

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kanker adalah penyakit akibat pertumbuhan sel tubuh yang abnormal dan progresif yang disebabkan oleh perubahan DNA. Sel kanker tumbuh dengan cepat, mengganggu fungsi sel normal, pembuluh darah, dan organ vital sehingga menimbulkan berbagai gejala (Hartini et al., 2020). Kanker dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti keturunan (genetik), paparan radiasi, gaya hidup yang tidak sehat, serta lingkungan sekitar. Di antara faktor-faktor tersebut, penyebab terbanyak berasal dari faktor genetik dan pola hidup yang kurang sehat. Gejala kanker umumnya dapat dikenali oleh penderita maupun orang di sekitarnya, seperti munculnya benjolan, pembengkakan, demam, atau gangguan pernapasan (Faradila, Todingan dan Tampi, 2024).

Menurut WHO untuk wilayah Asia Tenggara, Indonesia menempati posisi ketiga tertinggi dalam jumlah kasus baru kanker dan peringkat keempat dalam angka kematian akibat kanker. Berdasarkan data dari *International Agency for Research on Cancer* (IARC) tahun 2022, tercatat sekitar 408.661 kasus baru dan 242.988 kematian akibat kanker di Indonesia. IARC juga memprediksi bahwa jumlah kasus kanker di Indonesia akan meningkat sebesar 77% pada tahun 2050 (Riana et al., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa beban kanker di Indonesia terus meningkat dan membutuhkan perhatian serius, baik dalam upaya pencegahan, deteksi dini, maupun peningkatan akses terhadap layanan pengobatan yang berkualitas.

Dalam beberapa dekade terakhir, terdapat tiga metode utama pengobatan kanker yang digunakan oleh praktisi medis, yaitu tindakan bedah, terapi radiasi, dan kemoterapi. Sekitar sepertiga pasien kanker diperkirakan dapat sembuh dengan pengobatan lokal seperti bedah dan radiasi. Namun, bagi dua pertiga pasien lainnya yang sudah mengalami penyebaran mikrometastasis ke organ lain, diperlukan terapi sistemik berupa kemoterapi untuk mengatasi penyakit tersebut (Nafi'ah, 2020).

Menurut Guedea (2014), radioterapi merupakan salah satu metode pengobatan kanker yang dapat diberikan secara eksternal maupun internal. Radioterapi eksternal dilakukan dengan mengarahkan sinar radiasi dari luar tubuh ke area kanker, sedangkan radioterapi internal atau *brachytherapy* dilakukan dengan menempatkan sumber radiasi secara langsung di dalam atau di sekitar jaringan kanker. Pendekatan internal ini biasanya digunakan pada kanker serviks, prostat, rahim, dan payudara, baik dalam bentuk sementara maupun permanen, tergantung pada

kondisi klinis pasien. Radioterapi dengan menggunakan radiasi yang tinggi bertujuan untuk melemahkan tumor maupun membunuh sel kanker, akan tetapi hal itu juga dapat memberi efek lain bagi pasien (Harun et al., 2022).

*Treatment Planning System* (TPS) merupakan salah satu tahapan untuk mengurangi efek negatif bagi pasien, pada tahap ini akan diperhitungkan akurasi dosis yang efektif bagi tumor sekaligus mengurangi dampak negatif yang diakibatkan oleh radiasi (Handika et al., 2020). Selain itu *Quality Assurance* dan *Commissioning* merupakan upaya lain guna menetapkan standar serta memastikan kesesuaian produk agar mencapai kinerja manufaktur yang optimal, sekaligus menilai, memelihara, atau meningkatkan kualitas perlakuan yang diberikan (Suharmono et al., 2020).

*Commissioning* merupakan rangkaian kegiatan pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan setelah instalasi peralatan selesai dan sebelum digunakan secara klinis. Proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh sistem telah terpasang dan berfungsi sesuai dengan spesifikasi teknis serta standar yang telah direncanakan. Tahapan ini mencakup langkah-langkah pengujian yang sistematis untuk menjamin bahwa peralatan dapat digunakan secara aman dan efektif dalam operasional pelayanan (Avrian et al., 2019).

*Linear Accelerator* (LINAC) merupakan salah satu perangkat radioterapi yang digunakan secara efektif untuk menghancurkan sel kanker melalui pancaran radiasi berenergi tinggi yang diarahkan secara tepat ke area target (Khan & Gibbons, 2014). LINAC menghasilkan berkas foton dan elektron dengan energi tertentu. Berkas foton memiliki energi antara 6 hingga 18 MV digunakan untuk mengobati kanker dalam jaringan tubuh, sedangkan berkas elektron dengan energi 4 hingga 22 MeV ditujukan untuk kanker di permukaan kulit (Pratiwi, 2010).

Sama halnya dengan alat medis lain, Menurut Sahoo et al. (2012) *Linear Accelerator* (LINAC) memerlukan *commissioning* karena akurasi data berkas radiasi dalam TPS diperoleh dari *commissioning* yang dilakukan. Akurasi ini sangat diperlukan untuk ketepatan dosis yang diberikan kepada pasien. Salah satu cara menentukan TPS pada *Linear Accelerator* (LINAC) ialah dengan membuat model virtual *Linear Accelerator* (LINAC) yang akan melalui proses *commissioning*.

Metode Monte Carlo dikenal sebagai pendekatan yang paling akurat dalam simulasi transportasi radiasi dan perhitungan dosis pada radioterapi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa hasil simulasi menggunakan metode ini memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dengan hasil pengukuran langsung, dengan tingkat kesalahan hanya sekitar 1%. FLUKA merupakan

salah satu perangkat lunak berbasis Monte Carlo yang dapat digunakan secara bebas dan memiliki keunggulan dibandingkan perangkat lunak sejenis seperti EGSnrc, karena FLUKA mampu melakukan simulasi terhadap produksi partikel neutron. Metode ini dapat melacak pergerakan partikel sejak awal terbentuk hingga berhenti sepenuhnya. Dengan menggabungkan FLUKA dan antarmuka grafis FLAIR, simulasi ini juga mampu memberikan informasi tambahan mengenai fluks kontaminasi neutron yang dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan prosedur dalam radioterapi (Aulia, 2024).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ghal-Eh et al., (2017) bertujuan mengkaji penggunaan LINAC elektron berenergi tinggi dengan *beam-shaping assembly* (BSA) khusus untuk menghasilkan fotoneutron epithermal pada BNCT. Desain optimal menggunakan target hibrid hemisfer tungsten–uranium dan BSA yang terdiri dari reflektor, moderator, pelindung gamma, dan kolimator, dimodelkan dengan MCNPX serta dievaluasi menggunakan FLUKA. Hasilnya, konfigurasi tersebut mampu menghasilkan spektrum neutron epithermal sesuai kriteria kualitas BNCT berdasarkan parameter *in-air* dan *in-phantom*.

Penelitian menggunakan platform baru yaitu *Halcyon* telah dilakukan oleh (Netherton et al., 2019) dengan tujuan memvalidasi data berkas radiasi yang telah ditetapkan, membandingkan data *commissioning* yang relevan yang diperoleh secara independent oleh dua institusi yang berbeda, serta melaporkan perbedaan signifikan dalam proses *commissioning* antara *Linear Accelerator Halcyon* dengan *Linear Accelerator* medis lainnya. Hasil yang didapat ialah pengujian MLC, pencitraan MV dan sistem mekanik menunjukkan karakteristik yang unik dan berbeda dengan LINAC yang biasa digunakan, sementara itu selama proses *commissioning* perangkat *Halcyon* mendapatkan kesesuaian yang baik dengan data yang diukur secara independent.

Kemudian (Ramdani et al., 2015) telah dilakukan sebuah penelitian yang melibatkan *virtual linear accelerator* varian Clinac iX Foton beam 10 MV dengan menggunakan *software* BEAMnrc/EGSnrc yang telah melalui proses *commissioning* dengan alat *linear accelerator* dengan harapan *virtual linear accelerator* memiliki deviasi hasil simulasi dengan pengukuran dibawah 5%. Energi elektron yang digunakan telah divariasikan menjadi 10.1 MeV, 10.2 MeV, 10.3 MeV dan 10.4 MeV. Hasil yang didapatkan ialah *virtual linear accelerator* varian Clinac iX Foton Beam 10 MV telah berhasil melakukan *commissioning* dan terkalibrasi pada energi elektron awal 10.3 MeV dengan rata-rata deviasi yang didapat adalah 3.26%. maka *virtual*

*linear accelerator* varian Clinac iX Foton beam 10 MV dengan menggunakan *software* BEAMnrc/EGSnrc ini dapat digunakan sebagai simulasi *treatment* terhadap pasien.

Selanjutnya pada tahun 2017 telah dilakukan penelitian oleh (Yani, S., et al.) mengkaji karakteristik kepala LINAC Varian Clinac iX 10 MV pada lapangan persegi kecil  $1\times 1$  hingga  $5\times 5$  cm $^2$  menggunakan perangkat lunak EGS (*Electron Gamma Shower*) dengan metode Monte Carlo. Studi tersebut menemukan bahwa *lateral electronic disequilibrium* (LED) dan kontaminasi elektron memengaruhi distribusi dosis, terutama pada dosis permukaan. Dengan pemodelan BEAMnrc, perhitungan dosis DOSXYZnrc, dan analisis *phase space* BEAMDP, diperoleh perbedaan relative output factor kurang dari 2% antara pengukuran dan simulasi, serta kontribusi kontaminasi elektron sebesar 13,0581% pada lapangan besar dan <1% pada lapangan kecil.

Penelitian (Ashrafinia, Mohammad, et al., 2020) telah mengevaluasi pengaruh *flattening filter* (FF), *multileaf collimator* (MLC), dan variasi ukuran lapangan terapi terhadap spektrum, dosis, dan fluks fotoneutron pada LINAC Varian Clinac 2100 berenergi 18 MV menggunakan simulasi FLUKA. Validasi simulasi dilakukan melalui pengukuran *percentage depth dose* (PDD) dan profil dosis lateral menggunakan PTW *thimble chamber*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen target dan sekitarnya memberikan kontribusi terbesar terhadap kontaminasi neutron, sementara pembukaan lapangan dari  $0\times 0$  hingga  $40\times 40$  cm $^2$  menggeser spektrum energi fotoneutron sebesar 24,545% ke arah yang lebih tinggi. Hubungan ukuran lapangan dengan dosis fotoneutron bersifat nonlinier dengan puncak pada lapangan 20×20 cm $^2$ . Penggunaan MLC menghasilkan dosis 21,98% lebih tinggi dibandingkan *jaws*, dan pelepasan FF meningkatkan dosis fotoneutron di *isosenter* sebesar 11,63%, dengan dosis maksimum mencapai 2,54 mSv/Gy pada lapangan referensi di *isosenter*.

Dari latar belakang dan penelitian yang telah dipaparkan menunjukkan bahwa *commissioning* pada alat medis sangatlah penting khususnya untuk *linear accelerator* karena hal ini mempengaruhi pada akurasi data berkas yang diperlukan pada *treatment planning system* (TPS). TPS sangatlah penting untuk menentukan ketepatan dosis yang diperlukan agar dapat lemahkan tumor dengan tanpa menambah efek negatif pada pasien. Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah memahami bagaimana proses *commissioning* pada *virtual linear accelerator* pada dengan menggunakan fantom air pada metode Monte Carlo FLUKA-Flair. Dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat melakukan simulasi yang akurat karena FLUKA mampu melakukan simulasi transportasi partikel dari awal hingga selesai. Keakuratan

ini akan membantu *virtual linear accelerator* menjadi lebih baik, karena *virtual linear accelerator* yang dibuat oleh FLUKA ini sangat diharapkan dapat dipakai menjadi *treatment planning system* dalam prosedur radioterapi nantinya (Suharmono et al., 2020).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, peneliti merumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara *commissioning virtual linear accelerator* dengan LINAC?
2. Berapa nilai *fluence* yang didapat dari nilai simulasi *virtual linear accelerator*?
3. Berapa besar perbandingan dosis pada simulasi *virtual linear accelerator* dengan LINAC?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui cara *commissioning virtual linear accelerator* dengan LINAC.
2. Mengetahui nilai *fluence* yang didapat dari nilai simulasi *virtual linear accelerator*.
3. Mengetahui besar perbandingan dosis pada simulasi *virtual linear accelerator* dengan LINAC.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menyajikan informasi mengenai nilai yang akurat untuk energi elektron awal yang digunakan pada *virtual linear accelerator* menggunakan software Monte-Carlo Fluka, sehingga *virtual linear accelerator* dapat berperan dalam *treatment planning system* dalam prosedur radioterapi. Maka dari itu peneliti berharap hasil yang telah didapat menjadi bahan penelitian selanjutnya dan menjadi referensi yang baik dalam penelitian *commissioning linear accelerator* selanjutnya.

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini memiliki batasan batasan masalah agar penelitian ini lebih fokus dan terperinci pada suatu masalah, antara lain:

1. Simulasi *virtual linear accelerator* dilakukan hanya dengan menggunakan *software* FLUKA.
2. Data parameter *head linear accelerator* yang digunakan bersumber dari Rumah Sakit
3. Energi elektron yang digunakan pada simulasi adalah 10 MeV.
4. Fantom yang dimodelkan adalah fantom air yang dibentuk sebagai kubus dengan ukuran  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$
5. Ukuran *collimator* pada *linear accelerator* adalah  $15 \times 15 \text{ cm}^2$

## 1.6 Sistematika Penulisan

Secara sistematis, pembahasan penulisan skripsi ini terdiri dari setiap bab sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep dasar radiasi, radioterapi, pesawat Linear Accelerator (LINAC), berkas foton, interaksi foton, elektron, dan neutron dengan materi, metode Monte Carlo, perangkat lunak FLUKA, serta antarmuka Flair.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, mencakup tempat dan waktu penelitian, spesifikasi perangkat keras dan LINAC, desain virtual head linear accelerator, simulasi dengan software FLUKA, hingga prosedur pengolahan data hasil simulasi.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian berupa fluence partikel foton, elektron, dan positron, serta analisis perbandingan dosis relatif antara hasil simulasi Monte Carlo FLUKA dengan data eksperimen LINAC.

## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan commissioning virtual linear accelerator menggunakan metode Monte Carlo berbasis FLUKA.

