

Analisis Penggunaan Multi-leaf Collimator (MLC) terhadap Distribusi Dosis OAR (*Organ at Risk*) dengan Teknik IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*) pada Kasus Nasofaring

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 Fitri¹, Saleha², Ayu Hardianti Pratiwi¹, Ajeng Anggreny Ibrahim¹, Sri Dewi Astuty¹, Syamsir Dewang^{1*}

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia 90245

²Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit TK II Pelamonia, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia 90157

Email: shadiqah.fitri@gmail.com; devadevi115@gmail.com; ayuhardiantip@unhas.ac.id; ajengibrahim@unhas.ac.id; dewiastuti@fmipa.unhas.ac.id; *dewang1163@gmail.com

Received: 6th March 2025; Revised: 15th March 2024; Accepted: 3th April 2025

Abstrak – 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). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan MLC terhadap distribusi dosis pada OAR, khususnya brainstem, chiasm, dan spinal cord. Metode penelitian 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. Kesimpulannya, 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; MLC; IMRT; OAR; distribusi dosis

Abstract – 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). This study aims to analyze the impact of MLC usage on dose distribution to OAR, particularly the brainstem, chiasm, and spinal cord. 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. 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. In 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 OAR.

Key words: Radiotherapy; MLC; IMRT; OAR; dose distribution.

1. Pendahuluan

Salah satu jenis kanker adalah kanker nasofaring (*nasopharyngeal carcinoma*), yang berkembang di daerah nasofaring, yaitu pada bagian di atas tenggorokan dan di belakang hidung [1]. Berdasarkan laporan *Global Cancer Observatory* (GLOBOCAN) pada tahun 2022, kanker nasofaring menempati peringkat keenam dalam jumlah kasus terbanyak di Indonesia, dengan 18.835 kasus baru dan angka kematian mencapai 12.949 jiwa. Tingginya angka insiden ini mengindikasikan bahwa kanker nasofaring merupakan masalah kesehatan masyarakat yang signifikan dan memerlukan perhatian lebih lanjut [2]. Adapun metode pengobatan yang telah terbukti efektif dalam penanganan kanker adalah radioterapi. Radioterapi merupakan metode pengobatan yang memanfaatkan radiasi pengion untuk menghancurkan sel kanker dengan cara memberikan paparan radiasi yang terfokus pada area target. Dalam praktiknya, radioterapi dilakukan dengan modalitas pembangkit radiasi eksternal yaitu *Linear Accelerator* (Linac) [3-4].

Linac bekerja dengan cara mempercepat partikel sub-atomik secara linear dengan memanfaatkan potensial listrik untuk menghasilkan berkas radiasi yang terarah [5]. Seiring dengan kemajuan teknologi, linac dapat dioperasikan menggunakan berbagai teknik, salah satunya adalah teknik (*Intensity-Modulated Radiotherapy*) (IMRT) [6]. IMRT 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 [7]. 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). Di TPS, fisikawan medis bertanggung jawab melakukan analisis perhitungan akurasi dosis yang diterima oleh target dan OAR yang mempengaruhi perencanaan radioterapi yang dihasilkan dengan mengatur berbagai parameter seperti *Multi-leaf collimator* (MLC), *number of fields* (banyak lapangan), *beam angle* (besar sudut gantri), *beam energy* (besar energi) dan *monitor units* (MU) [8].

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 atau disebut juga dengan *Planning Target Volume* (PTV) sambil menjaga agar dosis yang diterima oleh OAR tetap dalam batas aman [6, 8]. 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 TPS [1].

Berdasarkan informasi tersebut penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penggunaan MLC terhadap distribusi atau penyebaran dosis serap *Organ at risk* (OAR) pada pasien dengan kasus nasofaring. Penelitian ini berfokus pada analisis perencanaan radioterapi menggunakan TPS, melalui penghitungan nilai *Conformity Index* (CI), *Homogeneity Index* (HI), serta dosis serap pada OAR *brainstem*, *chiasm*, dan *spinal cord* yang dievaluasi lalu dibandingkan dengan batas toleransi dosis yang telah ditetapkan secara klinis.

2. Landasan Teori

2.1 Radioterapi

Radioterapi merupakan salah satu modalitas utama dalam pengobatan kanker yang menggunakan radiasi pengion untuk merusak DNA pada sel kanker, sehingga menghambat kemampuannya untuk berkembang

dan membelah diri [3]. Radioterapi dapat diberikan dengan tujuan kuratif, untuk menyembuhkan pasien, atau paliatif, untuk mengurangi gejala dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Teknik radioterapi modern, seperti IMRT memungkinkan distribusi dosis yang lebih presisi pada target tumor, sekaligus meminimalkan paparan pada jaringan sehat di sekitarnya. Dengan perkembangan teknologi, radioterapi telah berkembang dari teknik konvensional menjadi teknik yang lebih adaptif dan presisi [4].

2.2 Linear Accelerator (Linac)

Linac adalah perangkat medis yang digunakan untuk menghasilkan dan mengarahkan sumber radiasi pada jarak tertentu dari tubuh pasien guna menghancurkan sel kanker [5]. Linac bekerja dengan mempercepat partikel elektron dalam tabung vakum sebelum mengenai target berbahan tungsten, yang kemudian menghasilkan radiasi sinar-X berenergi tinggi yang dapat menembus jaringan tubuh sehingga terbukti memberikan manfaat dalam pengobatan kanker [9]. Linac dapat dioperasikan dalam berbagai teknik, seperti *Three-Dimensional Conformal Radiotherapy* (3D-CRT), IMRT, *Volumetric Modulation Arc Therapy* (VMAT), *Stereotactic Radiotherapy* (SRT)/ *Stereotactic Radiosurgery* (SRS) dan Tomoterapi [6]. IMRT merupakan teknik yang lebih canggih yang mengatasi keterbatasan teknik 3D-CRT karena kemampuan IMRT dalam pengaturan intensitas radiasi dengan lebih presisi dan menggunakan jumlah lapangan radiasi lebih banyak dari 3D-CRT sehingga dapat meningkatkan rasio antara dosis yang diberikan pada target tumor dan dosis yang diterima oleh *Organ at risk* (OAR) [10].

2.3 Treatment Planning System (TPS)

(TPS) adalah perangkat lunak yang digunakan pada komputer dalam perencanaan radioterapi untuk menentukan distribusi dosis yang optimal pada target tumor dengan mempertimbangkan batas toleransi organ sehat. TPS bekerja dengan menggunakan kurva distribusi dosis radiasi yang disebut sebagai kurva *Dose Volume Histogram* (DVH)[11]. Adapun tahapan dalam TPS meliputi *akuisisi citra* dengan menggunakan CT scan untuk mendapatkan gambaran anatomi pasien, kemudian *countouring* organ untuk menentukan batas target penyinaran, lalu penentuan arah dan sudut optimal penyinaran. Setelah itu, distribusi dosis radiasi pada target dihitung dan disimulasikan, sehingga menghasilkan kurva DVH yang memperlihatkan distribusi dosis radiasi pada target dan organ sekitarnya [12].

2.4 Multi-leaf collimator (MLC)

MLC adalah komponen dalam linac yang terdiri dari sejumlah lapisan tungsten yang dapat bergerak secara independen untuk membentuk lapangan radiasi sesuai dengan *contour* target tumor [13]. MLC berperan dalam meningkatkan presisi distribusi dosis, terutama pada teknik IMRT yang memerlukan modifikasi intensitas radiasi pada berbagai sudut penyinaran sehingga dapat mengurangi dosis radiasi yang diterima oleh organ sehat di sekitar tumor (OAR) [14].

2.5 Nilai Conformity Index (CI) dan Homogeneity Index (HI)

Parameter dosis pada PTV dianalisis berdasarkan nilai CI dan nilai HI. Nilai CI menunjukkan kesesuaian distribusi dosis dengan bentuk target (PTV). Sedangkan, nilai HI menggambarkan homogenitas atau tingkat keseragaman distribusi dosis dalam volume target berdasarkan hasil optimasi pada TPS [15]. Perhitungan nilai CI dan HI dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dirujuk dari laporan *The International Commission on Radiation Units and Measurements* (2010), Persamaan (1).

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

Dimana $V_{95\%}$ = volume yang terpapar 95% dosis preskripsi, dan V_{PTV} = volume total PTV. Sedangkan untuk menghitung HI digunakan Persamaan (2).

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

Dimana $D_{2\%}$ = dosis yang diterima pada 2% volume PTV, $D_{98\%}$ = dosis yang diterima pada 98% volume PTV, dan $D_{50\%}$ = dosis yang diterima pada 50% volume PTV. Nilai ideal CI adalah 1 yang menunjukkan bahwa distribusi dosis pada PTV 100% diterima dan tidak mengenai jaringan sehat di sekitarnya, sedangkan nilai ideal HI adalah 0 yang menunjukkan distribusi dosis pada PTV yang konsisten [16].

2.6 Dosis OAR

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.

3. Metode

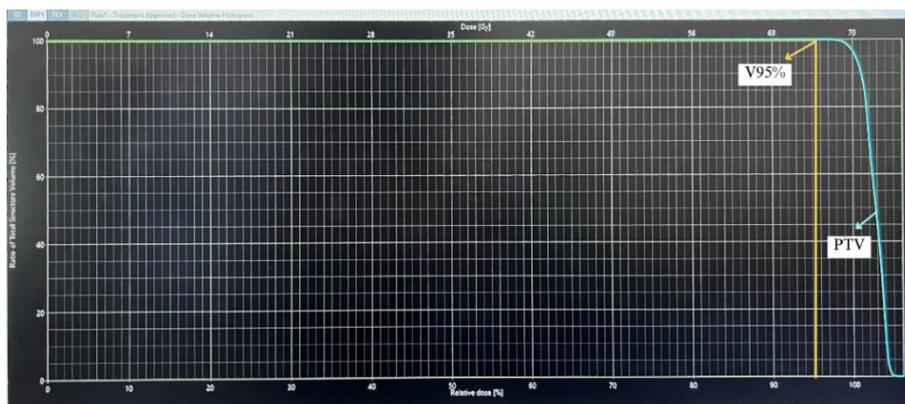
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari 10 pasien hasil perencanaan radioterapi kanker nasofaring dari instalasi radioterapi RS.TK II Pelamonia Makassar dengan menggunakan teknik IMRT. Perencanaan radioterapi menggunakan aplikasi *Eclipse (Varian Medical System)* sebagai perangkat lunak utama yang berperan dalam perhitungan dosis pada TPS Dosis yang diberikan sebesar 70 Gy dengan 7 jumlah sudut penyinaran sebanyak 35 kali fraksinasi yang tiap faksinasinya diberikan 2 Gy dalam sepekan 5 kali penyinaran. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini meliputi hasil ekstraksi kurva DVH dari masing-masing pasien untuk melihat pengaruh penggunaan MLC pada perencanaan radioterapi. MLC yang digunakan berupa Varian Millenium 120 MLC, dengan ketebalan MLC adalah 20 pasang sebesar 5 mm dan 30 pasang sebesar 1 cm. Adapun hasil ekstraksi kurva DVH yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi volume yang menerima 95% dosis radiasi serta volume total PTV, yang digunakan untuk menghitung nilai CI. Selain itu, data mengenai dosis radiasi pada 2%, 50%, dan 98% volume PTV dikumpulkan untuk menghitung nilai HI. Untuk menganalisis dampak radiasi pada organ sehat di sekitar target, data mengenai dosis minimum, dosis maksimum, dan dosis rata-rata pada OAR juga dievaluasi, dan dibandingkan dengan batasan dosis yang telah ditetapkan oleh QUANTEC.

4. Hasil Dan Pembahasan

Semua perencanaan radioterapi dianalisis berdasarkan kurva DVH yang berasal dari TPS. Berdasarkan TPS juga dilakukan interpretasi penggunaan MLC yang hasilnya diperoleh dari perhitungan data rekam medik nasofaring. Data yang dianalisis berupa nilai CI, nilai HI, dan distribusi dosis pada OAR.

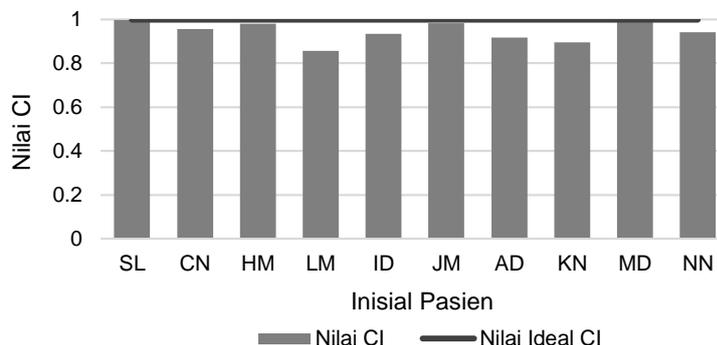
4.1 Analisis nilai CI

Nilai CI dihitung untuk mengukur kesesuaian dosis radiasi dengan volume target (PTV) sebagai salah satu variabel yang dipengaruhi oleh penggunaan MLC. Analisis parameter nilai CI dilakukan dengan membandingkan nilai $V_{95\%}$ dan V_{total} PTV yang diperoleh dari kurva DVH berdasarkan hasil komputasi TPS lalu dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Nilai CI menunjukkan bahwa pasien menerima dosis radiasi yang terdistribusi sesuai dengan bentuk dan ukuran volume target secara maksimal tanpa memberikan dosis berlebih pada jaringan sehat di sekitarnya. Gambar 1 menunjukkan kurva DVH untuk pengambilan nilai $V_{95\%}$ pada salah satu pasien.



Gambar 1. Kurva DVH perhitungan nilai CI.

$V_{95\%}$ menunjukkan seberapa besar volume yang terpapar oleh 95% dosis radiasi yang diberikan pada target. Kurva DVH untuk perhitungan nilai CI menampilkan hubungan antara dosis relatif (%) dan rasio total volume struktur (%). Untuk V_{total} PTV tampil pada bagian bawah kurva DVH berupa *dose statistic* dengan satuan cm^3 . Hasil perhitungan nilai CI ditunjukkan pada Gambar 2.

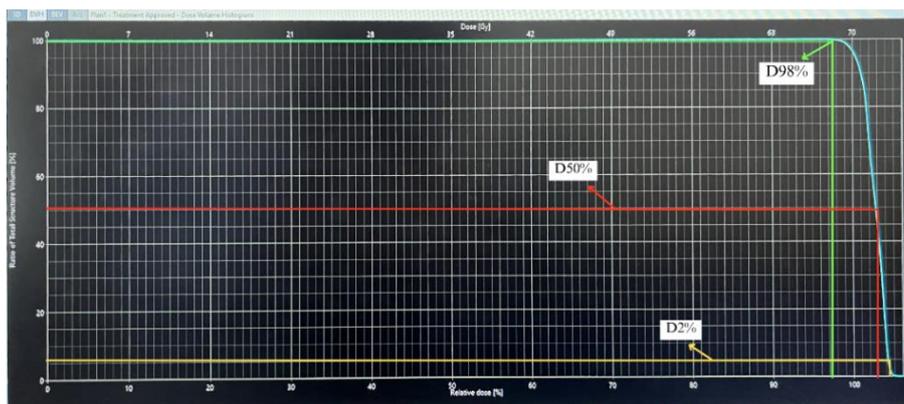


Gambar 2. Grafik nilai *Conformity Index* (CI).

Berdasarkan Gambar 2 dapat dikatakan bahwa seluruh perencanaan radioterapi pada penelitian ini memiliki kualitas yang baik karena telah memenuhi standar yang disarankan oleh QUANTEC dan hampir dari keseluruhan hasil perhitungan nilai CI mendekati angka ideal 1.

4.2 Analisis nilai HI

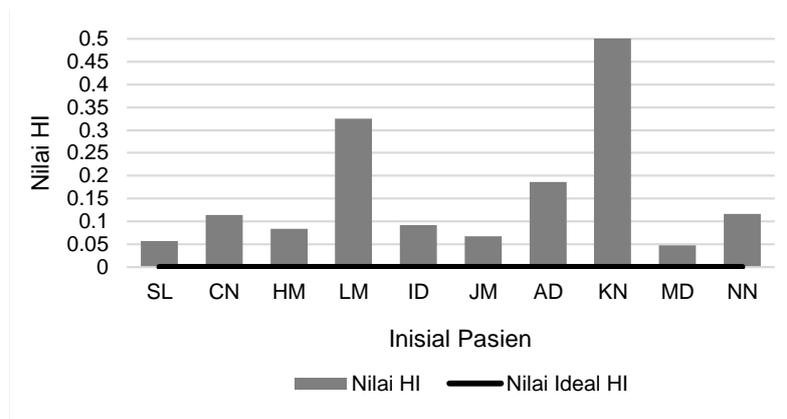
Ekstraksi kurva DVH untuk PTV yang memperoleh nilai $D_{2\%}$, $D_{98\%}$, dan $D_{50\%}$ digunakan untuk menganalisis nilai HI dengan menggunakan persamaan (2). Analisis nilai HI dilakukan untuk mengukur keseimbangan distribusi dosis di dalam target tumor (PTV). Nilai HI menunjukkan bahwa pasien menerima dosis radiasi yang terdistribusi secara homogen atau seragam di seluruh area penyinaran pada target kanker PTV. Gambar 3 menunjukkan kurva DVH untuk analisis nilai HI.



Gambar 3. Kurva DVH perhitungan nilai HI.

Menurut rekomendasi ICRU 62, nilai HI yang ideal adalah 0, yang berarti bahwa keseragaman dosis dicapai jika nilai dosis pada volume target yang kecil ($D_{2\%}$) relatif sama dengan dosis yang diterima oleh volume yang menengah ($D_{50\%}$) maupun yang besar ($D_{98\%}$) [6]. Hasil perhitungan nilai HI dapat dilihat pada Gambar 4.

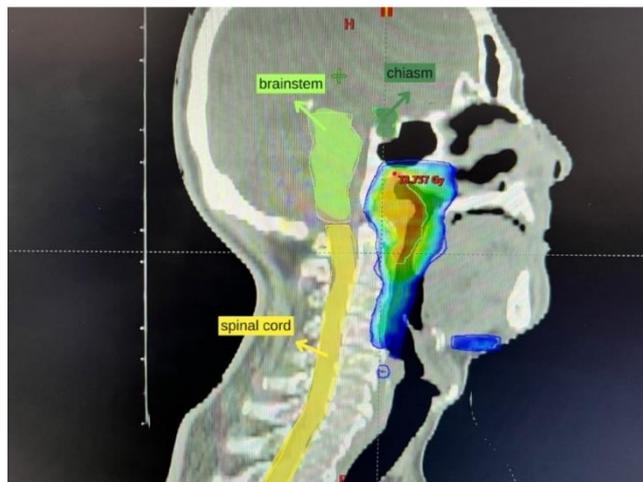
Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan bahwa perencanaan radioterapi untuk 10 pasien pada penelitian ini memiliki PTV yang cukup baik karena telah memenuhi nilai yang direkomendasikan ICRU yaitu mendekati 0 untuk HI. Nilai HI menentukan perencanaan radioterapi yang optimal. Semakin ideal nilai HI maka semakin merata distribusi dosis di seluruh volume target sehingga dosis pada OAR akan semakin mengecil [15].



Gambar 4. Grafik nilai *Homogeneity Index* (HI).

4.3 Analisis distribusi dosis OAR

Menurut laporan ICRU 83, semua jaringan sehat yang bersifat *non target* dapat menjadi OAR (*Organ at risk*). Untuk itu, perencanaan yang dilakukan dalam pengobatan radioterapi bertujuan untuk meminimalkan distribusi dosis pada jaringan sehat di sekitar target kanker. Dengan demikian, analisis pada dosis OAR dilakukan agar dapat memastikan bahwa pasien menerima dosis masih dalam batas standar yang telah ditetapkan. Parameter yang digunakan dalam analisis dosis yang diterima oleh OAR berupa dosis minimal, dosis maksimal, dan dosis rata-rata yang diperoleh berdasarkan kurva DVH (*dose statistic*). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kemampuan MLC dalam melindungi OAR selama penyinaran berlangsung [1]. Adapun pada penelitian ini menggunakan tiga OAR yang akan dievaluasi yaitu *brainstem* (batang otak), *chiasm* (optik kiasma), dan *spinal cord* (sumsum tulang belakang), seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

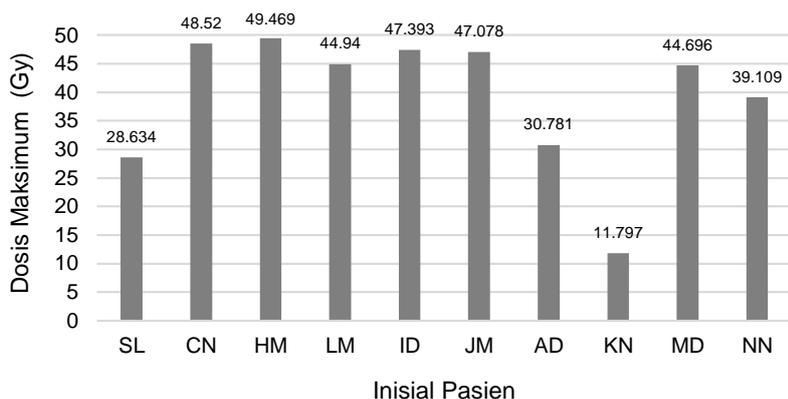


Gambar 5. Citra pasien kasus nasofaring.

4.3.1 Distribusi dosis OAR *brainstem* (batang otak)

Distribusi dosis pada *brainstem* menunjukkan persebaran dosis serapan maksimal radiasi yang diterima oleh organ *brainstem* dalam perencanaan radioterapi kasus nasofaring. Nilai batas dosis yang direkomendasikan oleh QUANTEC untuk dosis maksimal yang diterima organ *brainstem* adalah kurang dari 54 Gy. Hasil analisis nilai dosis pada *brainstem* dapat dilihat pada Gambar 6.

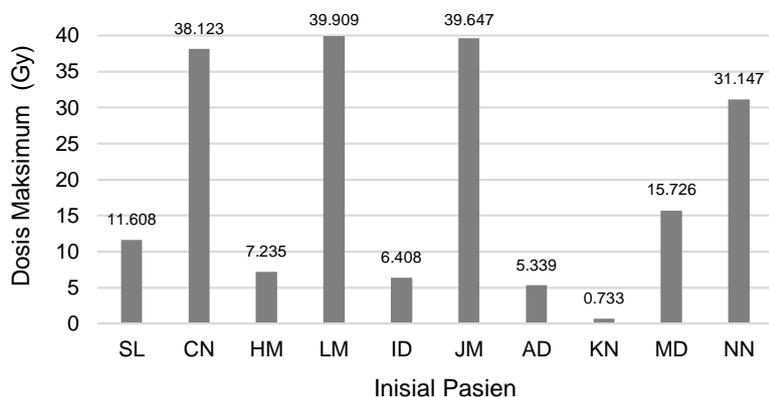
Gambar 6 menunjukkan distribusi dosis serap pada organ *brainstem* dari keseluruhan perencanaan pengobatan pasien telah memenuhi standar perawatan radioterapi yang direkomendasikan. Adanya variasi dosis yang signifikan di antara pasien, yang dapat disebabkan oleh perbedaan bentuk anatomi pasien, penentuan posisi target, atau pengaruh penggunaan MLC dalam memodulasi radiasi di sekitar OAR.



Gambar 6. Grafik distribusi dosis OAR *brainstem*.

4.3.2 Distribusi dosis OAR *chiasm* (optik kiasma)

Batasan nilai dosis maksimum yang diperbolehkan menurut rekomendasi QUANTEC terhadap OAR *chiasm* adalah sebesar <54 Gy. Hasil analisis nilai dosis pada *chiasm* ditunjukkan pada Gambar 7.

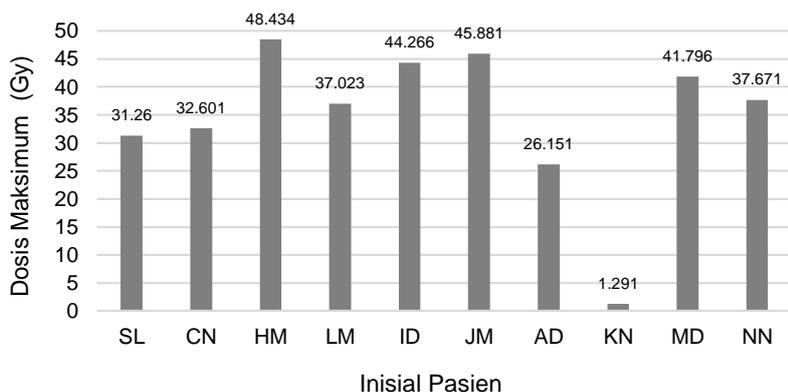


Gambar 7. Grafik distribusi dosis OAR *chiasm*.

Berdasarkan Gambar 7, seluruh perencanaan pengobatan radioterapi telah memenuhi standar dari QUANTEC, yang mana tidak ada satu pun dari perencanaan perawatan pasien kasus nasofaring yang menerima dosis di atas batas standar untuk organ *chiasm*.

4.3.3 Distribusi dosis OAR *spinal cord* (sumsum tulang belakang)

Standar toleransi dosis serap yang direkomendasikan oleh QUANTEC untuk sumsum tulang belakang (*spinal cord*) adalah maksimal sebesar 45 Gy. Hasil analisis nilai dosis pada *spinal cord* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik distribusi dosis OAR *spinal cord*.

Gambar 8 menunjukkan bahwa mayoritas pasien memiliki dosis maksimum di bawah batas ketetapan dengan nilai terendah sebesar 1,291 Gy pada pasien dengan inisial KN. Dosis maksimum ini menyatakan bahwa perencanaan radioterapi pada sebagian besar pasien berada dalam rentang aman dan tidak menimbulkan risiko signifikan pada OAR *spinal cord*. Namun, terdapat dua pasien yang dosis maksimumnya melampaui batas yang direkomendasikan yaitu pasien HM dan JM. Kedua pasien tersebut berisiko untuk mengalami efek samping pada fungsi organ *spinal cord*, sehingga dibutuhkan evaluasi lebih lanjut terhadap perencanaan radioterapi yang dilakukan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pasien dengan nilai dosis maksimum yang melebihi batas <45 Gy diantaranya lokasi dan volume target tumor, perbedaan anatomi pasien hingga teknik yang digunakan dalam perencanaan radioterapi. Faktor usia dapat mempengaruhi ukuran OAR, terutama *spinal cord*, yang menyebabkan perbedaan anatomis dan respon terhadap dosis pada setiap pasien [3]. Perancangan teknik IMRT, yang memiliki prinsip kinerja seperti "tarik-menarik" antara dosis yang diterima target dan OAR, apabila dosis yang diterima target meningkat, dosis yang diterima OAR juga akan meningkat sehingga memengaruhi peningkatan dosis pada OAR. Semakin dekat lokasi OAR dengan target, semakin sulit untuk menghitung dosis yang diterima OAR untuk mencapai batas dosis toleransi organ [1].

Berdasarkan data dosis maksimum setiap pasien pada Gambar 7, dapat diketahui bahwa sebagian besar pasien memiliki perencanaan radioterapi yang baik karena dosis yang diterima masih sesuai dengan toleransi yang telah ditetapkan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang membahas keunggulan teknik IMRT, terutama pada kemampuan MLC dalam meningkatkan distribusi dosis secara lebih presisi pada OAR. Dengan demikian, jaringan sehat di sekitar target dapat menerima dosis yang lebih minimal. Penelitian oleh Hunt et al. (2001) menunjukkan perbandingan antara berbagai teknik perencanaan, diperoleh rata-rata dosis maksimum pada OAR *spinal cord* menurun dari 49 Gy pada perencanaan radioterapi 2D konvensional, menjadi 44 Gy pada perencanaan radioterapi 3D dan 34,5 Gy dengan teknik IMRT. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan dosis pada OAR ketika menggunakan IMRT jika dibandingkan dengan perencanaan konvensional tanpa MLC.

5. Kesimpulan

Analisis dosis pada *Organ at risk* (OAR) *brainstem* (batang otak), dan *chiasm* (optik kiasma) menunjukkan bahwa seluruh dosis maksimum yang diterima masih berada di bawah batas toleransi yang ditetapkan oleh QUANTEC yaitu <54 Gy dengan dosis maksimum tertinggi pada OAR *brainstem* sebesar 49,469 Gy dan OAR *chiasm* sebesar 39,647 Gy. Untuk dosis serap pada OAR *spinal cord* (sumsum tulang belakang) terdapat 8 dari 10 perencanaan radioterapi telah memenuhi batas ketetapan QUANTEC yaitu <45 Gy. Namun, terdapat pengecualian pada 2 pasien yang melebihi batas standar yaitu sebesar 48,434 Gy dan 45,881 Gy. Penggunaan MLC efektif dalam memodulasi distribusi dosis pada OAR *brainstem*, *chiasm*, dan *spinal cord* dengan membentuk berkas radiasi sesuai dengan bentuk volume target dan meminimalkan paparan radiasi berlebih pada organ sehat di sekitar target didukung oleh teknik IMRT yang digunakan pada perencanaan radioterapi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf di Instalasi Radioterapi RS TK II Pelamonia Makassar yang telah memberikan dukungan, fasilitas, dan izin dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada dosen serta civitas akademik di Program Studi Fisika, FMIPA, UNHAS yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan akademik sehingga penelitian dan penulisan jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga segala bantuan dan kontribusi yang telah diberikan mendapatkan imbalan yang setimpal.

Pustaka

- [1] C. N. Wijaya and A. Muharini, Pengaruh ketebalan MLC (*Multi-leaf collimator*) terhadap distribusi dosis target dan OAR (*Organ at risk*) dengan teknik IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) pada kasus nasofaring, *Radiation Therapy Journal of Medical Physics and Biophysics*, vol. 10, no. 1, 2023.
- [2] J. Ferlay et al., "Global Cancer Observatory: Cancer Today," Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2024. [Online]. Available: <https://gco.iarc.who.int/today>, diakses 09 Januari 2025.

- [3] W. S. Pramesti, F. Yuana, S. Herwiningsih, F. K. Hentihu, dan A. K. Anto, Analisis dosis sebaran *Organ at risk* (OAR) pada perencanaan radioterapi kanker payudara kiri dengan teknik 3D-CRT melalui dose volume histogram (DVH), *Radiation Therapy Journal of Medical Physics and Biophysics*, vol. 10, no. 1, 2023.
- [4] M. Beyzadeoglu, G. Ozyigit, dan C. Ebruli, *Basic Radiation Oncology*, Springer Berlin Heidelberg, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11666-7>.
- [5] R. A. Puspitasari et al., Analisis kualitas berkas radiasi LINAC untuk efektivitas radioterapi, *Jurnal Biosains Pascasarjana*, vol. 22, no. 1, 2020.
- [6] R. Elvira, I. Taufiq, R. Adrial, dan M. Ilyas, Analisis perencanaan radioterapi pasien kanker nasofaring menggunakan teknik Intensity Modulated Radiotherapy, *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 3, 2021, pp. 337–343. [Online]. Available: <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.337-343.2021>.
- [7] D. Syafna, R. Adrial, dan F. Diyona, Perbandingan dosimetri perencanaan radioterapi IMRT menggunakan fasilitas beam angle optimization dan teknik manual pada kasus kanker nasofaring stadium III, *Jurnal Fisika Unand*, vol. 13, no. 1, 2024, pp. 170–176. [Online]. Available: <https://doi.org/10.25077/jfu.13.1.170-176.2024>.
- [8] A. D. Handika et al., Audit dosimetri Treatment Planning System berkas foton pada radioterapi eksternal: A Review, *Artikel Review Journal of Medical Physics and Biophysics*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [9] N. Putu, D. Ganapati, V. Sukarno, dan F. Deantri, Acute side effects and quality of life in head and neck cancer patients who underwent radiotherapy in Bali, Indonesia, *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol. 13, no. 2, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24843/MU.2024.V13.i02.P14>.
- [10] M. M. Fathy, B. Z. Hassan, R. H. El-Gebaly, dan M. H. Mokhtar, Dosimetric evaluation study of IMRT and VMAT techniques for prostate cancer based on different *Multi-leaf collimator* designs, *Radiation and Environmental Biophysics*, vol. 62, no. 1, 2023, pp. 97–106. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00411-022-01011-2>.
- [11] BAPETEN, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Radioterapi, 2013.
- [12] O. Febrietri, D. Milvita, dan F. Diyona, Analisis dosis radiasi paru-paru pasien kanker payudara dengan teknik Three Dimensional Conformal Radiation Therapy (3D-CRT) berdasarkan grafik Dose Volume Histogram (DVH), *Jurnal Fisika Unand*, vol. 9, no. 1, 2020, pp. 110–117. [Online]. Available: <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.110-117.2020>.
- [13] N. E. S. Fodil, M. M. Abdelhakem, G. A. Yahia, dan H. Ammar, Evaluation of Dynamic *Multi-leaf collimator* (MLC) versus Fixed MLC for Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) Using the Agility 160-Leaf Collimator, *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol. 25, no. 7, 2024, pp. 2467–2474. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31557/APJCP.2024.25.7.2467>.
- [14] M. A. Eid, H. S. Mohammed, A. M. Abdelaal, dan S. Taha, Effect of collimator scatter factors on dose calculation of different breast cancer cases in radiotherapy, *International Journal of Radiation Research*, vol. 21, no. 3, 2023, pp. 553-560. [Online]. Available: <https://doi.org/10.52547/ijrr.21.3.27.2023>
- [15] M. R. Fadila, R. Subroto, W. A. Makmur, R. Wirawan, dan D. W. Kurniawidi, Analisis nilai CI dan HI Planning Target Volume (PTV) pada perencanaan radioterapi teknik IMRT untuk treatment kanker nasofaring, *Progressive Physics Journal*, n.d.
- [16] The International Commission on Radiation Units and Measurements, "ICRU Report 83, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)," 2010.