

OA11

KALIBRASI LUARAN BERKAS FOTON 6 MV TANPA *FLATTENING FILTER* DUA BUAH PESAWAT PEMERCEPAT LINIER VARIAN TRILOGY

Assef Firnando Firmansyah¹ dan Sri Inang Sunaryati²

^{1,2}Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional
e-mail: firnando3154@gmail.com

ABSTRAK

KALIBRASI BERKAS FOTON 6 MV TANPA *FLATTENING FILTER* DUA BUAH PESAWAT PEMERCEPAT LINIER VARIAN TRILOGY. Makalah ini menguraikan penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV tanpa *flattening filter* yang dipancarkan dari dua buah pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy. Pengukuran persentase dosis di kedalaman dilakukan di dalam Blue Phantom² (IBA Dosimetry GmbH) yang dilengkapi dengan perangkat lunak MyQC Accept, 2016-001 (8.0.4.0) untuk memindai berkas radiasi, sedangkan kalibrasi dilakukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos Weblin tipe T 10022. Pengukuran kalibrasi dilakukan di dalam fantom 1 D Scanner padajarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dengan kedalaman detektor 10 cm. Diuraikan juga kalibrasi berkas 6 MV menggunakan *flattening filter* sebagai perbandingan. Perhitungan hasil pengukuran dilakukan menggunakan protokol dosimetri IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dan 483. Hasil yang diperoleh menunjukkan laju dosis serap berkas foton 6 MV FFF pada kedalaman 10 cm sebesar 2,14 kali lipat dan 2,67 kali lipat masing-masing Linac Trilogy no. seri 6258 dan Trilogy no. seri 6377 daripada berkas foton 6 MV FF. Hasil ini sangat dekat dari hasil studi yang dilakukan oleh Geoff Budgell yang mendapatkan nilai 2,3 kalinya. Laju dosis serap air mendapatkan nilai 200 cGy/200 MU \pm 2,0 %. Sebagai kesimpulan, kalibrasi mendapatkan hasil yang cukup baik.

Kata kunci: Varian Trilogy, tanpa *flattening filter*, TRS No. 398 dan TRS No. 483

ABSTRACT

OUTPUT CALIBRATION FOR 6 MV FLATTENING FILTER FREE BEAMS FROM TWO VARIAN TRILOGY LINEAR ACCELERATOR MACHINES. This paper deals with the determination of the absorbed dose to water for flattening filter free photon beams produced from two Varian Trilogy medical linear accelerator machines. Measurement of the percentage depth dose has been carried out inside the Blue Phantom² water tank (IBA Dosimetry GmbH) equipped with MYQA Accept software to scan the beam, while calibration measurement using a 0.6 cc ionization chamber type of TW 30013 connected to a PTW Unidos Weblin electrometer type of T 10022 inside a 1D Scanner water phantom at depth of 10 cm with the source to the surface distance of 100 cm and a field size of 10 cm x 10 cm. Calculation of the measurement was based on the International Atomic Energy Agency publication in the Technical Report Series No. 398 and 483. The result obtained show that the absorbed dose rates to water for 6 MV photon in 10 cm depth is 2.14 times and 2.67 times for Linac Trilogy 6258 and Trilogy 6377. There is so close if comparative between Geoff Budgell study about 2.3 times. Absorbed dose rates to water were 200 cGy /200 MU \pm 2.0 %. In conclusion, the calibration measurement showed good result and ready for the treatment of patients. The measurement result can also be used as reference values for quality control program of the machines.

Key words: Varian Trilogy, flattening filter free, TRS No. 398 and TRS No. 483.

PENDAHULUAN

Penggunaan berkas foton tanpa *flattening filter* yang dikenal dengan akronim **FFF** yang merupakan singkatan dari *flattening filter free* ini pertama kali diteliti oleh O' Brien dan kawan-kawan [1] pada pesawat pemercepat linier medik Therac-6. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan laju dosis yang tinggi untuk mengurangi waktu penyinaran khususnya pada teknik *Stereotactic Intracranial Surgery*.

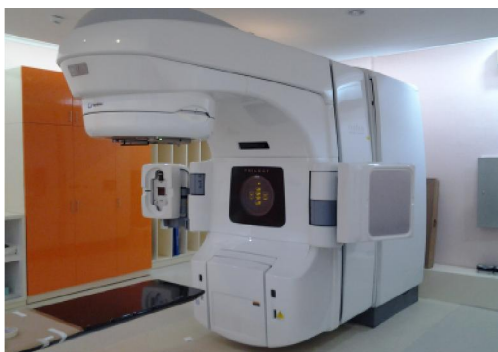
Beberapa penelitian mengenai karakteristik dosimetri berkas foton tanpa *flattening filter* terhadap berkas foton menggunakan *flattening filter* ini telah dilakukan [2,3]. Karakteristik dosimetri tersebut antara lain persentase dosis di kedalaman, profil, faktor keluaran, laju dosis dan lain-lain.

Salah satu bahasan dari beberapa referensi tersebut di atas adalah rasio laju dosis berkas foton FFF terhadap FF pada suatu kedalaman setelah dilakukan kalibrasi. Nilai rasio tersebut berbeda dari satu pesawat dengan pesawat yang lain bergantung pada merek dan model.

Saat ini pesawat pemercepat linier medik moderen dilengkapi juga dengan berkas foton tanpa *flattening filter*. Pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy dilengkapi dengan berkas foton 6 MV FFF, sementara itu Pesawat Elekta Versa HD dilengkapi dengan berkas foton 6 MV FFF dan 10 MV FFF.

Untuk menentukan laju dosis serap berkas foton tanpa *flattening filter* protokol dosimetri IAEA yang terdapat dalam Technical Report Serie no. 398 tidak dapat digunakan karena protokol tersebut hanya untuk berkas foton menggunakan *flattening filter* [4]. Pada akhir tahun 2017 IAEA memublikasi Technical Report Series No. 483 dengan judul: *Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination*. Salah satu aspek yang dibahas dalam publikasi ini adalah berkas foton **tanpa *flattening filter*** [5].

Makalah ini menguraikan penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dengan dan tanpa *flattening filter* yang dipancarkan dari dua buah pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy yang dilakukan di Rumah Sakit Umum Daerah Pasar Minggu dan Rumah Sakit Kanker Dharmais.



Gambar 1. Pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy

METODA

Penentuan Kualitas Radiasi Berkas Foton Dengan *Flattening Filter* (FF)

Penentuan kualitas radiasi berkas foton menggunakan *flattening filter* sudah banyak diuraikan oleh beberapa referensi dan masih digunakan untuk publikasi terakhir IAEA dalam Technical Report Series No. 483. Metoda ini didasarkan pada rasio dosis pada kedalaman 20 cm dan 10 cm. Selanjutnya dengan menggunakan suatu persamaan akan diperoleh kualitas radiasi berkas foton yang dinyatakan dalam $TPR_{20/10}$.

Penentuan Kualitas Radiasi Berkas Foton Tanpa *Flattening Filter*

Disamping menggunakan metoda yang diuraikan di atas, kualitas radiasi berkas foton tanpa *flattening filter* dapat juga diperoleh berdasarkan $\% dd(10,10) x$ yang ditentukan dengan menempatkan 1 mm Pb (timbangan) pada berkas radiasi untuk mengeliminasi kontaminasi elektron yang terjadi pada *head* pesawat. Hal ini direkomendasikan untuk semua energi berkas radiasi foton tanpa *flattening filter*.

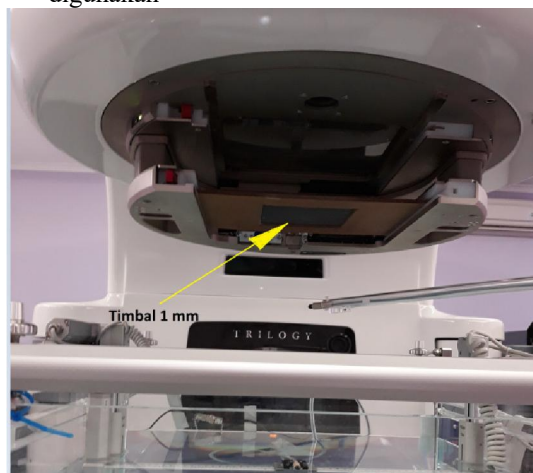
Penentuan Dosis Serap Air Berkas Foton Dengan *Flattening Filter*

Dosis serap air berkas foton menggunakan *flattening filter* dari sebuah pesawat pemercepat linier medik pada titik acuan pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan berikut [9] :

$$D_{w,Q} = M_Q \times N_{D,w} \times k_Q \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- $D_{w,Q}$: dosis serap pada titik pengukuran acuan
- M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi temperatur dan tekanan
- $N_{D,w}$: faktor kalibrasi dosimeter dalam besaran dosis serap dalam air
- k_Q : faktor koreksi kualitas radiasi dari detektor yang digunakan



Gambar 2. Penentuan kualitas radiasi berkas foton menggunakan 1 mm Pb yang diletakkan pada *head* pesawat linac

Penentuan Dosis Serap di Air Berkas Foton Tanpa *Flattening Filter* (FFF)

Dosis serap air berkas foton tanpa *flattening filter* dari sebuah pesawat pemercepat linier medik pada titik acuan pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan berikut [9]:

$$D_{W,Q} = M_Q \times N_{D,W} \times k_{Q,msr}^{fmsr,fmsr} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

$D_{W,Q}$: dosis serap pada titik pengukuran acuan

M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi temperatur dan tekanan

$N_{D,W}$: faktor kalibrasi dosimeter dalam besaran dosis serap dalam air

$k_{Q,msr}^{fmsr,fmsr}$: faktor koreksi kualitas radiasi dari detektor yang digunakan

PERALATAN

Sumber radiasi

Sebagai sumber radiasi digunakan dua buah pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 dan 6377 masing-masing milik Rumah Sakit Umum Daerah Pasar Minggu dan Rumah Sakit Kanker Dharmais. Pesawat ini dapat memancarkan berkas elektron dengan energi nominal 4, 6, 9, 12, 15, 18 MeV dan berkas elektron 6 MeV dengan laju dosis tinggi serta berkas foton 6 dan 10 MV menggunakan *flattening filter* (FF) dan 6 MV tanpa *flattening filter* (FFF).

Alat Ukur Radiasi

Sebagai alat ukur radiasi untuk pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton digunakan detektor ionisasi volume 0,13 cc tipe CC 13 dan detektor semi konduktor *Razor*. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air Blue Phantom² water tank buatan IBA Dosimetry GmbH berukuran 48 cm x 48 cm x 48 cm yang dilengkapi perangkat lunak OmniPro Accept MyQC Accept, 2016-001 (8.0.4.0) untuk pemindaian data.

Untuk pengukuran kualitas radiasi dan keluaran berkas foton digunakan detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air 1 D Scanner berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm buatan Sun Nuclear.

TATA KERJA

Pengukuran Persentase Dosis di Kedalaman Berkas Foton

Mula-mula dilakukan pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV menggunakan *flattening filter* dan tanpa *flattening filter*. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air Blue Phantom² IBA pada kondisi acuan dengan jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm menggunakan detektor ionisasi volume 0,13 cc tipe CC 13.

Pengukuran Kualitas Radiasi Berkas Foton

Setelah itu dilakukan pengukuran ionisasi berkas radiasi foton 6 MV dengan dan tanpa *flattening filter* pada kedalaman 10 cm dan 20 cm pada kondisi acuan menggunakan detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Dari pengukuran ini akan diperoleh kualitas radiasi berkas foton yang dinyatakan dalam nilai $TPR_{20/10}$. Dengan diperoleh nilai $TPR_{20/10}$ akan diperoleh faktor koreksi kualitas radiasi untuk faktor kalibrasi detektor yang digunakan dalam pengukuran.

Disamping menggunakan metoda tersebut di atas, faktor koreksi kualitas radiasi detektor dapat juga diperoleh dengan menempatkan sebilah Pb dengan ketebalan 1 mm pada pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton untuk mendapatkan nilai % $dd(10,10)$ seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengukuran Keluaran Berkas Foton

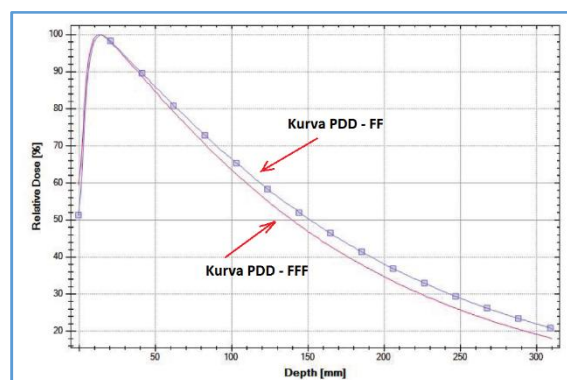
Mula-mula dilakukan pengukuran untuk memperoleh faktor-faktor koreksi yang diperlukan untuk perhitungan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dengan dan tanpa *flattening filter* seperti faktor koreksi rekombinasi dan polaritas. Pengukuran dilakukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe PTW TW 30013 no. seri 6367 yang dirangkaikan dengan elektrometer elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Detektor diletakkan pada kondisi acuan dengan kedalaman 10 cm, jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi pada permukaan fantom 10 cm x 10 cm.

Setelah itu dilakukan pengukuran keluaran berkas foton yang dilakukan pada kondisi acuan seperti diuraikan di atas, Temperatur dan tekanan udara selama pengukuran diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pesawat Varian Trilogy no. seri 6258 milik RSUD Pasar Minggu

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV dengan *flattening filter* (6 MV FF) dan tanpa *flattening filter* (6 MV FFF) dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



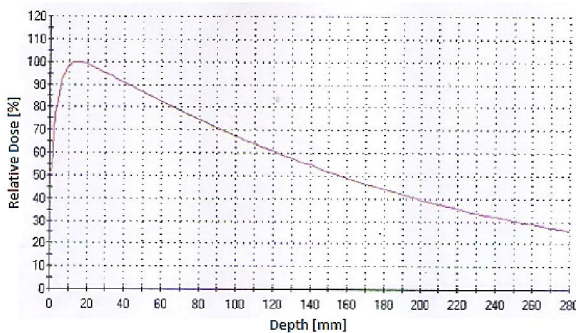
Gambar 3. Persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 FF dan FFF

Dari Gambar 3 diperoleh PDD pada kedalaman 10 cm untuk berkas foton 6 MV FF dan FFF masing-masing 66,54 % dan 63,48. Hasil penentuan kualitas radiasi berkas foton 6 MV FF dan 6 MV FFF dalam parameter $TPR_{20/10}$ dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel. 1 Kualitas radiasi berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 setelah kalibrasi

Berkas Foton	D_{20}	D_{10}	$D_{20/10}$	$TPR_{20/10}$	k_Q
6 MV (FF)	25,57	14,68	0,574	0,667	0,9917
6 MV (FFF)	63,48	34,70	0,547	0,633	0,9949

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV FFF pada jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm menggunakan 1 mm Pb dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 FFF menggunakan 1 mm Pb.

Dari gambar tersebut di atas dapat dilihat bahwa PDD pada kedalaman 10 cm mendapatkan $\%dd(10,10)_x = 64.06\%$. Selanjutnya dengan menggunakan Tabel 5 akan diperoleh nilai $k_{Q_{msr}}^{f_{msr}} = 0,9949$.

Hasil penentuan dosis serap air berkas foton 6 MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 10 cm sebelum dan sesudah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel. 2 Luaran berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 sebelum dan sesudah kalibrasi.

Varian Trilogy 6258	Dose Rate (pA)	M_Q (nC/200 MU)	D_{10} (mGy/200 MU)	D_{Maks} (mGy/200 MU)*
Sebelum kalibrasi	841,9	25,57	1374,4	2065
Sesudah Kalibrasi	817,4	24,88	1337,1	2009

*Ketidakpastian $\pm 2,17\%$ untuk tingkat kepercayaan 95% , $N_{D,w}$: 54,04 mGy/nC, PDD_{10} : 66,54 %, k_Q : 0,9917

Dari Tabel 2 di dapat dilihat bahwa sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FF mendapatkan

nilai 2065,5 mGy/200 MU yang berarti 3,2% lebih besar dari 1 cGy = 1 MU. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh keluaran dengan nilai 2009,5 mGy/200 MU yang mendapatkan 0,4 % terhadap 1 cGy = 1 MU.

Hasil penentuan dosis serap air berkas foton 6 MV FFF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 10 cm sebelum dan sesudah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Luaran berkas foton 6MV FFF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 sebelum dan sesudah kalibrasi

Varian Trilogy 6258	Dose Rate (nA)	M_Q (nC/200 MU)	D_{10} (mGy/200 MU)	D_{Maks} (mGy/200 MU)*
Sebelum kalibrasi	1,519	16,56	890,5	1403
Sesudah Kalibrasi	1,753	23,69	1274	2007

*Ketidakpastian $\pm 2,17\%$ untuk tingkat kepercayaan 95% , $N_{D,w}$: 54,04 mGy/nC, PDD_{10} : 63,48 %, k_Q : 0,9949

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa untuk berkas 6 MV FFF sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FFF mendapatkan nilai 1403 mGy/200 MU yang berarti terlalu rendah sebesar 28.9%. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh nilai 2007 mGy/200 MU yang berarti 0,35 % terhadap 1 cGy=1 MU.

Dari Tabel 2 dan 3 kolom 2 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air pada kedalaman 10 cm menunjukkan bahwa berkas foton 6 MV FFF sebesar 2,14 kali dari pada berkas foton 6 MV FF. Hasil ini sedikit lebih kecil dari studi yang dilakukan oleh Geoff Budgell yang mendapatkan nilai 2,3 kalinya.

Pesawat Varian Trilogy no. seri 6377 milik Rumah Sakit Kanker Dharmais.

Hasil penentuan kualitas radiasi berkas foton 6 MV FF dan 6 MV FFF dalam parameter $TPR_{20/10}$ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel. 4 Kualitas radiasi berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6377 sebelum kalibrasi

Berkas Foton	D_{10} (nC)	D_{10} (nC)	$D_{20/10}$	$TPR_{20/10}$	K_Q
6 MV FF	12,58	7,21	0,573	0,667	0,9918
6 MV FFF	12,43	6,74	0,542	0,627	0,9951

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV FFF pada jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm PDD pada kedalaman 10 cm mendapatkan $\%dd(10,10)_x = 63,80\%$. Selanjutnya dengan menggunakan Tabel 5 akan diperoleh nilai $k_{Q_{msr}}^{f_{msr}} = 0,9951$

Tabel 5. $k_{Q_{msr}}^{f_{msr} \cdot f_{msr}}$ pada kondisi lapangan radiasi 10cm x 10 cm

Ion chamber ↓	TPR _{30,0} (10)=	0.63	0.65	0.69	0.72	0.75	CyberKnife	Tomotherapy
	%dd(10,10) _A =	63.8	65.5	68.2	71.7	76.1		
PTW 23331 rigid	0.955	0.953	0.990	0.985	0.980	0.998	0.994	
PTW 23332 rigid	0.955	0.953	0.988	0.983	0.976	0.995	0.994	
PTW 23333 (3 mm cap)	0.955	0.953	0.990	0.985	0.978	0.998	0.995	
PTW 30001 Farmer	0.955	0.994	0.990	0.986	0.979	0.999	0.995	
PTW 30010 Farmer	0.955	0.994	0.990	0.986	0.979	0.999	0.995	
PTW 30002/30011 Farmer	0.955	0.994	0.992	0.988	0.982	1.001	0.995	
PTW 30004/30012 Farmer	0.997	0.996	0.994	0.990	0.994	1.003	0.997	
PTW 30006/30013 Farmer	0.955	0.994	0.990	0.985	0.978	0.999	0.995	
PTW 31003/31013 Semaflex	0.955	0.953	0.990	0.985	0.978	0.996	0.994	
SNC 100700-0 Farmer	0.996	0.995	0.992	0.987	0.979	1.002	0.996	

Tabel 6. Luaran berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6377 Sebelum dan sesudah kalibrasi.

Varian Trilogy 6377	Dose Rate (pA)	M _Q (nC/100 MU)	D ₁₀ (mGy/100 MU)	D _{Maks} (mGy/100 MU)*
Sebelum kalibrasi	833	12,61	676,0	1018
Sesudah Kalibrasi	823	12,42	667,6	1005

*Ketidakpastian ±2,17 % untuk tingkat kepercayaan 95%, N_{D,W}: 54,04 mGy/nC, PDD₁₀: 66,40%, k_Q: 0,9918

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FF mendapatkan nilai 1018 mGy/100 MU yang berarti 1,8 % lebih besar dari 1 cGy = 1 MU. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh keluaran dengan nilai 1005 mGy/100 MU yang mendapatkan 0,5 % terhadap 1 cGy = 1 MU.

Tabel 7. Luaran berkas foton 6MV FFF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6377 sebelum dan setelah kalibrasi

Varian Trilogy 6377	Dose Rate (pA)	M _Q (nC/100 MU)	D ₁₀ (mGy/100 MU)	D _{Maks} (mGy/100 MU)*
Sebelum kalibrasi	2,300	12,49	671,7	1053
Sesudah Kalibrasi	2,197	11,90	640,1	1003

*Ketidakpastian ±2,17 % untuk tingkat kepercayaan 95%, N_{D,W}: 54,04 mGy/nC, PDD₁₀: 63,80 %, k_Q: 0,9951

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa untuk berkas 6 MV FFF sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FFF mendapatkan nilai 1053 mGy/100 MU yang berarti terlalu rendah sebesar 5,3 %. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh nilai 1003 mGy/100 MU yang berarti 0,3 % terhadap 1 cGy = 1 MU.

Dari Tabel 6 dan 7 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air pada kedalaman 10 cm menunjukkan bahwa berkas foton 6 MV FFF sebesar 2,67 kali dari pada berkas foton 6 MV FF. Hasil ini sedikit lebih besar dari studi yang dilakukan oleh Geoff Budgell yang mendapatkan nilai 2,3 kalinya.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa: penentuan kualitas radiasi berkas foton menggunakan dua metoda mendapatkan kesesuaian yang baik, kualitas radiasi berkas foton 6 MV FF dan 6 MV FFF tidak berbeda secara signifikan dan laju dosis serap berkas foton 6 MV FFF pada kedalaman 10 cm 2,14 kali lipat dan 2,67 kali lipat masing-masing Linac Trilogy no. seri 6258 dan Trilogy no. seri 6377 daripada berkas foton 6 MV FF.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Umum Daerah Pasar Minggu dan Rumah Sakit Kanker Dharmais atas bantuannya untuk menggunakan fasilitas pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy sehingga penulisan ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Budgell G., Brown K., Cashmore J., Duane S., Frame J., Hardy M., Paynter D. and Thomas R., IPEM topical Report 1: guidance on implementing flattening filter free (FFF) radiotherapy, Phys. Med. Biol. 61, IOP Publishing, United Kingdom, 2016.

[2] Madelaine K. Tyler, Paul Z.Y. Liu, Christopher Lee, David R, McKenzie, Natalka Suchowerska, Small field detector correction factors: Effects of the Flattening Filter for Elekta and Varian linear accelerators, Journal of Applied Clinical Medical Physics Volume 17, American Association of Physicists in Medicine, 2016.

[3] Muralidhar K. R., Rout B. K., Ramesh K. K. D., Ali M. A., Madhusudhan N., Komanduri K., Babaiah M., Small field dosimetry and analysis of flattening filter free beams in true beam system, Journal of Cancer and Therapeutics Volume 11, 2015.

[4] 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 (V.12).

- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination, Technical Report Series No.483, IAEA, Vienna, 2017.
- [6] ALMOND P. R., BIGGS P. J., B.M. COURSEY, HANSOM W. F., HUG M. S., NATH R., ROGER D. W. O., AAPM's TG-51 Protocol for Clinical Reference Dosimetry of High-Energy Photon and Electron Beams, Med. Phys. 26, AAPM, 1999.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, *Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement, ISO TAG/WG 3/June 1992.*
- [8] Kragt G., Welterstdt S., Knäusl B., Lind M., Cavana P. M., Knöös T., Clean B. M., Georg D, Radiotherapy and Oncology, Volume 93, 2009.
- [9] Johnson J. (<https://www.mdbuyline.com/analyst/julie-johson/>) Versa HD: The Technical Breakdown of Elekta's New Radiotherapy Linear Accelerator, March 5, 2013.
- [10] Narayanasamy G., Saensz D., Cruz W., Ha C. S., Papanikolaou N. and Stathakis S., Commissioning an Elekta HD linear accelerator, Journal of Applied Clinical Medical Physisc, Volume 17, number 1, 2016.