

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERSETUJUAN UJIAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penelitian	3
I.3 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
II.1 Radioterapi	4
II.2 <i>Nasopharyngeal Carcinoma</i>	4
II.3 Audit Dosis Volumetrik	5
II.4 <i>Gamma Index</i>	5
II.5 Teknik <i>Volumetric Modulated Arc Therapy</i>	6
BAB III METODE PENELITIAN.....	8
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	8
III.2 Alat dan Bahan Penelitian	8
III.3 Batasan Penelitian	8
III.4 Prosedur Penelitian.....	9
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
IV.1 Audit Dosis Volumetrik Pasien NPC	13
IV.2 Pengaruh <i>Gamma Index</i> terhadap Hasil Audit Dosis Volumetrik	15

IV.3 Evaluasi <i>Absolut Dose Difference</i> Pasien NPC.....	18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	21
V.1 Kesimpulan.....	21
V.2 Saran	21
DAFTAR PUSTAKA	22
LAMPIRAN.....	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	12
Gambar 4.1 Grafik Nilai <i>Gamma Index</i> Pasien <i>Nasopharyngeal Carcinoma</i>	15
Gambar 4.2 Grafik Nilai <i>Gamma Passing Rate</i> pada Pasien <i>Nasopharyngeal Carcinoma</i>	17
Gambar 4.3 Grafik Nilai <i>Absolut Dose Difference</i> pada Pasien <i>Nasopharyngeal Carcinoma</i>	18

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data pasien NPC	14
Tabel 4.2. Nilai normalisasi dan keberhasilan data penelitian	19

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Rincian Data Penelitian.....	25
Lampiran B. Hasil Evaluasi Dosis Volumetrik Pasien.....	26
Lampiran C. Dokumentasi Kegiatan.....	41

ABSTRAK

Radioterapi dengan teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) menjadi salah satu pengobatan dalam penanganan kanker nasofaring (*Nasopharyngeal Carcinoma* atau NPC). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian dosis radiasi antara perencanaan terapi dan hasil penyinaran secara langsung pada pasien NPC menggunakan audit dosis volumetrik berbasis *Gamma Index* dan *Absolute Dose Difference*. Penelitian dilakukan di RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta terhadap 15 pasien NPC stadium IVA tanpa metastasis dengan protokol penyinaran 70 Gy dalam 33 fraksinasi. Data dianalisis menggunakan sistem Octavius 4D PTW dan perangkat lunak VeriSoft 8.1 untuk mendapatkan parameter *Gamma Index* dan *Gamma Passing Rate* (GPR). Hasil penelitian menunjukkan seluruh data pasien memiliki nilai *Gamma Index* ≤ 1 dan *Gamma Passing Rate* $\geq 90\%$, yang menandakan kesesuaian yang baik antara dosis rencana dan dosis hasil pengukuran secara langsung. Nilai perbedaan dosis absolut juga berada dalam batas toleransi klinis sebesar $\leq 3\%$ dari dosis yang diberikan ke pasien dengan nilai tertinggi sebesar 0,03 Gy dan terendah 0,027 Gy. Dengan demikian, *Patient Specific Quality Assurance* menggunakan sistem ini dapat diterima secara klinis untuk kasus NPC dan dapat dijadikan acuan dalam menjamin kualitas dan keamanan terapi radiasi pada pasien.

Kata kunci : *Nasopharyngeal Carcinoma*, VMAT, Audit Dosis Volumetrik, *Gamma Index*, *Gamma Passing Rate*.

ABSTRACT

Radiotherapy using the Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) technique is one of the treatment modalities for nasopharyngeal carcinoma (NPC). This study aims to evaluate the dose conformity between the planned radiation dose and the actual delivered dose in NPC patients through volumetric dose auditing based on the Gamma Index and Absolute Dose Difference. The study was conducted at Dr. Sardjito General Hospital, Yogyakarta, involving 15 NPC patients with stage IVA without metastasis, treated using a radiation protocol of 70 Gy in 33 fractions. Data analysis was performed using the Octavius 4D PTW system and VeriSoft 8.1 software to obtain the Gamma Index and Gamma Passing Rate (GPR). The results showed that all patient data met the criteria of Gamma Index ≤ 1 and Gamma Passing Rate $\geq 90\%$, indicating good agreement between the planned and measured doses. The absolute dose differences were also within the clinically acceptable tolerance limit of $\leq 3\%$ from patient dose, with the highest value being 0.03 Gy and the lowest 0.027 Gy. Therefore, dose planning quality assurance using this system is clinically acceptable for NPC cases and can serve as a reference to ensure the quality and safety of radiation therapy in patients.

Keywords : *Nasopharyngeal Carcinoma, VMAT, Volumetric Dose Audit, Gamma Index, Gamma Passing Rate*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kanker menjadi salah satu penyakit penyebab kematian tertinggi di dunia dengan angka kejadian yang terus meningkat setiap tahunnya, termasuk pada kasus kanker kepala dan leher. Jumlah kasus kanker kepala dan leher di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 19.943 pasien (Stoker *et al.*, 2014). Kanker kepala dan leher mencakup kelompok karsinoma yang berkembang pada saluran pernapasan dan pencernaan bagian atas, seperti saluran sinonasal, rongga mulut, faring maupun laring. Karsinoma yang paling sering dijumpai adalah karsinoma nasofaring (*Nasopharyngeal Carcinoma* atau disingkat NPC). Karsinoma sel skuamosa pada karsinoma nasofaring berasal dari epitel permukaan nasofaring yang berkembang di sekitar *ostium tuba Eustachius* pada dinding lateral nasofaring (Wijaya dan Soeseno, 2017).

Radioterapi dapat digunakan untuk pengobatan kanker, salah satunya pada kasus NPC di area kepala dan leher, baik sebagai terapi utama maupun pasca operasi (Neck *et al.*, 2024). Radioterapi sangat efektif untuk pengobatan NPC tipe tidak berdiferensiasi (WHO tipe III) karena sifatnya yang radiosensitif. Terapi ini juga dapat diterapkan pada stadium dini (stadium I dan II). Perencanaan radioterapi pada kanker kepala dan leher sangat kompleks karena posisi tumor yang seringkali dekat dengan organ-organ vital yang berisiko, seperti sumsum tulang belakang, batang otak, dan kelenjar ludah (Wijaya dan Soeseno, 2017).

Radioterapi berfungsi sebagai pengobatan lokal yang menargetkan tumor primer serta metastasis regional dalam pengobatan kanker NPC, sehingga sangat penting untuk mengetahui ukuran dan lokasi tumor agar pengobatan dapat dilakukan secara efektif. Area yang disinari pada radioterapi disebut dengan target, yang terbagi menjadi beberapa volume, di antaranya GTV (*Gross Tumor Volume*) dan CTV (*Clinical Target Volume*) (Xu *et al.*, 2022).

Tantangan utama dalam teknik radioterapi konvensional adalah posisi tumor yang sering berada sangat dekat dengan organ-organ yang berisiko (*Organ at Risk*)

dengan bentuk dan konfigurasi yang kompleks, seperti adanya cekungan pada area tertentu. Hal ini menyulitkan penentuan dosis radiasi yang tepat karena harus menghindari kerusakan pada jaringan sehat (Gormley *et al.*, 2022). Teknik IMRT dan VMAT digunakan untuk mengatasi masalah yang ada pada teknik radioterapi konvensional. VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*) adalah teknik terapi radiasi canggih dan merupakan pengembangan dari IMRT (*Intensity-Modulated Radiation Therapy*) (Kapran *et al.*, 2025). Metode ini memungkinkan pengiriman dosis radiasi yang lebih presisi dengan cara mengatur kecepatan pergerakan gantry, bentuk bukaan kolimator, serta laju dosis selama penyinaran. VMAT memungkinkan penyinaran dengan lintasan melingkar (*arc*) di sekitar pasien, sehingga distribusi dosis menjadi lebih merata dan optimal. Oleh karena itu, VMAT banyak digunakan dalam pengobatan berbagai jenis kanker, termasuk kanker kepala dan leher, prostat serta otak (Xu *et al.*, 2022).

Kegiatan yang dapat dilakukan untuk memastikan bahwa distribusi radiasi telah sesuai dengan perencanaan sistem perencanaan terapi (*Treatment Planning System*) adalah dengan melakukan verifikasi dosis dengan cara *Patient Specific Quality Assurance* (PSQA). Kegiatan *Quality Assurance* (QA) sangat penting untuk menjamin keandalan dan akurasi dalam pengobatan radioterapi. PSQA memastikan dosis radiasi diberikan secara akurat, melindungi area sasaran dan jaringan sehat di sekitarnya (Purwanti *et al.*, 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Pandu Kurnianto (2023) tentang *Quality Assurance* pada pasien NPC menggunakan teknik IMRT. Penelitian ini membahas tentang verifikasi dosis radiasi secara 2D dengan menggunakan 2D Array dalam pengobatan kanker nasofaring (NPC) menggunakan Pesawat Linac dengan menggunakan delapan bidang radiasi pada TPS yang dibuat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dosis yang diberikan 100% sesuai dengan perencanaan yang dibuat. Penelitian ini membuktikan bahwa metode yang digunakan dapat diterapkan dengan efektif untuk pengobatan NPC, dan direkomendasikan untuk digunakan dalam praktik radioterapi (Kurnianto, Maslebu dan Muningsgar, 2023).

Audit dosis pada pasien radioterapi terbagi menjadi tiga, salah satunya adalah audit dosis volumetrik. Penelitian ini berkaitan dengan audit dosis volumetrik pada

pasien raditerapi NPC dengan teknik VMAT. Penelitian ini dilakukan untuk memastikan akurasi pemberian dosis radiasi yang tepat dengan mempertimbangkan banyak titik pengukuran. Berbeda dengan audit dosis planar yang hanya melakukan pengukuran pada dua bidang, distribusi dosis pada audit dosis volumetrik dapat dievaluasi dari tiga bidang pengukuran sehingga hasil pengukuran yang dihasilkan lebih akurat (Miften, *et.al.*, 2018.).

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui audit dosis volumetrik pada pasien dengan kasus NPC.
2. Mengetahui pengaruh parameter *Gamma Index* terhadap hasil audit dosis volumetrik pada pasien dengan kasus NPC.
3. Mengevaluasi *absolut dose difference* pada hasil audit dosis volumetrik untuk pasien NPC.

I.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memastikan ketepatan distribusi dosis dalam radioterapi dengan teknik VMAT. Proses ini membantu memverifikasi dan mengurangi risiko dosis radiasi yang berlebih pada jaringan sehat dan dosis radiasi yang kecil pada tumor. Dengan menggunakan analisis *Gamma Index* 3D dan perangkat lunak VeriSoft PTW, dapat memastikan bahwa rencana dosis sesuai dengan standar klinis sebelum diberikan kepada pasien.

BAB II

DASAR TEORI

II.1 Radioterapi

Radioterapi adalah metode pengobatan yang menggunakan radiasi pengion untuk menghancurkan sel kanker maupun menghambat pertumbuhannya. Radiasi yang digunakan dapat berasal dari sumber eksternal seperti Linac maupun dari brakiterapi (Harun *et al.*, 2022). Prinsip kerja radioterapi dengan cara merusak DNA sel kanker sehingga menghambat replikasi dan bisa menyebabkan kematian sel. Tetapi, diperlukan perencanaan dosis yang tepat karena radiasi yang diberikan kepada pasien juga dapat mengenai organ sehat sehingga perencanaan *treatment* pemberian dosis dilakukan untuk meminimalkan kerusakan jaringan normal di sekitar area yang diradiasi. Radioterapi eksternal menggunakan Linac untuk mengarahkan sinar-X atau sinar elektron ke area tumor. Brakiterapi dilakukan dengan menempatkan sumber radiasi di dalam atau di dekat jaringan kanker (Murat, 2010).

Proses perencanaan radioterapi melibatkan beberapa tahap, yaitu simulasi menggunakan pencitraan seperti CT Simulator atau MRI untuk menentukan lokasi tumor, penentuan dosis untuk menghitung jumlah radiasi yang optimal agar efektif menghancurkan kanker tanpa merusak jaringan sehat, serta fraksinasi dosis yang bertujuan untuk memberikan radiasi dalam beberapa sesi guna meningkatkan efektivitas terapi dan mengurangi efek samping (Mahyoub, 2011). Efek samping radioterapi bergantung pada lokasi penyinaran, dosis yang diberikan dan kondisi pasien. Efek samping akut yang umum terjadi meliputi kelelahan, reaksi kulit seperti kemerahan dan iritasi, mual, serta perubahan selera makan. Sedangkan efek samping kronis dapat berupa fibrosis jaringan, gangguan fungsi organ dan peningkatan risiko kanker sekunder akibat paparan radiasi jangka panjang (Zhao, Yang dan Li, 2023).

II.2 Nasopharyngeal Carcinoma

Nasopharyngeal carcinoma (NPC) atau karsinoma nasofaring adalah jenis kanker yang berkembang di daerah nasofaring, yaitu area di belakang hidung dan

di atas tenggorokan. NPC termasuk kanker kepala dan leher yang cukup agresif dan sering ditemukan di wilayah Asia Tenggara, Tiongkok Selatan serta Afrika Utara (Chang *et al.*, 2021).

Penyebab utama NPC berkaitan erat dengan infeksi virus Epstein-Barr (EBV), faktor genetik dan paparan bahan karsinogenik seperti konsumsi makanan yang diawetkan dengan garam nitrit. Gejala NPC sering kali muncul secara perlahan, termasuk hidung tersumbat kronis, mimisan, telinga berdenging (tinnitus), gangguan pendengaran, serta benjolan di leher akibat pembesaran kelenjar getah bening. Diagnosis NPC umumnya dilakukan melalui pemeriksaan endoskopi, biopsi jaringan, serta pencitraan medis seperti MRI atau CT scan. Pengobatan tergantung pada stadium kanker, tetapi umumnya melibatkan radioterapi sebagai terapi utama yang biasanya dikombinasikan dengan kemoterapi untuk meningkatkan efektivitas radiasi yang diberikan (Marin *et al.*, 2024).

II.3 Audit Dosis Volumetrik

Audit dosis volumetrik pada pasien radioterapi merupakan proses evaluasi yang bertujuan untuk memastikan bahwa dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat pada TPS. Audit dosis volumetrik dilakukan oleh tim fisikawan medik setelah *planning* perawatan pasien selesai (Greer, Lehmann dan Moore, 2024). Audit dosis volumetrik dapat dilakukan dengan menggunakan phantom dosimetri seperti OCTAVIUS 4D PTW yang dilengkapi dengan *Software* MEPHYSTO untuk memverifikasi distribusi dosis secara langsung setelah pengukuran. Parameter yang dianalisis yaitu dosis maksimum dan minimum, distribusi isodosis, histogram volume-dosis (DVH) dan *Gamma Index Analysis* untuk membandingkan dosis yang direncanakan dengan dosis yang terukur untuk memverifikasi keakuratan hasil *planning* pada TPS (Misson *et al.*, 2024).

II.4 Gamma Index

Gamma Index adalah metode kuantitatif yang digunakan dalam radioterapi untuk membandingkan distribusi dosis yang direncanakan dengan dosis yang sebenarnya diterima oleh pasien. Metode ini digunakan untuk verifikasi akurasi

sistem perencanaan dan pelaksanaan terapi radiasi dengan mempertimbangkan dua parameter utama, yaitu perbedaan dosis (*Dose Difference* atau DD) dan perbedaan jarak (*Distance-To-Agreement* atau DTA) (Kamal *et al.*, 2024). *Gamma Index* menghitung tingkat kesesuaian antara distribusi dosis referensi (dari sistem perencanaan) dengan distribusi dosis hasil pengukuran menggunakan batas toleransi tertentu sesuai dengan parameter pada *Gamma Index* (Deng *et al.*, 2024).

Nilai *gamma* pada *Gamma Index* dihitung untuk setiap titik dalam area yang dianalisis. Jika nilai $\gamma \leq 1$, maka titik tersebut dianggap memiliki kesesuaian yang baik antara dosis yang direncanakan dan yang diterima. Sebaliknya, jika nilai $\gamma > 1$, maka terdapat ketidaksesuaian yang perlu dievaluasi kembali. Standar penerimaan yang digunakan dalam radioterapi disebut *Gamma Passing Rate* dengan toleransi 3%/3 mm atau 2%/2 mm, tergantung pada protokol yang diterapkan di masing-masing instansi (Miften *et al.*, 2018.).

Penggunaan *Gamma Index* sangat penting dalam *Patient Specific Quality Assurance* radioterapi, terutama dalam teknik canggih seperti *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dan *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT). Dengan metode ini, fisikawan medik dapat memastikan bahwa pasien menerima dosis yang tepat sesuai perencanaan, sehingga meningkatkan efektivitas terapi sekaligus meminimalkan risiko efek samping akibat dosis radiasi ((Deng *et al.*, 2024).

II.5 Teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy*

Teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) merupakan metode radioterapi canggih yang digunakan dalam pengobatan nasopharyngeal carcinoma (NPC). VMAT memungkinkan pengiriman dosis radiasi secara dinamis selama gantry berputar 360° di sekitar pasien, sehingga dapat menyesuaikan bentuk berkas radiasi, kecepatan gantry, dan laju dosis secara simultan (Zhang, Chen dan Yuan, 2024).

VMAT memiliki beberapa keunggulan apabila dibandingkan dengan *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT), termasuk efisiensi waktu yang lebih tinggi, cakupan dosis yang lebih baik pada target tumor dan perlindungan

yang lebih optimal terhadap organ di sekitarnya . Studi menunjukkan bahwa VMAT mampu mengurangi waktu per sesi pengobatan hingga 69% dibandingkan dengan IMRT, yang tidak hanya meningkatkan kenyamanan pasien tetapi juga meningkatkan efisiensi klinis. Selain itu, cakupan dosis pada target tumor lebih baik, sementara dosis maksimum yang diterima oleh organ risiko seperti batang otak, medula spinalis, dan saraf optik lebih rendah, sehingga menurunkan risiko efek samping jangka panjang. Pasien yang menjalani terapi dengan VMAT juga mengalami tingkat efek samping yang lebih rendah, seperti ototoksisitas, trismus, dan nekrosis lobus temporal dibandingkan dengan IMRT (Alsaihaty *et al.*, 2024; Lan *et al.*, 2024).

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada periode tertentu setelah pengurusan dan penerbitan dilakukan dari bulan Maret sampai April 2025 dan bertempat di RS Sardjito Yogyakarta.

III.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Octavius 4D PTW
2. Detektor 1500
3. Inclinometer
4. *Detector control unit*
5. *Interface control unit*
6. *Software* MEPHYSTO (Verisoft 8.1)

III.3 Batasan Penelitian

A. Kriteria Inklusi

Data pasien yang digunakan adalah pasien *Nasopharyngeal Carcinoma* dengan teknik VMAT dan energi 6 MV dengan kriteria inklusi sebagai berikut:

1. Pasien *Nasopharyngeal Carcinoma* tanpa metastasis usia ≥ 18 tahun.
2. Pasien *Nasopharyngeal Carcinoma* regional Kepala dan Leher dengan stadium IVA.
3. Pasien *Nasopharyngeal Carcinoma* dari periode Maret – Mei 2025.
4. Pasien *Nasopharyngeal Carcinoma* dengan dosis 70 Gy $\times$ 33 fraksinasi

B. Kriteria Eksklusi

Data pasien yang tidak untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pasien selain *Nasopharyngeal Carcinoma*.
2. Pasien NPC dengan metastasis dan selain stadium IVA
3. Pasien dengan usia di bawah ≤ 18 tahun.
4. Pasien *Nasopharyngeal Carcinoma* dengan dosis selain 70 Gy $\times$ 33 fraksinasi.