

Analisis Variasi Gantry Terhadap Distribusi Dosis Radiasi Kanker Otak Dengan Teknik Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)

Ade Nisa Dali Sinaga¹, Gusti Ngurah Sutapa², Cory Amelia³, Ida Bagus Made Suryatika⁴, I Made Yuliara⁵, I Gde Antha Kasmawan⁶, Rozi Irhas⁷

^{1,2,4,5,6}Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

³Instalasi Radioterapi, RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah, Denpasar, Bali, Indonesia

Received: 10 February 2025

Revised: 24 April 2025

Accepted: 28 April 2025

Corresponding Author:

Gusti Ngurah Sutapa

sutapafis97@unud.ac.id

© 2025 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.29562>

Abstract: Penelitian mengenai Analisis Variasi *Gantry* Terhadap Distribusi Dosis Radiasi Kanker Otak Dengan *Teknik Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT). dengan tujuan, untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudut *gantry* terhadap distribusi dosis pada kasus kanker otak berdasarkan nilai HI, dan CI pada target kanker serta dosis maksimum pada *organ at risk* (OAR) menggunakan teknik IMRT. Penelitian dilakukan dengan variasi jumlah sudut *gantry* 4, 5 dan 6 dengan menggunakan 30 sampel. Kemudian dilakukan analisis data dengan menggunakan uji normalitas dengan uji t satu arah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, distribusi dosis pada PTV dengan nilai HI dan CI untuk variasi jumlah sudut 4, 5 dan 6 arah sudut *gantry* adalah 0,118 dan 0,986; 0,116 dan 0,975; 0,108 dan 0,974. Sedangkan distribusi dosis maksimum OAR pada variasi 4, 5 dan 6 arah sudut *gantry* untuk *brainstem* 4886,55; 4921,47; 4731,23; *Eye R* 2676,35; 2830,16; 3123,83; *Eye L* 3226,19; 3268,59; 3162,92; *nervus optikus R* 2396,23; 2775,52; 2796,94; *nervus optikus L*, 2939,97; 2983,12; 2912,47; *lens R* 789,76; 709,76; 717,32; *lens L* 738,31; 775,33; 724,02; *chiasma*, 4153,40; 4460,04; 4020,70. Berdasarkan nilai rata-rata tidak terdapat perbedaan antara nilai hasil perhitungan distribusi dosis dengan nilai ketetapan dosis maksimum dalam *Radiation Oncology A Question-Based Review*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perencanaan lapangan 4 arah sudut *gantry* memiliki hasil distribusi PTV yang lebih baik dan waktu penyinaran yang lebih singkat dibandingkan dengan perencanaan 5 dan 6 variasi jumlah arah sudut *gantry*.

Keywords: *Linear accelerator* (LINAC); HI; CI; OAR; Variasi jumlah *gantry*; Kanker Otak.

Pendahuluan

Kanker adalah penyakit yang memiliki resiko kematian yang cukup tinggi yang disebabkan pola makan yang tidak baik dan akibat terpapar radiasi yang melampaui dosis ambang maupun karena penyakit keturunan, sehingga pertumbuhan sel abnormal tidak terkendali dalam tubuh. Menurut laporan *Global Burden Cancer* (GLOBOCAN) dari *World Health Organization* (WHO) pada tahun 2020, kanker otak di Indonesia

menempati ke-15 dengan 5.964 kasus serta jumlah kematian tertinggi pada urutan ke-12 dengan 5.298 kasus (Taufiqurrahman, T., dkk 2023). Pada penanganannya biasanya dilakukan operasi pengangkatan sel kanker dan kemoterapi, namun dengan cara pengobatan ini biasanya sel kanker atau tumor akan ditemukan tumbuh kembali. Karena itu dianjurkan kepada pasien kanker melakukan terapi

How to Cite:

Sinaga, A.N.D., Sutapa, G. N., Amelia, C., Suryatika, I.B.M., Yuliara, I M., Kasmawan, I.G.M., & Irhas, R. (2025). Analisis Distribusi Dosis Radiasi Menggunakan Variasi *Gantry* pada TPS Linac dengan Teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT). *Kappa Journal*, 9(1), 110-105. <https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.29562>

radiasi untuk membunuh sel kanker (Jaiswal, S., & Jaiswal, A. 2024).

Radioterapi adalah salah satu modalitas pengobatan kanker menggunakan radiasi pengion untuk mematikan sel sel kanker sebanyak mungkin dan sesedikit mungkin memberi efek negatif pada jaringan sehat di sekitarnya (Elvira, dkk 2021). Pesawat radioterapi yang umum di gunakan dalam terapi kanker otak adalah Pesawat Radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC) (Wang N. Wu, Z., dkk 2023).

Linear Accelerator (LINAC) merupakan instrumen yang digunakan untuk mempercepat pergerakan elektron. Partikel yang dipercepat dapat digunakan untuk menghasilkan sinar-X berenergi tinggi. LINAC dirancang untuk menghasilkan berkas elektron dan foton dalam pengobatan kanker (N. Alya, 2024). Perangkat/alat ini menggunakan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi untuk mempercepat partikel bermuatan seperti elektron berenergi tinggi melalui tabung linear yang dirancang untuk mempercepat pergerakan elektron secara linier sehingga dapat menghasilkan berkas foton dan elektron. Berkas elektron digunakan untuk menyinari kanker kulit, sedangkan berkas foton digunakan untuk menyinari kanker di dalam jaringan tubuh, seperti kanker payudara, kanker servix, dan kanker nasofaring dan kanker otak (Elvira, dkk 2021). Dalam penggunaan LINAC sebelum dilakukannya proses penyinaran terdapat tahap perencanaan (TPS). TPS merupakan suatu bentuk perencanaan yang dilakukan pada pasien sebelum diberikan perlakuan radioterapi yang dimana prinsip kerja dari TPS yaitu menggunakan sistem komputer untuk perancangan pengobatan menggunakan radiasi dengan mengatur parameter seperti dosis radiasi, energi radiasi, besar sudut gantry, luas lapangan, dan *Monitor units* (MU) (Daniartie Y. E., dkk. 2022).

Sistem TPS pada LINAC menggunakan Teknik *Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3DCRT) dan *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) (Apriantoro, 2023). Pada penelitian kali ini akan menggunakan teknik IMRT yang merupakan teknik radioterapi 3D-CRT tahap lanjut yang memberikan radiasi dengan intensitas yang homogen. (Asri Y., dkk. 2022). Pada teknik IMRT perencanaan komputerisasi secara inverse dimana kita memasukkan tujuan atau objektif yang dikehendaki dan komputer akan menghitung dan menentukan arah berkas sinar, bentuk lapangan, dan intensitas berkas sinar sampai tujuan tersebut tercapai (Bucht, H., 2018).

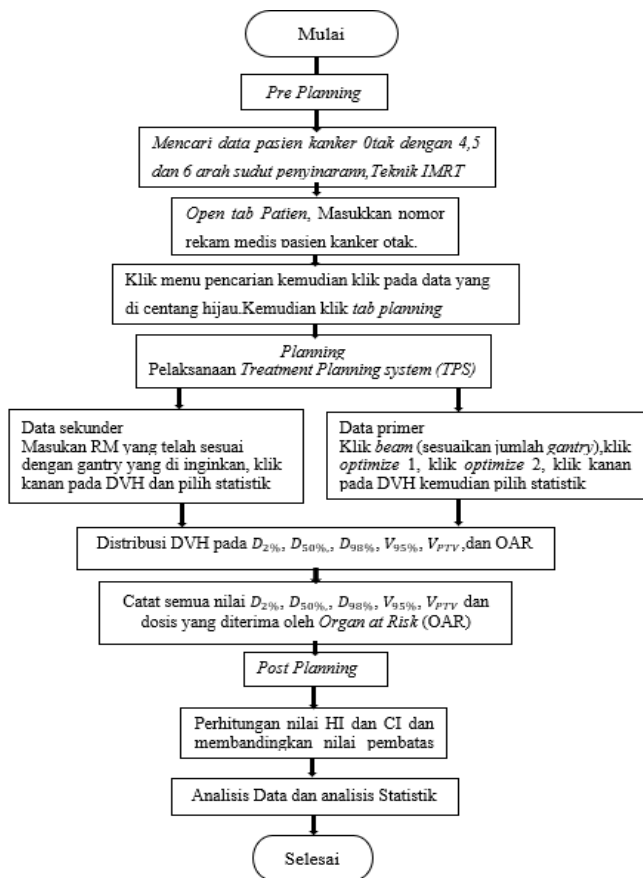
Teknik IMRT memiliki dua jenis pergerakan MLC yaitu MLC dinamis (*window slide*). Pada metode ini MLC bergerak kontinu selama radiasi berlangsung pada setiap arah sudut gantry. Metode *dynamic* MLC menghasilkan profil intensitas radiasi yang lebih halus

dan waktu penyinaran radiasi yang lebih singkat dibandingkan metode static MLC, Sedangkan MLC statis (*step and shot*) pada metode ini MLC bergerak membentuk segmen ketika radiasi berhenti dan MLC berhenti selama radiasi berlangsung, begitu seterusnya untuk masing-masing sudut gantry. Kelebihan metode static MLC adalah dosimetri yang lebih sederhana dan jumlah monitor unit yang digunakan pada pesawat linier akselerator lebih sedikit (Wulandari, N., 2023).

Arah sudut penyinaran atau *Gantry* adalah sudut dari mana alat LINAC memancarkan sinar radiasi ke tubuh pasien. *Gantry* adalah komponen pada LINAC yang berfungsi memutar kepala mesin di sekitar pasien, sehingga memungkinkan sinar radiasi diarahkan dari berbagai sudut yang berbeda sesuai kebutuhan perawatan. Pilihan sudut atau *gantry* berdampak signifikan mempengaruhi distribusi dosis radiasi dalam prosedur radioterapi. Sudut *gantry* yang berbeda dapat memberikan variasi dalam cara radiasi mencapai target (tumor) dan jaringan sekitarnya, serta mempengaruhi efektivitas terapi (Bijman, 2021).

Metode

Pada penelitian ini menggunakan 10 data sekunder dan 20 data primer pasien kanker otak dari pemeriksaan CT-Simulator tahun 2020 sampai 2024 dengan menggunakan variasi *gantry* 4, 5 dan 6 arah sudut *gantry* dari Instalasi Radiologi RSUP Prof. Dr. I G. N. G. Ngoerah, Denpasar. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil citra dari CT-Simulator tipe *Canon Aquilion*, komputer TPS jenis *Monaco* seri 5.11.03. Adapun variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu arah sudut penyinaran 4, 5 dan 6 serta nilai dari PTV. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai dosis maksimum pembanding pada nilai HI, CI dan dosis maksimum pada OAR, dan variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan berkas foton 6 MV, dosis total yang di gunakan adalah 6000 cGY. menggunakan 10 potongan segment. Adapun alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Terdapat empat jenis penggambaran target volume tumor yang dapat diamati yaitu, *Gross Target Volume (GTV)*, *Clinical Target Volume (CTV)*, *Internal Target Volume (ITV)*, dan *Planning Target Volume (PTV)* dan *Organ at Risk (OAR)*. Data yang diperoleh adalah nilai HI, CI dan dosis yang diterima OAR. Untuk mendapatkan nilai dari HI digunakan persamaan dibawah 1 berikut:

$$Homogeneity\ Index = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (1)$$

Keterangan:

- $D_{2\%}$ = Besaran dosis melingkupi 2% volume PTV (cGy)
- $D_{98\%}$ = Besaran dosis melingkupi 98% volume PTV (cGy)
- $D_{50\%}$ = Besaran dosis melingkupi 50% volume PTV (cGy)

Dan Untuk mendapatkan nilai dari CI digunakan persamaan dibawah 2 berikut:

$$Conformity\ Index = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}} \quad (2)$$

Keterangan:

- $V_{95\%}$ = Besarnya keseluruhan volume yang menerima dosis 95% (cc).
 - V_{PTV} = Besarnya volume PTDV pada suatu target radiasi (cc).
- (Sari E. P., dkk.2024)

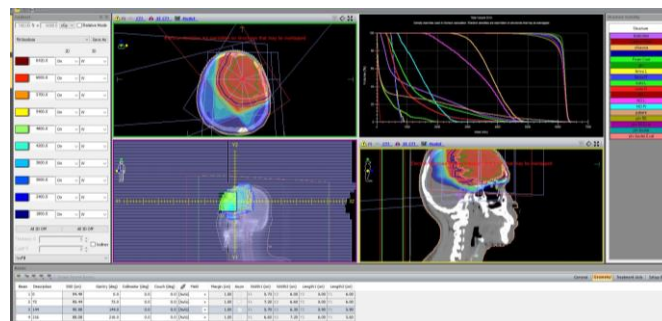
Kemudian nilai dari HI dan CI di dibandingkan dengan nilai batas dari ICRU 83 tahun 2010 yaitu untuk HI adalah 0 sampai 0,3, untuk CI adalah 1 (ICRU Report 83.2010). Untuk hasil dosis yang diterima OAR pada 4, 5 dan 6 arah sudut gantry di dibandingkan berdasarkan nilai *Radiation Oncology A Question-Based Review* seperti pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Dosis maksimum pada OAR

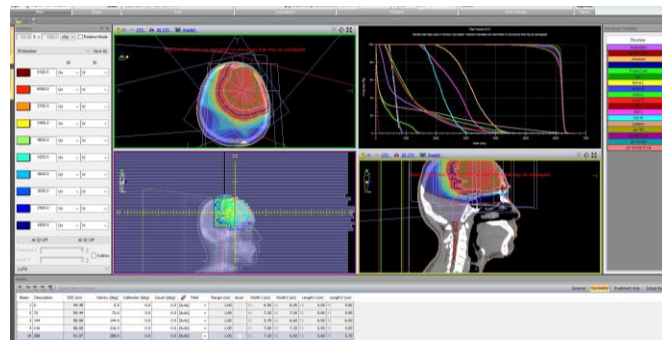
Organ at Risk	Dosis Pembatas (Dmaks) cGy
Brainstem	Dmaks ≤ 5400
Lens R	Dmaks ≤ 1000
Lens L	Dmaks ≤ 1000
Eye R	Dmaks ≤ 5000
Eye L	Dmaks ≤ 5000
Nervus optikus R	Dmaks ≤ 5400
Nervus optikus L	Dmaks ≤ 5400
Chiasma	Dmaks ≤ 5400

Hasil dan Pembahasan

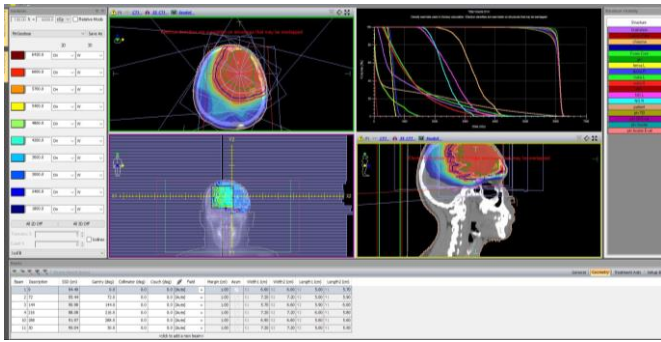
Penelitian ini menggunakan citra hasil CT-Simulator dari pasien yang dibedakan dalam 3 variasi gantry yaitu 4, 5 dan 6 arah sudut gantry.



Gambar 2 Hasil countouring kepala dan tampilan pada komputer TPS dengan menggunakan 4 arah sudut gantry.

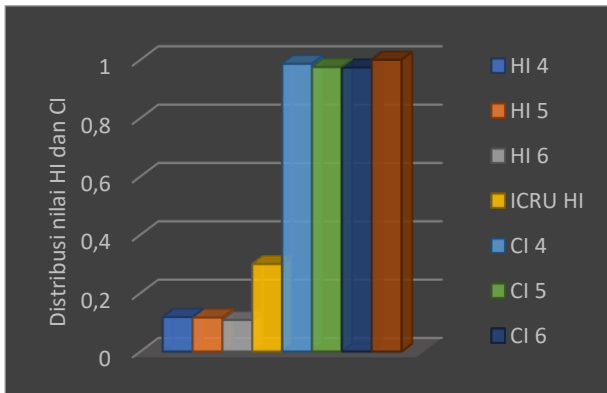


Gambar 3 Hasil countouring kepala dan tampilan pada komputer TPS dengan menggunakan 5 arah gantry.



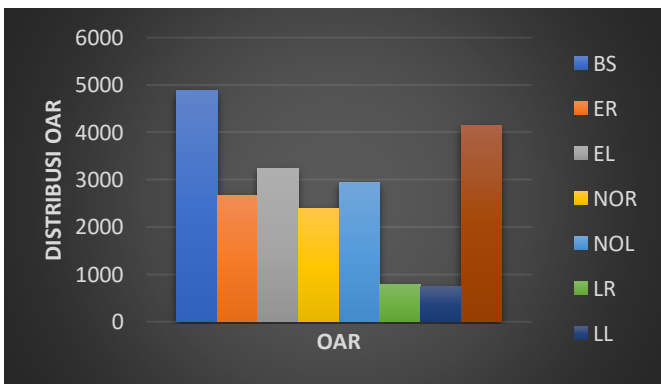
Gambar 4 Hasil *countouring* kepala dan tampilan pada komputer TPS dengan menggunakan 6 arah *gantry*.

Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 digunakan untuk perhitungan HI, CI untuk 4, 5 dan 6 arah sudut *gantry* untuk masing masing pasien seperti pada gambar 5. Pada histogram di bawah ini terdiri dari hasil HI dengan nilai pembandingan untuk HI yaitu 0 hingga 0,3 dan untuk nilai CI dengan nilai pembandingan yaitu 1.

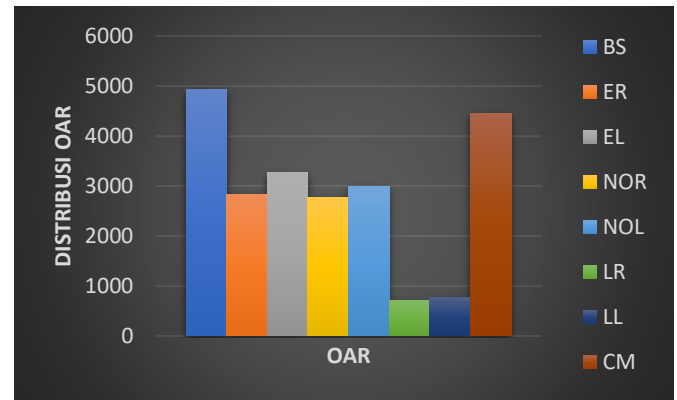


Gambar 5 Histogram perbandingan nilai HI dan CI dengan ketentuan ICRU pada 4,5 dan 6 arah sudut *Gantry*.

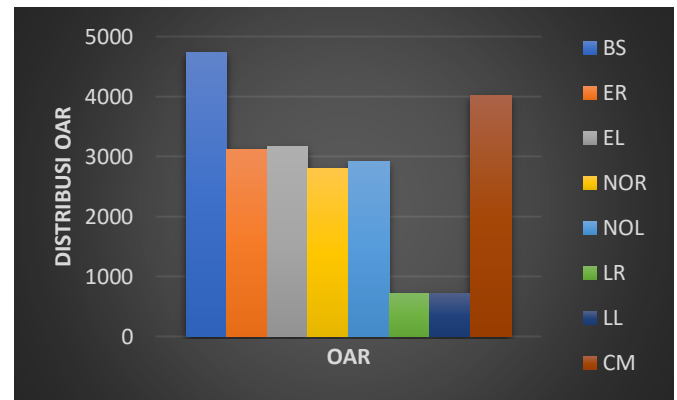
Pada sepuluh pasien kanker otak didapatkan data berupa dosis maksimum yang diterima OAR untuk variasi 4,5 dan 6 arah sudut *gantry*. Dimana dosis maksimum OAR diperoleh melalui DVH statistik, dan hasilnya dapat ditunjukkan pada gambar 6,7 dan 8.



Gambar 6 Histogram distribusi OAR pada 4 arah sudut *Gantry*.



Gambar 7 Histogram distribusi OAR pada 5 arah sudut *Gantry*.



Gambar 8 Histogram Distribusi OAR pada 6 arah sudut *Gantry*.

Perhitungan distribusi dosis mencakup distribusi dosis pada target kanker berupa PTV dan *organ at risk*, yaitu nilai HI dan CI. Proses perhitungan dilakukan dengan mencatat nilai distribus dosis pada area PTV, seperti $D_{2\%}$, $D_{50\%}$, $D_{98\%}$, $V_{95\%}$, V_{PTV} yang didapatkan dari data statistik pada dose volime histogram (DVH) di TPS Monaco.

Diperoleh nilai rata-rata HI dari 10 pasien kanker otak dengan menggunakan 4 5 dan 6 arah sudut *gantry* sebesar 0,11812, 0,11642, 0,10820. Dan nilai CI adalah 0,98631, 0,97515, 0,9736. Pada penelitian ini tingkat kepercayaan taraf signifikansi yang digunakan adalah 0,05 atau tingkat kepercayaan 95%, sehingga nilai signifikansi yang diperoleh nilai HI dan CI harus bernilai lebih besar dari 0,05 maka data dapat dikatakan telah terdistribusi normal. Dan nilai derajat kebebasan atau (df) yang digunakan yaitu 9, oleh karena itu nilai t-tabel yang digunakan yaitu sebesar 1,83311. Dapat dilihat pada tabel 4 bahwa seluruh data yang telah di dapatkan sudah terdistribusi normal atau nilai Signifikansi HI dan CI serta OAR lebih besar dari 0,05.

Untuk hasil uji t satu arah untuk 4 arah sudut gantry menunjukkan bahwa nilai t-hitung yang diperoleh HI sebesar $1,638 < 1,83311$ dan nilai Signifikansinya adalah $0,136 > 0,05$, nilai CI sebesar $1,309 < 1,83311$ dan nilai Signifikansi adalah $0,223 > 0,05$, dan nilai t-hitung yang diperoleh HI 5 arah sudut sebesar $1,392 < 1,83311$ dan nilai Signifikansinya adalah $0,197 > 0,05$, CI sebesar $-1,024 < 1,83311$ dan nilai Signifikansinya adalah $0,332 > 0,05$. Kemudian nilai t-hitung yang diperoleh HI 6 arah sudut sebesar $0,734 < 1,83311$ dan nilai Signifikansinya adalah $0,482 > 0,05$, CI sebesar $-1,197 < 1,83311$ dan nilai Signifikansinya adalah $0,262 > 0,05$, berdasarkan nilai ketiga arah sudut ini disimpulkan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak yang artinya tidak terdapat perbedaan antara hasil perhitungan distribusi dosis dengan nilai ketentuan dari ICRU.

Selanjutnya untuk mengetahui apakah dosis maksimum pada OAR untuk kasus kanker otak sesuai dengan standar *Radiation Oncology A Question-Based Review* haruslah terlebih dahulu mengetahui bagaimana persebaran distribusi dosis pada OAR.

Hasil uji t satu arah untuk 4 arah sudut gantry bahwa nilai t-hitung yang diperoleh *brainstem* $1,559 < 1,83311$, *eye R* $2,232 < 1,83311$, *eye L* $1,341 < 1,83311$, *Nervus optikus R* $1,842 < 1,83311$, *Nervus optikus L*, $0,154 < 1,83311$, *Lens R* $0,284 < 1,83311$, *lens L* $-0,760 < 1,83311$, *chiasma* $1,024 < 1,83311$. Dengan nilai signifikansi yang diperoleh *brainstem* $0,153 > 0,05$, *eye R* $0,053 > 0,05$, *eye L* $0,213 > 0,05$, *Nervus optikus R* $0,099 > 0,05$, *Nervus optikus L* $0,881 > 0,05$, *lens R* $0,783 > 0,05$, *lens L* $0,467 > 0,05$, *chiasma* $0,332 > 0,05$.

Pada 5 arah sudut gantry dapat dilihat bahwa nilai t-hitung yang diperoleh *brainstem* $1,944 < 1,83311$, *eye R* $1,947 < 1,83311$, *eye L* $1,130 < 1,83311$, *Nervus optiku R* $0,812 < 1,83311$, *Nervus optikus L*, $0,043 < 1,83311$, *Lens R* $1,097 < 1,83311$, *lens L* $0,473 < 1,83311$, *chiasma* $0,245 < 1,83311$. Dengan nilai signifikansi yang diperoleh *brainstem* $0,084 > 0,05$, *eye R* $0,083 > 0,05$, *eye L* $0,288 > 0,05$, *Nervus optikus R* $0,438 > 0,05$, *Nervus optikus L* $0,967 > 0,05$, *lens R* $0,301 > 0,05$, *lensa L* $0,647 > 0,05$, *chiasma* $0,812 > 0,05$.

Kemudian untuk 6 arah sudut gantry dapat dilihat bahwa nilai t-hitung yang diperoleh *brainstem* $2,116 < 1,83311$, *eye R* $1,757 < 1,83311$, *eye L* $1,410 < 1,83311$, *Nervus optikus R* $0,646 < 1,83311$, *Nervus optikus L* $0,222 < 1,83311$, *Lensa R* $1,107 < 1,83311$, *lensa L* $1,373 < 1,83311$, *chiasma* $-1,644 < 1,83311$. Dengan nilai signifikansi yang diperoleh *brainstem* $0,063 > 0,05$, *eye R* $0,113 > 0,05$, *eye L* $0,192 > 0,05$, *Nervus optikus R* $0,534 > 0,05$, *Nervus optikus L* $0,829 > 0,05$, *lens R* $0,297 > 0,05$, *lens L* $0,203 > 0,05$, *chiasma* $0,135 > 0,05$.

Pada 4,5 dan 6 arah sudut gantry bernilai lebih dari 0,05 sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga, hasil dari uji-t satu arah untuk semua OAR yang telah

terdistribusi normal dan dilakukan uji t satu arah ini yaitu H_0 diterima dan H_1 ditolak, artinya tidak terdapat perbedaan antara nilai hasil perhitungan distribusi dosis dengan nilai ketetapan dosis maksimum dalam *Radiation Oncology A Question-Based Review*.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa hasil distribusi dosis PTV yaitu HI dan CI menggunakan sudut gantry 4,5 dan 6 dengan rata rata distribusi dosis HI dan CI adalah HI 0,11812, 0,11642, 0,10820, CI 0,98631, 0,97515, 0,97364 dan ini masih di batas toleransi ICRU, yaitu 0 hingga 0,3 dan CI adalah 1, sehingga diperoleh rata rata HI dengan menggunakan 6 arah sudut gantry karena lebih seragam atau homogen karena lebih mendekati 0. Sedangkan hasil rata rata nilai CI yang diperoleh dengan 4 arah sudut gantry lebih sesuai dengan bentuk PTV karena mendekati 1 dan pada penggunaan 4 arah sudut wakru yang diperluan lebih dingkat dari pada 6 arah sudut sehingga 4 arah sudut gantry lebih baik dari pada 5 dan 6 arah sudut gantry pada kasus kanker otak.

Kemudian untuk distribusi dosis pada OAR untuk 4,5 dan 6 arah sudut gantry bernilai lebih dari 0,05 sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga, hasil dari uji-t satu arah untuk semua OAR yang telah terdistribusi normal dan dilakukan uji t satu arah ini yaitu H_0 diterima dan H_1 ditolak, artinya tidak terdapat perbedaan antara nilai hasil perhitungan distribusi dosis dengan nilai ketetapan dosis maksimum dalam *Radiation Oncology A Question-Based Review*.

Daftar Pustaka

- Apriantoro, N. H., dan Kartika, Y. (2023). Teknik Radioterapi Kanker Payudara Post Mastektomi dengan Teknik Intensity Modulated Radiation Therapy. *Indonesian Journal for Health Sciences*, 7(1), 22-28. Tersedia: [10.24269/ijhs.v7i1.5178](https://doi.org/10.24269/ijhs.v7i1.5178)
- Asri Y., Sutapa G. N., Sudarsana I. W. B., dan Irhas R., (2022) "Comparison of Cervical Cancer Radiation in Bladder Organs with 10 MV LINAC Energy Radiotherapy Using 3DCRT and IMRT Techniques at Sanglah Hospital Denpasar," *Buletin Fisika*, vol. 24, no. 2, pp. 98, 2022. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.24843/BF.2023.V24.i02.p05>
- Bijman R, Rossi L, Janssen T, de Ruyter P, van Triest B, Breedveld S, Sonke J-J and Heijmen B (2021) MR-Linac Radiotherapy - The Beam Angle Selection Problem. *Front. Oncol.* 11:717681. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.717681>

- Bucht, H., Tuncay, E., Darendeliler, E. & Kemikler, G. (2018). Absolute dose verification of static intensity modulated radiation therapy (IMRT) with ion chambers of various volumes and TLD detectors. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 23(4), 242–250. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2018.04.001>
- Daniartie Y. E., Wardani P. S., Putri D. R. P. S., Stevenly R. J., dan Suryaningsih S. , (2022)"Analisis Treatment Planning System dengan Menggunakan Teknik Box dan teknik Antero Posterior Postero Anterior pada Kasus Kanker Serviks," *Progressive Physics Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 118. [Online] <https://doi.org/10.30872/ppj.v3i1.873>
- 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. [online]. Tersedia: <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.337-343.2021>
- GLOBOCAN (Global Cancer Observatory) Homepage, 2020, Cancer in Indonesian, <https://gco.iarc.fr/en>
- ICRU report 83., 2010, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT), The International Commission on Radiation Units and Measurements, USA.
- Jaiswal, S., & Jaiswal, A. (2024). Radiation Physics in Cancer Treatment-A Study of Radiotherapy Techniques. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5(4), 416–422. [online]. Tersedia: <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i4.2024.2063>
- K. Malleswari, D. Rama Brahma Reddy, K. Smily – IJFMR" Brain Cancer" Volume 6, Issue 1, January-February 2024. Tersedia: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i01.13029>
- N. Alya, R. J. Stevenly, P. S. Wardani, and E. R. Putri, "Effect of Radiation Position of Photon Beam at Axis Point and Field Edge on Absorbed Dose on Linear Accelerator (Linac) ", *Jl*, vol. 9, no. 1, pp. 103-110, Mar. 2024. Tersedia: <https://doi.org/10.31572/inotera.Vol9.Iss1.2024.ID307>
- Sari E. P., Lubis A. S., Pratiwi R. F., dan Oktaviana A. T., "Analisis Nilai Conformity Index (CI) Dan Homogeneity Index (HI) Hasil Planning Penyinaran Pasien Kanker Paru," *JRI (Jurnal Radiografer Indonesia)*, vol. 7, no. 1, pp. 7–11, 2024. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.55451/jri.v7i1.253>
- Taufiqurrahman, T., Rianto, S., & Setiawan, A. N. (2023). Comparative Analysis of Intensity Modulation Radiation Therapy and Volumetric Modulation Arc Therapy in Brain Tumor Cases to Minimize Radiation Dose to Organs at Risk. *International Journal of Social Health*, 2(10), 718-724. [online]. Tersedia: <https://doi.org/10.58860/ijsh.v2i10.111>
- Wu N., Wang Z., X. Guo and H. Zhao. (2023)." Dose-effect relationship of linear accelerator based stereotactic radiotherapy for brain metastases," Department of Radiation Oncology, China-Japan Union Hospital of Jilin University, No. 126, Xiantai Street, 130033 Changchun City, Jilin, PR China [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1186/s13014-023-02360-y>
- Wulandari, N., Heru A., Sriyatun S., dan Haris M., "Penatalaksanaan Radioterapi Kanker Payudara Teknik IMRT," *JRI (Jurnal Radiografer Indonesia)*, vol. 6, no. 1, pp. 15-21, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.55451/jri.v6i1.169>