

Verifikasi Nilai Monitor Unit terhadap Dosis Keluaran Berkas Radiasi Elektron pada Pesawat Terapi LINAC CX

Valentino¹, Rico Adrial^{1,*}, Muhammad Ilyas²

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 17 Oktober 2023
Direvisi: 18 Desember 2023
Diterima: 09 Februari 2024

Kata kunci:

dosis keluaran energi LINAC monitor unit

Keywords:

output dose energy LINAC monitor unit

Penulis Korespondensi:

Rico Adrial
Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang verifikasi nilai monitor unit terhadap dosis keluaran berkas radiasi elektron pada pesawat LINAC CX. Verifikasi ini bertujuan untuk mengetahui dosis keluaran berkas radiasi elektron sesuai dengan nilai monitor unit yang dimasukkan pada pesawat terapi LINAC CX. Penelitian dilakukan pada fantom air yang berada di sumbu pusat penyinaran dengan *Source Surface Distance* (SSD) 100 cm, luas lapangan penyinaran 10x10 cm, dan perangkat aplikator elektron berukuran 10x10 cm. Sebelum dilakukan penyinaran, *Plane Parallel Chamber* (PPC) dimasukkan pada fantom air sebagai detektor dan terhubung ke elektrometer. Variasi nilai monitor unit yang digunakan yaitu 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, dan 400 MU/menit. Hasil dosis keluaran berkas radiasi elektron pada energi 6 MeV mengalami penyimpangan dosis rata-rata 0,54% dan pada energi 9 MeV yaitu 0,10%. Hal ini disebabkan oleh ketidakpastian dalam pengukuran, tegangan pada LINAC, dan kestabilan elektrometer. Penyimpangan ini tidak berpengaruh terhadap keselamatan pasien dan masih dalam batas toleransi yang ditetapkan TRS 398 IAEA yaitu <3%.

Verification of monitor unit values to the output dose of electron beam radiation on the LINAC CX therapy has been conducted. This verification aims to determine the output dose of electron radiation beams by the monitor unit value entered on the LINAC CX therapy machine. The research was conducted on a water phantom located on the axis of the irradiation center with a Source Surface Distance (SSD) of 100 cm, an irradiation field area of 10x10 cm, and an electron applicator device measuring 10x10 cm. Before irradiation, a Plane Parallel Chamber (PPC) was inserted in the water phantom as a detector and connected to the electrometer. Variations of monitor unit values used were 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, and 400 MU/min. The results of the electron beam output dose at 6 MeV energy have an average dose error of 0.54%; at 9 MeV energy, it is 0.10%. This is due to the uncertainty in the measurement, the voltage on the LINAC, and the stability of the electrometer. This error dose not affect patient safety and remains within the tolerance limits set by IAEA TRS 398 which is <3%.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kanker adalah sel abnormal yang tumbuh secara cepat dan dapat menyebar ke organ tubuh lain (metastatis). Menurut data World Health Organization (WHO) (2020) total kasus kanker di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 348.809 orang dengan total kematian akibat kanker mencapai 207.210 jiwa. Hal ini menunjukkan lebih dari 50% penderita kanker mengalami kematian sehingga kanker menjadi salah satu penyakit yang mematikan yang dapat menyerang siapa saja dari berbagai kalangan usia dan jenis kelamin (Marpaung et al., 2019). Sel kanker dapat dibunuh dan dihentikan penyebarannya dengan radioterapi. Salah satu alat radioterapi yang digunakan dalam pengobatan kanker yaitu pesawat terapi LINAC (Sumitra et al., 2020).

Linear Accelerator (LINAC) merupakan pesawat pemercepat partikel yang digunakan untuk mematikan sel kanker pada pengobatan radioterapi (Suharmono et al., 2020). Terapi radiasi berkas elektron pada LINAC digunakan untuk pengobatan pada kanker yang dangkal, seperti kanker kulit dan kanker payudara (Ramona et al., 2020). Pengukuran kualitas keluaran pesawat LINAC merupakan bagian dari program QA dan QC dari fasilitas radioterapi (Puspitasari, 2020). Dalam hal pengiriman jumlah energi radiasi atau disebut dosis radiasi dari pesawat terapi LINAC ke target kanker, input (masukan) yang dibutuhkan pada pesawat terapi LINAC adalah jumlah dalam Monitor Unit (MU). Monitor Unit (MU) adalah waktu penyinaran pada penggunaan linear accelerator (LINAC) dalam menjamin ketepatan pemberian dosis kepada pasien (Intan dkk., 2015). Jumlah dosis radiasi yang diberikan kepada pasien pada pesawat terapi LINAC dihitung dalam satuan yang dikenal sebagai monitor unit (MU) (Hadi dan Milvita, 2018). Menurut protokol dosimetri Technical Report Series (TRS) 398 IAEA nilai 1 MU sama dengan 1 cGy berdasarkan analisis ruang ionisasi, suhu, tekanan, efek polaritas, dan rekombinasi ion. Energi elektron yang biasa digunakan dalam klinis rumah sakit yaitu 6 dan 9 MeV pada dosis 200 MU/menit, sedangkan setiap kanker memiliki karakteristik yang berbeda.

Son dkk. (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh perubahan nilai MU dan energi terhadap laju dosis iradiasi sumsum total berdasarkan terapi busur volumetrik LINAC (VMAT). Hasil penelitian menunjukkan parameter volume dosis tidak bergantung pada energi dan nilai MU. Penggunaan nilai MU terendah direkomendasikan untuk mengurangi komplikasi jaringan normal, khususnya paru-paru. Padang dkk. (2015) melakukan verifikasi Percentage Depth Dose (PDD) dan profile dose pesawat LINAC berkas elektron 6, 9, 12, dan 15 MeV menggunakan water phantom. Hasil penelitian menunjukkan energi berkas elektron berpengaruh terhadap jangkauan kedalaman penyinaran, semakin besar energi yang digunakan maka akan semakin jauh kedalaman yang dapat dicapai berkas elektron. Vadila dan Milvita (2018) melakukan analisis keluaran berkas elektron pesawat terapi LINAC CX di Rumah Sakit Universitas Andalas. Penelitian ini hanya menggunakan dosis 100 MU/menit pada setiap energi yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan keluaran berkas elektron mengalami penyimpangan namun masih dalam batas toleransi yaitu <3%.

Penelitian tentang verifikasi nilai monitor unit terhadap dosis keluaran berkas radiasi elektron pada pesawat LINAC CX perlu dilakukan. Hal ini dikarenakan nilai MU berpengaruh terhadap dosis keluaran berkas radiasi dan penggunaan energi berpengaruh terhadap kedalaman (Primadila et al., 2020). Selain itu Rumah Sakit Universitas Andalas hanya melakukan kalibrasi sinar elektron pada dosis 200 MU/menit. Penggunaan nilai MU tidak selalu sama terhadap pasien karena kanker memiliki bentuk dan karakteristik yang berbeda. Penelitian ini menggunakan variasi dosis 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, dan 400 MU/menit pada energi 6 dan 9 MeV.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Instalasi radioterapi RS UNAND dan Laboratorium Nuklir Departemen Fisika UNAND. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu LINAC CX sebagai sumber radiasi elektron, fantom air sebagai pengganti pasien dalam pengukuran dosis keluaran, *Plane Parallel Chamber* (PPC) sebagai detektor yang menangkap jumlah muatan pada fantom air, Elektrometer sebagai alat yang menampilkan jumlah muatan yang ditangkap detektor PPC, termometer untuk mengukur temperatur, dan barometer untuk mengukur tekanan udara pada saat melakukan penelitian. Ukuran luas lapangan penyinaran 10x10 cm, *Source Surface Distance* (SSD) 100 cm, perangkat aplikator elektron 10x10 cm dan kedalaman 1,39 cm untuk energi 6 MeV dan kedalaman 2,1 cm untuk energi 9 MeV.

2.1 Perhitungan Faktor Koreksi Pengukuran

Perhitungan dosis keluaran berkas radiasi elektron dipengaruhi oleh faktor koreksi yaitu faktor temperatur dan tekanan udara (k_{TP}), faktor koreksi elektrometer (k_{elec}), efek polaritas (k_{pol}), dan efek rekombinasi ion (k_s).

Pengukuran faktor temperatur dan tekanan udara (k_{TP}) diawali dengan mengukur temperatur (T) dan tekanan udara (P) terhadap keadaan referensi. Faktor koreksi k_{TP} dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$k_{TP} = \frac{273,15 + T}{273,15 + T_0} \frac{P_0}{P} \quad (1)$$

dengan T_0 merupakan temperatur referensi yaitu 20°C dan P_0 merupakan tekanan udara referensi yaitu $101,325 \text{ kPa}$.

Selanjutnya faktor koreksi elektrometer (k_{elec}) bernilai 1 karena elektrometer dikalibrasi bersamaan dengan detektor PPC. Selanjutnya Efek polaritas (k_{pol}) adalah faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Pengukuran efek polaritas dilakukan pada tegangan polaritas $+300 \text{ V}$, $+100 \text{ V}$, dan -300 V yang di atur pada alat elektrometer. Faktor k_{pol} dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{|2M|} \quad (2)$$

dengan M_+ merupakan jumlah muatan yang terukur pada tegangan polaritas $+300 \text{ Volt (nC)}$, M_- merupakan jumlah muatan yang terukur pada tegangan polaritas -300 Volt (nC) , dan M merupakan jumlah muatan yang terukur pada tegangan polaritas $+100 \text{ Volt (nC)}$.

Selanjutnya efek rekombinasi ion (k_s) adalah faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap kurang lengkapnya pengumpulan muatan pada ionisasi udara. Nilai (k_s) dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$k_s = \frac{(V_1/V_2)^2 - 1}{(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)} \quad (3)$$

dengan V_1 dan V_2 adalah tegangan yang digunakan (Volt), M_1 dan M_2 adalah jumlah muatan elektron yang terukur (nC).

2.2 Perhitungan Bacaan Dosimeter Terkoreksi Dan Dosis Keluaran Berkas Radiasi Elektron

Bacaan dosimeter terkoreksi (M_Q) merupakan pengaruh nilai-nilai faktor koreksi pada saat penyinaran berlangsung. Nilai (M_Q) dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$M_Q = M_1 \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (4)$$

dengan M_1 merupakan jumlah muatan elektron yang terukur pada tegangan polaritas $+300 \text{ V (nC)}$, k_{TP} adalah faktor koreksi temperatur dan tekanan udara, k_{elec} adalah faktor koreksi elektrometer, k_{pol} adalah faktor koreksi tegangan polaritas, dan k_s adalah faktor koreksi rekombinasi ion.

Selanjutnya nilai dosis keluaran berkas radiasi elektron ($D_{w,Q}$) dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (5)$$

dengan $D_{w,Q}$ adalah dosis keluaran berkas elektron (cGy), M_Q adalah bacaan dosimeter terkoreksi pada saat pengukuran (nC), N_{D,W,Q_0} adalah $8,458 \text{ cGy/nC}$, k_{Q,Q_0} adalah faktor koreksi perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi detektor (Co-60) terhadap kualitas berkas elektron. $k_{Q,Q_0} = 0,937$ untuk energi elektron 6 MeV dan $k_{Q,Q_0} = 0,920$ untuk energi elektron 9 MeV .

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengukuran Jumlah Muatan Radiasi Berkas Elektron

Pengukuran jumlah muatan berkas elektron (M) dilakukan sebanyak 3 kali dan dihitung nilai rata-ratanya. Jumlah muatan berkas elektron (M) yang terukur digunakan untuk menentukan nilai bacaan dosimeter terkoreksi (MQ) menggunakan Persamaan (4). Data hasil pengukuran jumlah muatan (M) dengan energi 6 MeV dan 9 MeV dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Jumlah Muatan Radiasi Berkas Elektron

Monitor unit (MU)	T (°C)	P (kPa)	V (Volt)	\bar{M} (nC)	
				6 MeV	9 MeV
50	20,8	101,3	+300	6,218 ± 0,007	6,288 ± 0,001
			+100	6,131 ± 0,001	6,216 ± 0,003
			-300	6,234 ± 0,003	6,318 ± 0,004
100			+300	12,45 ± 0,006	12,61 ± 0,017
			+100	12,27 ± 0,025	12,45 ± 0,006
			-300	12,45 ± 0,010	12,63 ± 0,000
150			+300	18,67 ± 0,006	18,92 ± 0,010
			+100	18,42 ± 0,015	18,66 ± 0,015
			-300	18,70 ± 0,006	18,95 ± 0,000
200			+300	24,84 ± 0,006	25,22 ± 0,006
			+100	24,50 ± 0,006	24,87 ± 0,006
			-300	24,85 ± 0,006	25,24 ± 0,006
250	+300	31,14 ± 0,000	31,55 ± 0,017		
	+100	30,72 ± 0,012	31,10 ± 0,025		
	-300	31,16 ± 0,006	31,58 ± 0,012		
300	+300	37,39 ± 0,006	37,84 ± 0,012		
	+100	36,88 ± 0,023	37,33 ± 0,006		
	-300	37,40 ± 0,012	37,89 ± 0,016		
350	+300	43,61 ± 0,000	44,15 ± 0,000		
	+100	43,08 ± 0,032	43,55 ± 0,029		
	-300	43,68 ± 0,006	44,20 ± 0,000		
400	+300	49,87 ± 0,006	50,55 ± 0,015		
	+100	49,21 ± 0,006	49,83 ± 0,012		
	-300	49,91 ± 0,035	50,55 ± 0,012		

Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat dilihat hubungan antara jumlah muatan elektron terhadap nilai monitor unit berbanding lurus. Semakin besar nilai monitor unit yang digunakan maka jumlah muatan elektron yang ditangkap detektor PPC juga akan semakin besar. Dengan persamaan regresi linier yang didapatkan pada energi 6 MeV yaitu $y=6,236x-0,0385$ dengan $R^2=1$ dan pada energi 9 MeV yaitu $y=6,317x-0,0353$ dengan $R^2=1$. Sedangkan muatan elektron yang didapatkan pada energi 6 MeV dan 9 MeV tidak berbeda jauh untuk setiap MU yang digunakan, karena energi mempengaruhi kedalaman/jangkauan yang dapat dicapai radiasi. Selanjutnya nilai muatan elektron digunakan untuk menghitung bacaan dosimeter terkoreksi (M_Q).

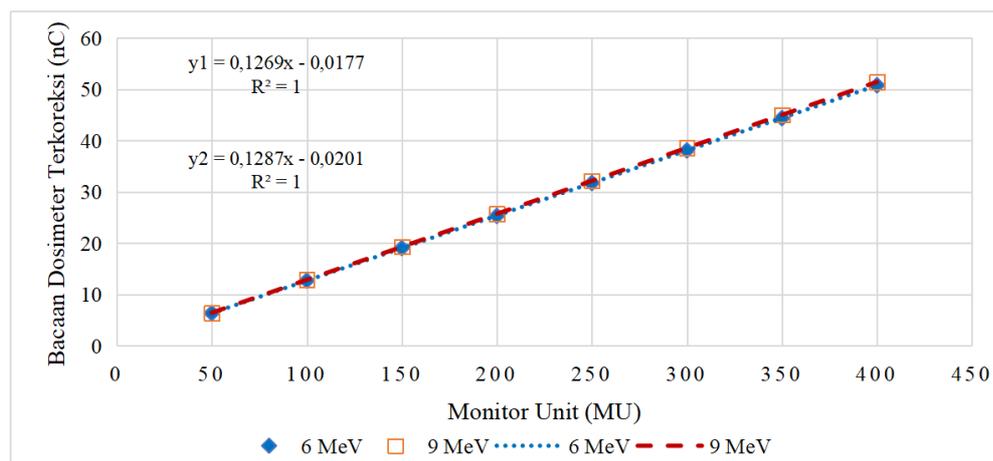
3.2 Hasil Perhitungan Bacaan Dosimeter Terkoreksi (M_Q)

Hasil perhitungan bacaan dosimeter terkoreksi (M_Q) pada Energi 6 MeV dan 9 MeV dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Bacaan Dosimeter Terkoreksi

No.	Monitor unit (MU)	6 MeV		9 MeV	
		M1 (nC)	MQ (nC)	M1 (nC)	MQ
1	50	6,218 ± 0,007	6,3439 ± 0,015	6,288 ± 0,001	6,4046 ± 0,006
2	100	12,45 ± 0,006	12,693 ± 0,030	12,61 ± 0,017	12,840 ± 0,032
3	150	18,67 ± 0,006	19,027 ± 0,029	18,92 ± 0,010	19,288 ± 0,027
4	200	24,84 ± 0,006	25,315 ± 0,018	25,22 ± 0,006	25,708 ± 0,069
5	250	31,14 ± 0,000	31,724 ± 0,022	31,55 ± 0,017	32,176 ± 0,052
6	300	37,39 ± 0,006	38,090 ± 0,027	37,84 ± 0,012	38,561 ± 0,027
7	350	43,61 ± 0,000	44,379 ± 0,027	44,15 ± 0,000	44,995 ± 0,018
8	400	49,87 ± 0,006	50,795 ± 0,533	50,50 ± 0,015	51,446 ± 0,036

Berdasarkan Tabel 2, nilai bacaan dosimeter terkoreksi (M_Q) mengalami kenaikan dibandingkan bacaan dosimeter pada tegangan polaritas +300 Volt (M_I). Hal ini terjadi karena pengaruh faktor koreksi temperatur dan tekanan udara (k_{TP}), faktor koreksi tegangan polaritas (k_{pol}), faktor rekombinasi ion (k_s), dan faktor koreksi respon detektor ionisasi (k_{Q,Q_0}). berdasarkan nilai bacaan dosimeter terkoreksi diperoleh Grafik hubungan MU terhadap M_Q yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan nilai monitor unit terhadap bacaan dosimeter terkoreksi

Berdasarkan Gambar 1, hubungan nilai M_Q terhadap nilai MU yaitu linier, semakin besar nilai monitor unit yang dimasukkan maka bacaan dosimeter terkoreksi (M_Q) juga akan semakin meningkat karena nilai ini berhubungan dengan jumlah muatan elektron yang terukur oleh detektor. Bacaan dosimeter terkoreksi pada energi 6 MeV dan 9 MeV memiliki hubungan linieritas yang sama -sama tinggi terhadap nilai monitor unit yang digunakan.

3.3 Hasil Perhitungan Dosis Keluaran Berkas Radiasi Elektron ($D_{w,Q}$)

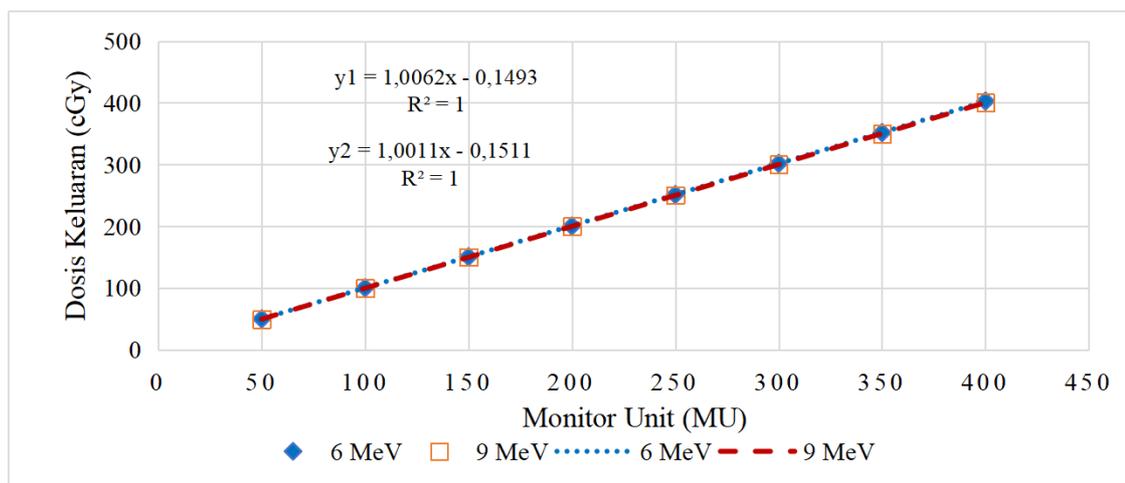
Berdasarkan Tabel 3, nilai dosis keluaran berkas elektron ($D_{w,Q}$) yang diperoleh masih mengacu pada nilai monitor unit yang diberikan. Pada nilai 50 MU diperoleh dosis keluaran berkas radiasi elektron sebesar $50,28 \pm 0,12$ cGy untuk energi 6 MeV sedangkan untuk energi 9 MeV yaitu $49,84 \pm 0,05$ cGy. Hasil ini merupakan dosis maksimum pada pesawat terapi LINAC CX yang diperoleh dari 50 MU. Berdasarkan TRS 398 IAEA nilai 1 MU = 1 cGy dalam waktu 1 menit sehingga dosis keluaran berkas elektron pada nilai 50 MU/menit dengan energi 6 MeV dan 9 MeV seharusnya 50 cGy. Hal ini menyatakan nilai dosis keluaran yang diperoleh dari pengukuran memiliki penyimpangan atau eror sebesar 0,56% pada energi 6 MeV dan 0,32% pada energi 9 MeV. Dengan mengacu pada nilai 1 MU = 1 cGy dalam waktu 1 menit, pada monitor unit (100, 150, 200, 250, 300, 350, dan 400) MU/menit yang diberikan juga memiliki deviasi keluaran berkas radiasi berturut-turut sebesar 0,60%; 0,53%;

0,30%; 0,56%; 0,63%; 0,49%; dan 0,65% pada energi 6 MeV dan pada energi 9 MeV yaitu 0,09%; 0,07%; 0,16%; 0,03%; 0,03%; dan 0,08%.

Tabel 3. Data Hasil Dosis Keluaran Berkas Radiasi Elektron

	Monitor unit (MU)	6 MeV		9 MeV	
		Dw,Q (cGy)	Error (%)	Dw,Q (cGy)	Error (%)
1	50	50,28 ± 0,12	0,56	49,84 ± 0,05	0,32
2	100	100,6 ± 0,24	0,60	99,91 ± 0,25	0,09
3	150	150,8 ± 0,23	0,53	150,1 ± 0,21	0,07
4	200	200,6 ± 0,14	0,30	200,0 ± 0,54	0,00
5	250	251,4 ± 0,18	0,56	250,4 ± 0,40	0,16
6	300	301,9 ± 0,21	0,63	300,1 ± 0,21	0,03
7	350	351,7 ± 0,21	0,49	350,1 ± 0,14	0,03
8	400	402,6 ± 4,22	0,65	400,3 ± 0,28	0,08

Berdasarkan nilai dosis keluaran berkas radiasi elektron ($D_{w,Q}$) pada energi 6 MeV dan 9 MeV dapat diperoleh hubungan nilai monitor unit yang digunakan terhadap dosis keluaran berkas radiasi elektron. Grafik hubungan MU terhadap dosis keluaran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan nilai monitor unit terhadap dosis keluaran berkas radiasi

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat hubungan nilai MU berbanding lurus terhadap dosis keluaran berkas elektron, baik pada energi 6 MeV maupun energi 9 MeV. Semakin besar nilai MU yang dimasukkan pada LINAC maka dosis keluaran juga akan semakin besar. Pada energi 6 MeV didapatkan persamaan regresi linier yaitu $y=50,308x-0,1493$ sedangkan pada energi 9 MeV didapatkan nilai regresi linier yaitu $y=50,054x-0,1511$. Persamaan regresi linier digunakan untuk mengetahui seberapa jauh perubahan nilai monitor unit terhadap dosis keluaran berkas radiasi elektron. Sedangkan koefisien determinasi ($R^2=1$) yang didapatkan pada grafik menunjukkan hubungan linier yang sangat tinggi antara MU dan dosis keluaran. Hal ini menyimpulkan bahwa kedua energi tersebut masih bekerja secara optimal dalam mengirim dosis keluaran berkas radiasi elektron ke pasien.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan perhitungan terhadap dosis keluaran berkas radiasi elektron pesawat terapi LINAC CX dapat disimpulkan bahwa verifikasi nilai monitor unit terhadap dosis keluaran berkas radiasi elektron dengan energi 6 MeV dan 9 MeV telah sesuai dengan protokol dosimetri TRS 398 IAEA. Pada energi elektron 6 MeV dengan variasi monitor unit (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, dan 400) MU didapatkan besar dosis radiasi yang keluar memiliki penyimpangan dosis rata-rata 0,54% dan

pada energi elektron 9 MeV memiliki penyimpangan dosis 0,1%. Penyimpangan pada energi 6 MeV dan 9 MeV masih dalam batas toleransi deviasi yang ditetapkan TRS 398 IAEA yaitu <3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi, B. S. W., & Milvita, D. (2018). Verifikasi Luas Lapangan Radiasi penyinaran Linac Tipe Clinac CX Terintegrasi Electronic Portal Imaging Device (EPID) Menggunakan Teknik IMRT Di RSP Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand*, 7(4), 334–338. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.4.334-338.2018>
- Intan, A. S. M., T, L. O. H. Z., & Pawiro, S. A. (2015). Verifikasi Dosimetri Perhitungan Berkas Terbuka Perangkat Lunak in-House Treatment Planning System (Tps) Pesawat Teleterapi Cobalt-60 Snf2015-V-33 Snf2015-V-34. *Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan, IV*(June), 33–38.
- Marpaung, J., Juwita, D., & Sinaga, B. (2019). Dukungan Sosial Keluarga Pada Anak Penderita Leukimia Berdasarkan Film “My Sister Keeper” (Family Social Support in Leukimia Patients Based on Film 'My Sister Keeper'). *Jurnal KOPASTA*, 6(1), 37–53. www.journal.unrika.ac.id
- Padang, J. M., Dewang, S., & Armynah, B. (n.d.). *Jumedi Marten Padang*_, *Syamsir Dewang*_, *Bidayatul Armynah*_. 1–7.
- Primadila, E., Milvita, D., Prasetio, H., & Kanie, M. A. J. (2020). Estimasi Dosis Radiasi 3D Energi Foton Berbasis Percentage Depth Dose (PDD) dan Profile Dose untuk Treatment Planning System (TPS) Pesawat LINAC. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 323–330. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.323-330.2020>
- Puspitasari, R. A. (2020). Analisis Kualitas Berkas Radiasi LINAC Untuk Efektivitas Radioterapi. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 22(1), 11. <https://doi.org/10.20473/jbp.v22i1.2020.11-19>
- Ramona, F., Milvita, D., & Diyona, F. (2020). Verifikasi Nilai Dosis Radiasi Berkas Elektron Pesawat LINAC dengan Luas Lapangan Blok Cerrobend (6×6) cm² dan (8×8) cm² Berdasarkan Protokol IAEA TRS 398. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2), 238–243. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.2.238-243.2020>
- Son, J., Choi, N., Kim, J. I., Park, J. M., Wu, H. G., Kang, H. C., & Choi, C. H. (2019). Effect of changes in monitor unit rate and energy on dose rate of total marrow irradiation based on Linac volumetric arc therapy. *Radiation Oncology*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13014-019-1296-y>
- Suharmono, B. H., Anggraini, I. Y., Hilmaniyya, H., & Astuti, S. D. (2020). Quality Assurance (QA) Dan Quality Control (QC) Pada Instrumen Radioterapi Pesawat LINAC. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 22(2), 73. <https://doi.org/10.20473/jbp.v22i2.2020.73-80>
- Sumitra, N., Milvita, D., & Kanie, M. A. J. (2020). Analisis Kurva Profile Dose Menggunakan Lapangan Radiasi Elektron pada Pesawat LINAC Tipe Clinac-Cx di Rs Unand. *Jurnal Fisika Unand*, 9(1), 73–78. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.73-78.2020>
- Vadila, M., & Milvita, D. (2018). Analisis Keluaran Berkas Elektron Pesawat Terapi LINAC Tipe Varian CX 6264 di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand*, 7(2), 91–96. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.2.91-96.2018>
- WHO. (2020). Cancer Country Profile 2020. https://www.who.int/cancer/country-profiles/IDN_2020.pdf. Diakses 2 Maret 2023.