



STUDI AWAL SIMULASI HEAD LINEAR ACCELERATOR (LINAC) MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO – FLUKA

Ridwan Ramdani^{1*}, Shafira Syalihaini Amalina², Hasniah Aliah³

^{1,2,3}Jurusan Fisika, UIN Sunan Gunung Djati, Jl. A. H. Nasution No. 105 Cibiru Bandung 40614

*Alamat Korespondensi: shafirasyalihainiamalina@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan program FLUKA dengan simulasi Monte Carlo untuk mendapatkan fluence pada pesawat radioterapi Linear Accelerator medik 15 MV. FLUKA adalah software pengembangan terbaru dari Metode Monte Carlo yang dikembangkan oleh Alfredo Ferrari dkk. FLUKA merupakan program untuk menyimulasikan transportasi partikel dan interaksinya dengan materi dengan metode Monte Carlo yang dapat memodelkan geometri menggunakan graphical user interface (GUI) flair. Penelitian ini bertujuan untuk menjadi studi awal menggunakan software FLUKA dalam desain dan simulasi kepala Linac. Pada penelitian ini, Sample-geo flair digunakan untuk pemodelan geometri yang terdiri dari geometri Target, primary collimator, flattening filter dan Ion Chamber. Pada penelitian ini digunakan sumber radiasi foton dengan energi 15 MeV. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai fluence untuk partikel elektron, positron dan foton yang dihasilkan dari interaksi foton dengan material penyusun kepala linac melalui interaksi efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan. Ketiga fluence tersebut merupakan banyak partikel yang melewati material ion chamber. Berdasarkan hasil yang didapatkan, puncak energi untuk fluence elektron, positron dan foton adalah 0,00037 MeV, 0,00052 MeV dan 0,000552 MeV. Dari data tersebut diketahui bahwa partikel yang melewati ion chamber didominasi oleh partikel yang energinya rendah. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa software FLUKA dapat dijadikan salah satu opsi software untuk desain dan simulasi kepala linac.

© 2021 Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI

Kata kunci: *Flair*; FLUKA; *fluence*; linac; Monte Carlo

PENDAHULUAN

Dalam dunia medis, terdapat tiga cara yang dapat digunakan untuk menangani penyakit kanker yaitu Operasi, Kemoterapi dan Radioterapi. Radioterapi merupakan metode pengobatan menggunakan pancaran radiasi, memberikan dosis radiasi yang maksimum pada sel kanker dan seminimum mungkin pada sel sehat sehingga penggunaan radioterapi diharapkan dapat membunuh sel kanker atau memperkecil ukuran kanker dan tanpa merusak sel sehat di sekitarnya. Salah satu mesin yang dapat membangkitkan radiasi untuk keperluan radioterapi adalah mesin Linear Accelerator (Linac), mesin ini menggunakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi untuk mempercepat energi kinetik partikel elektron hingga mencapai 25 MeV, elektron yang dipercepat tersebut kemudian akan

menabrak material target untuk menghasilkan sinar-X untuk radioterapi [1].

Perhitungan dosis radiasi pada radioterapi menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan, sebelum dosis radiasi diberikan ke pasien maka terlebih dahulu harus dilakukan perencanaan pengobatan atau treatment planning agar dosis radiasi yang diberikan ke pasien merupakan dosis radiasi yang tepat, mulai dari energi radiasi, ukuran lapangan (field size) hingga dosis maksimum mengenai target [6]. Terdapat beberapa software yang dapat digunakan untuk desain dan simulasi perhitungan dosis radiasi, mulai dari yang open source hingga lisensi berbayar, di Rumah Sakit yang memiliki fasilitas radioterapi biasanya software treatment planning sudah termasuk dari mesin Linac itu sendiri, sehingga dapat langsung digunakan oleh fisikawan medis di Rumah Sakit tersebut.

Adapun untuk keperluan riset, software open source masih menjadi pilihan dalam melakukan desain dan simulasi radioterapi. Sebelum memulai simulasi suatu perhitungan dosis radiasi, terlebih dahulu harus melakukan desain dari mesin yang akan digunakan, misalnya menggunakan mesin Linac, maka desain mesin Linac harus dibuat terlebih dahulu berdasarkan beberapa ukuran dan tipe mesin Linac itu sendiri, bagian mesin Linac yang harus didesain adalah kepala Linac (head linac). Kepala linac atau treatment head terdiri atas target sinar-X, scattering foil, flattening filter, ion chamber, Collimator-Jaws [2]. Beberapa software yang dapat digunakan untuk desain dan simulasi diantaranya software EGSnrc[3] (Electron gamma shower National Research Council Canada), MCNPX (Monte Carlo n-particle X), PHITS (Particle and Heavy Ion Transport System), Fluka (FLUktuierende KAskade), dan lain-lain. Masing – masing software tersebut ada yang open source dan adapula yang lisensi berbayar serta menggunakan metode Monte Carlo. Pada penelitian ini, desain dan simulasi kepala Linac menggunakan software FLUKA, yang dikembangkan oleh Alfredo Ferari dkk.

Sebagai studi awal menggunakan software FLUKA dalam desain dan simulasi kepala Linac.

METODE

Tahapan pada penelitian ini diawali dengan melakukan desain kepala Linac, karena ini masih tahap studi awal maka tidak semua komponen kepala Linac didesain, bagian komponen yang didesain hanya Target, primary collimator, flattening filter dan Ion Chamber. Desain ukuran, geometri dan material dari komponen tersebut mengambil dari data default EGSnrc. Proses desain menggunakan flair geoviewer yang juga merupakan bawaan software FLUKA. Gambaran umum desain tersebut diawali dengan sebuah bola besar dengan material blackhole merupakan daerah out of interest, sehingga radiasi pada daerah tersebut tidak diperhitungkan, kemudian di dalamnya ada bola dengan material vakum, daerah ini yang nantinya akan diisi oleh komponen kepala linac, selanjutnya diisi oleh material kepala linac mulai dari target hingga ion chamber. Detail ukuran dan geometri serta material yang didesain dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Ukuran dan geometri

| No | Geometri | $\Delta x = H_x$ (cm) | $\Delta y = H_y$ (cm) | $\Delta z = H_z$ (cm) | R (cm) |
|----|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| 1 | <i>Sphere</i> (SPH) (<i>Blackhole</i>) | * | * | * | 1000 |
| 2 | <i>Sphere</i> (SPH) (Vakum) | * | * | * | 100 |
| 3 | <i>Right Cyrcular Cylinder</i> (RCC) (Kolimator Luar) | * | * | 4.8 | 12 |
| 4 | <i>Right Cyrcular Cylinder</i> (RCC) (Kolimator Dalam) | * | * | 4.8 | 1 |
| 5 | <i>Rectangular Parallelepiped</i> (RPP) (Target) | 5 | 5 | 2 | * |
| 6 | <i>Right Cyrcular Cylinder</i> (RCC) (Flattening Filter) | * | * | 1 | 7.2 |
| 7 | <i>Truncated Right Angel Cone</i> (TRC) (<i>Flattening Filter</i>) | * | * | 2.944 | 7.2 |
| 8 | <i>Rectangular Parallelepiped</i> (RPP) (<i>Ion Chamber</i>) | 20 | 15 | 2 | * |

Tabel 2. Material

| No | Material | Geometri | $\rho(g/cm^3)$ | Z | A |
|----|-----------------|--------------------------|----------------|----|-----|
| 1 | <i>Tungsten</i> | Target | 19.3 | 74 | 8 |
| 2 | <i>Lead</i> | Kolimator | 11.35 | 82 | 209 |
| 3 | <i>Copper</i> | <i>Flattening Filter</i> | 8.96 | 29 | 24 |
| 4 | <i>Air</i> | <i>Ion Chamber</i> | 0.0012 | * | * |

Tabel 3. Spesifikasi *beam* foton yang disimulasikan

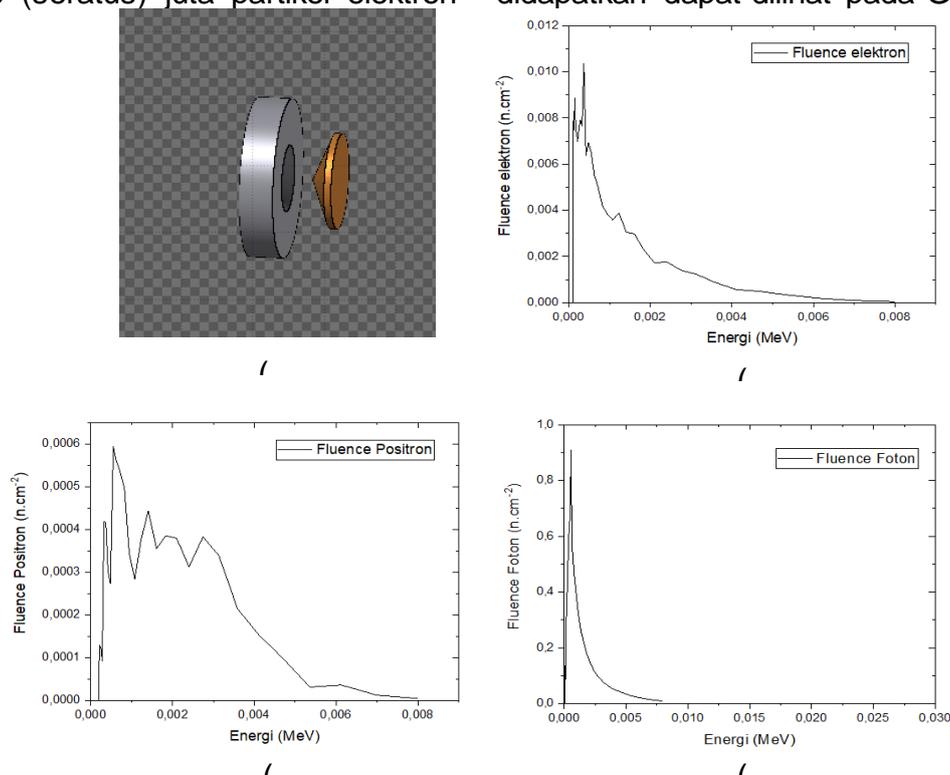
| Geometri | Δx (cm) | Δy (cm) | Energi (MeV) |
|---|-----------------|-----------------|--------------|
| <i>Rectangular Parallelepiped (RPP)</i> | 5 | 2 | 15 |

Setelah ukuran, geometri dan material sudah didesain, tahap selanjutnya adalah simulasi menggunakan komputer. Karena beberapa kendali instalasi software FLUKA, maka proses desain dan simulasi dilakukan pada komputer yang berbeda, simulasi dilakukan pada computer server dengan spesifikasi Intel (R) Xeon (R) CPU 12 core, adapun spesifikasi untuk desain menggunakan laptop Prosesor AMD, RAM 4GB, dual OS linux Ubuntu 20.04 64-bit dan windows 10. Simulasi dilakukan dengan 100 (seratus) juta partikel elektron

dengan energi 15 MeV, parameter yang dilihat adalah fluence partikel elektron, positron, dan foton terhadap energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan simulasi, waktu simulasi yang dibutuhkan untuk satu kali simulasi dengan seratus juta partikel elektron adalah 24 jam, sehingga dalam penelitian ini dilakukan tiga parameter perubahan maka total waktu simulasi yang dibutuhkan adalah 72 jam. Hasil lain yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. (a) 3D viewer, (b) fluence elektron, (c) fluence positron, (d) fluence foton

Dari hasil simulasi yang didapatkan terlihat bahwa pada gambar (a) adalah tampilan 3D dari beberapa komponen kepala linac yang didesain, tampilan 3D ini menjadi penting untuk melihat apakah ada geometri yang bertumpukan satu sama lain atau tidak, karena jika dilihat 3D terdapat tumpukan geometri maka simulasi akan error atau stack. Untuk gambar (b), (c), dan (d) merupakan fluence dari masing-masing partikel, ketiga grafik tersebut memiliki pola yang sama yaitu awalnya naik kemudian setelah mencapai puncak akan turun landai, tetapi dengan puncak yang berbeda-beda. Didapatkannya ketiga fluence partikel ini menjadi hal penting, karena ketika desain kepala linac full hingga phantom, fluence partikel inilah yang akan berkontribusi terhadap dosis radiasi yang dihasilkan [5].

Berdasarkan hasil yang didapatkan, puncak energi untuk fluence elektron, positron dan foton adalah 0,00037 MeV, 0,00052 MeV dan 0,000552 MeV. Sesuai definisi, fluence merupakan banyaknya partikel yang melewati suatu penampang luas, pada penelitian ini dapat dikatakan bahwa ketiga fluence tersebut merupakan banyak partikel yang melewati material ion chamber, ketiga fluence dihasilkan dari interaksi foton dengan material penyusun kepala linac, secara teori melalui interaksi efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan, meskipun secara data belum dapat dilakukan pembagian berapa jumlah fluence dari hasil interaksi masing-masing. Berdasarkan ketiga grafik fluence tersebut juga dapat dianalisis bahwa partikel yang melewati ion chamber didominasi oleh partikel yang energinya rendah, jumlah partikel positron lebih banyak dibandingkan partikel elektron, terlihat pada rentang energi 0,000 sampai 0,006 MeV.

Jika dianalisis lebih lanjut terlihat bahwa fluence partikel yang melewati ion chamber memiliki energi yang berbeda-beda, baik pada fluence elektron, positron maupun foton. Hal ini dikarenakan setiap partikel memiliki interaksi yang berbeda ketika partikel tersebut masuk ke target hingga keluar ion chamber, partikel yang

energinya rendah dapat dipahami bahwa partikel tersebut banyak mengalami interaksi penyerapan energi sehingga pada saat keluar atau melewati ion chamber energinya sangat kecil, adapun partikel fluence yang energinya besar maka dipahami partikel tersebut tidak banyak mengalami interaksi penyerapan energi ketika berinteraksi dengan komponen material kepala linac. Analisis secara teori memang mengatakan bahwa adanya perbedaan interaksi antara partikel bermuatan dengan partikel tidak bermuatan, partikel bermuatan seperti elektron maupun positron maka dapat berinteraksi dengan setiap komponen material sehingga akan banyak kehilangan energi, berbeda dengan partikel tidak bermuatan seperti foton, ketika terdapat partikel foton di salah satu komponen material kepala linac bisa saja partikel tersebut langsung melewati ion chamber sehingga tidak banyak mengalami interaksi penyerapan energi[4].

PENUTUP

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa software FLUKA dapat dijadikan salah satu opsi *software* untuk desain dan simulasi kepala linac.

DAFTAR PUSTAKA

- Khan, Faiz M. (2014). The Physics of Radiation Therapy fifth-edition.
- Korhonen, Laura, et al. (2009). Methods for dose calculation and beam characterization in external photon beam radiotherapy.
- Palta, R Jatinder. (2003). Dosimetric Characteristics of Clinical Photon Beam. Department of Radiation Oncology. University of Florida
- Podgorsak, E. B. (2005). Radiation oncology physics: A Handbook for teachers and students. Vienna: IAEA.
- Ramdani R, Yani S, Rhani MF, Arif I and Haryanto F. (2015). Commissioning Linear Accelerator Varian Clinac iX Foton Beam 10 MV Menggunakan Simulasi Monte Carlo EGSnrc

Code System. In Wungu TDK, Pramuditya S, editors. Proceedings of Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015; 8-9 Juni 2015; Bandung, Indonesia: SNIPS Proceedings

Vichi, Sara, Dean, Devis, Ricci, Silvia, Zagni, Federico, Berardi, Paola, & Mostacci, Domiziano. 2020. Activation study of a 15MeV LINAC via Monte Carlo simulations. Radiation Physics and Chemistry, 172, 108758.