

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Glioblastoma merupakan tumor otak primer yang paling agresif dengan prognosis yang buruk serta tingkat mortalitas yang tinggi. Penatalaksanaan standar yang dilakukan meliputi kombinasi pembedahan, kemoterapi, dan radioterapi. Radioterapi memiliki peran penting dalam meningkatkan angka harapan hidup pasien dengan memberikan dosis radiasi yang optimal pada target tumor serta meminimalkan paparan pada jaringan sehat di sekitarnya. Perkembangan radioterapi modern terus diarahkan untuk meningkatkan efektivitas terapi sekaligus menurunkan toksisitas terhadap jaringan normal (Fernández *et al.*, 2025).

Dalam praktik radioterapi modern, teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) banyak digunakan karena mampu menghasilkan distribusi dosis yang lebih konformal dibandingkan teknik konvensional. Teknik ini memungkinkan peningkatan *sparing* terhadap *organ at risk* (OAR) seperti brainstem dan optic chiasm tanpa mengurangi cakupan dosis pada target. Penggunaan IMRT telah menjadi bagian penting dalam terapi glioblastoma karena kemampuannya dalam meningkatkan presisi penyinaran (König *et al.*, 2021). Namun, keberhasilan IMRT sangat dipengaruhi oleh karakteristik energi foton yang digunakan dalam proses perencanaan.

Energi foton 6 MV merupakan energi yang paling umum digunakan dalam radioterapi karena memberikan keseimbangan antara penetrasi dan distribusi dosis yang relatif homogen. Seiring perkembangan teknologi *Linear Accelerator*, penggunaan *Flattening Filter Free* (FFF) pada energi 6 MV menjadi alternatif yang semakin banyak diterapkan. Berkas FFF memiliki karakteristik laju dosis yang lebih tinggi serta menghasilkan hamburan radiasi yang lebih rendah dibandingkan berkas *flattened* (FF), sehingga berpotensi menghasilkan distribusi dosis yang lebih optimal (Tamilarasu *et al.*, 2018). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan energi 6 MV FFF pada teknik IMRT dapat

memberikan keuntungan berupa penurunan dosis pada organ kritis dan jaringan sehat dibandingkan dengan energi 6 MV konvensional. Selain itu, FFF juga mampu mengurangi waktu penyinaran (*beam-on time*) serta meningkatkan efisiensi terapi. Studi dosimetri pada kasus glioblastoma menunjukkan bahwa penggunaan FFF dapat memberikan *sparing* OAR yang lebih baik dengan tetap mempertahankan kualitas distribusi dosis pada target (Saroj *et al.*, 2020).

Pada kasus glioblastoma, distribusi dosis yang optimal tidak hanya ditentukan oleh cakupan target, tetapi juga oleh kemampuan dosis untuk menurun secara tajam di luar target (*dose fall-off*). Karakteristik ini menjadi sangat penting karena lokasi tumor umumnya berdekatan dengan struktur vital otak, sehingga penyebaran dosis yang berlebihan dapat meningkatkan risiko kerusakan jaringan normal. Evaluasi *dose fall-off* secara dosimetri dapat dilakukan menggunakan parameter Gradient Index (GI), yang menggambarkan tingkat gradien dosis di sekitar target (Dsouza *et al.*, 2025). Nilai GI yang lebih rendah menunjukkan penurunan dosis yang lebih cepat di luar target, sehingga mencerminkan kualitas proteksi terhadap OAR yang lebih baik. Dibandingkan parameter lain seperti Conformity Index (CI) dan Homogeneity Index (HI), GI lebih spesifik dalam mengevaluasi penyebaran dosis di luar target, sehingga dipilih sebagai parameter utama dalam penelitian ini.

Perbedaan karakteristik fisik antara berkas 6 MV FF dan 6 MV FFF diperkirakan memberikan pengaruh terhadap karakteristik *dose fall-off* yang dihasilkan pada teknik IMRT. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi *dose fall-off* berdasarkan parameter Gradient Index (GI) pada energi 6 MV dan 6 MV *Flattening Filter Free* (FFF) menggunakan teknik IMRT pada kasus glioblastoma. Selain parameter Gradient Index (GI) sebagai indikator utama *dose fall-off*, kualitas rencana terapi juga dievaluasi menggunakan parameter Conformity Index (CI), Homogeneity Index (HI), dosis pada *Organ at Risk* (OAR), serta Monitor Unit (MU). Evaluasi parameter pendukung tersebut diperlukan untuk memastikan bahwa karakteristik *dose fall-off* yang dihasilkan tetap memenuhi kualitas distribusi dosis yang baik dan aman secara klinis.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik distribusi dosis pada perencanaan IMRT menggunakan energi 6 MV FF dan 6 MV FFF pada kasus glioblastoma?
2. Bagaimana nilai Gradient Index (GI) yang dihasilkan pada perencanaan IMRT menggunakan energi 6 MV FF dan 6 MV FFF?
3. Apakah terdapat perbedaan karakteristik *dose fall-off* berdasarkan nilai Gradient Index (GI) antara energi 6 MV FF dan 6 MV FFF?
4. Bagaimana kualitas rencana terapi berdasarkan parameter Conformity Index (CI) dan Homogeneity Index (HI) pada energi 6 MV FF dan 6 MV FFF?
5. Bagaimana perbandingan dosis yang diterima *organ at risk* (OAR) pada perencanaan IMRT menggunakan energi 6 MV FF dan 6 MV FFF?
6. Bagaimana perbandingan nilai Monitor Unit (MU) antara perencanaan IMRT menggunakan energi 6 MV FF dan 6 MV FFF?
7. Energi manakah yang memberikan kualitas perencanaan yang lebih optimal berdasarkan parameter GI, CI, HI, dosis OAR, dan MU pada kasus glioblastoma?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis distribusi dosis pada energi 6 MV FF dan 6 MV FFF menggunakan teknik IMRT pada kasus glioblastoma.
2. Menghitung dan membandingkan nilai Gradient Index (GI) sebagai parameter utama evaluasi *dose fall-off*.
3. Mengevaluasi kualitas rencana terapi berdasarkan parameter pendukung Conformity Index (CI) dan Homogeneity Index (HI).
4. Mengevaluasi dosis pada *Organ at Risk* (OAR).
5. Membandingkan nilai Monitor Unit (MU) antara kedua perencanaan.
6. Menentukan energi yang memberikan karakteristik *dose fall-off* paling optimal.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu fisika medis, khususnya dalam bidang radioterapi, terkait pengaruh penggunaan energi 6 MV dan 6 MV *Flattening Filter Free* (FFF) terhadap karakteristik distribusi dosis. Selain itu, penelitian ini juga dapat menambah kajian ilmiah mengenai *dose fall-off* yang dievaluasi menggunakan parameter Gradient Index (GI) pada teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT), khususnya pada kasus glioblastoma. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan evaluasi dosimetri berbasis parameter gradien dosis pada radioterapi modern.