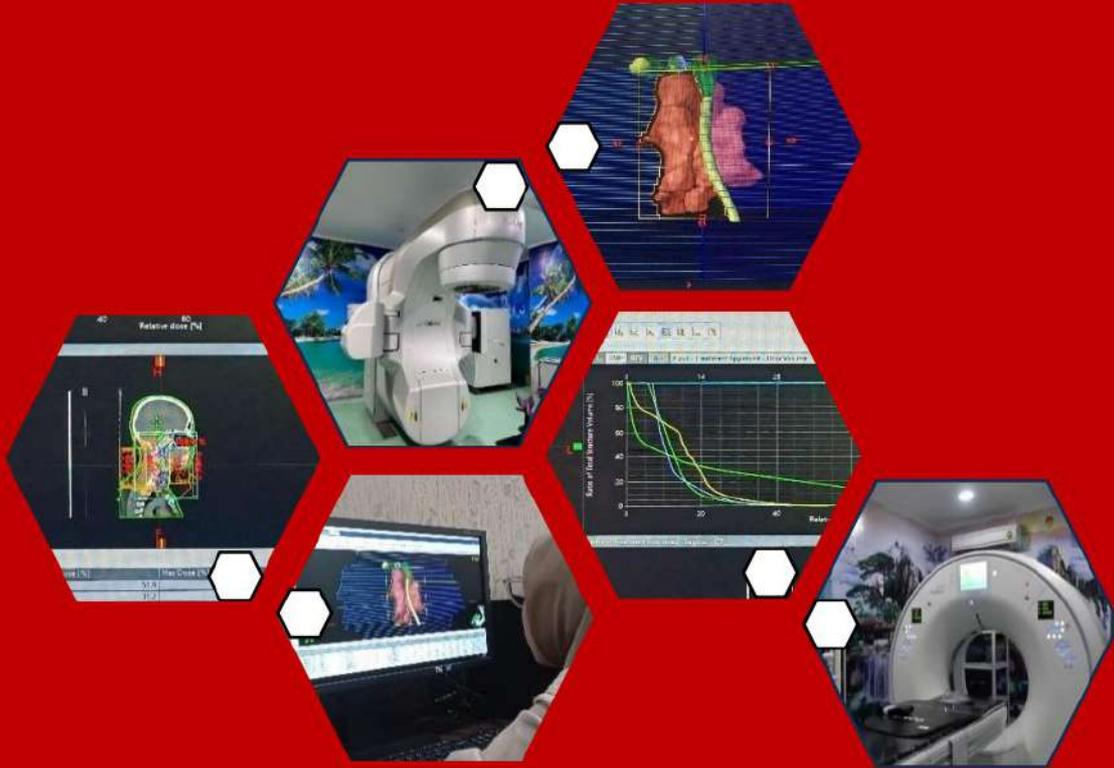


**ANALISIS PENGGUNAAN *MULTI-LEAF COLLIMATOR (MLC)*
TERHADAP DISTRIBUSI DOSIS OAR (*ORGAN AT RISK*) DENGAN
TEKNIK IMRT (*INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY*)
PADA KASUS NASOFARING**

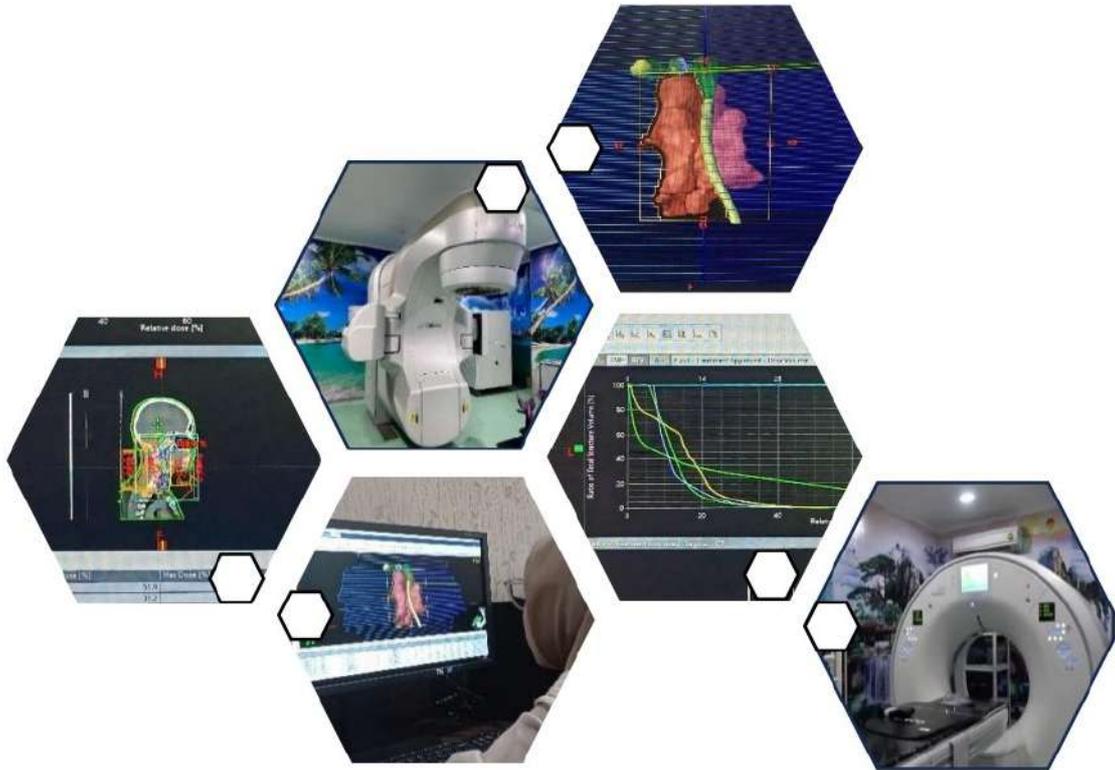


**SHADIQAH FITRI
H021211066**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**ANALISIS PENGGUNAAN *MULTI-LEAF COLLIMATOR (MLC)*
TERHADAP DISTRIBUSI DOSIS OAR (*ORGAN AT RISK*) DENGAN
TEKNIK IMRT (*INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY*)
PADA KASUS NASOFARING**



**SHADIQAH FITRI
H021211066**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**ANALISIS PENGGUNAAN *MULTI-LEAF COLLIMATOR* (MLC)
TERHADAP DISTRIBUSI DOSIS OAR (*ORGAN AT RISK*) DENGAN
TEKNIK IMRT (*INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY*)
PADA KASUS NASOFARING**

**SHADIQAH FITRI
H021211066**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**ANALYSIS OF MULTI-LEAF COLLIMATOR (MLC) USAGE ON OAR
(ORGAN AT RISK) DOSE DISTRIBUTION WITH IMRT (INTENSITY
MODULATED RADIATION THERAPY) TECHNIQUE IN
NASOPHARYNGEAL CASES**

**SHADIQAH FITRI
H021211066**



**STUDY PROGRAM PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR
2025**

**ANALISIS PENGGUNAAN *MULTI-LEAF COLLIMATOR* (MLC)
TERHADAP DISTRIBUSI DOSIS OAR (*ORGAN AT RISK*) DENGAN
TEKNIK IMRT (*INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY*)
PADA KASUS NASOFARING**

SHADIQAH FITRI

H021211066

Skripsi

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana pada Program
Studi Fisika Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin

Program Studi Fisika

Kepada

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

SKRIPSI**ANALISIS PENGGUNAAN *MULTI-LEAF COLLIMATOR* (MLC)
TERHADAP DISTRIBUSI DOSIS OAR (*ORGAN AT RISK*) DENGAN
TEKNIK IMRT (*INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY*)
PADA KASUS NASOFARING****SHADIQAH FITRI****H021211066**

Skripsi,

telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sarjana Fisika pada 12 Maret 2025
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan pada,

Program Studi Fisika
Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.S., F.Med
NIP. 19630111 199002 1 001

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul “Analisis Penggunaan *Multi-leaf Collimator* (MLC) Terhadap Distribusi Dosis OAR (*Organ at Risk*) dengan Teknik IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*) pada Kasus Nasofaring” adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.S., F.Med. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 12 - Maret - 2025



Fitri

NIM: H021211066

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Analisis Penggunaan *Multi-Leaf Collimator* (MLC) Terhadap Distribusi Dosis OAR (*Organ at Risk*) dengan Teknik IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*) pada Kasus Nasofaring”. Dalam penyelesaian tugas akhir, penulis menyadari banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu dan Ayah tercinta, Ibu **Ety Patriawati** dan Ayah **Gunawan** yang tak henti-hentinya memberikan doa, dukungan dari berbagai aspek, inspirasi untuk terus bertahan menjadi lulusan teknik dan semangat kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Saudari penulis, **Maghfirah Gunawan** yang telah banyak membantu penulis dan memberi dukungan kepada penulis selama tugas akhir berlangsung hingga selesai.
3. Bapak **Prof. Dr. Syamsir Dewang, MS., F.Med** selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan yang sangat berharga dalam proses penyelesaian tugas akhir penulis.
4. Ibu **Ayu Hardianti Pratiwi, S.Pd., M.Si** dan Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T** selaku dosen penguji penulis yang telah menyempatkan waktunya dan memberikan berbagai saran, koreksi, dan arahan yang berarti dalam penyelesaian tugas akhir penulis.
5. Seluruh **dosen pengajar** dan **staf** Departemen Fisika Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan bimbingan, pendidikan, dan bantuan kepada penulis selama menempuh studi di Universitas Hasanuddin.
6. Ibu **Saleha**, selaku Fisikawan Medik pendamping penelitian yang telah memberikan izin, fasilitas, waktu dan pemikirannya dalam pengambilan data skripsi ini.
7. **Warga PRIK 2021** yang telah memberikan berbagai semangat dan dukungan kepada penulis selama menempuh perkuliahan di Universitas Hasanuddin.
8. Teman-teman **Hambatan**, terutama **Cici, Kaimz, Sulizzah, Caca, dan Orelia** yang telah memberikan semangat dan dukungan tiada henti, menjadi teman terbaik serta memberikan solusi dari segala keluhan penulis selama ini.
9. Grup 6A Elfis Dua yakni **Thr, Aul, Dils, dan Kvin** sebagai sahabat terbaik yang membantu mendukung, menyemangati, dan selalu ada untuk penulis selama ini.
10. Sahabat Mipedz, **Ara, Bidah, Zalza, dan Yaya** yang telah senantiasa kebersamai, meluangkan waktunya, memberi motivasi, dukungan, dan bantuan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
11. **Teman-teman Fisika 2021**, penghuni lab yang ada di kampus, terima kasih telah menemani penulis selama menempuh perkuliahan di Universitas

Hasanuddin. Terima kasih telah memberikan banyak kenangan selama ini dan tetap semangat untuk mencapai cita-cita masing-masing.

12. **Naura Shafila S. Si**, terima kasih telah menjadi support system No. 1 yang telah membantu penulis dari awal hingga sarjana, terima kasih selalu ada.
13. **Rifdah Salsabilah S. Ked**, terima kasih selalu mendengarkan keluh kesah penulis selama menjadi mahasiswa akhir, terima kasih telah menjadi teman yang baik.
14. **Muhammad Azlan S. Si., M. Si** (soon), terima kasih atas waktunya yang singkat namun penuh makna, yang telah menjadi motivasi penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik
15. Teruntuk diri saya sendiri yang telah berjuang hingga akhir dan tak pernah menyerah hingga menyelesaikan tugas akhir serta lulus dari Universitas Hasanuddin.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi pengembangan penelitian ini dan peningkatan kualitas diri penulis. Semoga kekurangan yang ada bisa menjadi pembelajaran bagi kita semua. Akhir kata, penulis berharap karya ini dapat turut berkontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bermanfaat bagi banyak orang di masa mendatang.

ABSTRAK

SHADIQAH FITRI. Analisis Penggunaan *Multi-leaf Collimator (MLC)* Terhadap Distribusi Dosis OAR (*Organ at Risk*) dengan Teknik IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*) pada Kasus Nasofaring (dibimbing oleh Syamsir Dewang).

Latar Belakang. Kanker nasofaring merupakan salah satu jenis kanker dengan prevalensi tinggi di Indonesia mencapai 4,6% menurut laporan GLOBOCAN pada tahun 2022, di mana radioterapi menggunakan teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)* menjadi metode utama dalam pengobatannya. *Multi-leaf Collimator (MLC)* berperan penting dalam pengaturan distribusi dosis radiasi agar dosis yang diberikan ke target tumor optimal sekaligus meminimalkan dampak pada organ sehat atau *Organ at Risk (OAR)*. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan MLC terhadap distribusi dosis pada OAR, khususnya *brainstem*, *chiasm*, dan *spinal cord*. **Metode.** Penelitian ini dilakukan melalui analisis sekunder terhadap data perencanaan radioterapi 10 pasien kanker nasofaring dari sistem *Treatment Planning System (TPS)* di Rumah Sakit TK II Pelamonia Makassar. Parameter yang dianalisis meliputi nilai *Conformity Index (CI)* dan *Homogeneity Index (HI)* untuk mengevaluasi kesesuaian dan homogenitas dosis pada target tumor serta dosis serap pada OAR yang dibandingkan dengan batas toleransi dosis berdasarkan rekomendasi QUANTEC. **Hasil.** Penelitian menunjukkan bahwa nilai CI dan HI berada dalam rentang yang direkomendasikan, mengindikasikan distribusi dosis yang optimal pada target tumor. Dosis maksimum yang diterima OAR *brainstem* dan *chiasm* tetap berada dalam batas aman (<54 Gy), sedangkan *spinal cord* pada dua pasien melebihi ambang batas yang direkomendasikan (<45 Gy) sebesar 3,434 Gy dan 0,881 Gy disebabkan oleh lokasi dan ukuran volume target, perbedaan anatomi pasien hingga variasi ketebalan MLC yang digunakan. **Kesimpulan.** Penggunaan MLC dalam perencanaan IMRT efektif dalam memodulasi distribusi dosis, namun pada beberapa kasus perlu evaluasi lebih lanjut mengenai berbagai parameter yang digunakan dalam perencanaan radioterapi untuk memastikan keamanan dosis pada OAR tertentu.

Kata kunci : Radioterapi; IMRT; MLC; OAR; Distribusi Dosis

ABSTRACT

SHADIQAH FITRI. **Analysis of Multi-Leaf Collimator (MLC) Usage on OAR (Organ at Risk) Dose Distribution with IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) Technique in Nasopharyngeal Cases** (supervised by Syamsir Dewang).

Background. Nasopharyngeal cancer is one of the most prevalent types of cancer in Indonesia, accounting for 4.6% of cases according to the 2022 GLOBOCAN report, with radiotherapy using the Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) technique being the primary treatment method. The Multi-Leaf collimator (MLC) plays a crucial role in regulating radiation dose distribution, ensuring optimal dose delivery to the tumor while minimizing exposure to surrounding healthy organs, known as Organs at Risk (OAR). **Aim.** This study aims to analyze the impact of MLC usage on dose distribution to OAR, particularly the brainstem, chiasm, and spinal cord. **Method.** This research was conducted through a secondary analysis of radiotherapy treatment planning data from 10 nasopharyngeal cancer patients using the Treatment Planning System (TPS) at TK II Pelamonia Hospital in Makassar. The analyzed parameters include the Conformity Index (CI) and Homogeneity Index (HI) to evaluate dose conformity and homogeneity within the target tumor, as well as the absorbed dose in OAR, which was compared against QUANTEC tolerance limits. **Results.** The results indicate that CI and HI values fall within the recommended range, suggesting an optimal dose distribution to the target tumor. The maximum dose received by the brainstem and chiasm remained within the safe threshold (<54 Gy), while the spinal cord in two patients exceeded the recommended limit (<45 Gy) by 3,434 Gy and 0,881 Gy. This discrepancy is attributed to factors such as tumor location and volume, anatomical variations among patients, and differences in MLC thickness. **Conclusion.** The use of MLC in IMRT planning effectively modulates dose distribution; however, further of various planning parameters is necessary in certain cases to ensure dose safety for specific OARs.

Keywords: Radiotherapy; IMRT; MLC; OAR; Dose Distribution

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
BAB II METODE PENELITIAN	5
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian	5
2.2 Alat dan Perangkat Penelitian	5
2.3 Teknik Penelitian	5
2.3.1 Pengambilan Data Rekam Medis	5
2.3.2 Analisis Nilai <i>Conformity Index</i> (CI) dan <i>Homogeneity Index</i> (HI)	5
2.3.3 Analisis dosis OAR (<i>Organ at Risk</i>)	6
2.3.4 Bagan Alir Penelitian	7
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	8
3.1 Analisis Nilai <i>Conformity Index</i> (CI)	8
3.2 Analisis Nilai <i>Homogeneity Index</i> (HI)	10
3.3 Analisis Distribusi Dosis OAR (<i>Organ at Risk</i>)	12
3.3.1 Distribusi Dosis OAR <i>Brainstem</i> (Batang Otak)	13
3.3.2 Distribusi Dosis OAR <i>Chiasm</i> (Optik Kiasma)	15
3.3.3 Distribusi Dosis OAR <i>Spinal cord</i> (Sumsum Tulang Belakang)	16
BAB IV PENUTUP	19
4.1 Kesimpulan	19
4.2 Saran	19
DAFTAR PUSTAKA	20
LAMPIRAN	23

DAFTAR TABEL

Nomor Urut		Halaman
1	Nilai <i>Conformity Index</i> (CI)	9
2	Nilai <i>Homogeneity Index</i> (HI)	11
3	Distribusi dosis OAR <i>brainstem</i>	14
4	Distribusi dosis OAR <i>chiasm</i>	15
5	Distribusi dosis OAR <i>spinal cord</i>	17

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut		Halaman
1.	Bagan alir penelitian.....	7
2.	Kurva DVH perhitungan nilai CI	8
3.	Grafik nilai <i>Conformity Index</i> (CI)	9
4.	Kurva DVH perhitungan nilai HI	10
5.	Grafik nilai <i>Homogeneity Index</i> (HI)	11
6.	Citra Pasien Kasus Nasofaring	12
7.	Kurva DVH analisis dosis OAR	13
8.	Grafik distribusi dosis OAR <i>brainstem</i>	14
9.	Grafik distribusi dosis OAR <i>chiasm</i>	16
10.	Grafik distribusi dosis OAR <i>spinal cord</i>	17

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut		Halaman
1.	Kurva DVH dan <i>Dose Statistic</i> pada setiap pasien	23
2.	Perhitungan <i>Conformity Index</i> (CI)	28
3.	Perhitungan <i>Homogeneity Index</i> (HI).....	29
4.	Tabel Standar Ketetapan Dosis OAR: QUANTEC	30
5.	Citra pasien pada kurva DVH	30

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti
MLC	<i>Multi-leaf Collimator</i>
LINAC	<i>Linear Accelerator</i>
TPS	<i>Treatment Planning System</i>
DVH	<i>Dose Volume Histogram</i>
HI	<i>Homogeneity Index</i>
CI	<i>Conformity Index</i>
PTV	<i>Planning Target Volume</i>
GTV	<i>Gross Tumor Volume</i>
OAR	<i>Organ at Risk</i>
QUANTEC	<i>Quantitative Analysis of Normal Tissue Effect in the Clinic</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
2D-CRT	<i>Two-Dimensional Conventional Radiotherapy</i>
3D-CRT	<i>Three-Dimensional Conformal Radiotherapy</i>
IMRT	<i>Intensity Modulated Radiation Therapy</i>
VMAT	<i>Volumetric Modulation Arc Therapy</i>
SRT	<i>Stereotactic Radiotherapy</i>
SRS	<i>Stereotactic Radiosurgery</i>
MU	<i>Monitor Units</i>
LAD	<i>Left Anterior Descending artery</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker merupakan penyakit kompleks yang terjadi akibat pertumbuhan sel-sel tubuh secara abnormal dan menyebar ke jaringan di sekitarnya. Salah satu jenis kanker adalah kanker nasofaring (*nasopharyngeal carcinoma*), yang berkembang di daerah nasofaring, yaitu pada bagian di atas tenggorokan dan di belakang hidung (Nova Wijaya & Muharini., 2023). Berdasarkan laporan *Global Cancer Observatory* (GLOBOCAN) pada tahun 2022, kanker nasofaring menempati peringkat keenam dalam jumlah kasus kanker terbanyak di Indonesia. Adapun jumlah kasus terbaru mencapai 18.835 kasus dan terdeteksi 12.949 jiwa diantaranya meninggal dunia. Tingginya angka insidensi ini mengindikasikan bahwa kanker nasofaring merupakan masalah kesehatan masyarakat yang signifikan dan memerlukan perhatian lebih lanjut (GLOBOCAN., 2022).

Salah satu metode pengobatan yang telah terbukti efektif dalam penanganan kanker adalah terapi radiasi, yang lebih dikenal sebagai radioterapi. Radioterapi merupakan metode pengobatan yang memanfaatkan radiasi pengion untuk menghancurkan sel kanker dengan cara memberikan paparan radiasi yang terfokus pada area target. Proses ini menyebabkan kerusakan DNA pada sel kanker, yang pada akhirnya menghambat kemampuan sel tersebut untuk berkembang biak dan menyebabkan kematian sel kanker (Pramesti dkk., 2023). Radioterapi dapat digunakan dengan tujuan sebagai terapi kuratif dan terapi paliatif. Terapi kuratif bertujuan untuk mencapai kesembuhan total dengan menghilangkan sel-sel kanker secara efektif, sedangkan terapi paliatif ditujukan untuk meringankan gejala yang ditimbulkan oleh kanker sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup pasien selama masa pengobatan. Dalam praktiknya, radioterapi dilakukan dengan modalitas pesawat external radiasi yaitu *Linear Accelerator* (Linac) (Beyzadeoglu dkk., 2010).

Linac merupakan perangkat yang digunakan untuk menghasilkan dan mengarahkan sumber radiasi pada jarak tertentu dari tubuh pasien. Alat ini bekerja dengan mempercepat partikel subatomik secara linear dengan memanfaatkan potensial listrik untuk menghasilkan berkas radiasi yang terarah. Radiasi yang dihasilkan oleh linac memiliki karakteristik dosis yang seragam, dengan foton berenergi tinggi serta berkas elektron yang mampu diarahkan secara presisi pada area jaringan kanker. Hal ini memungkinkan pengobatan yang efektif terhadap jaringan target sambil meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya (Puspitasari dkk., 2020). Meskipun biaya investasi awalnya relatif tinggi dan memerlukan pemeliharaan yang rutin, linac telah terbukti memberikan manfaat signifikan dalam pengobatan kanker (Putu dkk., 2024). Seiring dengan kemajuan teknologi, linac dapat dioperasikan menggunakan berbagai teknik, seperti *Three-Dimensional Conformal Radiotherapy* (3D-CRT), *Intensity Modulated Radiotherapy* (IMRT), *Volumetric Modulation Arc Therapy* (VMAT), *Stereotactic Radiotherapy* (SRT)/ *Stereotactic Radiosurgery* (SRS) dan Tomoterapi (Elvira dkk., 2021).

IMRT (*Intensity-Modulated Radiotherapy*) adalah teknik penyinaran pada linac yang menjadi standar dalam penanganan kanker nasofaring. Hal tersebut dikarenakan kemampuan teknik ini dalam mengatur intensitas radiasi dari berbagai sudut dan lapangan radiasi, sehingga memungkinkan distribusi dosis yang lebih presisi dan terfokus pada target tumor. Dengan demikian, paparan radiasi pada jaringan sehat di sekitar target dapat diminimalkan secara signifikan, sehingga mengurangi risiko efek samping yang tidak diinginkan (Syafna dkk., 2024). Teknik IMRT diperkenalkan sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan teknik terapi radiasi konformal tiga dimensi (3D-CRT), di mana teknik ini menghasilkan tingkat kesesuaian dosis yang lebih tinggi pada target. Selain itu, IMRT juga terbukti mampu mengurangi dosis radiasi yang diterima oleh *Organ at Risk* (OAR) (Fathy dkk., 2023).

Dalam pelaksanaan radioterapi dengan teknik IMRT, terdapat sejumlah tahapan penting yang harus dilalui pasien, termasuk tahap perencanaan radioterapi menggunakan perangkat lunak khusus yang dikenal sebagai *Treatment Planning System* (TPS). TPS digunakan pada komputer untuk merancang pengobatan radiasi eksternal pada pasien dengan menggunakan kurva distribusi dosis radiasi yang disebut sebagai kurva DVH (*Dose Volume Histogram*). Kurva ini terdiri dari volume target kanker total GTV (*Gross Target Volume*), volume target perencanaan PTV (*Planning Target Volume*), dan dosis pada organ-organ sehat di sekitar kanker (BAPETEN., 2013). Di TPS, fisikawan medis bertanggung jawab melakukan analisis perhitungan akurasi dosis yang diterima oleh target dan OAR yang mempengaruhi perencanaan radioterapi yang dihasilkan (Dede Handika dkk., 2020). Adapun tahapan dalam TPS meliputi *imaging* dengan hasil citra CT scan untuk mendapatkan gambaran anatomi pasien, kemudian *contouring* organ untuk menentukan batas target penyinaran, lalu penempatan *beam's eye view display* (BEV) guna menentukan arah dan sudut optimal penyinaran. Setelah itu, distribusi dosis radiasi pada target dihitung dan disimulasikan, sehingga menghasilkan kurva DVH (*Dose Volume Histogram*) yang memperlihatkan distribusi dosis radiasi pada target dan organ sekitarnya (Febrierti dkk., 2020).

Selain itu, parameter lain juga diatur dalam TPS seperti *Multi-leaf Collimator* (MLC), *number of fields* (banyak lapangan), *beam angle* (besar sudut gantri), *beam energy* (besar energi) dan *monitor units* (MU). Pengaturan parameter-parameter ini berperan penting dalam menentukan kualitas hasil perencanaan radioterapi, terutama dalam mengurangi komplikasi pada OAR (*Organ at Risk*) (Elvira dkk., 2021). *Organ at Risk* (OAR) merupakan organ-organ sehat di sekitar target yang berpotensi menerima dampak dari penyinaran radioterapi. Oleh karena itu, prinsip utama radioterapi adalah memastikan distribusi dosis maksimum pada target PTV sambil menjaga agar dosis yang diterima oleh OAR tetap dalam batas aman untuk menghindari komplikasi jangka panjang yang dapat memengaruhi kualitas hidup pasien (Pramesti dkk., 2023).

Dalam upaya melindungi OAR, terdapat komponen yang berperan penting dalam meningkatkan kualitas perencanaan radioterapi yang disebut sebagai MLC atau *Multi-leaf Collimator*. MLC merupakan kolimator atau pembatas lapangan penyinaran pada linac yang dapat dioperasikan melalui sistem komputerisasi pada

Treatment Planning System (TPS) (Nova Wijaya & Muharini., 2023). MLC terdiri dari sejumlah daun (bidang) atau lapisan tungsten dengan nomor atom tinggi yang dirancang untuk memberikan kemampuan optimal dalam modulasi intensitas radiasi. Bidang-bidang tersebut dapat bergerak secara independen untuk menghalangi jalur berkas radiasi, sehingga meminimalkan dosis yang diterima oleh jaringan sehat di sekitar target tumor (Fodil dkk., 2024). Pada teknik radioterapi konvensional berbasis 2D, rahang kolimator digunakan untuk membentuk bidang persegi panjang. Namun, volume tumor seringkali memiliki bentuk yang tidak beraturan sehingga memerlukan tambahan blok radiasi untuk mencocokkan bentuk medan radiasi dengan bentuk tumor (Huki dkk., 2023). Dengan adanya MLC, kebutuhan akan blok radiasi yang kompleks dapat diminimalkan, karena MLC mampu menggantikan peran tersebut untuk pembentukan medan radiasi yang lebih presisi (Eid dkk., 2023). Oleh karena itu, MLC merupakan inovasi penting dalam radioterapi, khususnya untuk meningkatkan efektivitas pengobatan sekaligus meminimalkan dampak pada jaringan sehat di sekitar target.

Penelitian tentang komponen MLC telah dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai variabel tambahan. Mahani dkk., (2023) melakukan penelitian dengan membandingkan dua jenis perencanaan *Treatment Planning System* (TPS) untuk menilai dampak MLC terhadap dosis yang diterima oleh target dan OAR jantung, paru-paru kiri, dan LAD (*Left Anterior Descending artery*). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perencanaan radioterapi dengan perlindungan MLC menghasilkan pengurangan dosis yang signifikan pada OAR. Selanjutnya, Fodil dkk., (2024) meneliti penggunaan MLC sebagai parameter pembatas dosis target terhadap OAR dalam pengaturan distribusi dosis dengan membandingkan teknik IMRT dinamis dan statis. Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknik IMRT dinamis memiliki keunggulan signifikan dibandingkan dengan teknik IMRT statis. Hal ini disebabkan oleh kemampuan MLC untuk bergerak membentuk segmen baru selama proses radiasi aktif sehingga dapat mengurangi waktu penyinaran. Pengurangan waktu penyinaran ini berimplikasi pada penurunan risiko efek samping yang dapat ditimbulkan oleh pengobatan radioterapi, sehingga teknik IMRT dinamis menjadi pilihan yang lebih efektif dan aman dalam radioterapi jenis kanker tertentu. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Wijaya dkk., (2023) terkait pengaruh ketebalan MLC terhadap dosis target dan OAR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MLC dengan ketebalan lebih tipis mampu menghasilkan lapangan penyinaran yang lebih menyerupai bentuk target dan lebih efektif dalam melindungi OAR, sehingga meningkatkan akurasi distribusi dosis pada target.

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya, penting untuk melanjutkan studi lebih mendalam mengenai pengaruh penggunaan *Multi-leaf Collimator* (MLC) terhadap distribusi atau penyebaran dosis serap *Organ at Risk* (OAR) pada pasien dengan kasus nasofaring. Penelitian ini berfokus pada analisis perencanaan radioterapi menggunakan *Treatment Planning System* (TPS), melalui penghitungan nilai *Conformity Index* (CI) dan *Homogeneity Index* (HI). Nilai-nilai tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian dan keseragaman distribusi dosis pada volume target (PTV) tumor, serta dosis serap yang diterima oleh OAR,

seperti *Brainstem*, *Chiasm*, dan *Spinal cord*. Selanjutnya, hasil penghitungan tersebut dibandingkan dengan batas toleransi dosis yang telah ditetapkan secara klinis. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis paparan dosis pada jaringan sehat di sekitar tumor dan pengaruh penggunaan MLC dalam meminimalkan distribusi dosis serap pada OAR sebagai upaya peningkatan kualitas pengobatan radioterapi bagi pasien kanker nasofaring.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis dosis *Organ at Risk* (OAR) *brainstem*, *chiasm*, dan *spinal cord* pada pasien dengan kasus nasofaring sesuai batas toleransi yang ditetapkan oleh QUANTEC.
2. Menganalisis efektivitas penggunaan (MLC) terhadap distribusi dosis *Organ at Risk* (OAR) *brainstem*, *chiasm*, dan *spinal cord*.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi bagi tenaga medis khususnya fisikawan medik dalam memilih dan mengoptimalkan parameter *Multi-leaf Collimator* (MLC) untuk menghasilkan distribusi dosis yang lebih aman dan efektif.
2. Memberikan informasi ilmiah berupa distribusi dosis *Organ at Risk* (OAR) yang berguna untuk meningkatkan kualitas perencanaan radioterapi dengan teknik IMRT, khususnya pada kasus nasofaring.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Radioterapi di Rumah Sakit TK II Pelamonia Makassar, yang dilakukan dari bulan Oktober sampai dengan Desember tahun 2024. Lokasi penelitian dipilih karena terdapat fasilitas medis dan tenaga ahli yang memadai serta mempertimbangkan ketersediaan data yang sesuai dengan topik penelitian.

2.2 Alat dan Perangkat Penelitian

Penelitian ini membutuhkan berbagai perangkat lunak dengan spesifikasi yang sesuai. Aplikasi *Microsoft Excel* digunakan dalam mengolah data dan membuat grafik hasil penelitian. Pada perencanaan radioterapi di TPS (*Treatment Planning System*), digunakan aplikasi *Eclipse (Varian Associates)* sebagai perangkat lunak utama yang berperan dalam perhitungan dosis, merencanakan dan mengoptimalkan pengobatan bagi pasien. Adapun bahan penelitian yang digunakan adalah data sekunder berupa rekam medis 10 pasien penderita kanker nasofaring yang telah menjalani perencanaan radioterapi dengan teknik IMRT dan memenuhi kriteria inklusi.

2.3 Teknik Penelitian

2.3.1 Pengambilan Data Rekam Medis

Pada saat perencanaan radioterapi di TPS, nilai dosis yang diberikan sebesar 70 Gy dengan 7 jumlah sudut penyinaran sebanyak 35 kali fraksinasi yang dilakukan secara bertahap. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini meliputi hasil ekstraksi kurva DVH (*Dose Volume Histogram*) dari masing-masing pasien untuk melihat pengaruh penggunaan *Multi-leaf Collimator (MLC)* pada perencanaan radioterapi dengan ketebalan MLC yang digunakan sebesar 5 mm.

Adapun hasil ekstraksi kurva DVH yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi volume PTV yang menerima 95% dosis radiasi serta volume total PTV (*Planning Target Volume*), yang digunakan untuk menghitung nilai *Conformity Index (CI)*. Selain itu, data mengenai dosis radiasi pada 2%, 50%, dan 98% volume PTV dikumpulkan untuk menghitung nilai (*Homogeneity Index*) HI. Untuk menganalisis dampak radiasi pada organ sehat di sekitar target, data mengenai dosis pada OAR (*Organ at Risk*) juga dikumpulkan, dan dibandingkan dengan batasan dosis yang telah ditetapkan oleh QUANTEC.

2.3.2 Analisis Nilai *Conformity Index (CI)* dan *Homogeneity Index (HI)*

Parameter dosis pada PTV dianalisis berdasarkan rekomendasi dari ICRU *Report 62* dan *83*. Dalam penelitian ini, nilai *Conformity Index (CI)* dan nilai *Homogeneity Index (HI)* dihitung sebagai indikator kualitas distribusi dosis yang diserap oleh target. Nilai CI menunjukkan kesesuaian distribusi dosis dengan bentuk target (PTV). Sedangkan, nilai HI menggambarkan homogenitas atau tingkat

keseagaman distribusi dosis dalam volume target berdasarkan hasil optimasi pada TPS, dimana dosis pada pasien diberikan sama di setiap arah penyinaran (Fadila dkk., 2023). Perhitungan nilai CI dan HI dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dirujuk dari laporan *The International Commission on Radiation Units and Measurements* (2010) sebagai berikut:

$$CI = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}} \quad (1)$$

Dengan, $V_{95\%}$ = volume PTV yang terpapar 95% dosis

V_{PTV} = volume total PTV

Sedangkan untuk menghitung HI digunakan persamaan,

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (2)$$

Dengan, $D_{2\%}$ = dosis yang diterima pada 2% volume PTV

$D_{98\%}$ = dosis yang diterima pada 98% volume PTV

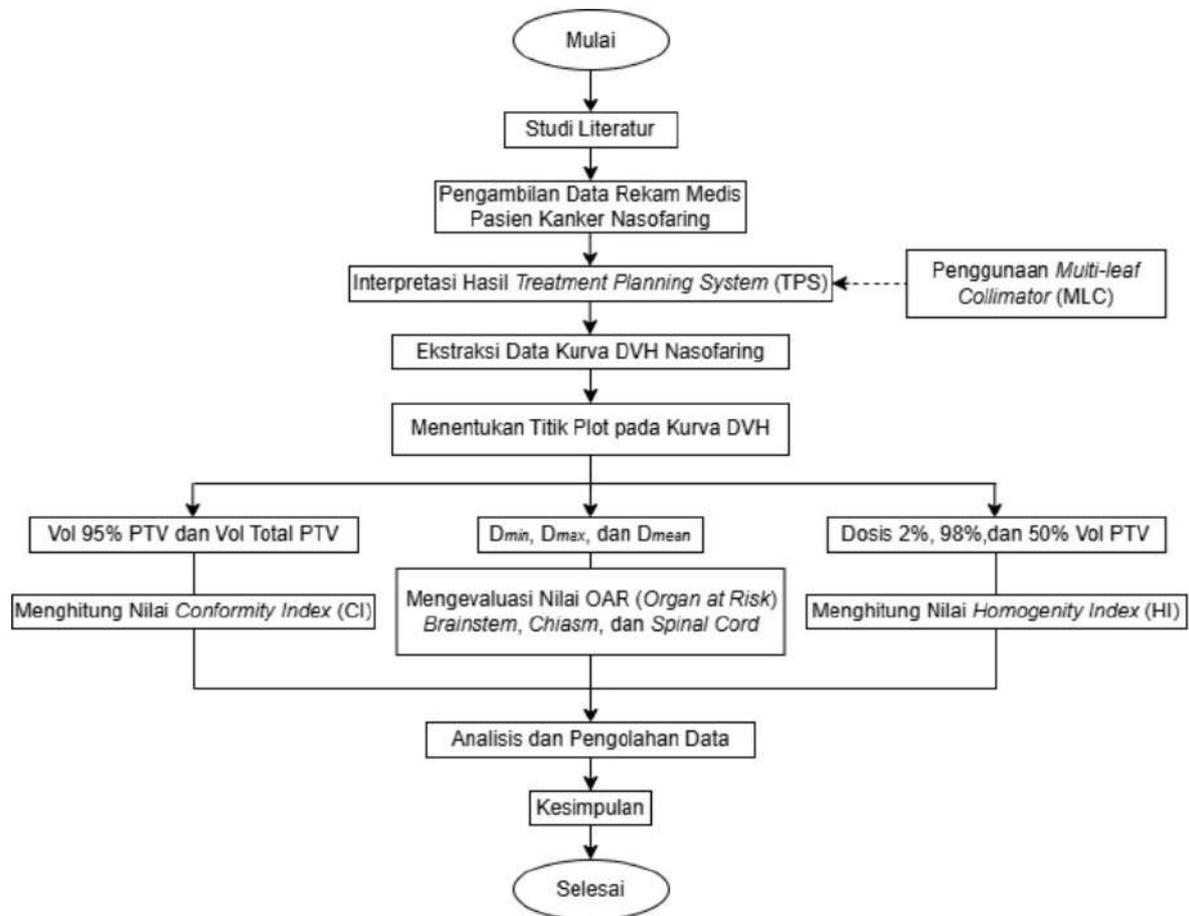
$D_{50\%}$ = dosis yang diterima pada 50% volume PTV

Rentang nilai *Conformity Index* (CI) dan nilai *Homogeneity Index* (HI) adalah 0 hingga 1 dengan nilai ideal CI adalah 1 yang menunjukkan bahwa distribusi dosis pada PTV 100% diterima dan tidak mengenai jaringan sehat disekitar, sedangkan nilai ideal HI adalah 0 yang menunjukkan distribusi dosis pada PTV yang konsisten (ICRU, 2010).

2.3.3 Analisis dosis OAR (*Organ at Risk*)

Pada penelitian ini digunakan kasus nasofaring dengan OAR (*Organ at Risk*) berupa *Brainstem* (Batang Otak), *Chiasm* (Optik Kiasma), dan *Spinal cord* (Sumsum Tulang Belakang). Analisis distribusi dosis yang diterima oleh OAR dilakukan melalui hasil ekstraksi kurva DVH (*Dose Volume Histogram*) dari setiap pasien. Parameter nilai *minimum dose*, *maximum dose*, dan *mean dose* pada masing-masing OAR diidentifikasi dan disusun dalam tabel data. Hasil analisis yang diperoleh akan dibandingkan dengan batas toleransi yang direkomendasikan oleh pedoman QUANTEC. Evaluasi dilakukan dengan tujuan untuk menilai pengaruh penggunaan MLC (*Multi-leaf Collimator*) sebagai parameter penentuan kualitas perencanaan radioterapi dalam memastikan dampak radiasi pada organ sehat, sehingga dapat meningkatkan keamanan distribusi dosis selama terapi berlangsung.

2.3.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 1 Bagan alir penelitian