

**ANALISIS PERBEDAAN DOSIS SATU DIMENSI PADA BERKAS FOTON 6
DAN 10 MV MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO PHITS**

Leonard Setiawan, Josua Timotius Manik

Program Studi Fisika, Fakultas Sains Teknologi dan Matematika,

Matana University, Tangerang, Indonesia

E-mail: leonard.setiawan@student.matanauniversity.ac.id

ABSTRAK

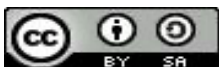
Radioterapi adalah salah satu metode pengobatan tumor dan kanker. Modalitas alat untuk melaksanakan terapi radiasi adalah *linear accelerator* (LINAC) dengan berkas yang digunakan yaitu elektron dan foton. Keakuratan berkas yang dipancarkan ke target tumor atau kanker dapat dilihat dari kualitas berkas keluaran linac melalui analisa kualitas berkas. Kualitas berkas dianalisa dari kurva *percentage depth dose* (PDD). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai PDD pada dosis maksimum pada suatu kedalaman fantom air berukuran $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$. Variasi energi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah berkas foton 6 MV dan 10 MV. Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi monte carlo *software* PHITS dan analisis data kuantitatif meliputi parameter *entrance dose*, *build-up region*, *dmax*, dan *exit dose* dari PDD. Diperoleh nilai PDD pada energi 6 MV dengan *entrance dose* 78,4% dosis, *dmax* pada kedalaman 1,4 cm, dan *exit dose* 27,4%. Pada PDD 10 MV diperoleh nilai *entrance dose* 54,2% dosis, *build up region* yang hampir mirip dengan kurva energi 6 MV, *dmax* pada kedalaman 2,2 cm, dan *exit dose* 33,3%.

Kata Kunci: Percentage Depth Dose (PDD), PHITS, Foton, dmax, LINAC

ABSTRACT

Radiotherapy is a treatment method for tumors and cancer. The modality for radiation therapy is linear accelerator (LINAC) with electron and photon beams currently used. The accuracy of the beam emitted to the tumor or cancer target can be seen from the quality of the linac output through beam quality analysis. Beam quality is analyzed from the percentage depth dose (PDD) curve. This research aims to obtain the PDD value at the maximum dose at a water phantom depth measuring $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$. The energy variations used in this research are 6 MV and 10 MV photon beams. The research used PHITS software monte carlo simulation and quantitative data analysis including entrance dose, build-up region, dmax, and exit dose parameters from PDD. The PDD value was obtained at 6 MV beams with an entrance dose of 78.4% of the dose, dmax at a depth of 1.4 cm, and an exit dose of 27.4%. At 10 MV beams, the entrance dose value was 54.2% dose, build up region was almost similar to the 6 MV energy curve, dmax at a depth of 2.2 cm, and exit dose 33.3%.

Keywords: Percentage Depth Dose (PDD), PHITS, Foton, dmax, LINAC



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan tindakan penunjang medis dalam penanganan kanker atau tumor menggunakan terapi radiasi. Berdasarkan posisi pemberian dosis radiasi, radioterapi terdiri atas dua jenis yaitu, teleterapi yang merupakan pemberian dosis radiasi dari luar tubuh dengan jarak tertentu dan brakhiterapi yaitu pemberian dosis radiasi dengan cara mendekatkan sumber radiasi ke tumor dengan proses intervensi bedah. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah teleterapi dengan model pesawat radioterapi yang dirujuk adalah *Linear Accelerator* (linac).

Linac adalah pesawat teleterapi pemercepat partikel bermuatan seperti elektron berenergi tinggi (Khan et al., 2014) modalitas yang digunakan pada pesawat linac adalah berkas foton dengan rentang energi 6 – 10 MV dan elektron dengan rentang energi 4 – 15 MeV. Pemilihan berkas bergantung pada letak dan posisi kanker yang diderita pasien apakah mendekati permukaan kulit atau letaknya lebih dalam (menjauhi permukaan kulit) (Hasanah dkk., 2020) seperti kanker gluteus, prostat, dan serviks.

Penggunaan berkas yang tepat dilakukan agar persentase dosis yang diberikan dapat diterima maksimal pada target di suatu kedalaman. Menurut Milvita dkk. (2018) *percentage depth dose* (PDD) merupakan perbandingan antara dosis radiasi pada satu kedalaman dan dosis maksimum di kedalaman maksimum. Nilai PDD dipengaruhi oleh jenis berkas dan energi radiasi, teknik penyinaran yang dilakukan *source to surface distance* (SSD) atau *source to axial distance* (SAD), luas lapangan penyinaran, dan kedalaman.

Oleh karena itu variasi energi dari suatu berkas menjadi parameter yang penting untuk memperoleh nilai PDD sehingga analisa terhadap karakter berkas suatu modalitas radiasi dapat dilakukan. Pada simulasi penelitian ini digunakan berkas foton dan variasi energinya untuk dilakukan analisis PDD. Variasi energi berkas foton yang digunakan adalah 6 dan 10 MV, seperti digunakan pada linac di salah satu rumah sakit di daerah Jakarta Pusat, Indonesia. Selain PDD, *entrance dose*, *build up region*, dan *exit dose* juga menjadi parameter pembanding kedua berkas.

Untuk menjalankan simulasi PDD ini digunakan *software* Particle & Heavy Ion Transport-code System (PHITS). PHITS adalah suatu *software* berbasis metode Monte Carlo (MC) untuk melakukan perhitungan interaksi partikel terhadap medium yang dilaluinya, dalam hal ini fantom air. Menurut Manik, dkk (2023) keakuratan perhitungan dosis yang diserap dapat diperoleh dengan menggunakan metode simulasi MC yang merupakan metode terbaik dalam menjalankan simulasi partikel radiasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan dengan membuat pemodelan kepala linac menggunakan *software* PHITS versi 3.28, seperangkat komputer Windows 10 Pro. CPU AMD Ryzen Threadripper 2920X 12-Core Processor 3.50 GHz. 32 GB Ram, aplikasi notepad++ untuk menginput kode simulasi, dan microsoft excel untuk mengolah data.

Pemodelan Simulasi dan Kepala Linac

Perancangan simulasi melibatkan *input* parameter untuk mengatur jumlah partikel yang disimulasikan, *input source* untuk mengatur besar energi foton yang dipancarkan dari *linac head*, arah pancaran berkas, dan radius sumber berkas yang dibuat *point source* seperti yang diterapkan Cancino dkk (2019). *Input material* untuk menentukan jenis material, seperti tungsten (W) dan tembaga (Cu) sebagai material kolimator primer, sekunder, *flattening filter*, dan target (Vichi dkk., 2020) (Bilalodin & Abdullatif, 2022). *Input surface* untuk menentukan ukuran dan bentuk

geometri kepala linac. *Input cell* untuk menentukan *density*, nomor material, dan elemen tambahan seperti ruang hampa (*void*) dalam kepala linac. *Input tally track* untuk memperoleh gambar histori jejak partikel mulai dari kepala linac sampai berinteraksi dengan fantom. *Input tally deposit* untuk mengatur voxel dan memperoleh data hasil simulasi berupa *file* PDD.out untuk PDD. Medan radiasi dibuat dengan mengatur jarak sumber ke permukaan fantom sejauh 100 cm (SSD 100 cm) dan luas lapangan penyinaran dibuat $10 \times 10 \text{ cm}^2$ konstan (Nurdin dkk., 2018).

Model Fantom dan Pengaturan Voxel

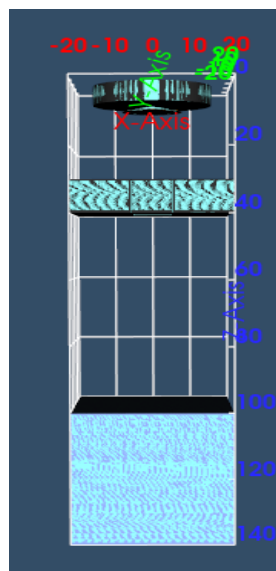
Fantom dibuat dengan *input* kode material air (H2 O1) dengan ukuran geometri kubus $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ dan nilai *density* 1 g/cm^3 . Voxel adalah suatu volume kubus kecil penyusun fantom dalam simulasi untuk mengestimasi rata-rata dosis di tengah voxel itu sendiri (Haryanto dkk., 2015). Pada *input* t-deposit PDD.out pengaturan NZ dibuat 200, NX dan NY dibuat 1 agar perhitungan dosis tepat di sepanjang sumbu z. Voxel sepanjang sumbu z dibuat dengan ukuran 0,2 cm untuk memperoleh ketelitian lebih tinggi.

Data dikumpulkan dan diolah menggunakan microsoft excel. Perhitungan PDD dilakukan menggunakan rumus berikut (Podgorsak, 2005).

$$PDD = \frac{dq}{dp} \times 100\%$$

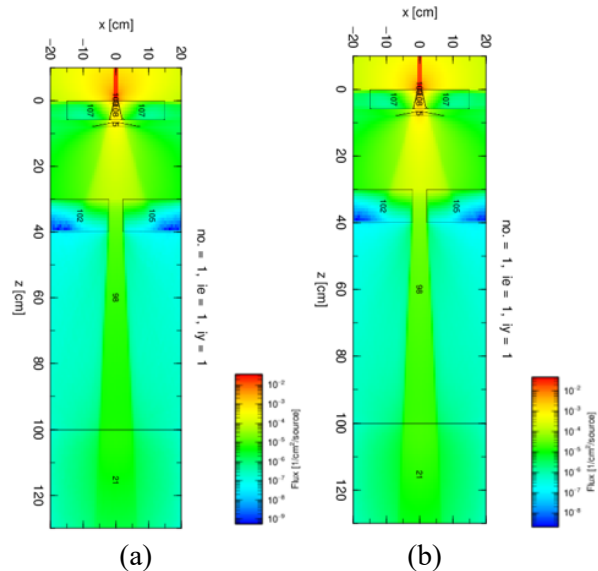
dimana dq adalah dosis pada kedalaman tertentu dan dp adalah dosis pada kedalaman maksimum. PDD bertujuan meninjau dosis diterima 100% pada kedalaman tertentu (Khiftiyah dkk., 2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN



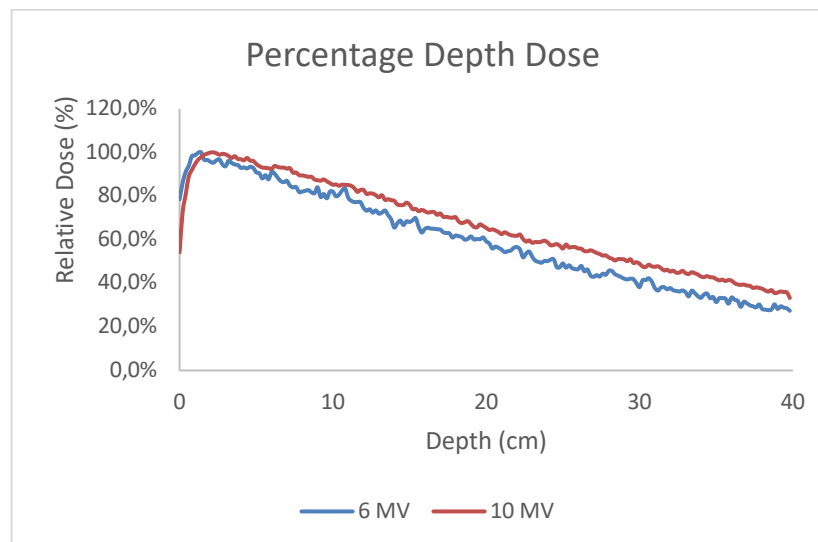
Gambar 1 Geometri Kepala Linac dan Fantom Air

Telah dilakukan perancangan geometri kepala linac dan fantom air untuk simulasi dengan *software* PHITS versi 3.28. Pada Gambar 1 geometri kepala linac terdiri dari komponen kolimator primer, *flattening filter*, dan kolimator sekunder.



Gambar 2 T-track Jejak Partikel Foton Energi 6 MV (a) dan 10 MV (b)

Pada gambar 2 menampilkan laju partikel foton mulai dari sumber, kemudian terjadi interaksi dengan materi yang dilalui, hingga mencapai fantom air dan terjadi interaksinya. Jumlah partikel yang digunakan adalah 10^8 , hal ini dilakukan sesuai rujukan oleh Uyar dkk. (2023) besar jumlah partikel menekan statistik eror hingga kurang dari 1% bila mencapai 10^8 . Menurut Salvat (2015) perbanyak populasi sampel dapat menekan statistik ketidakpastian dari metode simulasi ini.



Gambar 3 Kurva PDD Foton 6 dan 10 MV pada SSD 100 cm dan FS 10x10 cm²

Setelah dilakukan simulasi PDD berkas foton maka diperoleh data PDD.out kemudian diolah dengan microsoft excel untuk dibentuk kurva. Kurva PDD yang diperoleh dari data hasil simulasi menggunakan *software* PHITS sudah cukup sesuai dengan yang diperoleh dari pesawat linac.

Tabel 1 Perbandingan PDD Energi 6 dan 10 MV

Parameter	6 MV	10 MV
Entrance Dose	78,4%	54,2%
Dmax (100%)	1,4 cm	2,2 cm
Exit Dose	27,4%	33,3%

Pada Tabel 1 persentase dosis *entrance dose* berkas foton 6 MV lebih besar dari 10 MV yaitu 78,4% dan 54,2% hal ini dikarenakan dosis pada energi 6 MV banyak terserap di permukaan akibat banyaknya interaksi acak yang terjadi di permukaan fantom pada berkas 6 MV, pada energi 10 MV dosis banyak terserap di titik yang lebih dalam. Daerah build-up region kedua energi juga meningkat disebabkan interaksi *coulomb* yang terjadi dimulai dari permukaan fantom, dimana partikel foton mentransfer energi kinetiknya hingga terbentuk partikel sekunder bermuatan. Kedalaman dosis maksimum berkas foton 6 MV adalah 1,4 cm dan berkas foton 10 MV adalah 2,2 cm. Persentase *exit dose* kedua energi berkas berbeda dimana berkas 10 MV memiliki dosis lebih besar, hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Primadila dkk. (2020) dosis radiasi menurun seiring bertambah kedalaman target.

KESIMPULAN

Pada PDD dengan berkas energi 6 dan 10 MV didapati perbedaan pada *entrance dose* dimana pada berkas 6 MV memiliki *entrance dose* lebih besar, yaitu 78,4% dosis dibandingkan berkas 10 MV dengan persentase dosis 54,2%. Persamaan build-up region pada energi 6 MV dan 10 MV adalah peningkatan persentase dosis seiring bertambahnya kedalaman hingga mencapai dosis maksimum. Pada *exit dose*, berkas foton 10 MV memiliki dosis lebih besar, yaitu 33,3% dibanding berkas foton 6 MV, yaitu 27,4%. Hal ini terjadi karena berkas energi 10 MV memiliki kemampuan untuk menghantarkan dosis lebih dalam, sehingga dosis yang tersisa lebih besar pada *exit dose*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilalodin., & Abdullatif, S. (2022). Modeling and Analysis of Percentage Depth Dose (PDD) and Dose Profile of X-ray Beam Produced by Linac Device by Voltage Variation. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 8(2), 206–214. <http://dx.doi.org/10.26555/jiteki.v8i2.23622>
- Cancino, J. L. B., Velasquez, C. E., Fernandes, L. C., & Silva, C. A. M. (2019). Dosimetry Study of a VARIAN 600 C/D Linear Accelerator Head Model using MCNP5 Monte Carlo Code. *Brazilian Journal of Radiation Science*, 01–15. <http://dx.doi.org/10.15392/bjrs.v7i3.832>
- Hasanah, H., Qomariyah, N., Makmur, I. W. A., Subroto, R., & Wirawan, R. (2020). Analisa Kurva PDD dan Dose Profile Berkas Elektron Pesawat Linac Varian Clinac CX. *Indonesian Physical Review*, 3(2), 84–92. <https://doi.org/10.29303/ipr.v3i2.43>
- Haryanto, F., Yani, S., Dirgayussa, I. G. E., Rhani, M. F. (2015). The Effect of Voxel Size on Dose Distribution in Varian Clinac iX 6 MV Photon Beam Using Monte Carlo Simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1677. <https://doi.org/10.1063/1.4930646>

- Khan, F. M., & Gibbons, P. J. (2014). *The physics of radiation therapy 5th edition*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Khifitiah, M., Hidayanto, E., & Arifin, Z. (2014). Analisa Kurva Percentage Depth Dose (PDD) dan Profile Dose Untuk Lapangan Radiasi Simetri dan Asimetri Pada Linear Accelerator (LINAC) 6 Dan 10 MV. *Youngster Physics Journal*, vol 3(4), 279–286. 2302-7371.
- Kutcher, G. J., Coia, L., Gillin, M., Hanson, W. F., Leibel, S., Morton, R. J., Palta, J. R., Purdy, J. A., Reinstein, L. E., Svensson, G. K., Weller, M. & Wingfield, L. (1994), Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med. Phys.*, 21, 581-618. <https://doi.org/10.1118/1.597316>.
- Manik, J. T., Okselia, A., Gaspersz, D. G., Haryanto, F. (2023). Validation of Varian Clinac iX Model on 6 MV Photon Beam Using Fast Monte Carlo Simulation. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 9(4), 951-958. DOI: 10.26555/jiteki.v9i4.27075.
- Milvita, D., Mahyudin, A., & Alvionita, V. (2018). Analisis Nilai Percentage Depth Dose (PDD) Terhadap Variasi Kedalaman Target dan Luas Lapangan Penyinaran Menggunakan Pesawat Linac-CX. *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol 15(2), 93–97. <http://dx.doi.org/10.31258/jkfi.15.2.93-97>.
- Nurdin, W. B., Purnomo, A., & Dewang, S. (2018). Source to Skin Distance Characteristics from Varian CX Linear Accelerator. *International Conference on Science*, 979. doi:10.1088/1742-6596/979/1/012076
- Podgorsak, E. B. (2012). *Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students*. IAEA.
- 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 Pesawat Linac. Vol 9(3), 323–330. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.323-330.2020>.
- Salvat, F. (2015). Penelope-2014: a code system for monte carlo simulation of electron and photon transport. Nuclear Energy Agency.
- 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(1), 73–78. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.73-78.2020>.
- Uyar, E., & Günekbay, Z. A. (2023). Comparison of the Number of Particle History for Monte Carlo Codes in Gamma-Ray Spectroscopy. *Gazi University Journal of Science*, 10(2), 176–183. <https://doi.org/10.54287/gujsa.1276486>.
- Vichi, S., Dean, D., Ricci, S., Zagni, F., Berardi, P., & Mostacci, D. (2020). Activation Study of a 15 MeV LINAC via Monte Carlo Simulations. *Radiation Physics and Chemistry*, 172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108758>.