalaman tersebut di atas terhadap kedalaman 1,5 cm, $D_{10}/D_{1,5}$ dan $D_{20}/D_{1,5}$ untuk mengetahui konsistensi kualitas radiasi berkas foton dari waktu ke waktu.

Laju Dosis Serap Air Berkas Foton

Laju dosis serap air berkas foton pada kondisi acuan spesifik mesin (*machine specific reference, msr*) dari sebuah pesawat tomoterapi dengan kualitas radiasi Q dapat ditentukan dengan pengukuran menggunakan detektor ionisasi yang dikalibrasi dalam besaran dosis serap air untuk berkas sinar gamma Co-60, N_{D,w,Q_0} menggunakan persamaan 1:

$$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}} = M_{Q_{msr}}^{f_{msr}} \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_Q \quad (1)$$

Dengan:

- Q: kualitas berkas radiasi [% dd (10) x] dari medan radiasi acuan konvensional 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan, SSD 100 cm sesuai dengan TG-51
- Q_{msr} : kualitas berkas radiasi [% dd (10) x] dari medan radiasi machine specific reference fmsr (5 cm x 10 cm pada SSD 85 cm) dari pesawat tomoterapi

$M_{Q,msr}^{f_{msr}}$: bacaan dosimeter terkoreksi kondisi lingkungan, rekombinasi ion dan polaritas untuk medan radiasi

N_{D,w,Q_0} : faktor kalibrasi detektor dalam besaran dosis serap air untuk berkas sinar gamma Co-60 (mGy/nC)

k_Q : adalah perkalian $k_{Q,Q_0} \cdot k_{Q,msr}^{f_{msr} \cdot f_{ref}}$

k_{Q,Q_0} : faktor koreksi berkas radiasi untuk kualitas berkas Q dari lapangan acuan konvensional $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ pada jarak sumber radiasi ke permukaan, SSD 100 cm sesuai dengan TG-51

$k_{Q,msr,Q}^{f_{msr} \cdot f_{ref}}$: faktor koreksi perbedaan antara kondisi lapangan radiasi, geometri, bahan fantom dan kualitas berkas radiasi acuan konvensional dan medan radiasi dari machine specific reference

Nilai k_Q untuk beberapa detektor dapat diperoleh menggunakan protokol TG 51 atau Tabel 1 pada TG 148. Nilai untuk kebanyakan detektor ionisasi terletak pada rentang 0,9995 sampai dengan 0,9990 [9].

PERALATAN

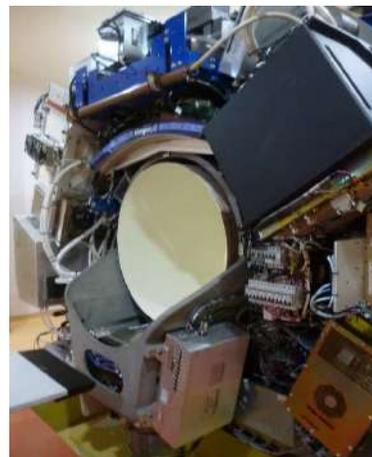
Sumber Radiasi

Sebagai sumber radiasi digunakan pesawat tomoterapi Hi Art model H-0000-0003/011065 buatan Accuracy. Sumber radiasi pesawat tomoterapi ini adalah berkas foton 6 MV dari pesawat pemercepat linier medik yang ditempatkan pada Gantri. Sebelum pesawat tersebut dikirim ke Indonesia, maka dilakukan pengukuran di bunker pabrik pesawat tersebut untuk mendapatkan *Gold Data* yang akan digunakan sebagai acuan untuk komisioning setelah pesawat tersebut selesai dipasang di RSCM. Pengukuran dilakukan menggunakan peralatan ukur milik pabrik yaitu detektor ionisasi A1SL no. seri 42799 dan 102221 buatan pabrik Exradin.

Alat Ukur Radiasi RSCM

Sebagai alat ukur radiasi untuk pengukuran parameter kualitas radiasi digunakan detektor ionisasi volume 0.056 cc Exradin A1SL no. seri 160401 dan 160499 milik RSCM yang dihubungkan dengan elektrometeiasir Tomo

Elektrometer. Dalam pengukuran detektor ionisasi diletakkan dalam fantom air padat (*solid water*) berukuran $60 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$.



Gambar 2. Pesawat tomoterapi Hi Art

Alat Ukur Radiasi PTKMR

Sebagai alat ukur radiasi untuk pengukuran digunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Unidos Webline. Dalam pengukuran detektor ionisasi diletakkan dalam fantom air 1D Scanner berukuran $30 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$.

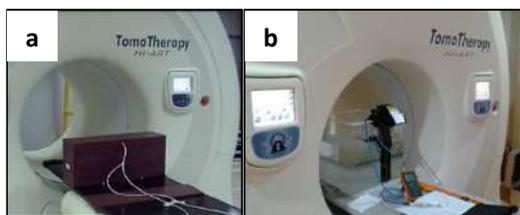
TATA KERJA

Pengecekan Kualitas Berkas Radiasi Pesawat Tomoterapi

Pertama dilakukan pengecekan parameter kualitas radiasi berkas foton 6 MV pesawat tomoterapi Hi Art. Pengecekan dilakukan dengan menempatkan dua buah detektor A1SL di dalam fantom air padat di kedalaman 1,5 cm dan 10 cm pada sumbu utama berkas radiasi. Jarak sumber radiasi ke permukaan fantom (SSD) 85 cm dan lapangan radiasi $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Setelah itu dilakukan penyinaran kedua detektor tersebut selama 1 menit untuk dua buah data.

Selanjutnya satu buah detektor A1SL tersebut dipindahkan ke kedalaman 20 cm. Lubang yang ditinggalkan detektor tersebut ditutup dengan bahan yang sama. Dilakukan kembali penyinaran seperti penyinaran sebelumnya. Dilakukan kembali penyinaran yang sama dengan sebelumnya. Kondisi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan *Gold Data* yang

diperoleh berdasarkan pengukuran di pabrik pesawat tersebut di Amerika sebelum dikirim ke Indonesia.



Gambar 3. Susunan peralatan pada pengukuran kualitas radiasi berkas foton 6 MV yang dilakukan oleh fisikawan medis RSCM a) dan staf PTKMR b).

Setelah itu pengukuran laju dosis serap air dilakukan menggunakan dosimeter milik PTKMR. Pertama detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 no. seri 6367 diletakkan pada kedalaman 10 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan air 85 cm dengan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm. Kemudian dilakukan penyinaran untuk 5 buah data dengan masing-masing penyinaran selama 1 menit. Setelah itu dilakukan kembali penyinaran untuk menentukan faktor-faktor koreksi yang diperlukan dalam perhitungan laju dosis serap air seperti faktor koreksi rekombinasi ion dan polaritas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kualitas radiasi *Gold Data* yang dilakukan di *bunker* pabrik di Amerika pada tanggal 3 April 2014 dan yang dilakukan oleh fisikawan medis RSCM pada tanggal 14 Oktober 2017 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas radiasi

Kondisi Pengukuran	Bunker (Pabrikan)	RSCM
Tanggal	14/03/2014	14/10/2017
$D_{10/1,5}$	0,610	0,600
$D_{20/1,5}$	0,320	0,308
$D_{20/10}$	0,524	0,513
Dosimeter	Pabrikan	Milik RSCM

Dari Tabel 1 tersebut di atas dapat dilihat nilai rasio $D_{20/10}$ pada pengukuran di bunker pabrik mendapatkan nilai 0,524, sedangkan yang dilakukan di RSCM mendapatkan nilai 0,513. Hal ini menunjukkan adanya deviasi sebesar 2,04 %

antara hasil pengukuran setelah pesawat mengalami perbaikan. Dari tabel tersebut di atas dapat dilihat juga nilai rasio $D_{10/1,5}$ dan $D_{20/1,5}$ yang masing masing mendapatkan deviasi sebesar 1,6 % dan 3,9 %. Hasil tersebut menunjukkan adanya penurunan kualitas radiasi dari berkas tersebut dan penurunan ini semakin besar dengan semakin dalamnya pengukuran.

Hasil penentuan laju dosis serap air dan ketidakpastiannya [10] yang dilakukan oleh fisikawan medis RSCM dan staf PTKMR-BATAN pada tanggal 14 Oktober 2017, dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil penentuan laju dosis serap air pada kondisi acuan spesifik mesin

Parameter Pengukuran	A 1 SL	TW 30013
M_Q (nC)	8,330	91,96
$N_{D,w}$ (mGy/nC)	603,3	54,04
K_{Pol}	1,000*	1,0006
K_S	1,000*	1,0026
K_Q	0,9985	0,9979
D_{10} (mGy/menit)	5018	4959
PDD10 (%)	58,88	58,88
$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}}$ (mGy/menit)	8321 ± 2,5 %	8421 ± 2,1 %

*faktor koreksi dianggap 1,00

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa kedua pengukuran tersebut mendapatkan perbedaan yang tidak signifikan sebesar 1,2 %. Perbedaan ini sebenarnya dapat menjadi lebih kecil lagi jika pengukuran yang dilakukan dengan detektor A 1 SL menggunakan elektrometer yang dilengkapi dengan pengatur bias tegangan, sehingga faktor koreksi rekombinasi ion dan polaritas dapat dilakukan.

Jika kedua hasil ini dibandingkan dengan *Gold Data* yang nilai laju dosis serap airnya adalah 849,47 cGy/menit, maka diperoleh perbedaan yang cukup signifikan sebesar 2,0 %. Hal ini menunjukkan luaran dari pesawat tersebut pada kondisi acuan spesifik mesin telah mengalami perubahan. Dengan demikian maka pihak pabrik harus melakukan *adjustment* ulang untuk mengembalikan kedua parameter tersebut mendekati nilai *Gold Data*.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa kualitas radiasi berkas foton yang dipancarkan dari pesawat tomoterapi Hi Art berubah signifikan terhadap *Gold Data*. Hasil penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV yang dipancarkan dari pesawat tomoterapi Hi Art yang dilakukan oleh personel PTKMR dan RSCM mendapatkan kesesuaian yang cukup. Dengan adanya deviasi yang cukup besar dari hasil pengukuran ini terhadap *Gold Data*, maka perlu dilakukan *adjustment* baik pada kualitas radiasi berkas foton maupun kuantitasnya yaitu laju dosis serap airnya agar diperoleh kembali nilai yang mendekati nilai *Gold Data*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dan staf PT Transmedic Indonesia yatas bantuannya sehingga penulisan ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T.R. Mackie, *History of tomotherapy, Physics in Medicine and Biology, Phys. Med. Biol. 51, Institute of Physics Publishing, Wisconsin, 2006.*
- [2]. Amarjit Sen and Matthew K. West, *Commissioning experience and quality assurance of helical tomotherapy machines, Journal of Medical Physics, 2009.*
- [3]. Komunikasi dengan staff Fisika Medis di Instalasi Radiotherapy RSUD N. Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta 2017.
- [4]. International Atomic Energy Agency, *Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice, Technical Report Series No. 277, IAEA, Vienna, 1987.*
- [5]. 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, 2000.*
- [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 American (AAPM) 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]. *QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Task Group 148, Med. Phys. 37, AAPM, 2010.*
- [9]. Peter R. Almond, Peter J. Biggs, B. M. Coursey, W.F. Hansom, M. Saiful Hug, Revinder Nath, D.W.O. Roger, *AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams, Med. Phys. 26, AAPM, 1999*
- [10]. *Measurement Uncertainty, A Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratories, IAEA-TECDOC-1585, Vienna Austria, Mei 2008.*

PERTANYAAN SAAT PRESENTASI

- Tidak ada pertanyaan