
Indonesian Physical Review

Volume 3 Issue 2, May 2020

P-ISSN: 2615-1278, E-ISSN: 2614-7904

Analisa Kurva PDD dan Dose Profile Berkas Elektron Pesawat Linac Varian Clinac CX

Huswatun Hasanah¹, Nurul Qomariyah², I Wayan Ari Makmur³, Rinarto Subroto⁴, Rahadi Wirawan⁵,

¹ Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Indonesia. E-mail: uuswa225@gmail.com2

² Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Indonesia. E-mail: nurulqomariyah@unram.ac.id

^{3,4} Instalasi Radioterapi, RSUD Provinsi NTB, Indonesia. E-mail: rinartosubroto@gmail.com

⁵ Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Indonesia. E-mail: rwirawan@unram.ac.id

INFO ARTIKEL

Article History

Received:05-04-2020

Revised:30-04-2020

Accepted:14-06-2020

Keywords :

Flatness; Percentage Depth Dose (PDD); Dose Profile.

How To Cite :

Huswatun Hasanah, Nurul Qomariyah, I Wayan Ari Makmur, Rinarto Subroto, Rahadi Wirawan.(2020). Analisa Kurva PDD dan Dose Profile Berkas Elektron Pesawat Linac Varian Clinac CX. Indonesian Physical Review, 3(2). Pp 84-92.

DOI :

<https://doi.org/10.29303/ipr.v3i2.43>

ABSTRAK

Linac (linear Accelerator) is a radiotherapy device that utilizes high energy radiation to kill cancer cells. Every radiotherapy equipment such as Linac must be calibrated periodically. One of them is monthly quality control which aims to test the performance of Linac so that the quality of the output of the radiation beam can be guaranteed. Quality control conducted covers measurement of Percentage Depth Dose (PDD) and Dose Profile. So that in this paper we will analyze the electron beam of Linac Therapeutic Clinics Variants plane of RSUD Provinsi NTB. In PDD measurements, the Linac Variant Clinac CX electron beam energy 4, 6, 9, 12, and 15 MeV planes are used in the radiation field size $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Meanwhile, the dose profile was measured in the radiation fields $10 \times 10 \text{ cm}^2$ and $25 \times 25 \text{ cm}^2$ using blue phantom, (reference and field) detectors which are equipped with a computer control units (CCU) and carried out for crossline and inline directions at Dmax depth and certain depth with 100 cm SSD. The measurement results show that the greater the electron energy used, the maximum dose (Dmax) obtained is getting smaller, but the maximum dose depth increase. The measurement results are still within the tolerance range of ± 0.2 . While the results of the Dose Profile measurements show a field size of $25 \times 25 \text{ cm}^2$ more flatness and symmetry than a $10 \times 10 \text{ cm}^2$ field both for inline and crossline directions and still within measurement tolerances limit $\pm 4.5\% - \pm 7\%$ for flatness and $\pm 2\%$ for symmetry.

Copyright © 2020IPR. All rights reserved.

Pendahuluan

Radioterapi merupakan salah suatu tindakan yang dilakukan untuk tujuan mematikan atau menghentikan kemampuan reproduksi sel tumor di dalam tubuh pasien. Penggunaan radioterapi menggunakan sumber radiasi pengion perlu akurasi tinggi untuk meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat sehingga tidak mengganggu kualitas hidup pasien[1]. Linear Accelerator (LINAC) merupakan alat radioterapi yang efektif dalam menghancurkan sel kanker

[1]. LINAC dapat menghasilkan dua berkas radiasi yaitu, berkas foton dengan energi 6 – 18 MV untuk terapi kanker di dalam jaringan tubuh seperti kanker payudara, kanker servix dan kanker nasofaring, kemudian berkas elektron dengan energi 4 – 22 MeV untuk terapi kanker dekat permukaan kulit [2].

Pemantauan kualitas berkas LINAC dilakukan untuk menjamin pemberian dosis pada pasien radioterapi dilakukan sesuai dengan protokol dan standar yang dikeluarkan oleh *Varian Medical Systems*. *Quality control* berkas dilakukan melalui pengukuran *Percentage Depth Dose* (PDD) dan profil dosis (*Dose Profile*) [3-4]. PDD memberikan informasi tentang kualitas berkas agar pemberian dosis dapat optimal pada lapangan dan kedalaman yang diinginkan, sementara *Dose Profile* memberikan informasi kualitas berkas untuk distribusi dosis arah lateral [5]. Kestabilan profil berkas pada pesawat LINAC dapat diamati melalui dua parameter yaitu *flatness* dan *symmetry*. *Flatness* merupakan persentase variasi dosis maksimum yang diperbolehkan dalam satu lapangan berkas radiasi. Sedangkan *symmetry* merupakan persentase deviasi maksimum yang diperoleh antara dosis radiasi di sebelah kiri dan dosis radiasi di sebelah kanan pada suatu lapangan berkas radiasi [3,6].

Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam pengukuran PDD yaitu kedalaman, luas lapangan penyinaran, jarak sumber ke permukaan (SSD) dan energi berkas radiasi [5]. Milvita (2018) menganalisis hubungan nilai PDD terhadap variasi kedalaman target dan luas lapangan penyinaran menggunakan Pesawat Linac-CX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin bertambah kedalaman target maka semakin meningkat nilai dosis radiasi yang diterima fantom sampai mencapai kedalaman maksimum (z_{maks}). Setelah melewati z_{maks} maka nilai dosis radiasi yang diterima fantom mengalami penurunan [9]. Milvita (2019) juga melakukan analisis kurva PDD berkas elektron dengan variasi energi 9, 12, 15, dan 18 MeV. Hasil penelitian ini sama dengan penelitian yang dilakukan Milvita pada berkas foton tahun 2018, namun ketidakpastian pengukuran bervariasi antara 1,03% - 13,1%. Ketidakpastian ini terjadi pada energi 9, 12, dan 15 MeV yaitu pada posisi R50 dan R100 [11]. Guritna (2017) melakukan penelitian profil dosis berkas elektron 5 MeV dengan variasi lapangan penyinaran berkisar dari 5×5 cm² sampai 25×25 cm². Hasil analisis profil dosis pada berkas elektron 5 MeV menunjukkan bahwa lapangan 5×5 cm² memiliki nilai *flatness* yang cukup besar sehingga dalam kalibrasi maupun terapi radiasi perlu diperhatikan penggunaan luas lapangan tersebut. Dalam penelitian ini juga didapatkan bahwa nilai *flatness* paling ideal (nilai *flatness* rendah) terjadi pada lapangan 15×15 cm²[3].

Pada penelitian ini akan dikaji nilai *Percentage Depth Dose* (PDD) dan *Dose Profile* keluaran berkas elektron pesawat LINAC Varian (tipe CX) milik Rumah Sakit Umum Daerah Provinsi NTB dengan variasi energi 4, 6, 9, 12, dan 15 MeV. Luas lapangan penyinaran yang digunakan 15×15 cm² untuk pengukuran PDD, sedangkan untuk *dose profile* luas lapangan penyinaran yang digunakan yaitu 10×10 cm² dan 25×25 cm², serta menggunakan teknik SSD 100 cm. Pengukuran PDD dilakukan dengan pergerakan detektor ke sumbu Z, sedangkan pengukuran *dose profile* diukur pada arah *inplane* dan *crossplane* untuk mengamati persebaran dosis radiasi pada fantom, sehingga diperoleh kurva PDD dan *dose profile* dari berkas elektron.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Umum Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat, menggunakan Pesawat Terapi Linac Varian Clinac CX dengan berkas elektron berenergi 4, 6, 9, 12, dan 15 MeV. Adapun alat dan bahan yang digunakan yaitu *blue phantom*

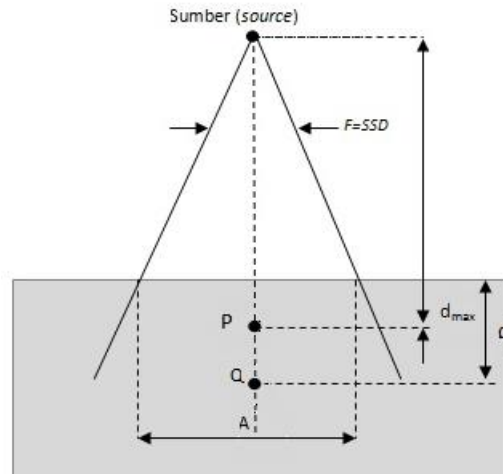
atau tangki fantom berukuran $40 \times 40 \text{ cm}^2$ sebagai target penyinaran. *Compact Chamber Detector* $0,125 \text{ cc}$ yang terdiri dari *reference detector* dan *field detector* yang diletakkan di dalam air dan udara untuk mengukur PDD dan *dose profile* yang akan ditampilkan pada *Personal Computer* (PC). Serta *common control unit* (CCU) sebagai pengontrol sekaligus penghubung antara detektor dengan PC.



Gambar 1. Pengukuran PDD dan *Dose Profile*

Pengukuran PDD dan *Dose Profile* menggunakan berkas elektron dilengkapi perangkat aplikator ukuran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ yang dipasang melekat dengan kolimator. Pemasangan aplikator bertujuan untuk memfokuskan partikel tetap bergerak lurus hingga ke target. Pengambilan data dilakukan dengan teknik SSD 100 cm dan dipastikan berada pada titik *isocenter* secara tepat seperti pada Gambar 1. Pengambilan data pertama adalah *Percentage Depth Dose* (PDD) pada luas lapangan $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Menurut Guritna (2017) luas lapangan $15 \times 15 \text{ cm}^2$ merupakan lapangan yang ideal untuk pengukuran PDD. Selanjutnya, pengambilan data *dose profile* yang diambil sesuai pergerakan detektor pada arah *inline* (detektor bergerak searah sumbu-y) dan arah *crossline* (detektor bergerak searah sumbu-x) pada luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan $25 \times 25 \text{ cm}^2$ dengan kedalaman maksimum (d_{\max}) dan kedalaman tertentu (d). Luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ pada pengukuran *dose profile* merepresentasikan ukuran tumor kecil sedangkan lapangan penyinaran $25 \times 25 \text{ cm}^2$ merepresentasikan ukuran tumor besar. Adapun titik pengukurannya yaitu $-1,8 \text{ cm}$ arah sumbu-x, $-0,3 \text{ cm}$ arah sumbu-y, dan $-13,2 \text{ cm}$ arah sumbu-z.

Geometri untuk pendefinisian persentase dosis kedalaman ditunjukkan dalam Gambar 2. Titik Q merupakan titik sembarang di sumbu utama pada kedalaman d di sumbu utama, sementara titik P merepresentasikan titik dosis referensi di $d = d_{\max}$ pada sumbu utama [7].



Gambar 2. Geometri untuk Pengukuran dan Pendefinisian PDD [7]

Secara matematis, PDD didefinisikan sebagai berikut:

$$PDD = \frac{d_Q}{d_P} \times 100 \% \quad (1)$$

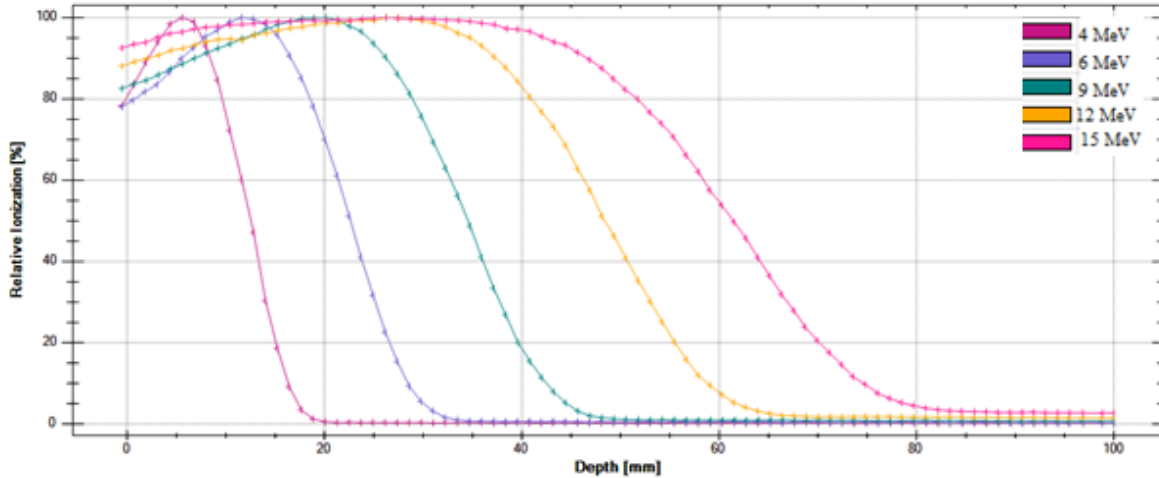
Dimana d_Q merupakan dosis pada kedalaman Q dan d_P merupakan dosis pada kedalaman P .

Berdasarkan hasil dari pengambilan data maka didapatkan kurva PDD untuk mengetahui nilai D_{max} dan kedalaman maksimum pada R90, R80, dan R50 untuk masing-masing energi serta distribusi dosis yang akan diterima pada D_{max} dalam bentuk kurva *dose profile* dengan arah *inline* dan *crossline*. R90 merupakan kedalaman dosis 90%, R80 merupakan kedalaman dosis 80%, dan R50 merupakan kedalaman dosis 50%. Pengukuran dosis pada R90, R80, dan R50 dilakukan karena berkas elektron merupakan sebuah partikel bermuatan sehingga perlu dilakukan pengukuran dosis pada beberapa *range*. Kurva PDD dan *Dose Profile* dianalisa berdasarkan nilai toleransi dari spesifikasi pabrik pesawat Linac Varian Clinac CX. Dimana toleransi untuk PDD yaitu $\pm 0,2$ cm sedangkan pada parameter-parameter *dose profile* yang terdiri dari *symmetry* $\pm 2\%$ serta untuk *flatness* $\pm 7\%$ untuk energi 4 MeV dan $\pm 4,5\%$ untuk energi 6, 9, 12, dan 15 MeV [8]. Selain *flatness* dan *symmetry*, faktor lain yang mempengaruhi keseragaman profil berkas radiasi yaitu penumbra. Penumbra merupakan daerah pada *dose profile* yang menerima dosis antara 80% dan 20% dari sumbu utama [3].

Hasil dan Diskusi

Pengukuran Percentage Depth Dose (PDD)

Hasil pengukuran PDD berkas elektron energi 4, 6, 9, 12, dan 15 MeV Pesawat Linac Varian Clinac CX pada lapangan penyinaran 15×15 cm² dengan SSD 100 cm dapat dilihat pada **Gambar 3**. Hasilnya juga disajikan dalam bentuk tabel hasil pengukuran, yaitu pada **Tabel 1**.



Gambar3. Grafik PDD Berkas Elektron pada Luas Lapangan Penyinaran $15 \times 15 \text{ cm}^2$

Gambar 3 menunjukkan kurva kedalaman dosis relatif dari setiap berkas elektron pada kedalaman $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Untuk berkas elektron, kedalaman dosis relatif diukur pada beberapa *range* yaitu R90, R80, dan R50. Berkas elektron merupakan sebuah partikel bermuatan sehingga perlu diketahui sebaran dosis pada beberapa *range* untuk mencapai kedalaman yang diinginkan. Dari **Gambar 3** dapat dilihat terdapat *build-up* (penumpukan) di permukaan *phantom*. Namun *build-up* terjadi pada energi yang kecil seperti 4, 6 dan 9 MeV. Menurut Efendi [10] hal ini terjadi karena di wilayah *build-up* elektron bebas berinteraksi dengan hamburan Compton, efek fotolistrik, dan produksi pasangan [10]. Sama seperti berkas foton, intensitas *fluence* elektron juga mengalami peningkatan sampai pada kedalaman tertentu (D_{max}) dan menurun secara perlahan-lahan setelah mencapai kondisi tersebut [9].

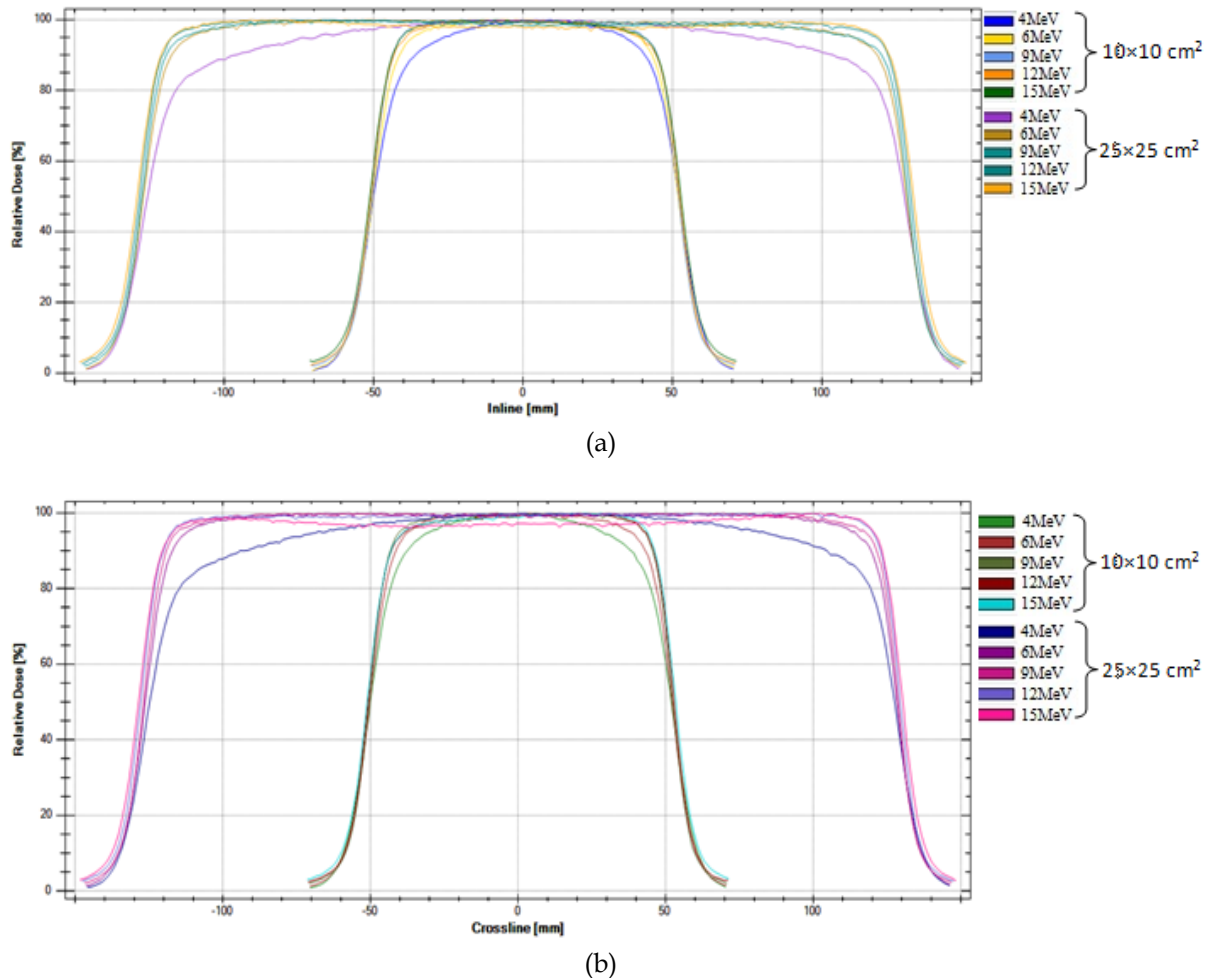
Tabel 1. Kedalaman Ionisasi Berkas Elektron pada Luas Lapangan Penyinaran $15 \times 15 \text{ cm}^2$

Energi (MeV)	R90				R80				R50			
	d (cm)	Toleransi (cm)	Actual (cm)	SD (%)	d (cm)	Toleransi (cm)	Actual (cm)	SD (%)	d (cm)	Toleransi (cm)	Actual (cm)	SD (%)
4	0,89	$\pm 0,2$	0,84	5,95	1	$\pm 0,2$	0,96	4,17	1,26	$\pm 0,2$	1,23	2,44
6	1,71	$\pm 0,2$	1,66	3,01	1,9	$\pm 0,2$	1,86	2,15	2,32	$\pm 0,2$	2,27	2,20
9	2,68	$\pm 0,2$	2,63	1,90	2,95	$\pm 0,2$	2,89	2,08	3,52	$\pm 0,2$	3,49	0,86
12	3,77	$\pm 0,2$	3,74	0,80	4,15	$\pm 0,2$	4,1	1,22	4,91	$\pm 0,2$	4,92	0,20
15	4,67	$\pm 0,2$	4,66	0,21	5,2	$\pm 0,2$	5,17	0,58	6,19	$\pm 0,2$	6,26	1,12

Tabel 1 menjelaskan kedalaman dosis relatif yang dapat mengionisasi materi yang ditunjukkan pada **Gambar 3** dimana SD merupakan ketidakpastian pengukuran. Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kedalaman yang seharusnya (d) sedikit berbeda dengan kedalaman yang diperoleh ketika pengukuran. Namun perbedaan tersebut masih dalam rentang toleransi alat. Dimana nilai toleransi yang digunakan pada pengukuran ini sebesar $\pm 0,2$ dan kesalahan relatif atau persentase error dari pengukuran ini masih dibawah 5%. Hal ini terjadi karena posisi fantom yang tidak sepenuhnya flat dan simetri. Seiring dengan bertambahnya energi yang ditembakkan ke fantom maka kedalaman dosis relatif yang dicapai d_{max} pada beberapa range juga semakin dalam.

Pengukuran Dose Profile

Dose Profile merupakan suatu kurva yang digunakan untuk mengetahui distribusi dosis yang diterima pada target dengan kedalaman tertentu. Dibutuhkan ketepatan dosis pada saat melakukan penembakan ke target agar dosis yang diterima pada target maksimal sesuai dengan yang sudah direncanakan sebelum menjalani terapi. Dalam *dose profile* -terdapat dua parameter yang harus diperhatikan yaitu *symmetry* dan *flatness*. Hasil pengukuran *dose profile* dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Tabel 2**.



Gambar 4. Dose Profile (a) Arah Inline; (b) Arah Crossline dengan Luas Lapangan Penyinaran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan $25 \times 25 \text{ cm}^2$

Gambar 4 menunjukkan *profile dose* berkas elektron dimana **Gambar 4a)** arah *inline* dan **Gambar 4b)** arah *crossline*. Dari **Gambar 4** dapat dilihat bahwa dosis relatif pada energi dan kedalaman yang sama, hampir sama antara lapangan penyinaran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dengan lapangan penyinaran $25 \times 25 \text{ cm}^2$. Tetapi pada energi 4 MeV dosis relatifnya lebih besar pada lapangan penyinaran $25 \times 25 \text{ cm}^2$. Selain itu, kurva *dose profile* cenderung menurun ketika mendekati tepi lapangan penyinaran yang didefinisikan sebagai wilayah penumbra. Hal ini dapat dilihat baik dari arah *inline* maupun *crossline*, dimana pada arah *inline* penumbranya dibawah 15 mm sedangkan pada arah *crossline* penumbranya di bawah 16 mm. Adanya penumbra terjadi karena pembatasan *set up* lapangan paparan oleh rahang kolimator[5].

Tabel 2. *Electron Field Flatness dan Symmetry*

Energi	Field Size	d (cm)	<i>Inlane</i>				<i>Crosslane</i>			
			<i>Flatness</i>		<i>Symmetry</i>		<i>Flatness</i>		<i>Symmetry</i>	
			<i>Spec</i>	<i>Actual</i>	<i>Spec</i>	<i>Actual</i>	<i>Spec</i>	<i>Actual</i>	<i>Spec</i>	<i>Actual</i>
4 MeV	10 × 10	0,6	± 7.0 %	7,66	± 2 %	5,28	± 7.0 %	7,52	± 2 %	1,34
6 MeV	10 × 10	1,0	± 4.5 %	4,22	± 2 %	1,98	± 4.5 %	4,34	± 2 %	1,60
9 MeV	10 × 10	1,4	± 4.5 %	2,59	± 2 %	1,62	± 4.5 %	2,59	± 2 %	2,32
12 MeV	10 × 10	2,0	± 4.5 %	3,65	± 2 %	1,12	± 4.5 %	3,48	± 2 %	3,75
15 MeV	10 × 10	2,6	± 4.5 %	3,42	± 2 %	1,71	± 4.5 %	3,48	± 2 %	4,38
4 MeV	25 × 25	0,6	± 7.0 %	6,02	± 2 %	2,20	± 7.0 %	6,39	± 2 %	3,49
6 MeV	25 × 25	1,0	± 4.5 %	1,81	± 2 %	1,36	± 4.5 %	1,20	± 2 %	0,73
9 MeV	25 × 25	1,4	± 4.5 %	1,98	± 2 %	1,82	± 4.5 %	1,25	± 2 %	0,72
12 MeV	25 × 25	2,0	± 4.5 %	1,38	± 2 %	1,20	± 4.5 %	0,78	± 2 %	1,34
15 MeV	25 × 25	2,6	± 4.5 %	1,63	± 2 %	1,44	± 4.5 %	2,03	± 2 %	1,64

Pada pengukuran *dose profile* ini digunakan kedalaman referensi 0,6 cm untuk energi 4 MeV, 1 cm untuk energi 6 MeV, 1,4 cm untuk energi 9 MeV, 2 cm untuk energi 12 MeV dan 2,6 cm untuk energi 15 MeV seperti yang terlihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2, untuk arah *inline* dapat dilihat nilai *flatness* pada luas lapangan penyinaran 10 × 10 cm² berkisar antara 3% - 7% sedangkan pada luas lapangan penyinaran 25 × 25 cm² berkisar antara 1% - 6%. Nilai *symmetry* pada luas lapangan penyinaran 10 × 10 cm² berkisar antara 1% - 5% sedangkan pada luas lapangan penyinaran 25 × 25 cm² berkisar antara 1% - 2%. Namun pada arah *crosslane* nilai *flatness* pada luas lapangan penyinaran 10×10 cm² berkisar antara 2% - 7% sedangkan pada luas lapangan penyinaran 25 × 25 cm² berkisar antara 0% - 6%. Nilai *symmetry* pada luas lapangan penyinaran 10×10 cm² berkisar antara 1% - 4% sedangkan pada luas lapangan penyinaran 25 × 25 cm² berkisar antara 0% - 3%. Nilai *flatness* dan *symmetry* yang diperoleh masih memenuhi batas toleransi alat. Jika dibandingkan antara *dose profile* dengan luas lapangan 10 × 10 cm² dan 25 × 25 cm², maka dapat kita lihat dari **Gambar 4** maupun **Tabel 2** bahwa luas lapangan 25 × 25 cm² memiliki nilai *flatness* dan *symmetry* yang lebih baik dari pada luas lapangan 10 × 10 cm² baik arah *inline* maupun arah *crossline*. Karena hasil penelitian masih pada batas toleransi yang ditetapkan oleh *Varian Medical Systems*, maka peneliti menyarankan untuk terapi radiasi menggunakan lapangan penyinaran 10 × 10 cm² dan 25 × 25 cm².

Kesimpulan

Dari hasil pengukuran *PDD* dan *profile dose* keluaran berkas radiasi elektron pesawat terapi LINAC di RSUD Provinsi NTB dapat disimpulkan bahwa grafik *PDD* berkas radiasi elektron telah sesuai dengan standarisasi alat karena hasil pengukurannya masih memenuhi toleransi pengukuran yaitu ± 0,2. Profile Dose (arah *inline* dan arah *crossline*) berkas radiasi elektron juga

telah sesuai dengan standarisasi alat karena hasil pengukurannya masih memenuhi toleransi pengukuran yaitu $\pm 4,5\%$ - $\pm 7\%$ untuk *flatness* dan $\pm 2\%$ untuk *symmetry*. Sehingga pesawat radioterapi Linac ini masih dapat digunakan untuk terapi kanker.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada FMIPA Universitas Mataram yang telah membiayai penelitian ini dan pihak Instalasi Radioterapi RSUD Provinsi NTB untuk fasilitas yang diberikan selama penelitian.

DaftarPustaka

- [1] Khan, M.F. (2005). *The Physics of Radiation Therapy*, The 4th edition. New York: Lippincott Williams and Wilkins.
- [2] Pratiwi, P., Raditya, R., & Faradina, F. (2010). Analisis Kualitas Berkas Radiasi Foton 10 MV Pada Pesawat Teleterapi *Linear Accelerator*. Skripsi, Universitas Diponegoro.
- [3] Edi Guritna, Giner Maslebu, Nur Aji Wibowo, & Muhammad Hidayatullah. (2017). Analisis Elektron *Beam Profile Constancy* Pada Pesawat Linac. *Jurnal Fisika FLUX*, Universitas Kristen Satya Wacana.
- [4] Nanang Sumitra, Milvita Dian, & Kanie Muhammad Al Jabbar. (2020). Analisis Kurva *Profile Dose* Menggunakan Lapangan Radiasi Elektron pada Pesawat Linac Tipe Clinac-CX di RS Unand. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Universitas Andalas.
- [5] Nurul Qomariyah, Rahadi Wirawan, Laili Mardiana, & Kasnawi Al Hadi. (2019). Distributions dose analysis for 6 MV photon beams using Monte Carlo-GEANT4 simulation. *AIP Conference Proceeding*, <https://doi.org/10.1063/1.5132656>.
- [6] Podgorsak, E. B. (2005). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
- [7] Raden Arsial, Syamsir Dewang, & Dahlang Tahir. (2015). Verifikasi Berkas Elektron Pesawat *Linear Accelerator (LINAC)* Dengan Variasi Energi Pada *Water Phantom*. *Youngster Physich journal*, Universitas Hasanuddin.
- [8] *Installation Product Acceptance*, IPA-HE-K. (2017). Varian Medical Systems, High Energy C-Series Clinac.
- [9] Dian Milvita, Alimin Mahyudin, & Vinny Alvionita. (2018). Analisis Nilai *Percentage Depth Dose (PDD)* Terhadap Variasi Kedalaman Target Dan Luas Lapangan Penyinaran Menggunakan Pesawat LINAC-CX. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, Universitas Andalas.
- [10] M. Arif Efendi, Amporn Funsian, Thawat Chittrakarn, & Tripob Bhongsuwan. (2019). Monte Carlo Simulation Using PRIMO Code as a Tool for Checking the Credibility of

Commissioning and Quality Assurance of 6 MV TrueBeam STx Varian LINAC. *Journal Pre-proof*, 7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2019.12.021>

- [11] Dian Milvita, Nanang Sumitra, Muhammad Al Jabbar Kanie. (2019). Analisis Kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) Menggunakan Berkas Elektron 9, 12, 15, dan 18 MeV pada Pesawat Linac Tipe Clinac-CX di Rumah Sakit Universitas Andalas. Prosiding Seminar Nasional Fisika, Universitas Andalas.