p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by: Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1 Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 15 Nomor 2 Tahun 2026, hal 364-375

STUDI PERBANDINGAN DISTRIBUSI DOSIS RADIOTERAPI MENGGUNAKAN TEKNIK IMRT DAN VMAT PADA KANKER NASOFARING

[1] Clara Chindy Aulia, [2] Achmad Haries Firmansyah, [3] Fajar Timur

[1] Prodi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, email: 23037010001@student.upnjatim.ac.id

[2] Departemen Radioterapi, Adi Husada Undaan Wetan, Jawa Timur, email: ach_haries@yahoo.co.id

[3]Prodi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, email: timur.ft@upnjatim.ac.id

Abstrak

Perencanaan radioterapi merupakan tahapan penting dalam penatalaksanaan kanker yang bertujuan memastikan distribusi dosis optimal pada target tumor serta meminimalkan paparan terhadap *Organ at Risk* (OAR). Pada kasus kanker nasofaring, pemilihan teknik penyinaran yang tepat diperlukan karena lokasi tumor berdekatan dengan organ vital. Penelitian ini untuk mengevaluasi perencanaan radioterapi menggunakan teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dan *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) pada pasien kanker nasofaring menggunakan pendekatan deskriptif-komparatif terhadap sepuluh data pasien kanker nasofaring dengan TPS Monaco versi 6.1.1.0 dan metode *inverse planning*. Evaluasi target menggunakan V98, V95, dan V107, sedangkan OAR menggunakan *Dmax* dan *Dmean.* Karena pasien yang sama dibandingkan dengan dua teknik, analisis inferensial dilakukan pada data berpasangan menggunakan uji *Shapiro–Wilk, paired t-test*, atau *Wilcoxon signed-rank test* sesuai distribusi selisih pasangan. Hasil Penelitian menunjukkan kedua teknik memberikan cakupan dosis yang optimal pada target volume. Nilai V98 dan V95 pada GTV dan CTV sebagian besar mendekati 100%, sedangkan nilai pada PTV berada dalam batas toleransi klinis yang diterima. Nilai V107 pada PTV70 berada di bawah 10%, sehingga menunjukkan hot spot yang aman secara klinis. Evaluasi terhadap OAR menunjukkan dosis pada brainstem, spinal cord, serta parotid kanan dan kiri berada dalam batas toleransi klinis. Perbandingan menunjukkan perbedaan dosimetri antara IMRT dan VMAT kecil, namun VMAT memberikan dosis lebih rendah pada parotid untuk beberapa kasus. Kesimpulannya, teknik IMRT dan VMAT menghasilkan cakupan dosis target yang serupa. VMAT memberikan *Dmean* parotid kanan yang lebih rendah secara bermakna, sedangkan perbedaan PTV70, *brainstem*, *spinal cord*, dan parotid kiri tidak bermakna secara statistik. Dosis parotid kiri pada pasien tertentu dapat melebihi target klinis sehingga evaluasi OAR perlu mempertimbangkan karakteristik individual pasien.

Kata Kunci: radioterapi, IMRT, VMAT, kanker nasofaring, distribusi dosis, *Organ at Risk* (OAR).

Abstract

Radiotherapy planning is an important stage in cancer management that aims to ensure optimal dose distribution to the tumor target while minimizing exposure to Organs at Risk (OAR). In nasopharyngeal cancer cases, selecting an appropriate irradiation technique is necessary because the tumor location is close to vital organs. This study aims to evaluate radiotherapy planning using Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) and Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) techniques in nasopharyngeal cancer patients used a descriptive-comparative approach on ten nasopharyngeal cancer patient datasets using the Monaco TPS version 6.1.1.0 and the inverse planning method. Target evaluation used V98, V95, and V107, while OAR evaluation used Dmax and Dmean. Since the same patients were compared using both techniques, inferential analysis was performed on paired data using the Shapiro–Wilk test, paired t-test, or Wilcoxon signed-rank test according to the distribution of the paired differences. The results show that both techniques provide optimal dose coverage to the target volume. The V98 and V95 values for GTV and CTV are mostly close to 100%, while the values for PTV fall within an acceptable clinical tolerance range. The V107 value for PTV70 is below 10%, indicating that the resulting hot spots are clinically safe. Evaluation of the OAR shows that doses to the brainstem, spinal cord, and both right and left parotid glands fall within clinical tolerance limits. The comparison shows that dosimetric differences between IMRT and VMAT are small, though VMAT tends to provide lower doses to the parotid in some cases. In conclusion, the IMRT and VMAT techniques produce relatively similar target dose coverage. VMAT provides a significantly lower right parotid Dmean, while differences in PTV70, brainstem, spinal cord, and left parotid are not statistically significant. Left parotid dose in certain patients may exceed the clinical target, so OAR evaluation still needs to take individual patient characteristics into account.

Keywords: radiotherapy, IMRT, VMAT, nasopharyngeal cancer, dose distribution, Organ at Risk (OAR).

p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

I. PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan salah satu modalitas utama dalam pengobatan kanker, khususnya pada kanker kepala dan leher seperti kanker nasofaring (*Nasopharyngeal Carcinoma*). Karakteristik anatomis nasofaring yang sulit dijangkau melalui tindakan pembedahan serta sifat radiosensitive dari tumor menjadikan radioterapi sebagai terapi utama pada kasus ini. Dalam pelaksanaannya, radioterapi bertujuan untuk memberikan dosis radiasi yang optimal pada target tumor sekaligus meminimalkan paparan terhadap jaringan sehat di sekitarnya, seperti brainstem, spinal cord, dan parotid. Oleh karena itu, diperlukan teknik penyinaran yang presisi agar distribusi dosis radiasi dapat dikontrol secara optimal, sehingga efektivitas terapi meningkat tanpa meningkatkan risiko efek samping (Rawal et al., 2024).

Perencanaan radioterapi pada kanker nasofaring umumnya mengacu pada pedoman *Radiation Therapy Oncology Group* (RTOG) 1615, yang merupakan salah satu protocol penting untuk kanker nasofaring. Pada protocol tersebut, target volume dibagi menjadi *Gross Tumor Volume* (GTV), *Clinical Target Volume* (CTV), dan *Planning Target Volume* (PTV). GTV merupakan massa tumor primer dan kelenjar getah bening yang teridentifikasi secara klinis maupun radiologis dan diberikan dosis *definitive* sebesar 70 Gy dalam 33 fraksi. CTV mencakup area yang berisiko mengandung penyebaran mikroskopik dan umumnya diberikan dosis 59,4-63 Gy, sedangkan PTV dibentuk dari ekspansi margin terhadap GTV atau CTV untung mengakomodasi ketidakpastian setup pasien, dengan syarat minimal 95% volume PTV harus menerima 95% dosis resep serta *hot spot* tetap terkendali di dalam area target " ≥ ". Selain cakupan target, keberhasilan perencanaan radioterapi juga ditentukan oleh pemenuhan batas dosis pada *Organ at Risk* (OAR). Dalam penelitian ini digunakan kriteria Dmax brainstem <54 Gy dan Dmax spinal cord <45 Gy, sedangkan Dmean parotid diupayakan <26 Gy pada minimal satu parotid.

Perkembangan teknologi radioterapi telah menghasilkan berbagai teknik penyinaran modern yang mampu meningkatkan kualitas distribusi dosis radiasi. Salah satu teknik yang digunakan adalah *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT), yang memungkinkan modulasi intensitas berkas radiasi sehingga dosis tinggi dapat difokuskan pada target tumor dengan tetap menekan dosis pada jaringan sehat di sekitarnya. teknik IMRT telah menjadi standar dalam penatalaksanaan kanker nasofaring karena terbukti mampu meningkatkan kontrol tumor serta menurunkan risiko efek samping pada organ normal (Taslima, 2025).

Selain IMRT, teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) dikembangkan sebagai inovasi lanjutan dalam radioterapi modern. VMAT memungkinkan pemberian dosis radiasi secara dinamis melalui pergerakan gantry dan *multileaf collimator* (MLC) dalam satu atau beberapa lintasan penyinaran. Keunggulan utama teknik ini adalah efisiensi waktu penyinaran yang lebih singkat dibandingkan IMRT, tanpa mengorbankan kualitas distribusi dosis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa VMAT mampu menghasilkan distribusi dosis yang setara bahkan lebih baik dibandingkan IMRT pada kasus tertentu (Rawal et al., 2024). Meskipun demikian, kedua teknik tersebut memiliki karakteristik dosimetri yang berbeda, terutama dalam hal distribusi dosis pada target, proteksi terhadap *Organ at Risk* (OAR), serta efisiensi proses terapi. Perbedaan ini juga tercermin pada parameter evaluasi dosimetri seperti *Conformity Index* (CI) dan *Homogeneity Index* (HI), yang berpengaruh terhadap kualitas distribusi dosis dan tingkat paparan radiasi pada jaringan sehat (Rawal et al., 2024). Perbedaan antara IMRT dan VMAT telah banyak diteliti, termasuk dalam aspek kualitas rencana dan parameter klinis pada pasien kanker nasofaring (Chen et al., 2018). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan kajian lebih lanjut untuk membandingkan kualitas perencanaan radioterapi menggunakan teknik IMRT dan VMAT, khususnya pada kasus kanker nasofaring. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi dosis radiasi yang dihasilkan oleh kedua teknik menggunakan *Treatment Planning System* (TPS). Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter *Dose Volume Histogram* (DVH), meliputi dosis rata-rata, dosis maksimum, serta cakupan *Planning Target Volume* (PTV).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai karakteristik distribusi dosis pada teknik IMRT dan VMAT, serta menjadi dasar dalam evaluasi dan pengambilan

keputusan klinis pada perencanaan radioterapi kanker nasofaring. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian fisika medis, khususnya dalam bidang perencanaan radioterapi.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-komparatif yang bertujuan membandingkan kualitas distribusi dosis antara teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dan *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) pada kasus kanker nasofaring. Penelitian dilakukan melalui analisis data perencanaan radioterapi menggunakan *Treatment Planning System* (TPS).

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

- Variabel bebas adalah teknik radioterapi yang digunakan, yaitu IMRT dan VMAT.
- Variabel terikat berupa parameter V98, V95, dan V107 digunakan untuk mengevaluasi kualitas distribusi dosis radiasi terhadap volume target (GTV70, CTV70, PTV70, PTV60/66, PTV50/54) yang menerima masing-masing 98%, 95%, dan 107% dari dosis resep berdasarkan analisis *Dose Volume Histogram* (DVH); dosis pada *Organ at Risk* (OAR) seperti brainstem, spinal cord, dan parotid (kanan dan kiri) yang dievaluasi berdasarkan dosis maksimum (Dmax) dan dosis rata-rata (Dmean).
- Variabel kontrol meliputi karakteristik penelitian, yaitu jumlah pasien sebanyak 10 kasus kanker nasofaring, penggunaan perangkat LINAC Elekta Synergy S, serta perangkat lunak TPS Monaco versi 6.1.1.0.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil simulasi CT-scan dan perencanaan radioterapi pasien kanker nasofaring di Unit Radioterapi Adi Husada Cancer Center. Proses pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan dokumentasi hasil perencanaan radioterapi menggunakan TPS Monaco versi 6.1.1.0. Setiap pasien dilakukan perencanaan terapi menggunakan dua teknik, yaitu IMRT dan VMAT. Data distribusi dosis kemudian diekstraksi dalam bentuk *Dose Volume Histogram* (DVH), yang digunakan untuk mengevaluasi cakupan dosis pada target volume serta paparan dosis pada organ sehat di sekitarnya.

D. Teknik Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari TPS diolah dengan cara mengekstraksi parameter dosimetri dari kurva DVH, meliputi nilai V98, V95, dan V107 pada target volume serta nilai Dmax dan Dmean pada OAR. Data tersebut kemudian disusun dalam bentuk tabel untuk masing-masing teknik IMRT dan VMAT. Selanjutnya, dilakukan analisis komparatif untuk membandingkan kedua teknik berdasarkan:

1. Cakupan dosis pada target volume
2. Tingkat homogenitas distribusi dosis
3. Kemampuan proteksi terhadap *Organ at Risk* (OAR)

Hasil perbandingan digunakan untuk mengevaluasi teknik yang lebih optimal dalam memberikan dosis radiasi pada target tumor sekaligus meminimalkan paparan pada jaringan sehat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Perencanaan radioterapi menggunakan teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dan *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) pada kasus kanker nasofaring dengan bantuan *Treatment Planning System* (TPS) Monaco versi 6.1.1.0. Pada teknik IMRT, perencanaan dilakukan melalui pendekatan *inverse planning* untuk menghasilkan distribusi dosis optimal pada target volume dengan meminimalkan paparan terhadap *Organ at Risk* (OAR). Tahapan utama meliputi pembuatan plan, penggunaan template klinis, pengaturan beam (umumnya 7 field), penentuan isocenter, penetapan preskripsi dosis, serta pengaturan

constraint dan cost function. Optimasi dilakukan menggunakan algoritma Monte Carlo dengan energi foton 6 MV, diikuti proses kalkulasi dan evaluasi menggunakan Dose Volume Histogram (DVH) serta parameter dosimetri seperti D98%, D95%.

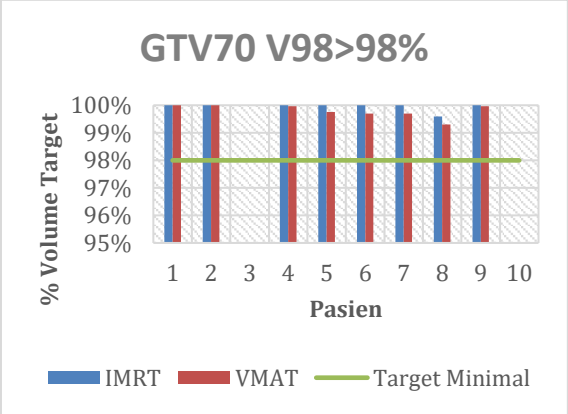
Sementara itu pada teknik VMAT, perencanaan menggunakan rotasi gantry secara kontinu sehingga modulasi dosis dan pergerakan MLC berlangsung selama penyinaran. Parameter seperti jumlah arc, *control points*, dan *dose rate* ditentukan dalam proses optimasi. Pada penelitian ini, perbandingan teknik difokuskan pada parameter dosimetrik yang diperoleh dari DVH. Parameter *treatment time*, *beam-on time*, *monitor unit*, dan efisiensi delivery tidak dianalisis karena tidak tersedia sebagai data penelitian.

Tabel 1. Capaian Distribusi pada Target Volume

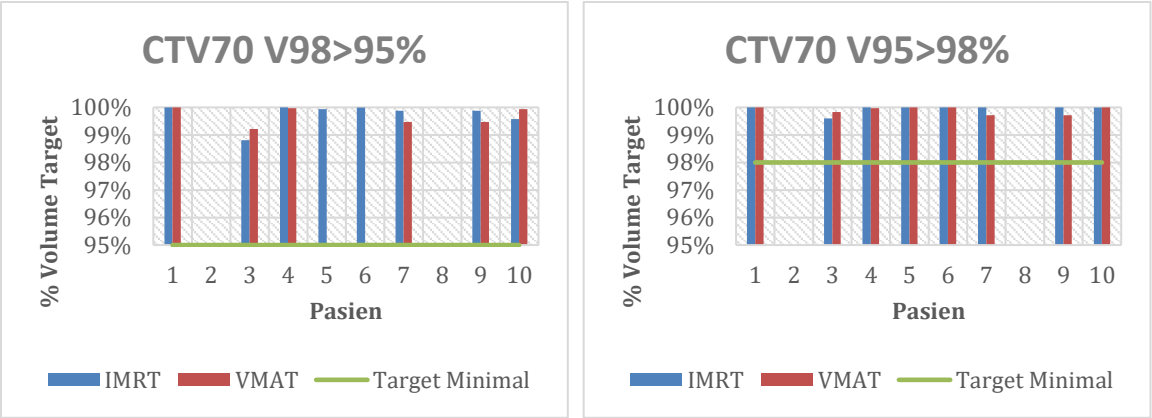
No.	Pasien	Parameter	IMRT				VMAT			
			V98 (98%)	V98 (95%)	V95 (98%)	V107 (10%)	V98 (98%)	V98 (95%)	V95 (98%)	V107 (10%)
1.	1	GTV70	100%	NA	NA	NA	100%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	100%	100%	NA	NA	100%	100%	NA
		PTV70	NA	98,32%	99,99%	1,98%	NA	99,44%	100%	6,10%
		PTV60	NA	95,01%	98,23%	NA	NA	96,33%	98,01%	NA
		PTV50	NA	98,84%	99,69%	NA	NA	98,08%	99,38%	NA
2.	2	GTV70	100%	NA	NA	NA	100%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		PTV70	NA	97,17%	99,54%	2,36%	NA	98,09%	99,65%	0,65%
		PTV60	NA	94,63%	97,55%	NA	NA	96,63%	98,01%	NA
		PTV54	NA	99,68%	99,79%	NA	NA	99,71%	99,89%	NA
3.	3	GTV70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		CTV70	NA	98,81%	99,60%	NA	NA	99,22%	99,83%	NA
		PTV70	NA	95,42%	98,76%	2,27%	NA	96,50%	99,08%	0,85%
		PTV60	NA	98,34%	99,17%	NA	NA	98,43%	99,09%	NA
		PTV50	NA	99,60%	99,96%	NA	NA	100%	100%	NA
4.	4	GTV70	100%	NA	NA	NA	99,96%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	100%	100%	NA	NA	99,97%	100%	NA
		PTV70	NA	99,79%	100%	8,10%	NA	99,40%	100%	0,24%
		PTV66	NA	96,19%	98,01%	NA	NA	95,11%	98%	NA
		PTV54	NA	98,57%	99,51%	NA	NA	99,12%	99,78%	NA
5.	5	GTV70	100%	NA	NA	NA	99,76%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	99,94%	100%	NA	NA	99,85%	100%	NA
		PTV70	NA	95,01%	99,48%	1,88%	NA	98,80%	99,83%	0,06%
		PTV60	NA	98,40%	99,43%	NA	NA	96,26%	98,47%	NA
		PTV54	NA	99,58%	99,98%	NA	NA	99,45%	99,89%	NA
6.	6	GTV70	100%	NA	NA	NA	99,7%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	99,99%	100%	NA	NA	99,84%	100%	NA
		PTV70	NA	95%	99,49%	1,78%	NA	97,57%	99,89%	1,59%
		PTV60	NA	99,73%	99,61%	NA	NA	98,16%	99,40%	NA
		PTV50	NA	98,82%	99,86%	NA	NA	98,36%	99,81%	NA
7.	7	GTV70	100%	NA	NA	NA	99,97%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	99,88%	100%	NA	NA	99,47%	99,71%	NA
		PTV70	NA	96,99%	99,24%	0,83%	NA	96,80%	98,23%	1,53%
		PTV60	NA	98,31%	99,53%	NA	NA	97,36%	98,79%	NA
		PTV54	NA	99,92%	100%	NA	NA	97,93%	99,60%	NA

8.	8	GTV70	99,59%	NA	NA	NA	99,30%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		PTV70	NA	96,81%	99,01%	0,28%	NA	95,88%	98,18%	1,44%
		PTV60	NA	97,07%	98,22%	NA	NA	97,18%	98,32%	NA
		PTV50	NA	97,38%	98,59%	NA	NA	96,82%	98,21%	NA
9.	9	GTV70	100%	NA	NA	NA	99,97%	NA	NA	NA
		CTV70	NA	99,88%	100%	NA	NA	99,47%	99,71%	NA
		PTV70	NA	96,99%	99,24%	0,83%	NA	96,80%	98,23%	1,53%
		PTV60	NA	98,31%	99,53%	NA	NA	97,36%	98,79%	NA
		PTV54	NA	99,92%	100%	NA	NA	97,93%	99,59%	NA
10.	10	GTV70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		CTV70	NA	99,58%	99,99%	NA	NA	99,94%	100%	NA
		PTV70	NA	95,01%	98,63%	0,02%	NA	95,01%	98,64%	0,62%
		PTV60	NA	99,24%	99,67%	NA	NA	98,51%	99,15%	NA
		PTV54	NA	99,37%	99,84%	NA	NA	99,27%	99,80%	NA

Keterangan: NA menunjukkan data tidak tersedia karena struktur target tidak dipisahkan atau tidak tercantum dalam konturing klinis.

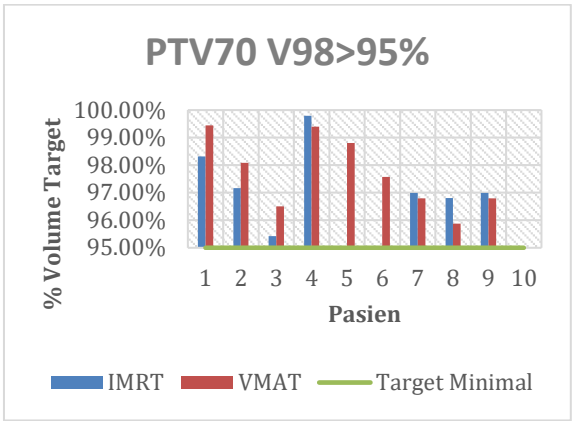


Gambar 1. Grafik perbandingan parameter V98 pada GTV70 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 98% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien.

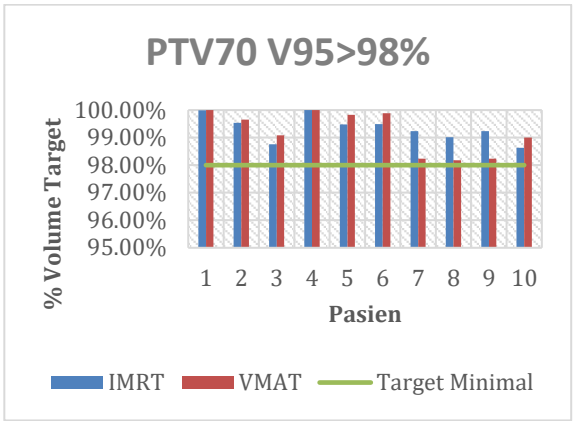


(a) (b)

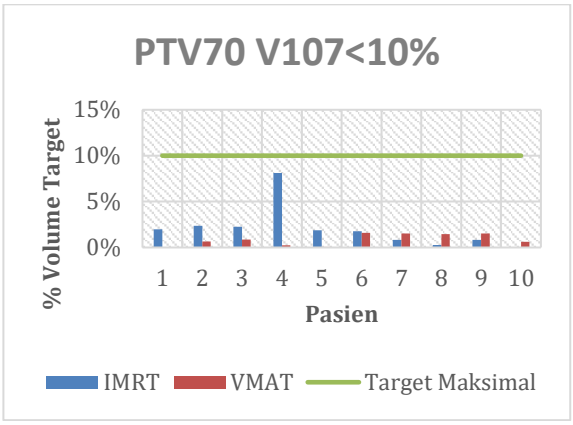
Gambar 2. (a) Grafik perbandingan parameter V98 pada CTV70 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 95% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien, (b) Grafik perbandingan parameter V95 pada CTV70 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 98% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien



(a)

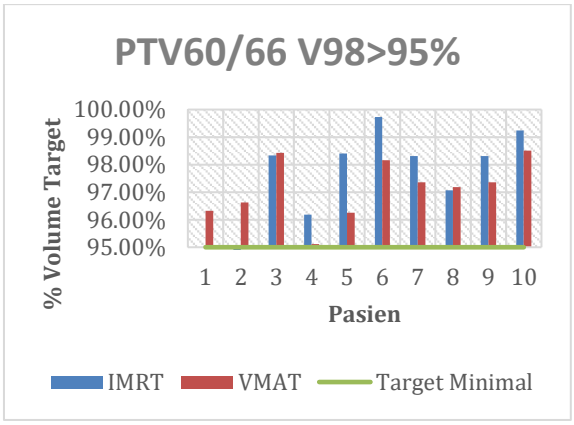


(b)

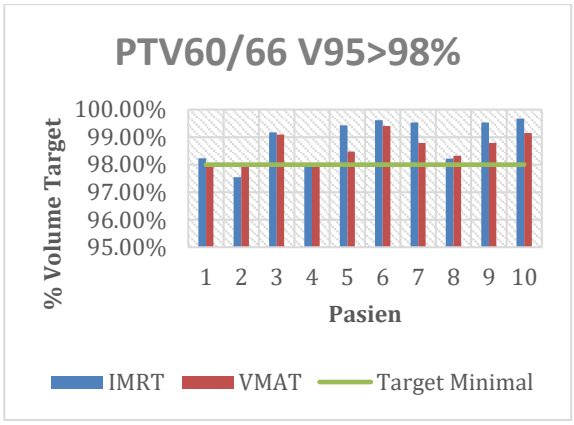


(c)

Gambar 3. (a) Grafik perbandingan parameter V98 pada PTV70 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 95% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien, (b) Grafik perbandingan parameter V95 pada PTV70 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 98% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien, (c) Grafik perbandingan parameter V107 pada PTV70 yang menunjuukkan persentase volume target yang menerima <10% dosis sebagai indikator keberadaan hot spot antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien.

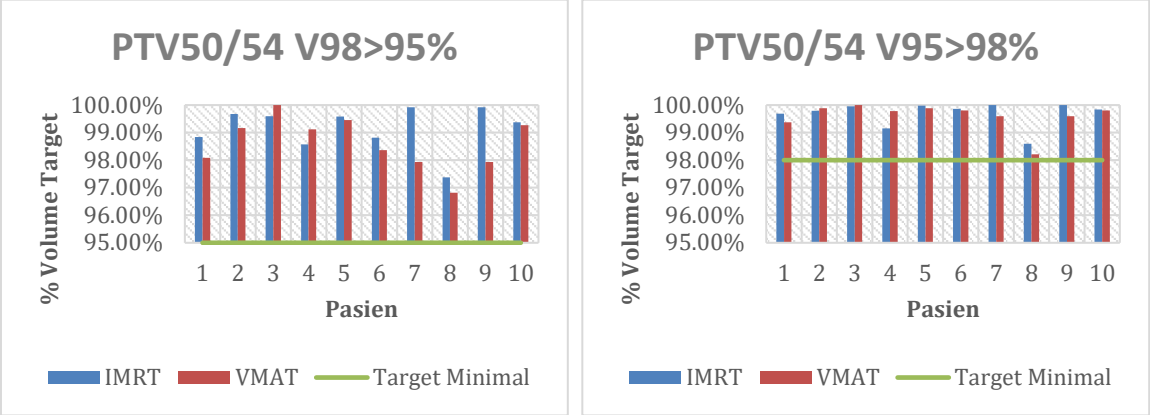


(a)



(b)

Gambar 4. (a) Grafik perbandingan parameter V98 pada PTV60/66yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 95% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien, (b) Grafik perbandingan parameter V95 pada PTV60/66 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 98% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien.



(a) (b)

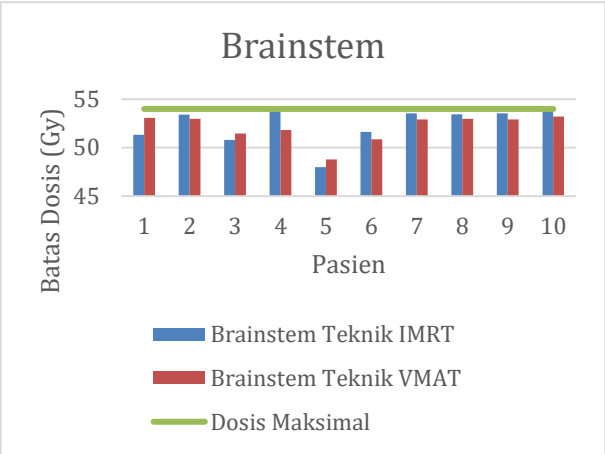
Gambar 5. Grafik perbandingan parameter V98 pada PTV50/54 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 95% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien, (b) Grafik perbandingan parameter V95 pada PTV50/54 yang menunjukkan persentase volume target yang menerima minimal 98% dosis antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien.

Tabel 2. Capaian Parameter Dosis pada *Organ at Risk* (OAR)

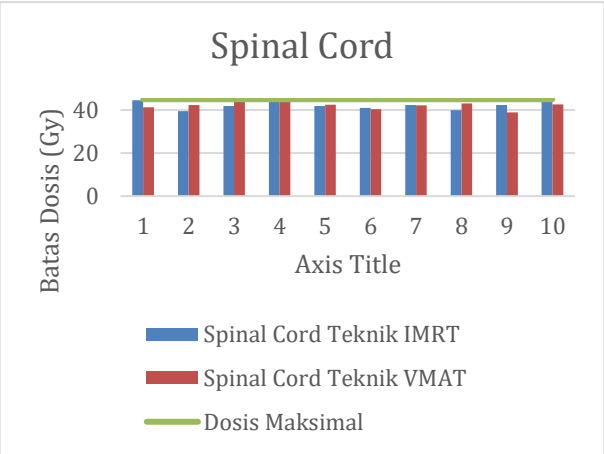
No.	Pasien	Parameter	IMRT		VMAT	
			Dmax	Dmean	Dmax	Dmean
1.	1	Brainstem	51,33 Gy	NA	53,09 Gy	NA
		Spinal cord	44,57 Gy	NA	41,2 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	24,62 Gy	NA	25,40 Gy
		Parotid kiri	NA	25,76 Gy	NA	29,10 Gy
2.	2	Brainstem	53,4 Gy	NA	52,97 Gy	NA
		Spinal cord	39,53 Gy	NA	42,35 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	26,5 Gy	NA	24,30 Gy
		Parotid kiri	NA	23,8 Gy	NA	26,04 Gy
3.	3	Brainstem	50,81 Gy	NA	51,46 Gy	NA
		Spinal cord	41,85 Gy	NA	44,12 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	25,98 Gy	NA	24,51 Gy
		Parotid kiri	NA	53,37 Gy	NA	52,73 Gy
4.	4	Brainstem	53,8 Gy	NA	51,84 Gy	NA
		Spinal cord	44,65 Gy	NA	43,8 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	26,54 Gy	NA	22,53 Gy
		Parotid kiri	NA	27,3 Gy	NA	18,41 Gy
5.	5	Brainstem	48,0 Gy	NA	48,77 Gy	NA
		Spinal cord	41,84 Gy	NA	42,42 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	26,54 Gy	NA	22,53 Gy
		Parotid kiri	NA	27,75 Gy	NA	30,47 Gy
6.	6	Brainstem	51,64 Gy	NA	50,86 Gy	NA
		Spinal cord	40,98 Gy	NA	40,34 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	30,79 Gy	NA	28 Gy
		Parotid kiri	NA	33,03 Gy	NA	25,41 Gy
7.	7	Brainstem	53,53 Gy	NA	52,91 Gy	NA
		Spinal cord	42,27 Gy	NA	42,11 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	28,87 Gy	NA	24,78 Gy
		Parotid kiri	NA	27,71 Gy	NA	26,20 Gy

8.	8	Brainstem	53,44 Gy	NA	52,98 Gy	NA
		Spinal cord	39,88 Gy	NA	43,12 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	30,93 Gy	NA	29,99 Gy
		Parotid kiri	NA	29,48 Gy	NA	29,98 Gy
9.	9	Brainstem	53,53 Gy	NA	52,91 Gy	NA
		Spinal cord	42,27 Gy	NA	38,9 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	28,87 Gy	NA	24,78 Gy
		Parotid kiri	NA	27,71 Gy	NA	26,20 Gy
10.	10	Brainstem	53,92 Gy	NA	53,22 Gy	NA
		Spinal cord	44,23 Gy	NA	42,6 Gy	NA
		Parotid kanan	NA	27,4 Gy	NA	25,15 Gy
		Parotid kiri	NA	31,0 Gy	NA	29,13 Gy

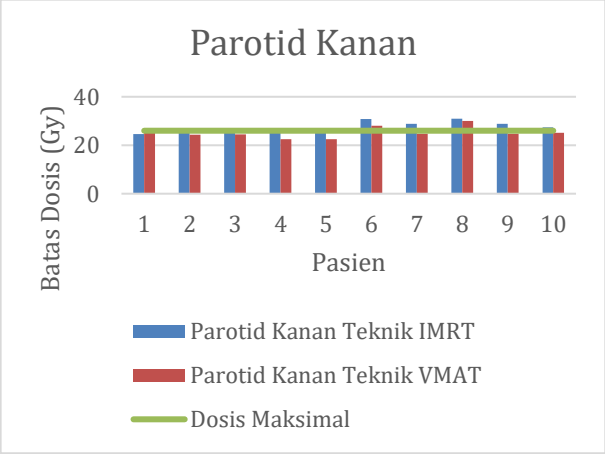
Keterangan: NA menunjukkan parameter tidak tersedia karena struktur tersebut tidak memiliki target dosis yang sesuai.



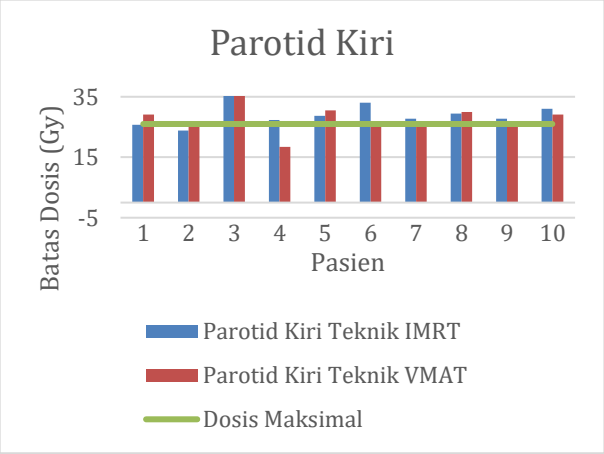
Gambar 6. Grafik Perbandingan Organ Sehat Brainstem antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien



Gambar 7. Grafik Perbandingan Organ Sehat Spinal Cord antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien



Gambar 8. Grafik Perbandingan Organ Sehat Parotid Kanan antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien



Gambar 9. Grafik Perbandingan Organ Sehat Parotid Kiri antara teknik IMRT dan VMAT pada 10 pasien

B. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 1, teknik IMRT dan VMAT menunjukkan cakupan dosis yang tinggi pada target volume. Pada PTV70, nilai rata-rata V98 adalah 96,65 ± 1,59% pada teknik IMRT dan 97,43 ± 1,50% pada teknik VMAT. Sementara itu, rata-rata V95 masing-masing sebesar 99,34 ± 0,46% dan 99,17 ± 0,79%. Untuk V107, rata-rata pada teknik IMRT sebesar 2,03 ± 2,29%, sedangkan pada VMAT sebesar 1,46 ± 1,72%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua teknik mampu memberikan cakupan dosis yang baik pada PTV70 dengan volume yang menerima dosis tinggi relatif rendah.

Berdasarkan analisis statistik berpasangan, perbedaan V98 PTV70 antara IMRT dan VMAT tidak bermakna secara statistik (p=0,127). Demikian pula, V95 tidak menunjukkan perbedaan bermakna (p=0,887), sedangkan V107 juga tidak menunjukkan perbedaan bermakna (p=0,574). Dengan demikian, meskipun secara deskriptif VMAT menghasilkan nilai rata-rata V98 yang sedikit lebih tinggi dan V107 yang sedikit lebih rendah dibandingkan IMRT, perbedaan tersebut belum cukup untuk menunjukkan keunggulan salah satu teknik secara statistik. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya pada pasien kanker nasofaring yang membandingkan IMRT dan VMAT. Studi komparatif menunjukkan bahwa kedua teknik dapat menghasilkan cakupan target yang serupa, terutama pada parameter D98 dan D95, sementara perbedaan pada parameter dosis tinggi dapat muncul pada kondisi perencanaan tertentu. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bahwa baik IMRT maupun VMAT mampu menghasilkan cakupan dosis PTV70 yang relatif sebanding.

Pada PTV60/66, rata-rata V98 yang diperoleh adalah 97,53 ± 1,74% pada IMRT dan 97,13 ± 1,08% pada VMAT. Rata-rata V95 masing-masing sebesar 98,89 ± 0,80% dan 98,60 ± 0,52%. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perbedaan V98 PTV60 tidak bermakna (p=0,356), sedangkan perbedaan V95 juga tidak bermakna (p=0,066). Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua teknik memberikan cakupan yang relatif serupa pada target dengan dosis 60 Gy. Pada PTV54/50, rata-rata V98 adalah 99,17 ± 0,79% pada IMRT dan 98,74 ± 1,01% pada VMAT, sedangkan rata-rata V95 masing-masing sebesar 99,72 ± 0,42% dan 99,60 ± 0,52%. Perbedaan V98 (p=0,172) dan V95 (p=0,148) tidak menunjukkan signifikansi statistik. Dengan demikian, tidak terdapat bukti statistik bahwa teknik IMRT atau VMAT memberikan cakupan yang lebih baik pada PTV54/50 pada dataset penelitian ini.

Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perbedaan antara IMRT dan VMAT pada cakupan target cenderung kecil. Hal tersebut dapat terjadi karena menggunakan pendekatan *inverse planning* yang memungkinkan optimasi distribusi dosis berdasarkan target volume dan batasan *organ at risk*. Pada penelitian kanker nasofaring, kedua teknik juga dilaporkan mampu memenuhi persyaratan cakupan dosis target, meskipun karakteristik distribusi dosis pada masing-masing teknik dapat berbeda.

Berdasarkan Tabel 2, evaluasi *organ at risk* (OAR) dilakukan terhadap brainstem, spinal cord, parotid kanan, dan parotid kiri. Brainstem dan spinal cord dievaluasi berdasarkan Dmax, sedangkan kelenjar parotid dievaluasi berdasarkan Dmean. Parameter tersebut digunakan untuk melihat kemampuan masing-masing teknik dalam mempertahankan dosis pada organ kritis selama proses optimasi rencana radioterapi.

Pada brainstem, rata-rata Dmax yang diperoleh sebesar 52,34 ± 1,90 Gy pada teknik IMRT dan 52,10 ± 1,42 Gy pada teknik VMAT. Perbedaan rata-rata sebesar 0,24 Gy tersebut tidak bermakna secara statistik (p=0,484). Nilai maksimum yang diperoleh pada IMRT adalah 53,92 Gy, sedangkan pada VMAT sebesar 53,22 Gy. Dengan batas Dmax 54 Gy yang digunakan dalam penelitian, nilai tersebut masih berada di bawah batas yang ditetapkan. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua teknik memberikan perlindungan brainstem yang relatif sebanding. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang membandingkan VMAT dan IMRT pada kanker nasofaring. Penelitian komparatif menunjukkan bahwa dosis brainstem dapat berbeda antar teknik, tetapi perbedaannya bergantung pada karakteristik perencanaan dan tujuan optimasi. Pada beberapa penelitian, VMAT bahkan menunjukkan penurunan Dmax brainstem dibandingkan IMRT, sedangkan penelitian lain mendapatkan perbedaan yang kecil. Oleh karena itu, hasil penelitian ini yang menunjukkan tidak adanya perbedaan bermakna masih dapat dipahami sebagai karakteristik spesifik dari dataset dan proses optimasi yang digunakan.

Pada spinal cord, rata-rata Dmax adalah 42,21 ± 1,83 Gy untuk IMRT dan 42,10 ± 1,58 Gy untuk VMAT. Hasil uji statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan bermakna antara kedua teknik (p=0,885). Nilai Dmax tertinggi pada IMRT adalah 44,65 Gy, sedangkan pada VMAT adalah 44,12 Gy. Kedua nilai tersebut masih berada di bawah batas 45 Gy yang digunakan sebagai kriteria evaluasi spinal cord dalam penelitian ini. Dengan demikian, kedua teknik menunjukkan kemampuan yang relatif sama dalam mempertahankan dosis spinal cord.

Pada parotid kanan, rata-rata Dmean pada teknik IMRT adalah 27,51 ± 2,29 Gy, sedangkan pada teknik VMAT sebesar 25,20 ± 2,28 Gy. Hasil uji paired t-test menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna secara statistik antara kedua teknik (p=0,001). Dengan demikian, pada dataset penelitian ini, VMAT memberikan Dmean parotid kanan yang lebih rendah dibandingkan IMRT dengan selisih rata-rata sekitar 2,31 Gy. Temuan ini menunjukkan adanya keuntungan VMAT dalam menurunkan dosis rata-rata pada parotid kanan pada kondisi perencanaan yang digunakan dalam penelitian.

Berbeda dengan parotid kanan, parotid kiri menunjukkan rata-rata Dmean sebesar 30,79 ± 8,34 Gy pada IMRT dan 29,37 ± 8,91 Gy pada VMAT. Meskipun secara deskriptif rata-rata Dmean pada VMAT lebih rendah sebesar 1,42 Gy, perbedaan tersebut tidak bermakna secara statistik (p=0,290). Nilai simpangan baku yang relatif besar menunjukkan adanya variasi dosis yang cukup tinggi antar pasien. Variasi tersebut terlihat jelas pada pasien ke-3. Dmean parotid kiri pada pasien tersebut adalah 53,37 Gy untuk IMRT dan 52,73 Gy untuk VMAT. Nilai tersebut memang melebihi target klinis 26 Gy yang digunakan dalam penelitian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan sparing parotid tidak hanya ditentukan oleh teknik radioterapi, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh posisi dan kedekatan kelenjar parotid terhadap target serta karakteristik anatomi individual pasien.

Temuan pada parotid kiri juga menjelaskan mengapa interpretasi berdasarkan nilai rata-rata harus dilakukan secara hati-hati. Meskipun VMAT memiliki rata-rata Dmean yang lebih rendah dibandingkan IMRT, tidak ditemukan perbedaan yang bermakna secara statistik. Oleh karena itu, penelitian ini tidak dapat menyimpulkan bahwa VMAT secara umum lebih unggul dalam melindungi parotid kiri. Sebaliknya, hasil menunjukkan bahwa keuntungan VMAT terhadap sparing parotid lebih terlihat pada parotid kanan dalam dataset penelitian ini.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi OAR menunjukkan bahwa kedua teknik memberikan perlindungan yang relatif sebanding terhadap brainstem dan spinal cord. Perbedaan yang bermakna ditemukan pada Dmean parotid kanan, dengan nilai yang lebih rendah pada VMAT, sedangkan parotid kiri tidak menunjukkan perbedaan bermakna. Hasil tersebut konsisten dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa perbedaan dosimetri antara IMRT dan VMAT dapat bervariasi antar OAR. Oleh karena itu, pemilihan teknik radioterapi sebaiknya tidak hanya didasarkan pada satu parameter OAR, tetapi mempertimbangkan cakupan target dan keseluruhan distribusi dosis pada masing-masing pasien. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan antara IMRT dan VMAT tidak selalu muncul pada seluruh parameter dosimetrik. Penelitian sebelumnya pada kanker nasofaring juga menunjukkan bahwa kedua teknik dapat menghasilkan cakupan target yang serupa, sementara perbedaan OAR dapat bergantung pada organ dan strategi optimasi yang digunakan. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini lebih tepat diinterpretasikan sebagai adanya karakteristik dosimetrik tertentu pada VMAT, bukan sebagai bukti bahwa VMAT secara keseluruhan lebih unggul daripada IMRT.

Selain itu, penelitian ini tidak mengevaluasi *treatment time*, *beam-on time*, *monitor unit* (MU), atau parameter efisiensi delivery. Oleh karena itu, keunggulan VMAT dalam hal efisiensi waktu penyinaran tidak dapat disimpulkan berdasarkan penelitian ini. Pembahasan difokuskan pada parameter dosimetrik yang benar-benar tersedia dan dianalisis, yaitu cakupan target serta dosis pada OAR.

Dengan demikian, pemilihan antara IMRT dan VMAT pada kanker nasofaring perlu mempertimbangkan keseimbangan antara cakupan target dan perlindungan OAR. Pada dataset penelitian ini, kedua teknik menghasilkan cakupan target yang sebanding dan perlindungan yang relatif sama terhadap brainstem serta spinal cord. VMAT menunjukkan keuntungan pada Dmean parotid kanan, tetapi tidak

menunjukkan perbedaan bermakna pada parotid kiri. Hasil ini menegaskan pentingnya evaluasi individual terhadap distribusi dosis pada setiap pasien sebelum menentukan teknik perencanaan yang paling sesuai.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, teknik IMRT dan VMAT menghasilkan cakupan dosis target yang relatif sebanding serta perlindungan brainstem dan spinal cord yang tidak berbeda bermakna. Perbedaan bermakna ditemukan pada Dmean parotid kanan, dengan nilai lebih rendah pada VMAT dibandingkan IMRT, sedangkan parotid kiri tidak menunjukkan perbedaan bermakna. Dengan demikian, VMAT menunjukkan keuntungan pada perlindungan parotid kanan, tetapi tidak dapat dinyatakan lebih unggul secara keseluruhan dibandingkan IMRT.

B. Saran

Penentuan teknik radioterapi sebaiknya disesuaikan dengan kondisi anatomi pasien, lokasi tumor, serta kedekatannya dengan *organ at risk* (OAR) agar diperoleh distribusi dosis yang optimal dan aman. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah sampel yang lebih besar serta menambahkan parameter evaluasi lain seperti *Conformity Index* (CI) dan *Homogeneity Index* (HI) untuk memperoleh analisis yang lebih komprehensif terhadap kualitas perencanaan radioterapi. Selain itu, pemanfaatan teknologi dan algoritma optimasi yang lebih canggih perlu terus dikembangkan guna meningkatkan akurasi distribusi dosis serta efisiensi proses terapi. Evaluasi jangka panjang terhadap efek samping klinis, khususnya pada organ seperti kelenjar parotid, juga penting dilakukan untuk menilai dampak radioterapi terhadap kualitas hidup pasien setelah terapi selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Astina, K. Y., Daksa, N. P., Hutagalung, S., & Radioterapi, I. (2025). *Jurnal Inovasi Kesehatan Masyarakat Berkelanjutan*. Jurnal Inovasi Kesehatan Masyarakat Berkelanjutan, 9(2), 8–16. https://journal.fexaria.com/j/index.php/jikmb/article/view/379

Chen, B. Bin., Huang, S. M., Xiao, W. W., Sun, W. Z., Liu, M. Z., Lu, T. X., Deng, X. W., & Han, F. (2018). Prospective matched study on comparison of volumetric-modulated arc therapy and intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma: Dosimetry, delivery efficiency and outcomes. *Journal of Cancer*, 9(6), 978–986. https://doi.org/10.7150/jca.22843

Khalaf, A. M., & Rejah, B. K. (2024). Study the quality of nasopharyngeal plans using evaluation indexes of IMRT and VMAT treatment planning techniques. *Baghdad Science Journal*, 21(2), 437–444. https://doi.org/10.21123/bsj.2023.8124

Lee, N. Y. et al. (2012). Addition of bevacizumab to standard chemoradiation for locoregionally advanced nasopharyngeal carcinoma (RTOG 0615): a phase 2 multi-institutional trial. *The Lancet Oncology*, 13(2), 172–180. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70303-5

Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) 1615. (2016). *Protocol for the treatment of head and neck cancer using intensity-modulated radiation therapy (IMRT)*. Radiation Therapy Oncology Group.

Rawal, T., Sharma, N., Gajraj, V. K., Meena, R., Thanvi, S., Singh, G., Jakhar, S. L., & Kumar, H. S. (2024). Comparative dosimetric analysis of IMRT and VMAT in head and neck cancers. *Asian Pacific Journal of Cancer Care*, 9(1), 77–80. https://doi.org/10.31557/APJCC.2024.9.1.77

Relis, S. A., Dian Milvita, & Fiqi Diyona. (2025). Optimalisasi priority pada organ at risk (OAR) kanker nasofaring menggunakan teknik intensity modulated radiation therapy (IMRT). *Jurnal Fisika Unand*, 14(3), 270–278. https://doi.org/10.25077/jfu.14.3.270-278.2025

Shao, K., Zheng, S., Wang, Y., Bai, X., Luo, H., & Du, F. (2023). A detailed dosimetric comparative study of IMRT and VMAT in normal brain tissues for nasopharyngeal carcinoma patients treated with radiotherapy. *Frontiers in Radiology*, 3(May), 1–17. https://doi.org/10.3389/fradi.2023.1190763

Taslima, S. (2025). *Efektivitas Radioterapi IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) pada Penanganan Kanker Nasofaring*. 2024–2026. https://doi.org/10.61696/muara.v1i3.858