

Evaluasi Kinerja LINAC Clinac CX Menggunakan Parameter PDD dan Profile Dose pada Lapangan Radiasi Simetri dan Asimetri di Rumah Sakit Universitas Andalas

Susi Zahara¹, Rico Adrial^{1,*}, Dian Milvita¹, Fiqi Diona²

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

²Instalasi Onkologi Radiasi Rumah Sakit Universitas Andalas, Padang

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 13 Januari 2026

Direvisi: 26 Februari 2026

Diterima: 31 Maret 2026

Kata kunci:

Flatness

Foton

Linac

Profile Dose

Symmetry

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja pesawat LINAC Clinac CX yang terdapat di Rumah Sakit Universitas Andalas melalui analisis parameter dosimetri pada kondisi lapangan radiasi simetri dan asimetri. Fokus utama penelitian adalah mengkaji perilaku kedalaman dosis maksimum (Z_{maks}) serta mengidentifikasi penyimpangan parameter *symmetry* dan *flatness* terhadap standar AAPM TG-40. Pengukuran dilakukan menggunakan energi foton 6 MV dan 10 MV dengan variasi luas lapangan 10×10 cm² dan 15×15 cm² serta kondisi no *off-set*, *off-set* 1 cm, dan 3 cm. Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang konsisten dengan teori, yaitu peningkatan energi foton dan luas lapangan menyebabkan peningkatan kedalaman dosis maksimum (Z_{maks}). Pada pengukuran *profile dose* diperoleh nilai *symmetry* terbesar pada bagian *off-set* 1 cm sebesar 2,8% untuk energi 6 MV menggunakan lapangan (10×10) cm² dan nilai *flatness* terbesar pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 1,9% sedangkan energi 10 MV nilai *symmetry* terbesar pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 4,3% dan nilai *flatness* terbesar pada bagian *off-set* 1 cm sebesar 2,3%. Pada luas lapangan (15×15) cm² diperoleh nilai *symmetry* terbesar energi 6 MV dan 10 MV pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 3,7% dan 4,3% serta nilai *flatness* terbesar energi 6 MV dan 10 MV terdapat pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 2,3% dan 2,1%. Meskipun sebagian besar hasil pengukuran masih berada dalam batas klinis yang dapat diterima, namun kondisi lapangan asimetri tertentu menunjukkan potensi degradasi kualitas berkas yang perlu diperhatikan dalam perencanaan radioterapi.

Keywords:

Flatness

Photon

Linac

Profile Dose

Symmetry

Penulis Korespondensi:

Rico Adrial

Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

*This study aims to evaluate the performance of the LINAC Clinac CX aircraft at Andalas University Hospital through dosimetry parameter analysis under symmetric and asymmetric radiation field conditions. The main focus of the study is to examine the behavior of the maximum dose depth (Z_{max}) and identify deviations of the symmetry and flatness parameters from the AAPM TG-40 standard. Measurements were carried out using photon energies of 6 MV and 10 MV with variations in field area of 10×10 cm² and 15×15 cm² as well as conditions of no *off-set*, 1 cm *off-set*, and 3 cm. The results of this study show a tendency that is consistent with the theory, namely that increasing photon energy and field area causes an increase in the maximum dose depth (Z_{max}). In the dose profile measurement, the largest symmetry value was obtained in the 1 cm *offset* section of 2.8% for 6 MV energy using a field (10×10) cm² and the largest flatness value was obtained in the 3 cm *off-set* section of 1.9% while the 10 MV energy had the largest symmetry value in the 3 cm *off-set* section of 4.3% and the largest flatness value was obtained in the 1 cm *off-set* section of 2.3%. In a field area (15×15) cm², the largest symmetry value of 6 MV and 10 MV energy was obtained in the 3 cm *off-set* section of 3.7% and 4.3% and the largest flatness value of 6 MV and 10 MV energy was found in the 3 cm *off-set* section of 2.3% and 2.1%. Although most of the measurement results were still within acceptable clinical limits, certain asymmetric field conditions indicated potential beam quality degradation that needed to be considered in radiotherapy planning.*

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Linear Accelerator (LINAC) merupakan perangkat yang menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi untuk mempercepat partikel bermuatan seperti elektron berenergi tinggi melalui tabung linear. Elektron berenergi dapat digunakan untuk mengobati tumor yang dangkal maupun yang lebih dalam tergantung besar energi yang digunakan. Berkas elektron energi tinggi biasanya digunakan untuk pengobatan kanker/tumor yang terletak di permukaan kulit atau sedikit di bawah jaringan kulit, sedangkan untuk kasus keganasan yang jauh di dalam kulit atau terletak di tengah tubuh maka diperlukan foton energi tinggi untuk dapat menjangkaunya (Podgorsak, 2005). Setiap pesawat LINAC yang digunakan pada radioterapi wajib dilakukan *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC). QA pada LINAC dirancang untuk menjamin konsistensi kualitas mesin, keselamatan, dan akurasi dalam memberikan dosis pada pasien serta mendeteksi kesalahan mekanis atau perangkat lunak, supaya pesawat LINAC memenuhi standar dan spesifikasi yang ditentukan sedangkan QC bertujuan memeriksa dan memastikan bahwa peralatan serta proses radioterapi berfungsi dengan benar dan konsisten. QC dilakukan secara harian, bulanan dan tahunan. Salah satu *quality control* tahunan pada pesawat LINAC melalui pengukuran *percentage depth dose* (PDD) dan *profile dose*.

Sumitra et al. (2020) telah melakukan penelitian analisis kurva *profile dose* dengan menggunakan berkas elektron energi (9, 12, 15, 18) MeV pada lapangan radiasi *no off-set*, *off-set* 1 cm dan *off-set* 3 cm menggunakan pesawat terapi LINAC-CX di Rumah Sakit Unand. Hasil yang diperoleh menunjukkan ketidakakuratan pengukuran PDD yang bervariasi antara 1,03% -13,1%. Ketidakakuratan di atas 2% tidak sesuai standar AAPM TG-40. Ketidakakuratan terjadi pada energi 12 MeV pada posisi R100 dan R50 sebesar 3,43% dan 2,18%. Sementara itu pada energi 9 MeV dan 15 MeV ketidakakuratan terjadi pada posisi R50 dan R100 sebesar 3,01% dan 13,1%. Semakin besar energi berkas elektron maka semakin bertambah nilai PDD yang diterima fantom hingga mencapai kedalaman maksimum (Z_{maks}).

Primadila et al. (2020) telah melakukan penelitian mengenai estimasi dosis radiasi 3D energi foton sebesar 6 MV dan 10 MV berbasis PDD dan *profile dose* untuk *Treatment Planning System* (TPS) pesawat LINAC menggunakan matlab. Hasil penelitian didapatkan estimasi dosis radiasi 3D yang menunjukkan distribusi dosis. Estimasi dosis radiasi menunjukkan bahwa distribusi dosis radiasi akan semakin lebar dan nilai dosis radiasi menjadi semakin menurun seiring peningkatan kedalaman target penyinaran.

Wulandari et al. (2022) telah melakukan penelitian pengukuran menggunakan *blue phantom* pada berkas foton 6 MV dan 10 MV pada kedalaman (0-30) cm dengan luas lapangan penyinaran (10x10) cm² hingga (40x40) cm² menggunakan pesawat LINAC tipe CLINAC-CX. Hasil diperoleh bahwa kurva PDD menunjukkan persentase dosis radiasi dipengaruhi oleh kedalaman dan tidak dipengaruhi oleh luas lapangan penyinaran terhadap nilai dosis radiasi. Kurva isodosis yang terbentuk dipengaruhi oleh kedalaman dan luas lapangan penyinaran.

Chowdhury et al. (2024) melakukan analisis karakteristik *beam profile akselerator linear* berbagai tingkat energi. Hasil menunjukkan *flatness* akan meningkat seiring dengan bertambahnya energi dan ukuran lapangan. Nilai *flatness* pada luas lapangan (10x10) cm² untuk energi 6 MV sebesar 2,51%, untuk energi 10 MV sebesar 2,62% dan untuk energi 15 MV sebesar 2,90%. Kemudian *symmetry* berada sekitar (0,01-0,30)% untuk semua energi.

Pada penelitian ini dilakukan *Quality Control* pesawat LINAC di Instalasi Onkologi Radiasi Rumah Sakit Universitas Andalas Padang. Penelitian ini menggunakan energi foton sebesar 6 MV dan 10 MV dengan variasi luas lapangan penyinaran sebesar (10x10) cm² dan (15x15) cm² menggunakan lapangan radiasi simetri dan asimetri yang merujuk pada metode penelitian Sumitra et al. (2020). Penggunaan lapangan radiasi asimetri dikarenakan bentuk kanker yang tidak beraturan. Pemberian lapangan radiasi simetri berupa (*no off-set*) dan asimetri (*off-set* 1 cm dan *off-set* 3 cm) dengan mengukur PDD dan *profile dose* pada berkas radiasi foton yang dikeluarkan LINAC sehingga diperoleh kurva PDD dan kurva *profile dose*.

II. METODE

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

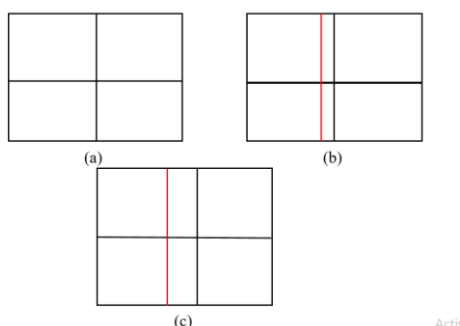
Penelitian ini menggunakan pesawat LINAC tipe Clinac CX dengan energi foton 6 MV dan 10 MV. Peralatan pendukung yang digunakan meliputi *blue phantom* berisi air sebagai medium pengukuran, detektor *ionisasi chamber* (*reference* dan *field*), perangkat lunak MyQA untuk akuisisi data, serta *Computer Control Unit* (CCU) yang terhubung dengan komputer melalui kabel LAN.

2.2 Prosedur Pengukuran *Percentage Depth Dose* (PDD)

Langkah-langkah dalam melakukan pengukuran PDD sebagai berikut: Pengukuran PDD dilakukan dengan menempatkan *blue phantom* di bawah *gantry* LINAC dan disejajarkan dengan sistem laser sebagai acuan posisi. *Phantom* diisi dengan air, kemudian detektor *ionisasi chamber* dipasang dan dihubungkan ke CCU. Detektor *reference* ditempatkan pada posisi tetap, sedangkan detektor *field* digerakkan sepanjang sumbu vertikal (kedalaman). Pengukuran dilakukan pada jarak *Source to Surface Distance* (SSD) sebesar 100 cm dengan variasi luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Parameter pengukuran diatur pada perangkat lunak MyQA dengan kedalaman pemindaian 0–30 cm dan kecepatan pemindaian 12 mm/s. Pengukuran dilakukan untuk kondisi lapangan simetri (tanpa *off-set*) serta lapangan asimetri (*off-set* 1 cm dan 3 cm) pada energi 6 MV dan 10 MV. Data hasil pengukuran berupa kurva PDD digunakan untuk menentukan nilai kedalaman dosis maksimum (Z_{maks}) dan dianalisis untuk melihat pengaruh variasi energi dan lapangan radiasi.

2.3 Prosedur Pengukuran *Profile Dose*

Pengukuran *profile dose* dilakukan pada arah *crossline* dengan lapangan radiasi *no off-set*, *off-set* 1 cm, *off-set* 3 cm, dengan SSD 100 cm dan detektor *reference* dan *field* yang diletakkan di dalam air dan udara untuk mengukur *profile dose* yang akan ditampilkan pada layar komputer. Skema lapangan radiasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema Skema lapangan penyinaran (a) no off-set (b) off-set 1 cm (c) off-set 3cm

2.4 Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* origin pro2025b serta mengacu pada protokol AAPM TG-40 Report No 46 Tahun 1994. Penentuan nilai symmetry (S) diperoleh melalui Persamaan 1 (Podgorsak, 2005).

$$S = 100\% \times \frac{area_{kiri} - area_{kanan}}{area_{kiri} + area_{kanan}} \quad (1)$$

Penentuan nilai *Flatness* (F) dihitung melalui Persamaan 2, dimana D_{maks} adalah dosis maksimum pada daerah 80% dan D_{min} adalah dosis minimum pada daerah 80%.

$$F = 100\% \times \frac{D_{maks} - D_{min}}{D_{maks} + D_{min}} \quad (2)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis kurva PDD pada Lapangan Radiasi *No off-set*

Hasil pengukuran PDD menggunakan lapangan radiasi foton dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 serta kurva PDD energi (6 dan 10) MV pada lapangan simetri (10x10) cm² dan (15x15) cm² dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

Tabel 1 Hasil pengukuran PDD menggunakan lapangan radiasi foton (10x10) cm²

Energi (MV)	Off-set	Z_{maks} (cm)
6	No off-set	1,29
	off-set 1 cm	1,38
	off-set 3 cm	1,73
10	No off-set	2,32
	off-set 1 cm	2,47
	off-set 3 cm	2,22

Tabel 2 Hasil pengukuran PDD menggunakan lapangan radiasi foton (15x15) cm²

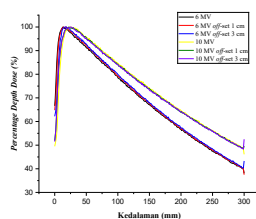
Energi (MV)	Off-set	Z_{maks} (cm)
6	No off-set	1,74
	off-set 1 cm	1,26
	off-set 3 cm	1,72
10	No off-set	2,33
	off-set 1 cm	2,24
	off-set 3 cm	2,23

Pada Tabel 1 diperoleh hasil kedalaman maksimum (Z_{maks}) pengukuran PDD dengan luas lapangan (10x10) cm² energi 6 MV sebesar 1,29 cm dan energi 10 MV sebesar 2,32 cm sedangkan untuk luas lapangan (15x15) cm² energi 6 MV sebesar 1,74 cm dan energi 10 MV sebesar 2,33 cm. Terlihat bahwa posisi (Z_{maks}) meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi yang dikenal sebagai efek *build-up*. Peningkatan ini dapat ditinjau dari peristiwa proses pelepasan elektron sekunder. Hasil yang didapatkan sesuai dengan IAEA 2012, yang menyatakan penggunaan energi yang semakin tinggi akan menyebabkan posisi (Z_{maks}) semakin meningkat.

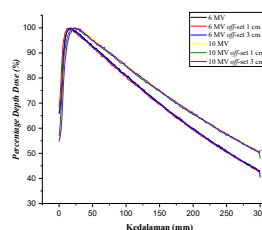
Persentase dosis radiasi akan semakin meningkat sampai berada pada kedalaman maksimum (Z_{max}) (Podgorsak, 2005). Setelah melewati (Z_{max}), persentase dosis radiasi akan menurun secara eksponensial seiring bertambahnya kedalaman. Pada kurva PDD yang mengalami peningkatan persentase dosis radiasi disebut dengan daerah *build-up*. *Build-up* merupakan daerah dari permukaan sampai dengan daerah dosis maksimum. Peningkatan pada daerah *build-up* terjadi karena adanya interaksi antara foton berenergi tinggi dengan materi, yang menghasilkan elektron sekunder sedangkan kurva PDD yang menurun disebabkan oleh atenuasi foton. Proses tersebut menyebabkan intensitas radiasi berkurang secara eksponensial seiring dengan bertambahnya kedalaman. Intensitas radiasi yang berkurang disebabkan oleh jarak dari sumber radiasi ke target penyinaran. Semakin jauh kedalaman target maka semakin berkurang intensitas dosis radiasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Primadila et al. (2020) yang menjelaskan bahwa nilai dosis radiasi menurun dengan bertambahnya kedalaman.

3.2 Analisis Kurva PDD pada Lapangan Radiasi Asimetri (*off-set* 1cm dan 3 cm)

Hasil dari kurva PDD energi (6 dan 10) MV pada lapangan asimetri (10x10) cm² dan (15x15) cm² dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2 Luas lapangan (10x10) cm²



Gambar 3 Luas lapangan (15x15) cm²

Pada Gambar 2 dan 3 diperlihatkan kurva PDD pada semua lapangan baik lapangan simetri maupun lapangan asimetri dengan bentuk lapangan *no off-set*, *off-set* 1 cm dan *off-set* 3 cm dengan energi 6 MV dan 10 MV. Perolehan hasil dari kedalaman maksimum pengukuran PDD dengan luas lapangan (10x10) cm² energi 6 MV *no off-set*, *off-set* 1 cm dan *off-set* 3 cm berturut - turut sebesar 1,29 cm; 1,38 cm dan 1,73 cm, sedangkan untuk energi 10 MV pada setiap lapangan penyinaran sebesar 2,32 cm; 2,47 cm dan 2,22 cm. Hasil pengukuran PDD dengan luas lapangan (15x15) cm² dapat dilihat pada Tabel 3. Pada energi 6 MV *off-set* 3 cm terjadi penyimpangan yang sangat jauh sebesar 1,73 cm, hal ini disebabkan karena adanya hamburan yang lebih banyak terjadi sehingga terjadi *beam hardening*. *Beam hardening* adalah fenomena dimana rata-rata energi berkas sinar-X meningkat saat menembus suatu material, seperti jaringan tubuh. Hasil penelitian yang diperoleh dapat dibandingkan menggunakan teknologi *Flattening Filter Free* (FFF) untuk melihat lebih lanjut karakteristik berkas radiasi yang dihasilkan oleh foton.

Variasi *off-set* pada lapangan radiasi sering diterapkan dalam perencanaan perawatan untuk melindungi organ sehat sehingga menghasilkan dosis yang sesuai dengan target. Kurva PDD tanpa *off-set* adalah kondisi ideal dimana berkas radiasi simetri sempurna terhadap sumbu pusatnya. *Off-set* 1 cm yaitu salah satu kolimator digeser sejauh 1 cm dari posisi simetrinya. Secara teori, kedalaman Z_{maks} tidak berubah secara signifikan. *Off-set* hanya mempengaruhi geometri spasial berkas, proses *charged particle equilibrium* (CPE) yang menentukan Z_{maks} tetap terjadi pada kedalaman yang sama untuk energi foton (Palta dan Zurlo, 2003). Hal ini sesuai dengan pola kurva PDD yang dihasilkan dalam penelitian pada Gambar 3 dan 4 memiliki nilai kedalaman Z_{maks} tidak berubah secara signifikan.

3.3 Analisis kurva *Profile Dose* pada Lapangan Radiasi Simetri (*No off-set*)

Pengukuran profile dose diperoleh beberapa parameter keseragaman berkas yaitu *symmetry* dan *flatness*. Hasil pengukuran profile dose menggunakan lapangan radiasi foton dapat dilihat pada Tabel 3.

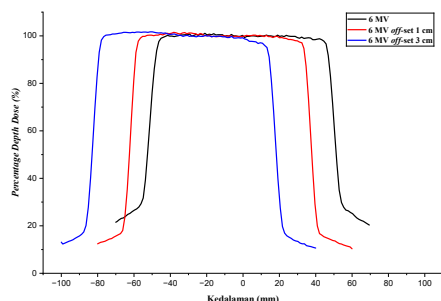
Hasil penelitian diperoleh nilai *symmetry* dan *flatness* bergantung pada besar energi dan luas lapangan penyinaran. Hal ini dikarenakan luas lapangan yang semakin besar menyebabkan semakin besar pula terjadinya radiasi hambur. Penggunaan energi foton yang semakin besar menghasilkan dosis radiasi yang lebih besar pula. Dapat dilihat pada Tabel 3 hasil pengukuran *profile dose* energi (6 dan 10) MV untuk luas lapangan (10x10) cm² menghasilkan nilai *symmetry* sebesar 1,6% dan 1,7% sedangkan nilai *flatness* sebesar 1,2% dan 1,7%. Pada luas lapangan (15x15) cm² menghasilkan nilai *symmetry* sebesar 1,3% dan 2,4% sedangkan nilai *flatness* sebesar 1,9% dan 2%, umumnya kedua luas lapangan yang digunakan menunjukkan indikasi sistem kolimasi dan keluaran berkas LINAC masih dalam kondisi optimal yang ditetapkan AAPM TG-40 yaitu untuk nilai *symmetry* sebesar 3% dan *flatness* sebesar 2%. Secara keseluruhan, pengukuran *profile dose* dengan parameter *flatness* dan *symmetry* pada lapangan simetri masih berada dalam kondisi yang baik dan sesuai dengan standar klinis yang ditetapkan. Hasil yang didapatkan pada penelitian sejalan dengan penelitian Chowdhury et al. (2004) yang menunjukkan nilai *flatness* akan meningkat seiring dengan bertambahnya energi dan ukuran lapangan.

Tabel 3 Hasil pengukuran *profile dose* menggunakan lapangan radiasi foton

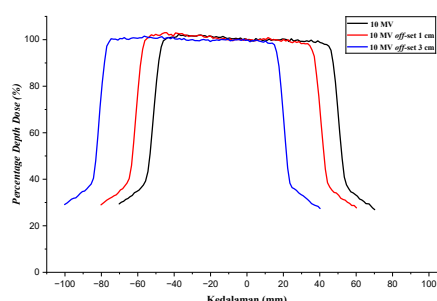
Luas Lapangan (cm ²)	Energi (MV)	<i>Off-set</i> (cm)	<i>Symmetry</i> (%)	<i>Flatness</i> (%)
10x10	6	<i>No off-set</i>	1,6	1,2
		<i>off-set</i> 1 cm	2,8	1,09
		<i>off-set</i> 3 cm	2,1	1,9
	10	<i>No off-set</i>	1,7	1,7
		<i>off-set</i> 1 cm	3,4	2,3
		<i>off-set</i> 3 cm	4,3	1,4
15x15	6	<i>No off-set</i>	1,3	1,9
		<i>off-set</i> 1 cm	1,8	1,3
		<i>off-set</i> 3 cm	3,7	2,3
	10	<i>No off-set</i>	2,4	2
		<i>off-set</i> 1 cm	3,7	1,7
		<i>off-set</i> 3 cm	4,3	2,1

3.4 Analisis kurva *Profile Dose* pada Lapangan Radiasi Asimetri (*off-set* 1cm dan 3 cm)

Hasil dari Kurva *profile dose* energi 6 MV dengan luas lapangan (10x10) cm² dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4 Kurva *profile dose* energi 6 MV



Gambar 5 Kurva *profile dose* energi 10 MV

Pada daerah *off-set* 1 cm, sumbu pusat berkas radiasi digeser sejauh 1 cm dari titik referensi sehingga kurva akan menjadi asimetri dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai *symmetry* pada puncak dosis akan bergeser ke arah *off-set* dan kemiringan dosis disatu sisi akan lebih curam dibandingkan sisi lainnya sehingga dosis akan lebih tinggi di sisi pergeseran, nilai *symmetry* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 3, luas lapangan (10x10) cm² energi 6 MV memiliki nilai *symmetry* pada *off-set* 1 cm sebesar 2,8% sedangkan tanpa *off-set* sebesar 1,6%.

Pada Tabel 3 hasil pengukuran *profile dose* umumnya memiliki nilai *symmetry* dan *flatness* yang masih dalam batas toleransi yang ditetapkan AAPM TG-40 yaitu untuk nilai *symmetry* sebesar 3% dan *flatness* sebesar 2%. Namun nilai *symmetry* mengalami penyimpangan melebihi 3% pada energi 10 MV *off-set* 1 cm dan 3 cm dengan luas lapangan (10x10) cm² sebesar 3,4% dan 4,3% dan luas lapangan (15x15) cm² sebesar 3,7% dan 4,3% sedangkan nilai *flatness* yang melebihi dari 2% terdapat pada luas lapangan (10x10) cm² energi 10 MV *off-set* 1 cm sebesar 2,3% dan pada luas lapangan (15x15) cm² energi 6 MV dan 10 MV bagian *off-set* 3 cm sebesar 2,3% dan 2,1%. Hal ini disebabkan karena titik penyinaran semakin jauh dari titik isosenter sehingga saat dilakukan penyinaran, berkas foton mengalami hamburan dan penyebaran dosis radiasi menjadi tidak rata pada seluruh permukaan *blue phantom*. *Off-set* mempengaruhi distribusi dosis sehingga variasi *off-set* yang digunakan sangat penting dalam perencanaan radioterapi, terutama untuk memastikan bahwa jaringan target menerima dosis yang diberikan dengan tepat dan mengurangi kerusakan pada jaringan sehat.

IV. KESIMPULAN

Pengukuran PDD diperoleh nilai kedalaman maksimum Z_{maks} dengan luas lapangan (10x10)cm² energi 6 MV dan 10 MV sebesar (1,29-1,73)cm dan (2,22-2,47)cm sedangkan untuk luas lapangan (15x15)cm² sebesar (1,26-1,74)cm dan (2,23-2,33)cm. Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang konsisten dengan teori, yaitu peningkatan energi foton dan luas lapangan menyebabkan peningkatan kedalaman dosis maksimum (Z_{maks}) sehingga pesawat LINAC cukup andal digunakan dalam pengobatan terapi kanker.

Pengukuran *profile dose* dengan luas lapangan (10x10) cm² diperoleh nilai *symmetry* terbesar pada bagian *off-set* 1 cm sebesar 2,8% dan nilai *flatness* terbesar pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 1,9% sedangkan energi 10 MV nilai *symmetry* terbesar pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 4,3% dan nilai *flatness* terbesar pada bagian *off-set* 1 cm sebesar 2,3%. Pada luas lapangan (15x15) cm² diperoleh nilai *symmetry* terbesar untuk energi 6 MV dan 10 MV terdapat pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 3,7% dan 4,3% dan nilai *flatness* terbesar energi 6 MV dan 10 MV terdapat pada bagian *off-set* 3 cm sebesar 2,3% dan 2,1%. Meskipun sebagian besar hasil pengukuran masih berada dalam batas klinis yang dapat diterima, namun kondisi lapangan asimetri tertentu menunjukkan potensi degradasi kualitas berkas yang perlu diperhatikan dalam perencanaan radioterapi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Instalasi Onkologi Radiasi Rumah Sakit Universitas Andalas yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian dapat terlaksana, serta semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M., 2000, Dasar-Dasar Proteksi Radiasi, Erlangga, Jakarta.
- Analia, R., Fardela, R., Ridwan, F. D., Diyona, F., Muttaqin, A., 2024, Dosimetric Analysis of 6 MV Energy Photon Radiation Beam on Flatness and Symmetry on LINAC in Radiotherapy Installation of UNAND Hospital, Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni, Vol. 13, Hal. 175-189, DOI: 10.24042/jipfalbiruni.v13i2.24016.
- Chowdhury, R. I., Ahmed, R., Rabby, F., Akter, M., Rahman, M., 2024, Beam profile characteristics of a Varian linear accelerator across different photon energy levels, International Journal of Science and Research Archive, Vol. 12, Hal. 1072–1082, DOI: 10.30574/ijrsra.2024.12.2.1316.
- Gerald J Kutcher., Lawrence Coia., Michael Gillin., William F Hanson., 1994, Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAMP radiation therapy committee, American Association of Physicists in Medicine (AAPM). https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_46.PDF (diakses 16-Agustus-2025).
- Hasanah, H., Qomariyah, N., Makmur, I. W. A., Subroto, R., Wirawan, R., 2020, Analisa Kurva PDD dan Profile Dose Berkas Elektron Pesawat LINAC Varian CLINAC Cx, Indonesian Physical Review, Vol. 3, Hal. 84-92, DOI: 10.29303/ipr.v3i2.43.
- IAEA, 2012, External Photon Beams Physicsl Aspek. https://international.anl.gov/training/materials/IAEA%20Publications/Radiation%20Oncology%20Physics%20Handbook/Radiation%20Oncology%20Physics%20-%20Slides%20-%20pdf/Chapter_06_Photon_beams.pdf (diakses 16 Agustus-2025).
- Palta, J. R., dan Zurlo, A. J., 2003, The physics of clinical practice in radiotherapy, Springer, Jerman.
- Podgorsak, E.B., 2005, Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, Vienna, Australia.
- Primadila, E., Milvita, D., Prasetyo, 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, Vol. 9, Hal. 323-330, DOI: <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.323-330.2020>.
- 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, Vol. 9, Hal. 73-78, DOI: <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.73-78.2020>.