

Distribusi Dosis Radiasi Foton Berdasarkan Kedalaman dan Luas Lapangan Penyinaran Pada Fantom Menggunakan Pesawat Linac Tipe Clinac CX

Indria Wulandari^{1*}, Mohammad Ali Shafii¹, Rico Adrial¹, Fiqi Diyona²

¹Laboratorium Fisika Nuklir, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas, Padang, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 29 November 2021

Direvisi: 22 Desember 2021

Diterima: 05 Januari 2022

Kata kunci:

Kurva Isodosis

Percentage Depth Dose (PDD)

Profile Dose

Keywords:

Isodosis Curve

Percentage Depth Dose (PDD)

Profile Dose

Penulis Korespondensi:

Indria Wulandari

Email:indriawulandari988@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran distribusi dosis radiasi foton berdasarkan variasi kedalaman dan luas lapangan penyinaran pada blue phantom menggunakan pesawat Linac tipe Clinac CX. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui distribusi dosis radiasi yang diterima jaringan tubuh agar dosis pada kanker dan organ kritis mendapatkan dosis yang optimal berdasarkan kurva isodosis. Kurva isodosis dibuat menggunakan data Percentage Depth Dose (PDD) dan profile dose (PD) dari hasil pengukuran menggunakan blue phantom pada berkas foton 6 MV dan 10 MV pada kedalaman (5-30) cm dan luas lapangan penyinaran (10x10) hingga (40x40) cm². Metode yang digunakan dalam pengolahan data PDD dan PD menggunakan teknik interpolasi linear dengan interval yaitu 0,25, kemudian dilanjutkan dengan teknik pembobotan untuk menghitung dosis radiasi di tiap titik kedalaman menggunakan Matlab. Kurva PDD menunjukkan bahwa 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. Semakin bertambah kedalaman maka semakin menurun persentase dosis radiasi dan bentuk kurva yang dihasilkan semakin datar. Dosis radiasi meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran luas lapangan penyinaran.

Measurements of the photon radiation dose distribution has been carried out based on variations in the depth and area of the irradiation field on the blue phantom using a Linac type Clinac CX. Measurement was made to analyze the distribution of radiation dose received by body tissues so that the dose to cancer and critical organs get the optimal dose based on the isodose curve. The isodose curve were created using Percentage Depth Dose (PDD) and dose profile (PD) data on 6 MV and 10 MV photon beams at a depth of (5-30) cm and irradiation field area (10x10) to (40x40) cm². The method that used in processing data uses linear interpolation techniques with intervals of 0.25, then proceed with weighting technique to calculate the radiation dose at each depth using Matlab. The PDD curve shows that the percentage of radiation dose is influenced by depth and is not affected by the area of the irradiation field to the value of the radiation dose. The isodose curve formed is influenced by the depth and area of irradiation. As the depth increases, the percentage of radiation dose decreases and the resulting curve becomes flatter. The radiation dose increases as the size of the irradiation field increase.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kanker merupakan salah satu penyakit yang disebabkan oleh pertumbuhan sel-sel jaringan tubuh yang tidak normal, terus membelah diri dan tidak terkendali. Jika penyebarannya dibiarkan tanpa penanganan, kanker bisa menyebar ke organ lain (metastasis) serta mengakibatkan kematian. Pengobatan kanker dapat dilakukan dengan cara kemoterapi, imunoterapi dan radioterapi (William and Thwaites, 1993). Radioterapi merupakan metoda pengobatan penyakit menggunakan sinar radiasi pengion untuk membunuh sel kanker (Susworo, 2007). Pada radioterapi terdapat proses perencanaan pemberian dosis radiasi kepada pasien yang disebut *Treatment Planning System* (TPS). TPS berfungsi untuk melihat bentuk kanker, organ kritis sekitar kanker dan distirbusi dosis radiasi yang diterima kanker sebelum diberikan penyinaran sehingga dapat mengoptimalkan pemberian dosis radiasi.

Linear Accelerator (Linac) merupakan salah satu contoh peralatan radioterapi. Pesawat Linac menghasilkan berkas foton dan elektron untuk pengobatan kanker. Berkas foton digunakan untuk mengobati kanker yang berada di dalam jaringan tubuh seperti kanker payudara, serviks dan nasofaring. Berkas elektron digunakan untuk mengobati kanker yang berada di permukaan jaringan tubuh seperti kanker kulit. Berkas foton dan elektron memiliki energi yang berbeda sehingga perlu melihat keakurasian dosis radiasi dalam pemberian pengobatan kanker. Verifikasi dosis radiasi perlu dilakukan untuk melihat keakurasian dosis radiasi. Verifikasi dosis radiasi merupakan proses dalam memastikan ketepatan pemberian dosis radiasi kepada pasien sesuai dengan perencanaan terapi (Podgorsak, 2005). Perubahan 5% dosis radiasi dapat mengakibatkan perubahan 10% sampai 20% dosis radiasi pada kanker (AAPM, 2004). Faktor yang mempengaruhi distribusi dosis radiasi adalah penggunaan diameter berkas, suhu ruangan, tekanan udara ruangan, tegangan, lapangan penyinaran dan kedalaman target (IAEA, 2012).

(Fauzan et al. 2015) melakukan penelitian tentang pembuatan kurva isodosis 2D untuk berkas elektron energi 5 MeV menggunakan *profile dose* (PD) dan kurva PDD untuk TPS radioterapi. Hasil penelitian menunjukkan distribusi dosis radiasi mempunyai tingkat persentase berbeda pada tiap kedalaman. Penggunaan luas lapangan penyinaran yang berbeda tidak mempengaruhi besarnya dosis radiasi. Penelitian (Alvionita dan Milvita, 2018) menjelaskan tentang analisis pengukuran *tissue maximum ratio* (TMR) terhadap variasi kedalaman target dan luas lapangan penyinaran menggunakan pesawat Linac tipe Clinac CX. Hasil penelitian didapatkan bahwa semakin besar kedalaman maka semakin besar persentase dosis radiasi yang diterima fantom hingga kedalaman maksimum (Z_{maks}). Setelah melewati kedalaman maksimum (Z_{maks}), persentase dosis radiasi yang didapatkan menurun secara eksponensial. Semakin besar luas lapangan penyinaran maka semakin besar persentase dosis radiasi yang didapatkan. Penelitian (Primadila et al. 2020) menjelaskan tentang estimasi dosis radiasi 3D energi foton 6 MV dan 10 MV berbasis PDD dan PD untuk TPS pesawat Linac. Estimasi dosis radiasi 3D yang dihasilkan menunjukkan bahwa distribusi dosis radiasi akan semakin lebar dan nilai dosis radiasi menjadi semakin menurun seiring peningkatan kedalaman target. Penelitian (Hasanah et al. 2020) mengenai analisis kurva PDD dan PD berkas elektron pesawat Linac varian Clinac-CX. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin besar energi elektron yang digunakan maka dosis radiasi maksimum (D_{max}) yang diperoleh semakin kecil, tetapi posisi kedalaman maksimum (Z_{max}) semakin meningkat. Sedangkan hasil pengukuran PD menunjukkan luas lapangan $25 \times 25 \text{ cm}^2$ lebih datar dan simetris dibandingkan luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ baik untuk arah *inline* maupun *crossline*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi dosis radiasi foton pada tiap kedalaman dan luas lapangan penyinaran agar target dan organ kritis mendapatkan dosis radiasi yang sesuai yang diinterpretasikan melalui kurva isodosis. Hal ini penting dilakukan dalam merancang dan memprediksi distribusi dosis radiasi di tiap kedalaman dan luas lapangan penyinaran agar target dan organ kritis mendapatkan dosis optimal dan sesuai dengan yang diizinkan oleh IAEA.

II. METODE

Penelitian dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama adalah melakukan pengambilan data PDD dan PD menggunakan *blue phantom* pada pesawat Linac. Tahap kedua melakukan pengolahan data PDD dan PD dengan teknik interpolasi linier dan membuat *coding* untuk menampilkan bentuk kurva isodosis menggunakan Matlab. Penelitian menggunakan *blue phantom* sebagai pengganti tubuh manusia dan menggunakan teknik penyinaran SSD dengan variasi kedalaman target (5-30) cm dengan interval 5 cm

dan menggunakan luas lapangan penyinaran mulai dari (10x10) cm² sampai (40x40) cm² interval 5 cm. Penelitian dimulai dengan melakukan pengambilan data PDD dan PD menggunakan Linac. *Blue phantom* diposisikan di bawah Linac sejajar dengan laser. Aquades dimasukkan ke dalam *blue phantom* dan detektor diposisikan di tengah *blue phantom*. Setelah alat terhubung, dilakukan pengaturan pada komputer *console* yang berada di ruang kontrol Linac. Pada komputer *console* diatur kedalaman target, luas lapangan penyinaran dan energi berkas yang akan digunakan. Kemudian Linac dihidupkan dan dilakukan penyinaran pada *blue phantom*. Data PDD dan PD hasil pengukuran dapat dilihat pada komputer *console*. Setelah dilakukan pengambilan data PDD dan PD, kemudian dilakukan standarisasi skala menggunakan Matlab. Data PDD dan PD hasil pengukuran memiliki interval yang tidak sama, untuk itu dilakukan standarisasi skala yaitu interval 0,25 dilakukan dengan teknik interpolasi linier dan dilanjutkan dengan teknik pembobotan untuk menghitung dosis radiasi di setiap titik kedalaman. Setelah nilai dosis radiasi pada semua titik diperoleh, kemudian dosis radiasi di setiap titik kedalaman yang nilainya sama dihubungkan membentuk kurva kontur yang disebut kurva isodosis menggunakan Matlab. Nilai PDD tidak diubah yaitu dari 0-100% dan nilai PD dinormalisasi dengan nilai maksimum menjadi 1. Hal ini bertujuan untuk menjamin bahwa nilai dosis radiasi pada tiap titik di kedalaman tertentu bernilai maksimum 100%. Kemudian membuat *coding* untuk menampilkan kurva isodosis menggunakan Matlab. Pembuatan kurva isodosis untuk luas lapangan tertentu diperoleh dengan menghitung dosis radiasi pada tiap titik di setiap kedalaman dengan menghitung hasil perkalian antara data PDD dan PD menggunakan persamaan 1:

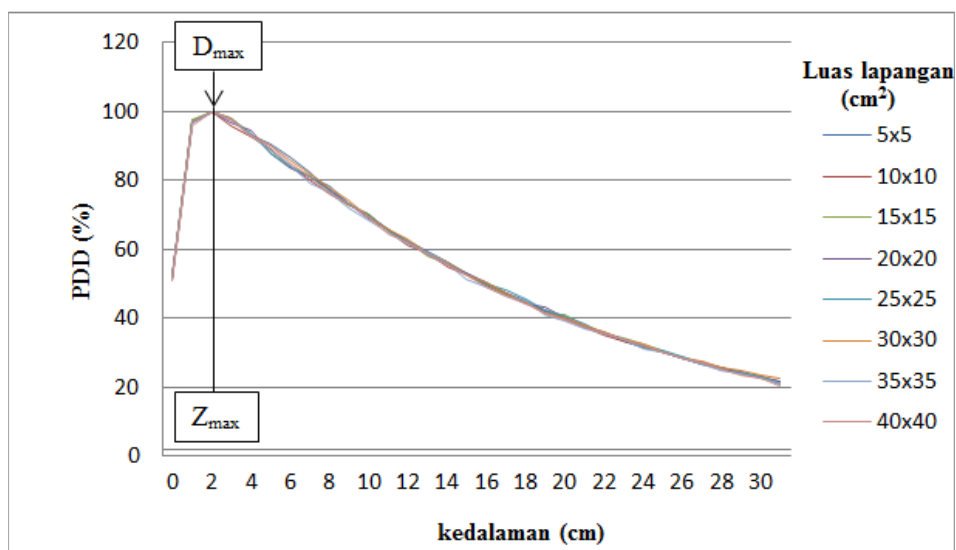
$$D(x, d) = PD(x) \times PDD(d) \quad (1)$$

dengan $D(x, d)$ adalah dosis radiasi di titik x dan d , $PD(x)$ adalah *profile dose* di titik x , $PDD(d)$ adalah nilai PDD di titik d . Setelah nilai dosis radiasi pada semua titik diperoleh, kemudian dosis radiasi di setiap titik kedalaman yang nilainya sama dihubungkan membentuk kurva kontur yang disebut kurva isodosis.

III. HASIL DAN DISKUSI

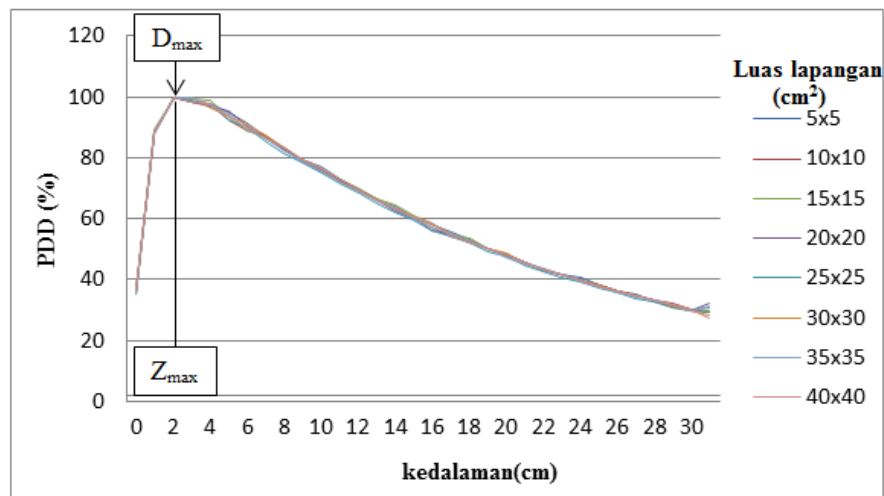
3.1 Analisis Kurva Percentage Depth Dose (PDD)

Hasil pengukuran nilai *Percentage Depth Dose* (PDD) berkas Foton 6 MV dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) berkas foton 6 MV

Hasil pengukuran nilai *Percentage Depth Dose* (PDD) untuk berkas Foton 10 MV dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) berkas foton 10 MV

Tabel 1 Dosis maksimum tiap kedalaman dan luas lapangan foton 6 MV dan 10 MV

Luas Lapangan Penyinaran (cm ²)	Kedalaman Maksimum (cm)	
	Foton 6 MV	Foton 10 MV
5x5	1,50	2,33
10x10	1,85	2,59
15x15	1,84	2,09
20x20	1,51	1,83
25x25	1,61	1,88
30x30	1,61	2,07
35x35	1,60	1,96
40x40	1,38	1,80

(Podgorsak, 2005) mengatakan bahwa persentase dosis radiasi akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kedalaman sampai mencapai kedalaman maksimum (Z_{max}). Setelah melewati Z_{max} , persentase dosis radiasi akan menurun secara eksponensial seiring bertambahnya kedalaman. Hal ini sesuai dengan data penelitian yang telah dilakukan. Dosis radiasi meningkat pada kurva PDD berkas foton 6 MV dan 10 MV hingga berada pada kedalaman maksimum. Setelah melewati Z_{max} , dosis radiasi akan menurun secara eksponensial.

Penggunaan energi yang semakin tinggi akan menyebabkan posisi Z_{max} semakin tinggi (IAEA, 2012). Pada Tabel 1 terlihat bahwa untuk luas lapangan 5x5 cm², posisi Z_{max} foton 6 MV berada pada kedalaman 1,50 cm dan pada foton 10 MV posisi Z_{max} berada pada kedalaman 2,33 cm, terlihat bahwa posisi Z_{max} meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi. Peningkatan ini dapat ditinjau dari peristiwa efek Compton, yaitu jika energi yang digunakan semakin tinggi, maka terjadinya ionisasi akan semakin banyak, sehingga menyebabkan persentase dosis radiasi juga meningkat. Hasil yang sama ditunjukkan juga oleh penelitian (Hasanah et al. 2020) yang menyebutkan bahwa semakin besar energi elektron yang digunakan maka posisi kedalaman maksimum (Z_{max}) semakin meningkat.

Hubungan antara kedalaman terhadap nilai persentase dosis radiasi pada kurva PDD terlihat bahwa persentase dosis radiasi akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kedalaman sampai mencapai kedalaman maksimum (Z_{max}). Setelah melewati Z_{max} , persentase dosis radiasi akan menurun secara eksponensial seiring bertambahnya kedalaman. Daerah terjadinya peningkatan persentase dosis radiasi pada kurva disebut daerah *build-up*. Daerah *build-up* merupakan daerah dari permukaan sampai daerah dosis radiasi maksimum. Peningkatan dosis radiasi pada daerah *build-up* terjadi akibat tumbukan antara berkas elektron dengan elektron atom medium. Akibat terjadi tumbukan, elektron akan keluar dengan kecepatan tinggi yang diikuti dengan kenaikan dosis radasi.

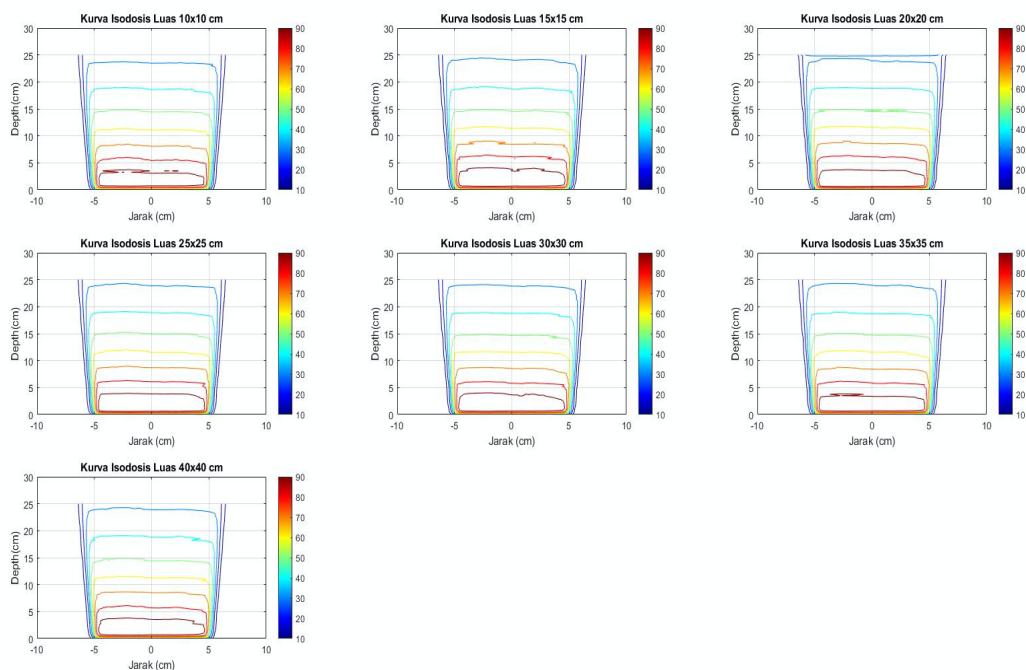
Kurva PDD yang menurun disebabkan oleh atenuasi foton. Atenuasi foton merupakan proses dimana intensitas radiasi berkurang secara eksponensial seiring dengan bertambahnya kedalaman. Intensitas radiasi yang berkurang merupakan akibat jarak dari sumber radiasi ke target penyinaran. Jumlah radiasi yang mencapai suatu titik pengukuran yang berjarak tertentu dari sumber radiasi tentu tidak sebesar jumlah radiasi yang dipancarkan oleh sumber karena dipengaruhi jarak. Semakin jauh kedalaman target maka semakin berkurang intensitas dosis radiasi. Hasil yang sama ditunjukkan juga oleh (Primadila et al. 2020) yang mengatakan bahwa dosis radiasi menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman.

Hubungan luas lapangan terhadap nilai persentase dosis radiasi menunjukkan bahwa peningkatan luas lapangan penyinaran tidak mempengaruhi besarnya dosis radiasi, hasil yang sama ditunjukkan juga oleh (Fauzan et al. 2015) yang menyebutkan bahwa kurva PDD yang dihasilkan tidak mempengaruhi besarnya dosis radiasi pada luas lapangan penyinaran yang berbeda. Namun berdasarkan (IAEA, 2012) dan (Alvionita dan Milvita, 2018) seiring dengan bertambahnya ukuran luas lapangan penyinaran yang digunakan akan menghasilkan dosis radiasi yang meningkat juga. Peningkatan persentase dosis radiasi terhadap meningkatnya luas lapangan penyinaran dikarenakan adanya radiasi hambur yang terbentuk.

Penggunaan luas lapangan penyinaran yang besar dari luas $5 \times 5 \text{ cm}^2$, posisi Z_{max} akan menurun seiring dengan bertambahnya ukuran luas lapangan penyinaran (IAEA, 2012). Pada Tabel 1 terlihat bahwa pada berkas foton 6 MV hasil yang didapatkan sesuai dengan teori (IAEA, 2012) yaitu Z_{max} menurun seiring dengan meningkatnya ukuran luas lapangan penyinaran. Pada foton 10 MV, posisi Z_{max} mengalami kenaikan pada luas lapangan $25 \times 25 \text{ cm}^2$ dan $30 \times 30 \text{ cm}^2$. Kenaikan ini disebabkan oleh terjadinya hamburan dalam fantom akibat dari efek *flattenig filter scatter* dan efek kolimator. Efek *flattenig filter scatter* merupakan hamburan yang terbentuk akibat penggunaan *flattenig filter* untuk menyeragamkan berkas saat penyinaran. Efek kolimator merupakan efek yang ditimbulkan saat menggunakan ukuran luas lapangan penyinaran yang semakin besar (IAEA, 2012).

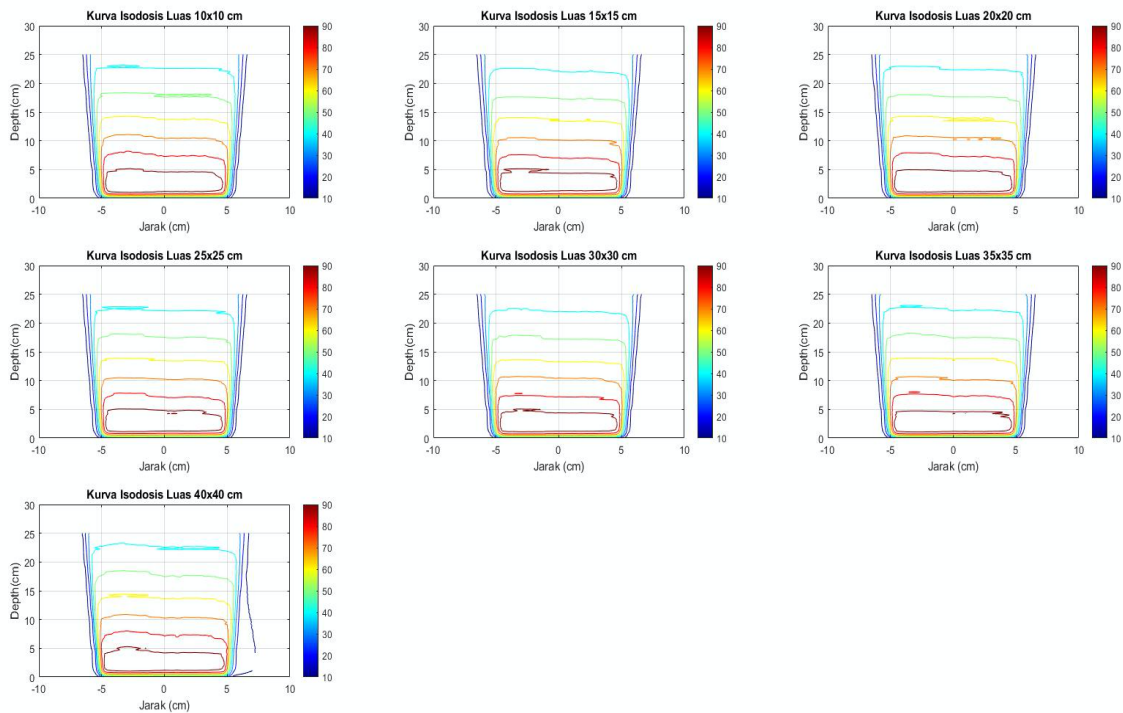
3.2 Analisis Kurva Isodosis

Hasil simulasi perhitungan distribusi dosis radiasi pada tiap kedalaman dan luas lapangan penyinaran ditampilkan dalam bentuk kurva isodosis menggunakan Matlab pada berkas foton 6 MV seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Kurva Isodosis Berkas Foton 6 MV

Hasil simulasi perhitungan distribusi dosis radiasi pada tiap kedalaman dan luas lapangan penyinaran ditampilkan dalam bentuk kurva isodosis menggunakan Matlab pada berkas foton 10 MV seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Kurva Isodosis Berkas Foton 10 MV

Tabel 2 Posisi dosis maksimum pada kurva isodosis ditiap luas lapangan berkas foton 6 MV dan foton 10 MV

Luas Lapangan Penyinaran (cm ²)	Kedalaman Maksimum (cm)	
	Foton 6 MV	Foton 10 MV
5x5	4,24	4,37
10x10	4,23	4,30
15x15	4,07	4,24
20x20	4,07	4,28
25x25	4,08	4,24
30x30	4,08	4,41
35x35	4,09	4,53
40x40	4,24	4,37

Kurva isodosis yang didapatkan menggunakan Matlab menunjukkan distribusi dosis radiasi foton pada tiap kedalaman dan luas lapangan penyinaran. Kurva isodosis mempunyai bentuk dan tingkat persentase dosis radiasi yang berbeda pada tiap kedalaman. Tingkat persentase dosis radiasi ditunjukkan oleh warna garis yang dihasilkan pada kurva isodosis yang disebut *colourbar* (%). *Colourbar* di samping kanan gambar menunjukkan tingkat persentase dosis radiasi (%) berdasarkan warna.

Berdasarkan (IAEA, 2012) dosis radiasi maksimum pada berkas foton terletak di bawah permukaan kulit. Pada Tabel 2 terlihat bahwa dosis radiasi maksimum untuk berkas foton 6 MV dan foton 10 MV terletak lebih dari 4 cm di bawah permukaan kulit yang ditunjukkan oleh garis kontur warna merah yang merupakan dosis radiasi maksimum sebesar 100%.

Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa bentuk kurva isodosis di setiap kedalaman dan di setiap luas lapangan penyinaran terdapat cekungan dan tidak rata. Cekungan yang terbentuk dipengaruhi oleh atenuasi foton dan efek *horn*. Efek *horn* merupakan cekungan yang terbentuk pada garis kurva isodosis. Efek *horn* terjadi ketika energi radiasi lebih banyak berkumpul di tengah dari pada di tepi kurva artinya dosis radiasi tidak tersebar secara merata. Efek *horn* disebabkan oleh penggunaan energi radiasi,

kedalaman dan luas lapangan penyinaran (IAEA, 2012). Cekungan yang terbentuk akibat dari atenuasi foton menyebabkan intensitas radiasi yang dihasilkan tinggi pada kedalaman yang dekat dengan permukaan seperti pada kedalaman 5 cm.

Dosis radiasi akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Perbedaan nilai dosis radiasi ditiap kedalaman ditunjukkan oleh warna garis pada kurva. Warna merah tua menunjukkan nilai persentase dosis radiasi 100% dan menurun hingga warna biru tua menunjukkan nilai persentase dosis radiasi 10%. Ketika energi radiasi berada pada kedalaman di dekat permukaan seperti pada kedalaman 5 cm, kurva yang terbentuk tidak rata, namun seiring dengan bertambahnya kedalaman yang diberikan pada penyinaran, cekungan yang dihasilkan semakin halus. Hal ini diakibatkan oleh atenuasi foton, dimana intensitas radiasi akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman yang merupakan proses berkurang atau hilangnya energi radiasi. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh (Fauzan et al. 2015) dan (Primadila et al. 2020) yang menyatakan bahwa distribusi dosis radiasi akan semakin lebar dan nilai dosis radiasi menjadi semakin menurun seiring peningkatan kedalaman target.

Kedalaman dosis maksimum terjadi pada kedalaman yang berbeda-beda di tiap luas lapangan penyinaran. Pada Tabel 2 terlihat bahwa pada luas lapangan penyinaran $10 \times 10 \text{ cm}^2$, pada berkas foton 6 MV dosis maksimum terjadi pada kedalaman 4,24 cm. Pada berkas foton 10 MV dosis maksimum terjadi pada kedalaman 4,37 cm. Hal serupa dengan hasil penelitian (Hasanah et al. 2020) yang menunjukkan bahwa semakin besar energi yang digunakan maka kedalaman maksimum (Z_{\max}) semakin meningkat.

Kurva isodosis yang terbentuk terlihat bahwa kurva isodosis juga dipengaruhi oleh penggunaan luas lapangan penyinaran yang diberikan. Semakin besar luas lapangan penyinaran terlihat semakin tidak rata kurva yang terbentuk. Tidak semua foton diserap atau diteruskan oleh bahan, melainkan ada sebagian yang dihamburkan. Radiasi hambur ini terjadi ketika sebagian radiasi membias atau menyimpang dari radiasi sumber dan bergerak kesegala arah dalam *blue phantom*. Penggunaan luas lapangan penyinaran yang semakin besar, radiasi hambur yang terbentuk juga semakin besar. Faktor yang mempengaruhi terbentuknya jumlah radiasi hambur adalah tegangan, volume bahan dan luas lapangan penyinaran. Bentuk kurva isodosis yang didapatkan dari pengukuran memiliki cekungan dan tidak rata. Hal ini ditunjukkan juga oleh penelitian (Fauzan et al. 2015) dimana bentuk kurva isodosis yang dihasilkan juga terdapat cekungan pada tiap kedalaman dan luas lapangan penyinaran yang digunakan.

IV. KESIMPULAN

Kurva PDD dipengaruhi oleh kedalaman target dan tidak dipengaruhi oleh penggunaan luas lapangan penyinaran yang berbeda terhadap nilai dosis radiasi. Kurva isodosis yang terbentuk dipengaruhi oleh energi radiasi, kedalaman dan luas lapangan penyinaran. Dosis radiasi akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Dosis radiasi mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya ukuran luas lapangan penyinaran. Energi radiasi yang semakin besar menghasilkan persentase dosis radiasi dan distribusi dosis radiasi yang semakin meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas yang telah menyediakan fasilitas sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- AAPM. 2004. *Tissue Inhomogeneity Corrections For Megavoltage Hoton Beams*. Medical Physics Publishing.
- Alvionita, Vinny, and Dian Milvita. 2018. "Analisis Hasil Pengukuran Tissue Maximum Ratio (TMR) Terhadap Variasi Kedalaman Target Dan Luas Lapangan Penyinaran Menggunakan Pesawat Linac Tipe Clinac-CX." *jurnal fisika unand* 7(2): 97–101.
- Fauzan, Mahfudz, Vincensius Gunawan, and S K Choirul. 2015. "Pembuatan Kurva Isodosis 2D Untuk Berkas Elektron Energi 5 Mev Menggunakan Profile Dose Dan Kurva Percentage Depth Dose (Pdd) Untuk Treatment Planning System Radioterapi." *Youngster Physics Journal* 4(1): 127–32.
- Hasanah, Huswatun et al. 2020. "Analisa Kurva PDD Dan Dose Profile Berkas Elektron Pesawat Linac Varian Clinac CX." *Indonesia Physical Review* 3(2): 84–92.
- IAEA. 2012. *External Photon Beams Physicsl Aspek*s. Vienna: IAEA.
- Podgorsak. 2005. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, . Vienna: IAEA.
- Primadila, Ervy, Dian Milvita, H Presetio, and M Kanie. 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): 323–30.
- Susworo. 2007. *Radioterapi: Dasar-Dasar Radioterapi, Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker*. jakarta: UI Press.
- William, and Thwaites. 1993. *Radiotherapy Physics*. new york: Oxford University.