

Simulasi Distribusi Laju Dosis Pada Tumor Dan Area Kerja Pada Peralatan Akselerator Elektron Dengan Program MCNP

Tumpal Pandiangan¹⁾, Stheven²⁾,
Valentino Maxmillion³⁾,

^{1,2)}Program Studi Pendidikan Fisika

Universitas Matana

Matana University Tower, Jl. CBD Barat Kav. 1, Curug Sangereng,

Kec. Klp. Dua, Kabupaten Tangerang, Banten, 15810

¹⁾ tumpal@matanauniversity.ac.id, ²⁾valentino.maximillion@student.matanauniversity.ac.id

ABSTRAK

Linac or linear accelerator is one of the modalities used in radiotherapy. To ensure the quality of radiation dose accepted by the patient, it must be applied quality control on linac, one of which is the PDD (Percentage Depth Dose) value. For this purpose, a method of simulating the distribution of dose rates in tumors was carried out and areas of work with the MCNP program. Simulated values of the PDD of electrons and photons with energies of 6MeV and 8MeV have been carried out and distribution of radiation scattering generated using MCNP5 software. The PDD value is 100% for an electron with an energy of 6MeV is at a depth of 40mm while for 8MeV energy is at a depth of 20mm. The depth of photon radiation has a value of 100% at a certain depth that means effective at that depth value.

Kata kunci: PDD, QC, radiotherapy, energy distribution, Linac and simulation

I. Pendahuluan

Kekuatan menghentikan dan disipasi energi yang dibebankan partikel melalui materi telah menjadi subjek sangat menarik selama 100 tahun (Ziegler J. F., 2010), karena area aplikasinya yang luas, seperti implantasi ion, fisika partikel dasar, fisika nuklir, kerusakan radiasi dan radiologi. Partikel bermuatan berat yang melintasi materi akan kehilangan energi terutama melalui ionisasi dan eksitasi atom. Daya henti ditentukan sebagai kehilangan energi rata-rata per satuan panjang jalur ($-dE/dx$). Hal ini tergantung pada muatan dan kecepatan proyektil dan, tentu saja,

materi target (El- Ghossain, 2017). Investigasi kehilangan awal energi partikel bermuatan yang melintasi materi sampai pada rumus daya henti. Jika berkas ion menembus materi akan kehilangan energi karena tumbukan dengan electron (penghentian elektronik) dan inti target (penghentian nuklir). Daya henti total kemudian hanya merupakan jumlah dari daya henti karena elektronik dan interaksi nuklir.

Pada energi rendah, kehilangan energi total biasanya dijelaskan dalam hal daya henti elektronik (Zieger J.F, 2004). Komponen nuklir dari daya henti juga dapat diabaikan. Fenomena yang mungkin berkontribusi

ke penghentian elektron di wilayah kecepatan jauh di bawah kecepatan cahaya adalah: 1. Pertukaran momentum dalam tabrakan antara ion dan elektron bebas dalam bahan target, 2. Ionisasi ion, 3. Ion menangkap elektron, 4. Eksitasi ion, 5. eksitasi atom target, 6. ionisasi atom target, dan 7. Efek kolektif seperti polarisasi atau eksitasi plasma (Zieger J.F, 2004). Dalam tulisan ini interaksi radiasi ion dengan materi akan dipelajari, ini akan mencakup partikel bermuatan berat seperti partikel alfa dan ion. Hal ini dapat berguna terkait dengan efek interaksi dengan tubuh manusia, kulit, dan tulang, kerangka dan bagian yang berbeda dari tubuh. Kehilangan energi dan dosis berkorelasi satu sama lain dan membantu merumuskan interaksi internal dan radiasi eksternal dengan materi. Hal ini dapat memprediksi efektivitas pengobatan radiasi dan kemungkinan kerusakan ke jaringan tubuh yang berdekatan.

Radioterapi merupakan salah satu metode terapi kanker yang penting dikarenakan dapat menurunkan kemungkinan kekambuhan kanker dan dapat meningkatkan kualitas hidup pasien. Sekitar 50 – 60% kasus kanker membutuhkan radioterapi dalam keseluruhan program terapi kanker (Setawati dkk. 2020), dikarenakan terdapat kasus kanker yang terletak pada area yang tidak memungkinkan untuk dilakukannya operasi pembedahan seperti pada kasus kanker *nasofaring*. Linac atau *linear accelerator* merupakan salah satu modalitas yang digunakan dalam radioterapi (Cancino, 2019). Pada saat proses tentu saja menggunakan energy radiasi relative besar, karena alasan untuk menghancurkan kanker pasien. Karena itu perlu dipelajari bagaimana distribusi energy radiasi baik pada tumor itu sendiri maupun hamburan yang ditimbulkannya di sekitar area radiasi. Untuk menjamin dosis radiasi yang diterima pasien dengan dosis yang disimulasikan adalah sama, maka harus terdapat quality control linac yang salah satunya adalah QC untuk nilai PDD (Percentage Depth Dose). PDD adalah banyaknya dosis yang diserap suatu medium dengan variasi dari kedalam yang

ditempuh radiasi (Khiftiyah, M., dkk. 2014) dan juga merupakan esensi perhitungan kedalaman dosis dalam klinis Oncology (Mott, J. H. L., & West, N. S. 2021). Penelitian ini akan mensimulasikan nilai dari PDD elektron dengan energy 6MeV, dan 8MeV dan distribusi hamburan radiasi yang dihasilkan dengan menggunakan software MCNP5.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui distribusi energy pada tumor dan lingkungan sekitar tumor dengan metode monte carlo. Hasil penelitian ini bermanfaat bagi petugas proteksi radiasi dalam menentukan area aman saat proses radiasi dilakukan pada peralatan Linac.

Voxel dalam simulasi pemodelan komputasi anatomi manusia adalah representasi matematis dari anatomi manusia yang dirancang untuk digunakan dalam perhitungan dosimetri (Caon, 2004). Model komputasi telah digunakan dalam pencitraan radioterapi, radiodiagnostik, kedokteran nuklir, dan proteksi radiasi. Model Voxel adalah konstruksi model digital tiga dimensi dari anatomi tubuh manusia, dengan menggunakan voxel maka hasil pengukuran ataupun dosimetri akan lebih akurat dikarenakan volume anatomi tersebut akan diisi oleh suatu komposisi yang dapat disebut voxel. Voxel memiliki prinsip yang sama dengan pixel dalam gambar dua dimensi, dimana setiap pixel akan merekonstruksi suatu citra, maka voxel akan merekonstruksi suatu model tiga dimensi.

Daya henti suatu medium dapat didefinisikan sebagai unit rata-rata kehilangan energi yang dialami oleh muatan partikel per satuan panjang lintasan dalam medium (Jablonski A. 2004). Hal ini dapat dilakukan menggunakan program MCNP secara virtual (Al-Jauhari, 2021). Menghentikan daya terdiri dari dua komponen: tumbukan dan radiasi. Yang pertama adalah yang paling penting untuk partikel, yang dihasilkan dari interaksi tumbukan antara insiden partikel dan elektron atom. Daya henti oleh tumbukan massal digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada kepadatan. Daya henti total dapat diperoleh dari program SRIM-2003 (El-Ghossain, M., O.

2017), yang menghitung daya henti dan jangkauan ion (10eV - 2GeV/sma) dalam materi menggunakan mekanika kuantum perlakuan tumbukan ion-atom (manual SRIM mengacu pada atom yang bergerak sebagai "ion", dan semua atom target sebagai "atom"). Penjelasan lengkap tentang perhitungan tersebut diberikan oleh Ziegler dan Biersack (J.F. Ziegler etc, 2005). Menghentikan kekuatan suatu medium dapat didefinisikan sebagai unit rata-rata kehilangan energi dialami oleh partikel muatan per satuan panjang lintasan, sedang dalam pertimbangan. Kehilangan energi dalam materi telah dihitung oleh banyak orang fisikawan, tetapi dasar, derivasi klasik adalah karena Bloch yang meningkatkan perhitungan oleh Bethe; maka dari itu menjadi formula Bethe-Bloch. Tingkat kehilangan energi diberikan oleh $(-dE/dx)$; dE/dx menjadi kehilangan energi, adalah kuantitas negatif. Penghitungan dari dE/dx dilakukan sedemi-

kian rupa untuk menentukan energi disimpan dalam medium (positif), maka eksplisit tanda negatif untuk menyatakan hilangnya energi partikel. Turunan rumusnya cukup panjang, tapi kita bisa menebak ada berbagai bentuk rumus, yang pada dasarnya sama, itu hanya tergantung pada caranya penulis tertentu, yang ingin memunculkan sejumlah parameter dalam rumus. Kita tidak akan diharapkan untuk mengingat ekspresi yang tepat. Anda juga harus memperhatikan bahwa "x", jarak, tidak selalu dinyatakan dalam meter, tetapi sering dalam satuan massa per meter persegi. Parameter terakhir ini berasal dari pengalihan parameter panjang dengan densitas material. Ini adalah sebuah unit ketebalan material yang lebih nyaman dan berguna sejauh menyangkut eksperimentalis. Ekspresi penuh untuk rumus Bethe-Bloch dapat dituliskan dalam persamaan (1).

$$-\frac{dE}{dx} = \left(\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{4\pi N A Z \rho}{m c^2 \beta^2 I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right) \quad (1)$$

Kuantitas $-dE/dx$ dikenal sebagai tenaga pemberhenti dan dilambangkan sebagai S. Rentang secara sederhana didefinisikan sebagai jarak partikel bergerak dalam medium sebelum semua energinya hilang. Ini bisa ditentukan dari daya henti asalkan kita tahu bentuk S dari energi nol hingga energi awal partikel dalam sinar datang (El-Ghossain M.O., 2017).

II. Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data PDD elektron, persamaan untuk menentukan PDD, serta ketebalan setiap material yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut: 1. Blok kolimator yang berbahan timbal dengan massa jenis 2. Dosis pada kedalaman maksimum dari elektron 3. Massa jenis tumor dan udara hampa 4. Persamaan untuk menentukan nilai PDD adalah $PDD = \frac{Dd}{Dd_0} \times 100\%$

(Mott, J. H. L., & West, N. S. 2021).

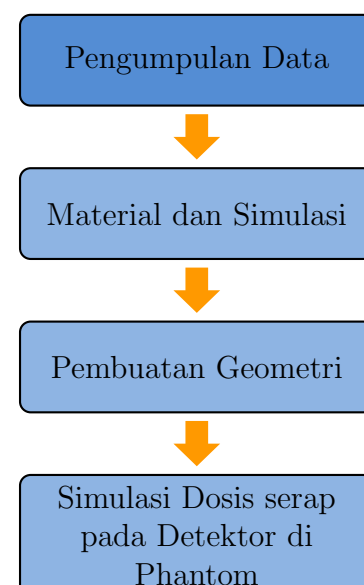


Diagram 1: Alur Penelitian

```

Simulasi dosis gamma di sel 1
c kartu sel
1 1 -1.0 -1 2 3 -4 -5 6 8 $ air bentuk kotak
2 1 -1.00 -8 $ detektor
3 2 -0.0012 #1 -7 $ udara lingkungan
4 0 7 $ daerah mati

C kartu permukaan
1 pz 5
2 pz -5
3 py -5
4 py 5
5 px 5
6 px -5
7 s 0 0 0 102
8 s 0 0 4.6 0.25

c kartu data
mode E
imp:E 1 1 1 0
NPS 100000
C data material
M1 1001. -0.67 $ H
8016. -0.33 $ O
M2 7014. -0.77798 $ Udara
7015. -2.89e-3
8016. -0.20949
18000. -9.64E-03

c definisi sumber
sdef erg=6 pos=0 0 100 rad d1 ext d2 dir=1 vec=0 0 -1
sil 0 0.5
si2 -0.2 0.2
C tally
F6:E 2
FM6 1.6E-10
    
```

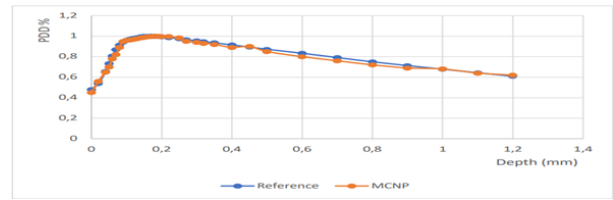
Gambar 1: Coding simulasi foton dan elektron

III. Hasil dan Pembahasan

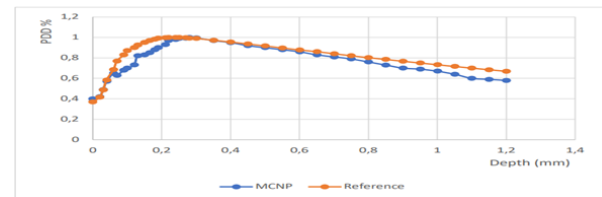
Gambar 1 memperlihatkan coding simulasi photon dan electron dengan MCNP. Melalui program ini telah diperoleh nilai dosis serap oleh target akibat diradiasi dengan photon dan electron. Melalui hasil – hasil dosis absorbs berbagai kedalaman, dapat dibuat dapat dibuat kurva PDD pada energi 6 dan 10 Mev masing masing dari photon dan electron, seperti terdapat pada Gambar 2, 3, 4 dan 5.

Gambar 1 adalah coding simulasi program MCNPX untuk menentukan besar dosis pada tumor dan distribusi hamburan pada area sekitar pasien akibat radiasi photon dan electron pada target. Setelah dilakukan program simulasi dengan variasi jarak detektor terhadap permukaan objek dan variasi energi sumber 6 dan 10 MeV, diperoleh laju dosis pada target. Grafik persen PDD diperlihatkan pada Gambar 2.

Gambar 2 dan 3 menunjukkan gambar grafik kurva PDD berkas foton 6MV dan 10MV hasil pengukuran simulasi MCNP dan data referensi hasilnya berhimpitan untuk energi 6MV dan kurang baik pada build up region di energi 10MV. Setelah kurva melewati Dmax



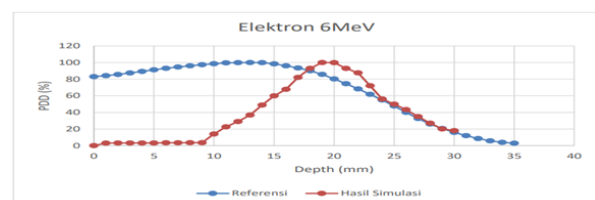
Gambar 2: Kurva PDD energy photon 6MV, field size 10x10cm2 memperoleh hasil D.max sesuai dengan data referensi



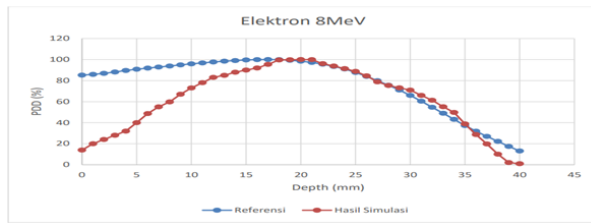
Gambar 3: Kurva PDD energy photon 10MV, field size 10x10cm2 memperoleh hasil D.max sesuai dengan data referensi. Tetapi ada perbedaan di daerah buildup

nilai pada kedalaman 10cm menjadi acuan (Khiftiyah, M., dkk 2014) untuk menentukan evaluasi lebih lanjut dari hasil simulasi ini.

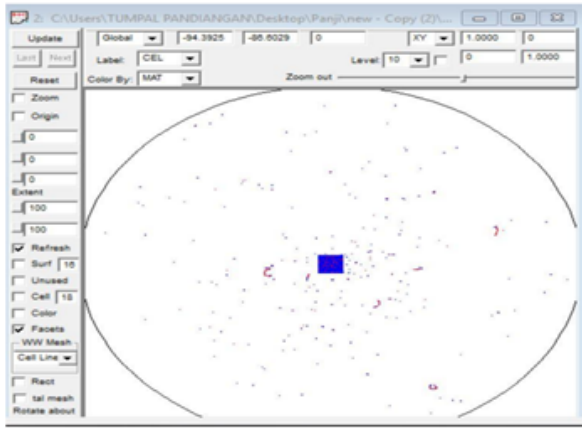
Pada referensi dosis maksimum elektron 6MeV berada pada kedalaman 13mm dan untuk elektron 8MeV berada pada kedalaman 17mm, maka perbedaan data dari hasil simulasi dan referensi untuk 8MeV adalah 3mm dan untuk 6mm adalah 6mm. Hasil dari simulasi dan referensi memiliki perbedaan dikarenakan data dari referensi adalah data yang didapatkan dari pengukuran secara langsung, sementara dari simulasi adalah data yang didapatkan dari perhitungan probabilitas. Dari simulasi ini juga dapat disimpulkan karakteristik elektron yang jangkauannya tidak terlalu dalam karena elektron akan berinteraksi



Gambar 4: Kurva PDD Elektron 6MeV simulasi dibandingkan dengan referensi



Gambar 5: Kurva PDD Elektron 8 MeV, Simulasi dibandingkan dengan referensi



Gambar 6: Distribusi hamburan photon dan elektron disekita objek yang diradiasi

dengan atom dari jaringan tubuh, dan daya jangkau elektron dipengaruhi oleh energinya.

Pada Gambar 6 tampak adanya hamburan di area sekitar objek, berupa titik-titik berwarna merah dan hijau. Hamburan ini terjadi akibat adanya sumber radiasi berenergi 6 dan 10 MeV, sejauh 100 cm dari target. Titik-titik hamburan yang berwarna merah menyatakan energi yang lebih tinggi dari pada warna biru. Semakin jauh dari target kepadatan titik-titik hamburan yang semakin berkurang.

IV. Kesimpulan

Nilai PDD 100% untuk elektron berenergi 6MeV berada pada kedalaman 40mm sementara untuk energi 8MeV berada pada kedalaman 20mm, dan PDD 50% untuk energi 6MeV berada pada kedalaman 20mm dan untuk energi 8MeV berada pada 10mm. Kedalaman radiasi photon memiliki nilai 100%

di kedalaman tertentu yang artinya efektif di nilai kedalaman tersebut, dalam klinisnya tumor tidak selalu mendapatkan nilai 100% dosis sehingga ada pengaruh waktu pemberian dosis juga untuk mendapatkan dosis efektif untuk penyinaran.

REFERENSI

- [1] A. Jablonski, F. Salvat, and C. J. Powell, (2004), "J. Phys. Chem". Ref. Data 33, 409
- [2] Al-Jauhari, A. (2021). Dasar-Dasar Software MCNP. Dialog, 44(1), i–Vi. <https://doi.org/10.47655/dialog.v44i1.470>
- [3] Cancino, J. L. B. (2019). Dosimetry Study of a VARIAN 600 C / D Linear Accelerator Head Model using MCNP5 Monte Carlo Code. 03, 1–15.
- [4] Caon, M. (2004). Voxel-based computational models of real human anatomy: A review. Radiation and Environmental Biophysics, 42(4), 229–235. <https://doi.org/10.1007/s00411-003-0221-8>
- [5] El-Ghossain M.O. (2017), "Calculations Stopping Power and Range of Ions Instruments and Methods in Physics Research B, 268, page 1818-1823.
- [6] J. F. Ziegler J.F(2004), "Nucl. Instr. Meth" B 219-220, 1027
- [7] Khiftiyah, M., dkk (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, 3(4), 279–286.
- [8] Mott, J. H. L., & West, N. S. (2021). Essentials of Depth Dose Calculations for Clinical Oncologists. Clinical Oncology, 33(1), 5–11. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2020.06.021>

- [9] Setawati, E., Azam, M., Ketut Umiati, N. A., & Oktajianto, H. (2020). External Radiation Simulation Of Linac To Determine Effective Dose In Organs Using Monte Carlo Method. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 4(10), 53– 60. <https://doi.org>