

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radioterapi merupakan salah satu metode utama dalam penanganan kanker, termasuk kanker otak, dengan tujuan menghancurkan sel kanker menggunakan radiasi pengion. Terapi ini efektif karena mampu memberikan efek lokal yang signifikan pada jaringan tumor tanpa merusak jaringan sehat di sekitarnya. Tantangan utamanya adalah mencapai keseimbangan antara dosis radiasi yang cukup untuk membunuh sel kanker dan dosis serendah mungkin untuk meminimalkan kerusakan jaringan normal (Kasetthamrongrat et al., 2025).

Kanker otak memiliki tingkat morbiditas dan mortalitas yang tinggi. Kompleksitas anatomi otak, sensitivitas jaringan saraf, serta letak organ vital di sekitarnya menjadikan terapi kanker otak sangat menantang. Oleh karena itu, perencanaan radioterapi harus dilakukan dengan ketelitian tinggi agar tumor dapat dikendalikan tanpa mengorbankan fungsi neurologis pasien (Suhartono, Budi, & Hidayanto, 2014).

Salah satu teknik yang banyak digunakan adalah Three-Dimensional Conformal Radiotherapy (3DCRT). Teknik ini memungkinkan distribusi dosis radiasi mengikuti bentuk dan volume target tumor dengan bantuan citra CT atau MRI. Melalui penggunaan beberapa arah penyinaran (multi-field), 3DCRT dapat mengoptimalkan dosis pada target sekaligus menekan paparan terhadap organ-at-risk (OAR) di sekitarnya (Ngongoloy, Diartama, & Astina, 2024).

Dalam terapi kanker otak, organ-at-risk yang sering diperhatikan meliputi mata, lensa, saraf optik, batang otak, dan hipokampus. Paparan dosis berlebih pada organ tersebut dapat menimbulkan efek samping serius seperti kehilangan penglihatan, gangguan kognitif, atau disfungsi motorik. Oleh karena itu, evaluasi dosis pada OAR menjadi indikator penting keberhasilan perencanaan radioterapi (Sinaga et al., 2025).

Selain dosis pada OAR, parameter lain yang berperan penting yaitu jumlah unit monitor yang dibutuhkan mesin linear accelerator (LINAC) untuk menghasilkan dosis tertentu. Nilai MU yang optimal berkaitan langsung dengan efisiensi penyinaran dan homogenitas dosis. MU yang terlalu tinggi dapat meningkatkan waktu terapi dan paparan radiasi sekunder, sedangkan MU yang terlalu rendah dapat mengganggu keseragaman dosis (Sinaga et al., 2025).

Variasi arah penyinaran dalam teknik 3DCRT 4-field merupakan pendekatan yang dapat memengaruhi baik dosis OAR maupun nilai MU. Dengan mengubah arah

masuk berkas radiasi, distribusi dosis dapat diatur agar lebih konformal terhadap target dan menekan dosis pada jaringan sehat. Namun, variasi arah juga dapat memengaruhi besarnya MU yang diperlukan, sehingga perlu dilakukan evaluasi mendalam (Bakkal, 2021).

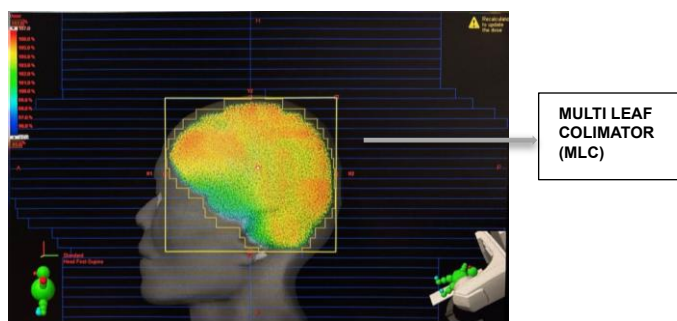
Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi beam yang berbeda dapat menghasilkan variasi dosis OAR dan MU yang signifikan. Namun, hasilnya sering bersifat spesifik terhadap jenis kanker, kondisi pasien, serta teknik yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami hubungan antara variasi arah penyinaran, dosis OAR, dan nilai MU pada kasus kanker otak dengan teknik 3DCRT 4-field (Bakkal, 2021).

Evaluasi komprehensif terhadap variasi arah penyinaran diharapkan mampu menghasilkan konfigurasi yang optimal—baik dari segi efisiensi penyinaran maupun keamanan pasien. Penelitian ini bertujuan membandingkan dosis OAR dan nilai MU pada perencanaan radioterapi kanker otak menggunakan teknik 3DCRT 4-field dengan berbagai variasi arah penyinaran. Hasilnya diharapkan memberikan kontribusi bagi peningkatan efektivitas terapi dan kualitas hidup pasien.

1.2 Teori Dasar

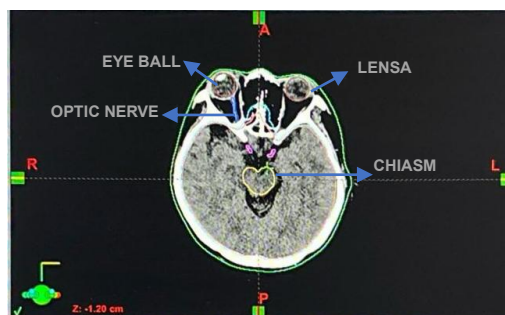
Sensitivitas tinggi jaringan otak terhadap radiasi menuntut perencanaan dosis yang hati-hati (Ngongoloy, Diartama, & Astina, 2024). Teknik modern seperti IMRT dan VMAT meningkatkan presisi penyinaran, tetapi 3DCRT masih banyak digunakan karena efisiensinya (Sinaga et al., 202

3DCRT menggunakan citra CT/MRI untuk membentuk distribusi dosis sesuai bentuk tumor melalui multileaf collimator (Kasetthamrongrat et al., 2025). Teknik ini memungkinkan peningkatan konformitas dosis yang dinilai menggunakan Conformity Index (CI) dan Homogeneity Index (HI) (Suhartono, Budi, & Hidayanto, 2014). Pada kanker otak, konfigurasi 4-field sering digunakan untuk menyeimbangkan dosis pada tumor dan organ vital (Ngongoloy, Diartama, & Astina, 2024). Meski lebih sederhana dari IMRT/VMAT, 3DCRT tetap efektif dan efisien (Sinaga et al., 2025).



Gambar 1 3DCRT

Organ at-Risk (OAR) seperti lensa, saraf optik, Bola mata dan Chiasm harus dilindungi agar dosisnya tidak melebihi ambang toleransi sesuai pedoman QUANTEC (Bakkal, 2021). Faktor seperti arah penyinaran dan lokasi tumor memengaruhi dosis OAR (Kasetthamrongrat et al., 2025). Karena jaringan otak termasuk late-responding tissue dengan nilai α/β rendah, proteksi OAR menjadi prioritas utama (Suhartono, Budi, & Hidayanto, 2020).



Gambar 2 Organ at-Risk

Pemilihan arah beam menentukan distribusi dosis dan perlindungan OAR (Bakkal, 2021). Konfigurasi empat arah penyinaran memungkinkan distribusi dosis lebih merata dibanding dua arah tetapi memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan 2 lapangan, namun tiap perubahan arah dapat memengaruhi dosis OAR (Sinaga et al., 2025). Simulasi melalui *Treatment Planning System* dan analisis *Dose-Volume Histogram* (DVH) digunakan untuk menentukan konfigurasi terbaik.

Evaluasi rencana radioterapi dilakukan dengan meninjau DVH, CI, HI, dosis OAR, dan nilai MU (Kasetthamrongrat et al., 2025). DVH menunjukkan distribusi dosis pada target dan OAR (Suhartono, Budi, & Hidayanto, 2014), sedangkan CI dan HI menilai presisi dan homogenitas penyinaran (Ngongoloy, Diartama, & Astina, 2024). Perbandingan dosis antarvariasi arah beam penting untuk menentukan strategi penyinaran yang efisien dan aman (Sinaga et al., 2025).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan dosis yang diterima organ-at-risk (OAR) pada perencanaan radioterapi kanker otak dengan teknik 3DCRT 4-field menggunakan variasi arah penyinaran.
2. Mengevaluasi kualitas cakupan target (ptv) pada setiap variasi penyinaran termasuk homogenitas dan kesesuaian dosis.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan perencanaan radioterapi kanker otak, khususnya terkait pengaruh variasi arah penyelarasan pada teknik 3DCRT 4-field terhadap distribusi dosis pada OAR dan PTV.
2. Selain itu, penelitian ini dapat membantu tenaga medis dalam menentukan konfigurasi penyelarasan yang optimal untuk meningkatkan homogenitas dan cakupan target serta meminimalkan dosis pada jaringan sehat.

BAB II

METODE PENELITIAN

II.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Rumah sakit Universitas Hasanuddin pada instalasi Radioterapi. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data pada bulan Oktober sampai dengan Februari 2026.

II.2 Alat dan Sampel Penelitian

Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan meliputi komputer yang dilengkapi dengan Treatment Planning System (TPS) untuk melakukan perencanaan terapi, Microsoft Excel untuk pengolahan serta visualisasi data. Adapun bahan penelitian berupa data rekam medis pasien kanker otak yang telah menjalani CT scan sebagai dasar dalam proses perencanaan radioterapi

II.3 Metode Kerja

II.3.1 Pengumpulan Data Rekam Medis Pasien Kanker Otak

Tahap ini meliputi pengumpulan data rekam medis pasien kanker otak yang telah menjalani radioterapi. Data yang dikumpulkan mencakup citra CT simulasi, informasi dosis, volume target, serta data organ-at-risk (OAR). Pemilihan sampel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan untuk memastikan keseragaman karakteristik pasien.

II.3.2 Perencanaan Lapangan Terapi dengan Teknik FIF 2 dan FIF 4

Proses perencanaan terapi radiasi diawali dengan akuisisi citra menggunakan CT Simulator, yang kemudian diunggah ke dalam Treatment Planning System (TPS) dalam format Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). Selanjutnya dokter spesialis onkologi radiasi melakukan proses delineasi volume, yang mencakup identifikasi Gross Tumor Volume (GTV), Clinical Target Volume (CTV), Planning Target Volume (PTV), serta Organ at Risk (OAR) sesuai dengan rekomendasi ICRU.

Tahap berikutnya adalah perencanaan dosis, yang meliputi penentuan geometri penyelarasan, termasuk pemilihan sudut gantry, penentuan luas radiasi lapangan, serta perhitungan dan optimasi distribusi dosis pada target dan OAR. Penentuan sudut penyinaran dan konfigurasi lapangan dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik anatomi pasien dan lokasi tumor, dengan tujuan mencapai cakupan dosis yang optimal pada PTV serta meminimalkan dosis yang diterima oleh OAR.

Perencanaan penyinaran dilakukan menggunakan teknik Field in Field (FIF) pada konfigurasi 2-field dan 4-field. Teknik ini diterapkan untuk memperbaiki homogenitas dosis pada Planning Target Volume (PTV) dengan menambahkan lapangan penyinaran tambahan (subfields) guna mengurangi area berlebih dosis (hot spot). Setiap rencana penyinaran disusun berdasarkan data citra CT dan dioptimalkan menggunakan sistem perencanaan dosis radioterapi.

II.3.3 Analisis DVH dan Perhitungan *Homogeneity Index (HI)*

Dose volume histogram adalah interpretasi hasil distribusi dosis dalam bentuk grafik dari planning yang bisa dibaca dan dianalisis keberhasilannya. Grafik ini menggambarkan hubungan antara dosis radiasi (sumbu X) dengan

persentase volume struktur (sumbu Y) baik untuk target PTV maupun organ berisiko (OAR). Untuk melakukan pembacaan PTV maka yang dilihat adalah grafik *absolute dose* untuk mendapatkan HI dan grafik *absolute volume* untuk mendapatkan nilai CI.

Grafik dosis absolut menggambarkan hubungan antara dosis radiasi dalam satuan Gray (Gy) pada sumbu X dan persentase rasio terhadap volume total struktur (cm³) pada sumbu Y. Penentuan nilai Homogeneity Index (HI) dilakukan berdasarkan pembacaan titik D2% , D98% , dan D50% yang diperoleh dari kurva dosis. Nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan untuk mendapatkan nilai HI. Grafik volume absolut menunjukkan hubungan antara persentase dosis radiasi pada sumbu X dan volume struktur dalam satuan cm³ pada sumbu Y. Pada kurva ini ditentukan titik dosis pada tingkat 95% , yang kemudian dibandingkan dengan volume Planning Target Volume (PTV) guna memperoleh nilai Conformity Index (CI). Evaluasi homogenitas dosis pada PTV dilakukan melalui pembacaan Dose Volume Histogram (DVH). Parameter yang digunakan adalah Homogeneity Index (HI) yang dihitung menggunakan rumus:

$$HI = \frac{D2\% - D98\%}{D50\%} \quad (1.1)$$

Keterangan:

- **D₂%** = dosis yang diterima oleh 2% volume PTV (mewakili dosis maksimum).
- **D₉₈%** = dosis yang diterima oleh 98% volume PTV (mewakili dosis minimum).
- **D₅₀%** = dosis yang diterima oleh 50% volume PTV (dosis median).

Nilai HI yang lebih kecil menunjukkan distribusi dosis yang lebih homogen di dalam volume target.

II.3.4 Analisis Dosimetri

Analisis dosimetri dilakukan untuk menilai distribusi dosis pada PTV dan organ-at-risk (OAR). Parameter yang diamati meliputi dosis maksimum, dosis minimum, dan dosis rata-rata pada setiap struktur. Hasil perencanaan dari berbagai variasi arah penyinaran dibandingkan untuk menentukan konfigurasi yang paling efisien dan aman secara dosimetrik. Evaluasi homogenitas dosis pada PTV dilakukan melalui pembacaan Dose Volume Histogram (DVH). Parameter yang digunakan adalah Homogeneity Index (HI) yang dihitung menggunakan rumus:

$$HI = \frac{D2\% - D98\%}{D50\%} \quad (1.2)$$

Keterangan:

- **D₂%** = dosis yang diterima oleh 2% volume PTV (mewakili dosis maksimum).
- **D₉₈%** = dosis yang diterima oleh 98% volume PTV (mewakili dosis minimum).
- **D₅₀%** = dosis yang diterima oleh 50% volume PTV (dosis median).

Nilai HI yang lebih kecil menunjukkan distribusi dosis yang lebih homogen di dalam volume target.

II.3.5 Analisis *Organ-at-Risk* (OAR)

Evaluasi Organ at Risk (OAR) dilakukan untuk mengukur perlindungan dari teknik 3D-CRT melalui komparasi organ sehat yang terlindungi pada kombinasi teknik planning 2 lapangan dan 4 lapangan. Proses ini difokuskan pada Bola mata, Batang otak, Persilangan batang otak, dan lensa yang sesuai dengan prosedur perencanaan radioterapi untuk kanker Otak. Evaluasi dilakukan dengan melihat pada struktur nilai data statistic hasil planning dari masing-masing OAR. Pengolahan distribusi dosis dilakukan untuk melihat gambaran persentase volume organ yang terpapar dosis lebih besar dari nilai ambang minimum yang direkomendasikan oleh QUANTEC (Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic). Analisis terhadap OAR mencakup evaluasi dosis yang diterima oleh organ-organ kritis di sekitar target, seperti mata, lensa, saraf optik, batang otak, dan hipokampus. Pembacaan dilakukan melalui kurva DVH untuk menentukan apakah dosis yang diterima masih berada dalam batas toleransi berdasarkan protokol klinis yang berlaku.

Mengacu pada QUANTEC, batas toleransi dosis untuk organ tersebut adalah lensa tidak seharusnya menerima dosis lebih dari 15 Gy, Batang otak tidak menerima dosis lebih dari 54-55 Gy, Kiasma Optik tidak seharusnya menerima lebih dari 54-55 Gy serta Bola mata tidak seharusnya menerima dosis lebih dari 50 Gy. Evaluasi dilakukan membandingkan nilai OAR yang terima serta cakupan dosis PTV dari hasil Planning 2 dan 4 lapangan, untuk mendapatkan metode yang paling efisien untuk meminimalkan dosis pada OAR tanpa mengorbankan cakupan dosis pada PTV. Dengan metode ini, penelitian ini bertujuan untuk menentukan teknik TPS 3D-CRT yang lebih optimal dalam perlindungan terhadap OAR pada pasien kanker Otak di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin.

II.4 Bagan Alir Penelitian

