

## Perbandingan Dosimetri Perencanaan Radioterapi IMRT Menggunakan Fasilitas Beam Angle Optimization dan Teknik Manual Pada Kasus Kanker Nasofaring Stadium III

Delvira Syafna<sup>1</sup>, Rico Adrial<sup>1,\*</sup>, Fiqi Diyona<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

<sup>2</sup>Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas, Padang

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 5 Agustus 2023  
Direvisi: 10 September 2023  
Diterima: 18 Oktober 2023

#### Kata kunci:

Beam Angle Optimization  
Dose Volume Histogram  
Intensity Modulated Radiotherapy  
Kanker Nasofaring

#### Keywords:

Beam Angle Optimization  
Dose Volume Histogram  
Intensity Modulated Radiotherapy  
Nasopharyngeal Carcinoma

#### Penulis Korespondensi:

Rico Adrial  
Email: [ricoadrial@sci.unand.ac.id](mailto:ricoadrial@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan perbandingan dosimetri perencanaan *Intensity Modulated Radiotherapy* (IMRT) menggunakan fasilitas *beam angle optimization* (BAO) dan teknik manual pada kanker nasofaring (KNF) stadium III. Penelitian bertujuan untuk menganalisis nilai *Conformity Index* (CI), *Homogeneity Index* (HI), dan dosis *Organ at Risk* (OAR) pada kurva *Dose Volume Histogram* (DVH), serta jumlah *Monitor Unit* (MU). Terdapat empat variasi perencanaan yang diuji, yaitu IMRT 5 lapangan manual (M5), IMRT 5 lapangan otomatis (O5), IMRT 7 lapangan manual (M7), dan IMRT 7 lapangan otomatis (O7). Secara statistik hasil penelitian menunjukkan semua perencanaan pada *Planning Target Volume* 54 (PTV 54), PTV60, dan PTV70 hampir identik, namun perencanaan M5 lebih unggul karena memiliki nilai CI dan HI yang sesuai dengan *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) Report 62, yaitu CI pada PTV54 ( $0,974 \pm 0,02$ ), CI pada PTV60 ( $0,923 \pm 0,03$ ), CI pada PTV70 ( $0,863 \pm 0,06$ ), dan HI pada PTV54 ( $0,154 \pm 0,13$ ), HI pada PTV60 ( $0,232 \pm 0,02$ ), dan HI pada PTV70 ( $0,131 \pm 0,04$ ). Selain itu, perencanaan M5 memenuhi ketentuan *Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic* (QUANTEC) untuk OAR. Jumlah MU yang lebih sedikit pada M5 dapat mengurangi komplikasi jangka panjang dan durasi penyinaran yang lebih singkat. Oleh karena itu, perencanaan M5 dianggap sebagai metode utama untuk kasus KNF stadium III.

*A comparison of Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) planning dosimetry using beam angle optimisation (BAO) facility and manual technique has been conducted on stage III nasopharyngeal cancer (KNF). The study aims to analyze the value of the Conformity Index (CI), Homogeneity Index (HI), and Organ at Risk (OAR) dose on the Dose Volume Histogram (DVH) curve, as well as the number of Monitor Units (MU). There were four planning variations tested, namely manual 5-field IMRT (M5), automatic 5-field IMRT (O5), manual 7-field IMRT (M7), and automatic 7-field IMRT (O7). Statistically, the results showed that all plans at Planning Target Volume 54 (PTV 54), PTV60, and PTV70 were almost identical, but the M5 plan was superior because it had CI and HI values that were following the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report 62, CI at PTV54 ( $0.974 \pm 0.02$ ), CI at PTV60 ( $0.923 \pm 0.03$ ), CI at PTV70 ( $0.863 \pm 0.06$ ), and HI at PTV54 ( $0.154 \pm 0.13$ ), HI at PTV60 ( $0.232 \pm 0.02$ ), and HI at PTV70 ( $0.131 \pm 0.04$ ). In addition, the M5 plan met the Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC) requirements for OAR. Fewer MUs in M5 may result in fewer long-term complications and a shorter duration of irradiation. Therefore, M5 planning is considered as the main method for stage III KNF cases.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Kanker nasofaring (KNF) merupakan suatu penyakit akibat adanya pertumbuhan sel-sel abnormal pada daerah atas tenggorokan dan di belakang dasar hidung. Menurut laporan *Global Burden Cancer* (GLOBOCAN) pada tahun 2020 diketahui bahwa KNF menempati urutan ke-6 sebagai kasus kanker terbanyak di Indonesia. Terdapat 19,943 kasus terbaru KNF yang terdeteksi dengan 13,399 jiwa diantaranya meninggal. Tingginya angka kematian akibat kanker nasofaring membutuhkan perawatan dan pengobatan yang efektif untuk meningkatkan kelangsungan hidup pasien.

Beberapa pengobatan yang dapat dilakukan pada penderita kanker nasofaring yaitu menggunakan pembedahan, kemoterapi, dan radioterapi (Haris Suhartono dkk., 2014). Radioterapi adalah metode pengobatan kanker dengan memanfaatkan radiasi pengion untuk membunuh target, prinsipnya adalah memberikan dosis yang cukup ke volume target dengan tetap meminimalkan dosis pada *Organs at Risk* (OAR) (Koukourakis & Touloupidis, 2006). Metode yang umum digunakan pada radioterapi adalah teleterapi. Teleterapi merupakan terapi radiasi yang sumbernya berasal dari luar tubuh (Susworo, 2017). Salah satu modalitas teleterapi yaitu pesawat terapi *Linear Accelerator* (LINAC). Pesawat LINAC merupakan alat pemercepat elektron secara linear berenergi tinggi yang dapat menghasilkan berkas elektron dan foton. Elektron berenergi tinggi tersebut dapat dimanfaatkan untuk pengobatan kanker pada kedalaman yang dangkal atau dapat mengobati kanker pada kedalaman yang cukup jauh dengan menembakkan elektron pada target sehingga menghasilkan photon (Puspitasari, 2020).

Teknik penyinaran pada LINAC yang efektif dilakukan pada kasus kanker nasofaring adalah *Intensity Modulated Radiotherapy* (IMRT) (Kemenkes, 2019). IMRT menggunakan banyak lapangan radiasi dengan intensitas yang berbeda di setiap arah lapangan penyinaran. Optimasi IMRT merupakan proses yang kompleks dan perlu dilakukan secara berulang untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Hal ini membutuhkan pemilihan energi pancaran, jumlah segmen dan tingkat intensitas yang tepat (Pirzkall dkk., 2002) (Samuelsson & Johansson, 2003).

Perencanaan radioterapi IMRT melibatkan beberapa tahap yang dilakukan menggunakan perangkat lunak khusus yang disebut *Treatment Planning System* (TPS). Perencanaan terapi pada TPS ini dilakukan sebelum penyinaran radiasi diberikan kepada pasien. TPS dilengkapi dengan fasilitas menu *Beam Angle Optimization* (BAO), menu ini dapat menentukan jumlah dan arah sudut gantri dari sebuah *Planning Target Volume* (PTV) secara komputerisasi berdasarkan dosis volume (Toramatsu & Inaniwa, 2016).

Penelitian dengan membandingkan fasilitas BAO dan *Manual Beam Angle Selection* (MBS) pada perencanaan IMRT telah dilakukan oleh Srivastava dkk. (2011). Perencanaan dibuat kepada 15 pasien kepala, leher dan prostat. Perbandingan *Dose Volume Histogram* (DVH) dan parameter *Monitor Unit* (MU) dilakukan pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan kualitas OAR dan MU pada teknik BAO lebih bagus untuk sebagian besar kasus terapi IMRT.

Elvira dkk. (2021) juga telah melakukan penelitian yang sama dengan melakukan perencanaan radioterapi kepada 5 pasien KNF stadium III menggunakan teknik IMRT. Penelitian ini dilakukan dengan 4 variasi perencanaan IMRT yaitu IMRT 5 dan 7 lapangan manual, IMRT 5 dan 7 lapangan BAO. Analisis perbandingan dilakukan menggunakan nilai *Conformity Index* (CI), *Homogeneity Index* (HI) dan dosis pada OAR. Hasil penelitian menunjukkan perencanaan M7 direkomendasikan sebagai perencanaan utama KNF stadium III karena memiliki rata-rata nilai CI dan HI yang lebih tinggi.

Rufaida dkk. (2021) telah menganalisis perbedaan perencanaan radioterapi IMRT pada 9 pasien tumor otak menggunakan perhitungan CI, HI, MU antara teknik otomatis dan teknik manual. Teknik otomatis mendapatkan nilai CI yang lebih baik karena volume PTV menerima dosis relatif besar, dan MU yang didapatkan lebih sedikit. Akan tetapi, nilai HI yang didapatkan lebih baik pada teknik manual karena jangkauan homogenitas untuk volume relatif kecil.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian dengan membandingkan hasil perencanaan terapi radiasi pada 5 pasien kanker nasofaring stadium III menggunakan teknik IMRT. Pemilihan sudut berkas dilakukan secara manual dan otomatis menggunakan fasilitas BAO, dengan masing-masing menggunakan 5 dan 7 sudut lapangan radiasi. Penelitian ini bertujuan untuk memperluas cakupan dan manfaat penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Elvira dkk. (2021)). Sementara penelitian Elvira hanya mempertimbangkan parameter PTV dan OAR, penelitian ini menambahkan

parameter jumlah penggunaan MU, manfaatnya adalah agar rencana radioterapi dapat menggunakan teknik yang sesuai untuk mengoptimalkan perencanaan sehingga memberikan dosis radiasi yang efektif dengan jumlah MU yang sesedikit mungkin. Hasil dari analisis statistik juga akan memberikan gambaran yang lebih kuat mengenai perbedaan antara perencanaan radioterapi manual dan otomatis.

## II. METODE

Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder pasien KNF di Rumah Sakit Universitas Andalas pada rentang bulan September 2022 hingga Maret 2023. Sebanyak 5 citra pasien KNF diambil menggunakan *CT-Simulator* oleh radioterapis yang kemudian citra tersebut dikontur oleh dokter onkologi. Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi *software* TPS *Eclipse* untuk melakukan perencanaan radioterapi dan *software* SPSS untuk melakukan uji statistik.

### 2.1 Perencanaan Radioterapi

Perencanaan radioterapi dimulai dengan memindahkan hasil citra pasien dari *CT-Simulator* ke komputer yang terinstal *software* TPS *eclipse*. Target kanker dan OAR (batang otak, sumsum tulang belakang, lensa, mata, dan mandibula) dikontur oleh dokter onkologi radiasi. Kemudian pada proses perencanaan diatur berkas radiasi, dosis jumlah lapangan, dan optimasi pada PTV dan OAR menggunakan fasilitas *inverse planning*. Besar dosis yang digunakan adalah 200 cGy dengan 35 fraksi. Energi yang digunakan adalah 6X, 400 MU/menit dengan teknik penyinaran IMRT.

Perencanaan dibuat sebanyak 4 variasi yaitu IMRT 5 lapangan manual (M5), IMRT 5 lapangan dengan BAO (O5), IMRT 7 lapangan manual (M7), dan IMRT 7 lapangan dengan BAO (O7). Sudut *gantry* yang diatur untuk IMRT5 dan IMRT7 manual adalah 0°, 72°, 144°, 216°, 288° dan 51°, 102°, 154°, 205°, 256°, 307°, 358°. Sudut *gantry* yang diatur untuk IMRT5 dan IMRT7 otomatis dapat dilihat pada Tabel 1. Proses optimasi dilakukan secara iteratif hingga mencapai nilai yang diinginkan. PTV yang dioptimasi pada perencanaan IMRT kanker nasofaring meliputi PTV70, PTV60 dan PTV54. Hasil penelitian ini diperoleh berupa kurva DVH pada TPS. Kurva DVH meliputi cakupan PTV dan OAR, sedangkan besar MU diperoleh pada data TPS.

**Tabel 1** Sudut *gantry* IMRT5 dan IMRT7 otomatis

Inisial Pasien	Metode	Sudut gantry
SAW	O5	87°, 162°, 198°, 252°, 342°
	O7	15°, 90°, 108°, 144°, 198°, 234°, 270°
SU	O5	36°, 111°, 216°, 288°, 324°
	O7	90°, 111°, 144°, 234°, 252°, 270°, 342°
AT	O5	0°, 90°, 198°, 216°, 324°
	O7	0°, 87°, 126°, 144°, 234°, 252°, 270°
VS	O5	0°, 39°, 90°, 198°, 270°
	O7	18°, 90°, 126°, 180°, 234°, 270°, 324°
SEW	O5	72°, 87°, 180°, 234°, 324°
	O7	15°, 90°, 144°, 198°, 252°, 270°, 342°

### 2.2 Analisis Dosimetri

Analisis dosimetri terdiri dari analisis nilai PTV, dosis pada OAR, dan jumlah MU. Analisis PTV dan OAR didapatkan berdasarkan kurva DVH pada perencanaan radioterapi. Analisis distribusi dosis pada PTV ditinjau dari nilai CI dan HI. CI adalah rasio antara volume target yang menerima dosis yang diinginkan dengan volume total target yang terkena dosis radiasi. Nilai CI memiliki interval dari 0 sampai 1. Nilai ideal dari CI adalah 1, menunjukkan dosis yang diterima PTV 100% dan tidak ada dosis yang mengenai jaringan sehat lain. Nilai CI dari ketentuan ICRU *Report* 62 dan 83 didefinisikan pada Persamaan (1).

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

dengan  $V_{95}$  adalah volume PTV yang menerima 95% dosis preskripsi (cc),  $V_{PTV}$  adalah volume total PTV (cc).

*Homogeneity Index* adalah nilai yang menunjukkan keseragaman dosis yang diterima oleh PTV, nilai HI memiliki interval 0 sampai 1. Nilai ideal dari HI adalah 0 karena mengindikasikan sebaran dosis yang seragam (ICRU, 2010). Nilai HI dalam ICRU *Report* 83 didefinisikan pada Persamaan (2).

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

dengan  $D_{2\%}$  adalah dosis yang mencakup 2% volume PTV (Gy),  $D_{98\%}$  adalah dosis yang mencakup 98% volume PTV (Gy), dan  $D_{50\%}$  adalah dosis yang mencakup 50% volume PTV (Gy).

Analisis dosis OAR pada kurva DVH dibandingkan dengan dosis yang telah ditetapkan oleh QUANTEC, sedangkan analisis jumlah MU didapatkan langsung pada komputer setelah mendapatkan hasil perencanaan yang sudah optimal.

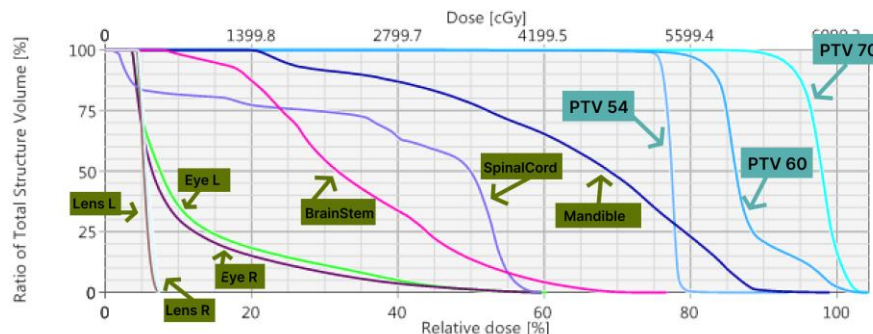
### 2.3 Analisis Statistik

Penggunaan *software* SPSS Versi 23 digunakan untuk melakukan analisis statistik dengan menggunakan teknik *Wilcoxon Match Pairs*. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan fasilitas BAO terhadap perencanaan radioterapi. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan interpretasi bahwa nilai signifikansi  $<0,05$  menunjukkan perbedaan yang signifikan antara teknik optimasi IMRT dengan fasilitas BAO dan teknik IMRT manual.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Analisis Cakupan PTV

Analisis cakupan PTV diperoleh berdasarkan kurva DVH yang dapat dilihat pada Gambar 1.

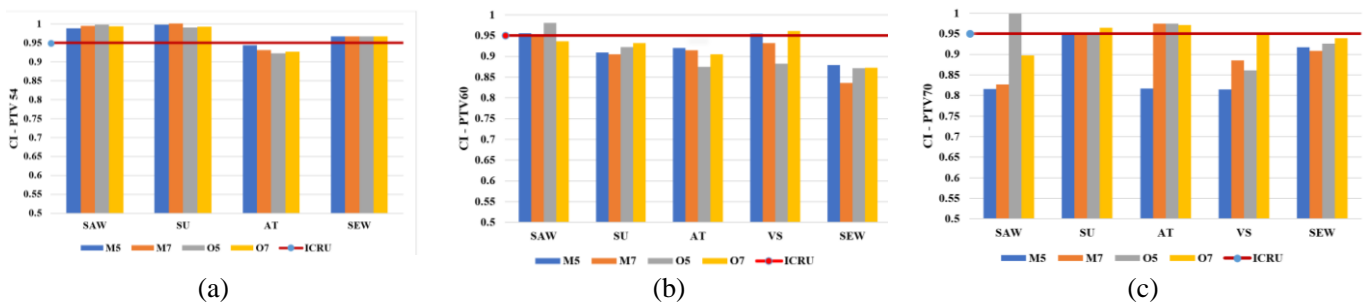


Gambar 1 Kurva DVH Pasien SU M5

Kurva DVH pada Gambar 1 menampilkan nilai dosis radiasi (cGy) yang diterima PTV dan OAR terhadap volume organ (%). Garis PTV54, PTV60, dan PTV70 yang terlihat diperlukan untuk memperoleh nilai dari perhitungan CI dan HI. PTV54 mengisyaratkan dosis yang ditargetkan pada volume tersebut adalah sebanyak 54 Gy. Hal yang sama juga berlaku untuk PTV60 dan PTV70, di mana persentase dosis yang ditargetkan pada masing-masing volume target adalah 60 Gy dan 70 Gy. Garis lainnya pada kurva DVH menunjukkan OAR yang telah dioptimalisasi berdasarkan besar nilai maksimum, yaitu diantaranya Mandibula, batang otak, mata kanan, mata kiri, lensa kanan, lensa kiri, dan sumsum tulang belakang.

#### 3.1.1 Analisis Nilai *Conformity Index* (CI)

Analisis nilai CI dilakukan untuk melihat dosis radiasi preskripsi yang melingkupi seluruh volume target kanker, yaitu dengan membandingkan nilai  $V_{95}$  dengan  $V_{PTV}$  yang didapatkan dari kurva DVH. Berdasarkan hasil perhitungan CI menggunakan Persamaan 1, nilai CI pada masing - masing perencanaan pasien KNF dapat dilihat pada Gmbar 2.



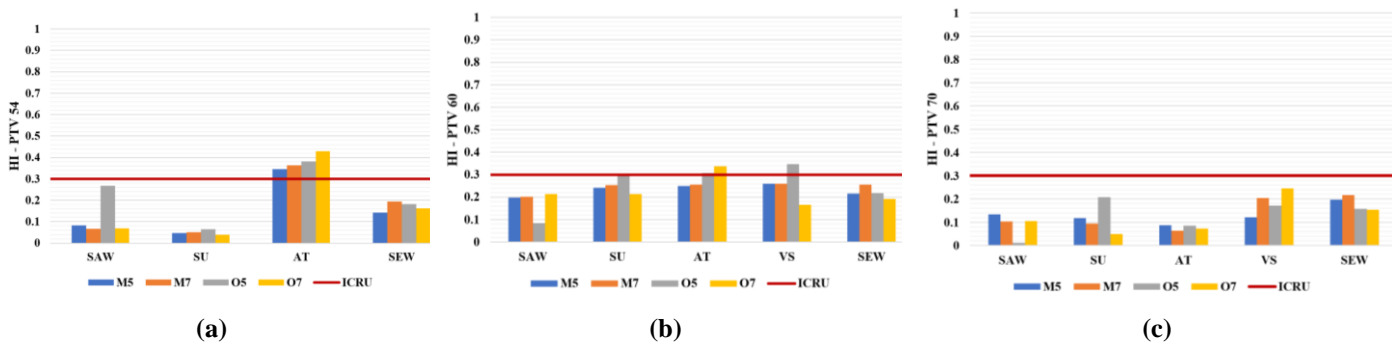
**Gambar 2** Grafik Nilai CI terhadap inisial pasien KNF (a) Pada PTV54 (b) Pada PTV60 (c) Pada PTV70

Gambar 2 menampilkan besar nilai CI terhadap inisial pasien KNF, dimana rata-rata nilai CI pada ketiga cakupan PTV mendekati nilai yang direkomendasikan ICRU yaitu 1. Garis merah pada grafik menyatakan batas ideal minimum CI yang harus dicapai yaitu sebesar 0,95. Namun, masih terdapat beberapa perencanaan yang belum memenuhi rekomendasi tersebut. Hal ini dikarenakan perencanaan difokuskan untuk melindungi OAR agar tidak melebihi dosis yang telah ditetapkan QUANTEC, sehingga mengakibatkan dosis yang diterima oleh PTV menjadi berkurang.

Berdasarkan analisis statistik yang didapatkan dari ketiga cakupan PTV, perencanaan O5 memiliki nilai CI lebih bagus dari perencanaan lainnya.

### 3.1.2 Analisis Nilai *Homogeneity Index* (HI)

Analisis HI ditinjau berdasarkan nilai  $D_{2\%}$ ,  $D_{50\%}$  dan  $D_{98\%}$  yang dilihat dari PTV pada kurva DVH. Berdasarkan hasil perhitungan HI menggunakan Persamaan 2, nilai HI pada masing - masing perencanaan pasien KNF dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Grafik Nilai HI terhadap inisial pasien KNF (a) Pada PTV54 (b) Pada PTV60 (c) Pada PTV70

Gambar 3 menampilkan besar nilai HI terhadap inisial pasien KNF. Rata-rata nilai HI yang didapatkan pada ketiga cakupan PTV mendekati nilai yang direkomendasikan ICRU yaitu 0. Garis merah pada grafik menyatakan batas ideal maksimum nilai HI yang direkomendasikan yaitu sebesar 0,3. Namun, masih terdapat beberapa perencanaan yang belum memenuhi rekomendasi tersebut. Hal ini dikarenakan perencanaan difokuskan untuk melindungi OAR agar tidak melebihi dosis yang telah ditetapkan QUANTEC, sehingga mengakibatkan dosis yang diterima oleh PTV menjadi berkurang.

Berdasarkan analisis statistik yang didapatkan dari ketiga cakupan PTV, perencanaan M5 memiliki nilai HI lebih bagus dari perencanaan lainnya.

### 3.2 Analisis Dosis *Organ at Risk* (OAR)

Berdasarkan analisis statistik dilakukan untuk membandingkan nilai dosis pada setiap OAR, didapatkan rata-rata nilai dosis maksimum dan nilai signifikansi masing-masing OAR pada penelitian ini hampir sama. Besar nilai rata-rata dosis OAR pada masing-masing teknik perencanaan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 1** Rata-rata dosis OAR pada perencanaan M5-O5

No	OAR	Batasan dosis (Gy)	M5	O5	p-value
1	Mandibula	70	68,90±1,27	68,74± 4,85	0,273
2	Lensa Kiri	7	7,22±1,93	7,86±1,91	0,138
3	Lensa Kanan	7	7,17±1,57	7,59±1,56	0,500
4	Batang Otak	54	53,15±0,90	53,67±1,31	0,500
5	Sumsu Tulang Belakang	45	40,10±6,73	40,31±5,32	0,686
6	Mata kiri	54	40,11±8,44	39,35±17,72	0,893
7	Mata Kanan	54	40,26±8,64	32,04±7,11	0,345

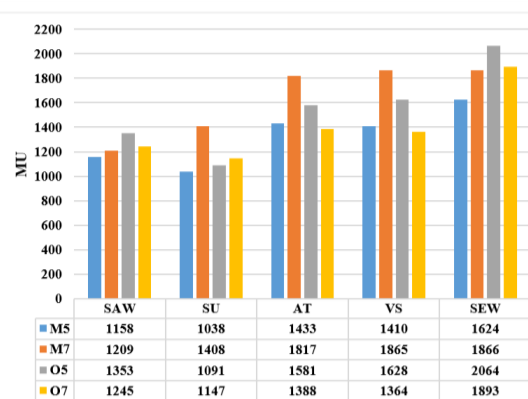
**Tabel 2** Rata-rata dosis OAR pada perencanaan M7-O7

No	OAR	Batasan dosis (Gy)	M7	O7	p-value
1	Mandibula	70	68,81±2,14	69,54±1,33	0,715
2	Lensa Kiri	7	7,56±2,16	7,91±1,90	0,893
3	Lensa Kanan	7	7,90±1,73	7,57±1,02	0,686
4	Batang Otak	54	50,80±5,08	56,70±8,11	0,345
5	Sumsu Tulang Belakang	45	37,71±10,05	46,06±11,95	0,225
6	Mata kiri	54	42,41±11,91	34,56±8,40	0,225
7	Mata Kanan	54	35,37±10,65	37,13±15,69	0,686

Pada Tabel 2 dan 3 memperlihatkan nilai batasan dosis maksimum pada OAR yang diatur oleh QUANTEC, rata-rata nilai±standar deviasi dosis OAR pada perencanaan M5-O5 dan M7-O7 dan signifikansinya. Didapatkan nilai signifikansi untuk semua pengukuran OAR adalah besar dari 0,05 ( $p\text{-value}>0,05$ ), artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada masing-masing perencanaan tersebut. Hasil yang sama juga didapatkan oleh penelitian Elvira (2021). Namun yang membedakan antara penelitian ini adalah, penelitian Elvira meninjau dosis maksimum berdasarkan batasan dosis RTOG 0615, sedangkan penelitian ini meninjau berdasarkan batasan dosis oleh QUANTEC yang memiliki batasan dosis lebih ketat.

### 3.3 Analisis Monitor Unit (MU)

Jumlah penggunaan MU dihasilkan pada setiap sudut lapangan penyinaran di semua perencanaan radioterapi. Besar MU akan mempengaruhi lamanya durasi terapi. Grafik jumlah MU terhadap masing – masing perencanaan pasien KNF dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Grafik jumlah MU terhadap inisial pasien KNF

Gambar 4 menampilkan grafik jumlah penggunaan MU pada masing-masing perencanaan radioterapi pasien KNF. Besar MU sebanding dengan banyaknya lapangan penyinaran yang digunakan. Semakin banyak jumlah lapangan, maka jumlah MU yang dihasilkan juga semakin besar. Demikian juga dengan durasi terapi, besar MU yang dibutuhkan untuk setiap 1 menit terapi adalah 400 MU. Penyinaran dengan menggunakan jumlah MU yang rendah akan lebih baik karena dapat mengurangi durasi waktu paparan kepada pasien. Perbandingan perencanaan berdasarkan analisis statistik

didapatkan perencanaan M5 lebih unggul dengan rata-rata jumlah MU yaitu 1332 MU, dan durasi waktu terapi adalah 3.33 menit.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan M5 direkomendasikan sebagai perencanaan utama untuk kasus KNF Stadium III karena memenuhi standar yang direkomendasikan ICRU. Perencanaan M5 juga memenuhi batasan yang ditetapkan QUANTEC untuk OAR. Ditinjau dari jumlah *Monitor Unit* (MU) yang digunakan, perencanaan M5 lebih sedikit, hal ini dapat mengurangi komplikasi jangka panjang karena durasi penyinarannya yang lebih singkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Elvira, R., Taufiq, I., Adrial, R., & Ilyas, M. (2021). Analisis Perencanaan Radioterapi Pasien Kanker Nasofaring Menggunakan Teknik Intensity Modulated Radiotherapy. *Jurnal Fisika Unand*, 10(3), 337-343. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.337-343.2021>.
- GLOBOCAN Homepage. (2020). *Cancer Today*. <https://gco.iarc.fr/>, diakses Desember 2022.
- ICRU Report 62. (1999). *Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Reports 50)*, The International Commission on Radiation Units and Measurements, USA.
- ICRU Report 83. (2010) *Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)*, The International Commission on Radiation Units and Measurements, USA.
- Kemkes. (2010). *Kanker Nasofaring*, <https://yankes.kemkes.go.id>, diakses pada 15 Maret 2023.
- Koukourakis, M. I., & Touloupidis, S. (2006). External beam radiotherapy for prostate cancer: current position and trends. *Anticancer research*, 26(1B), 485-494.
- Pirzkall, A., Carol, M. P., Pickett, B., Xia, P., Roach III, M., & Verhey, L. J. (2002). The effect of beam energy and number of fields on photon-based IMRT for deep-seated targets. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics*, 53(2), 434-442. [https://doi.org/10.1016/S0360-3016\(02\)02750-5](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(02)02750-5).
- Puspitasari, R. A., Pertiwi, W. I., Sholihah, P. M., Fariqoh, W. H., Kavilani, N., & Astuti, S. D. (2020). Analisis Kualitas Berkas Radiasi LINAC Untuk Efektivitas Radioterapi. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 22(1), 11. <https://doi.org/10.20473/jbp.v22i1.2020.11-19>.
- Rufaida, B. S., Subroto, R., Sutanto, H., & Budi, W. S. (2021). Comparison of Automatic Beam Angle Optimization and Manual using Intensity Modulated Radiation Therapy Planning in Brain Tumors, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, Vol. 29 No. 2, Hal. 454–461.
- Samuelsson, A., & Johansson, K. A. (2003). Intensity modulated radiotherapy treatment planning for dynamic multileaf collimator delivery: influence of different parameters on dose distributions. *Radiotherapy and oncology*, 66(1), 19-28. [https://doi.org/10.1016/S0167-8140\(02\)00264-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8140(02)00264-5).
- Srivastava, S. P., Das, I. J., Kumar, A., & Johnstone, P. A. S. (2011). Dosimetric Comparison of Manual and Beam Angle Optimization of Gantry Angles in IMRT, *Medical Dosimetry*, 36(3), 313–316. <https://doi.org/10.1016/j.meddos.2010.07.001>.
- Suhartono, B. H., Budi, W. S., & Hidayanto, E. (2014). Distribusi Dosis Photon Menggunakan Teknik 3DCRT Dan IMRT Pada Radiasi Whole Pelvic Karsinoma Serviks. *Berkala Fisika*, 17(4), 121-128.
- Susworo, R., dan Kodrat H. (2017). *Dasar Dasar Radioterapi Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker*, Edisi II, UI Press, Jakarta.
- Toramatsu, C. & Inaniwa T. (2016). Beam angle selection incorporation of anatomical heterogeneities for pencil beam scanning charged-particle therapy. *Physics in Medical & Biology*, 61: 8864-8875. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/61/24/8664>.