

Analisis Kurva DVH Pasien Kanker Payudara Post Mastektomi Terhadap PTV dan OAR Paru-Paru dengan Teknik IMRT

Analysis of DVH Curves in Post-Mastectomy Breast Cancer Patients on PTV and Lung OAR Using IMRT Technique

Naura Shafila¹, Jerry Djohan¹, Saleha², Ajeng Anggreny Ibrahim¹, Ayu Harduanti Pratiwi¹, Sri Dewi Astuty¹, Syamsir Dewang^{1*}

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

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

Email: naurashflaa@gmail.com; jerrydarman96@gmail.com; devadevi115@gmail.com; ajengibrahim@unhas.ac.id; ayuhardiantip@unhas.ac.id; dewiastuti@fmipa.unhas.ac.id; *dewang1163@gmail.com

Received: 10th October 2024; Revised: 29th October 2024; Accepted: 26th November 2024

Abstrak – Kanker payudara telah menjadi kanker paling banyak diderita oleh masyarakat yakni sekitar 66.271 kasus kanker payudara pada tahun 2022. Pengobatan kanker payudara dapat dilakukan berbagai cara, salah satunya radioterapi, yang telah terbukti efektif dalam mengurangi angka kekambuhan dan gejala kanker. Treatment Planning System (TPS) merupakan perangkat yang digunakan untuk perencanaan radioterapi dengan melakukan optimasi dosis. Salah satu teknik penyinaran yang dapat diaplikasikan menggunakan TPS adalah teknik Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT). Metode penelitian menggunakan analisis hasil perencanaan TPS yaitu kurva Dose Volume Histogram (DVH) yang menampilkan distribusi dosis dari perencanaan radioterapi. Parameter dosis yang dianalisis yaitu Homogeneity Index (HI), Conformity Index (CI), dan perbandingan dosis pada PTV dan OAR QUANTEC, ICRU 62 tahun 1999 dan ICRU 83 tahun 2010. Analisis dilakukan secara statistik menggunakan SPSS dan secara deskriptif dengan melihat hasil grafik yang terbentuk dari hasil perhitungan. Hasil yang diperoleh adalah Nilai HI berada dalam rentang 0,1–0,8. Selanjutnya nilai CI berada dalam rentang 0,75–0,95. Selanjutnya Nilai PTV_{95%} pada 90% tidak memenuhi syarat ICRU yaitu PTV_{95%} > 95%. Batasan yang ditentukan oleh ICRU tidak terpenuhi pada semua pasien pada PTV_{107%} yaitu PTV_{107%} < 1%. Batasan dosis pada OAR paru-paru sesuai standar QUANTEC terpenuhi untuk semua pasien. Meskipun begitu, pada salah satu pasien, dosis yang diterima sangat mendekati batasan QUANTEC yaitu volume yang menerima dosis 20 Gy adalah 29%, hal tersebut mendekati batasan QUANTEC yaitu V₂₀ < 30%.

Kata kunci: Kanker payudara; TPS; IMRT; PTV; OAR.

Abstract – Breast cancer has become the most commonly suffered cancer in society, with approximately 66,271 cases of breast cancer in 2022. Breast cancer treatment can be carried out in various ways, one of which is radiotherapy, which has been proven effective in reducing recurrence rates and cancer symptoms. Treatment Planning System (TPS) is a device used for radiotherapy planning by optimizing the dose. One of the irradiation techniques that can be applied using TPS is the Intensity Modulated Radiation Therapy technique. (IMRT). The research method uses the analysis of TPS planning results, namely the Dose Volume Histogram (DVH) curve, which displays the dose distribution from the radiotherapy planning. The dose parameters analyzed are the Homogeneity Index (HI), Conformity Index (CI), and the dose comparison on the PTV and OAR according to QUANTEC, ICRU 62 of 1999, and ICRU 83 of 2010. The analysis was conducted statistically using SPSS and descriptively by examining the graphs formed from the calculations. The results obtained are HI values around 0,1–0,8. Next, the CI value is 0,75–0,95. Furthermore, the PTV_{95%} value at 90% does not meet the ICRU requirement, which is PTV_{95%} > 95%. The limits set by the ICRU are not met in all patients for PTV_{107%}, which is PTV_{107%} < 1%. The dose limits for the OAR lungs according to QUANTEC standards are met for all patients. However, in one patient, the

dose received was very close to the QUANTEC limit, with the volume receiving a dose of 20 Gy being 29%, which is close to the QUANTEC limit of $V_{20} < 30\%$.

Key words: *Breast cancer; TPS; IMRT; PTV; OAR.*

1. Pendahuluan

Kanker payudara (*carcinoma mammae*) adalah suatu jenis keganasan yang terjadi pada sel kelenjar, saluran kelenjar, dan jaringan penunjang payudara. Pada tahun 2022, Indonesia mengalami 66.271 kasus baru kanker payudara yang menempatkan kanker payudara sebagai jenis kanker yang paling banyak dialami di Indonesia [1]. Teknik radioterapi pada kanker payudara telah terbukti efektif dalam mengurangi angka kekambuhan, memperpanjang umur hidup, dan mengurangi gejala sesuai dengan stadium kanker. Ada dua cara utama untuk menerapkan radioterapi yaitu radioterapi secara eksternal dan internal (brakiterapi). Pemilihan metode tergantung pada lokasi dan jenis tumor yang perlu diobati [2]. Perencanaan radioterapi diperlukan agar dosis yang mengenai target dapat sesuai dengan dosis preskripsi dan dosis OAR dapat diminimalisir. Perencanaan radioterapi membutuhkan perangkat yang bernama TPS.

TPS merupakan komponen yang penting dalam radioterapi eksternal untuk menentukan bentuk dan distribusi sinar dengan tujuan utama untuk meningkatkan kontrol atas tumor dan mengurangi risiko komplikasi pada jaringan. Pada sistem TPS, terdapat beberapa teknik yang dapat diterapkan untuk melakukan radioterapi, salah satunya adalah teknik IMRT, yang juga bergantung pada perangkat lain, seperti LINAC. Teknik IMRT memiliki perbedaan dari teknik konvensional 2D atau 3D-CRT karena memiliki kemampuan untuk memodulasi intensitas radiasi yang diarahkan pada area tertentu [3]. Dalam penggunaan TPS pada radioterapi eksternal, beberapa faktor seperti ukuran, stadium, penyebaran kanker serta lokasi kanker mempengaruhi teknik perencanaan radioterapi kepada pasien, agar dapat memastikan kontrol tumor yang optimal tanpa merusak jaringan sekitar. Hasil perencanaan TPS disebut dengan DVH. DVH merupakan sebuah grafik yang memiliki kemampuan untuk merangkum seluruh distribusi dosis dalam satu kurva untuk setiap struktur anatomi yang diperlukan. DVH juga dapat menyajikan informasi kuantitatif mengenai dosis yang diserap oleh volume. Ada dua jenis volume radiasi pada TPS yakni PTV sebagai fokus utama kanker dan OAR yang merupakan organ sehat yang berada di sekitar PTV [4].

Berdasarkan informasi tersebut, pada penelitian ini dilakukan analisis hasil perencanaan radioterapi yaitu DVH pada pasien kanker payudara sebelah kiri yang telah melakukan mastektomi sebelum menjalani radioterapi dengan menggunakan teknik IMRT. Berdasarkan grafik DVH, parameter yang dievaluasi adalah nilai HI dan CI. Selain itu, penelitian ini akan membandingkan nilai dosis pada volume tertentu untuk PTV dan OAR, dengan batasan dosis yang telah ditetapkan, untuk mengevaluasi risiko efek samping radiasi pada jaringan sehat yang berada di sekitar PTV.

2. Landasan Teori

2.1. Kanker payudara

Kanker payudara (*carcinoma mammae*) merupakan keganasan yang berasal dari jaringan payudara baik dari epitel duktus maupun lobulusnya. Kanker payudara dapat terjadi karena kondisi sel yang sudah kehilangan mekanisme normalnya sehingga mengalami pertumbuhan yang tidak normal, cepat, dan tidak terkendali. Sel tidak normal tersebut akan terus tumbuh dan menjadi sebuah benjolan pada payudara yang dapat disebut dengan tumor. Benjolan yang tidak segera ditindaklanjuti dengan baik atau tidak terkontrol dapat menyebabkan kanker dan dapat mengalami penyebaran pada anggota tubuh yang lain [5].

2.2. Radioterapi

Radioterapi atau terapi menggunakan radiasi merupakan salah satu teknik pengobatan atau tindakan medis yang digunakan untuk membunuh sel kanker. Dalam radioterapi, pemberian dosis pada sel target harus tepat dan mengupayakan dosis radiasi rendah ke bagian tubuh disekitar sel target. Pemberian dosis yang berlebihan dikhawatirkan dapat membahayakan pasien, sedangkan pemberian dosis radiasi rendah akan berpengaruh dalam proses kesembuhan pasien. Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam

pemberian teknik dan besar dosis radiasi pada pasien seperti jenis kanker, kerusakan pada jaringan sekitar, lokasi kanker, serta riwayat medis pasien [6].

2.3. LINAC

Linear Accelerator (LINAC) merupakan suatu alat yang dapat mempercepat pergerakan elektron secara linear sehingga menghasilkan berkas foton dan elektron. LINAC biasanya digunakan dalam melakukan proses radioterapi. LINAC menggunakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi untuk mempercepat elektron dengan energi tinggi saat melewati tabung linear. Elektron dengan energi tinggi dapat digunakan untuk mengobati kanker pada kedalaman dangkal. Jika elektron tersebut dikenakan pada target akan menghasilkan berkas foton dan dapat digunakan untuk mengobati kanker dengan kedalaman yang cukup jauh [7].

2.4. Treatment Planning System (TPS)

Treatment Planning System (TPS) merupakan sebuah perangkat perencanaan radioterapi yang dilakukan secara komputasi. TPS memiliki tujuan untuk memaksimalkan dosis pada sel target dan meminimalkan dosis pada jaringan normal di sekitarnya atau OAR [8]. Salah satu teknik yang dapat diaplikasikan dalam perencanaan radioterapi pada TPS adalah teknik IMRT. Teknik IMRT merupakan metode pemberian radiasi dengan berkas sinar yang dimodulasi yang bertujuan untuk memberikan distribusi konformal pada target dan sesuai dengan bentuk target radiasi dan sesuai dengan bentuk target radiasi. Hasil yang didapatkan dari TPS adalah DVH. DVH merupakan kurva yang merepresentasikan distribusi dosis yang diterima oleh organ atau target tertentu dalam perencanaan terapi [9, 10].

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

Ada beberapa parameter yang dapat ditinjau untuk melakukan evaluasi terhadap kurva DVH yaitu HI yang mengukur keseragaman distribusi dosis, CI yang menilai kesesuaian distribusi dosis pada volume target, serta dosis radiasi maksimum serta minimum pada OAR dan PTV [11, 12]. Pada PTV dilakukan perhitungan HI dan CI yang merupakan parameter dalam penilaian kualitas distribusi dosis. CI menunjukkan sejauh mana wilayah dosis tinggi sesuai dengan PTV, sedangkan HI menunjukkan keseragaman distribusi dosis yang diserap dalam PTV. Perhitungan HI dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1).

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

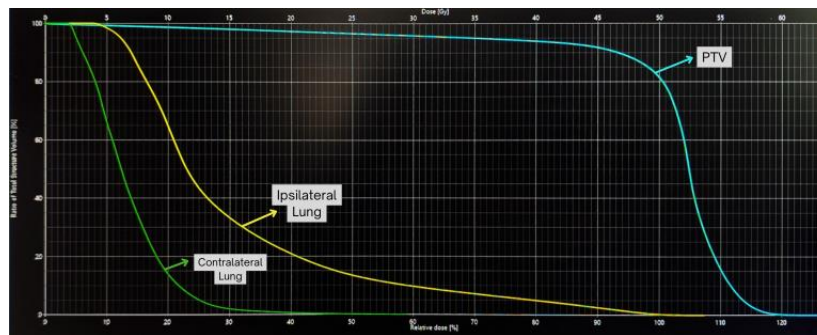
Sedangkan untuk menghitung CI digunakan Persamaan (2).

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

Dengan $D_{2\%}$ = dosis yang diterima pada 2% volume PTV, $D_{98\%}$ = dosis yang diterima pada 98% volume PTV, $D_{50\%}$ = dosis yang diterima pada 50% volume PTV, $V_{95\%}$ = volume jaringan yang terpapar 95% dosis perskripsi, dan V_{PTV} = volume total PTV.

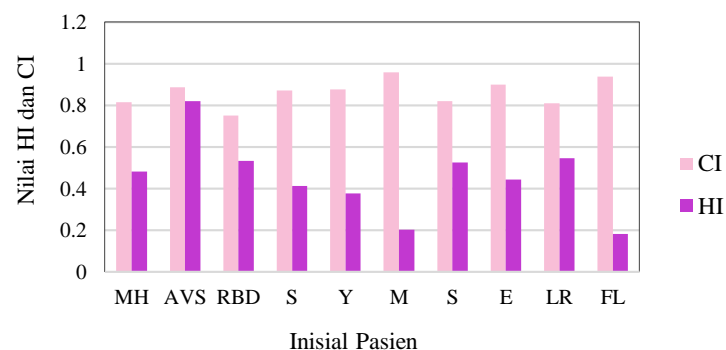
3. Hasil Dan Pembahasan

Penelitian ini mendapatkan hasil dengan melakukan analisis pada hasil TPS yaitu DVH. DVH dapat menunjukkan besar dosis yang diterima oleh PTV dan OAR paru-paru. Berikut merupakan salah satu gambar hasil TPS yang berupa kurva DVH dari pasien kanker payudara kiri dengan menggunakan teknik IMRT. Pada Gambar 1 dapat dilihat beberapa garis yang mewakili penyebaran dosis pada PTV dan OAR paru-paru.



Gambar 1. Kurva Dose Volume Histogram (DVH).

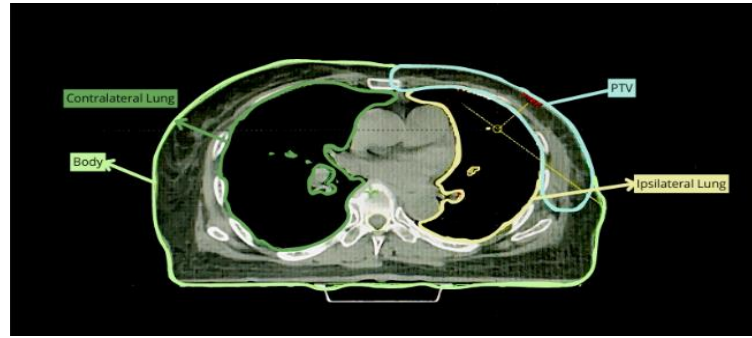
Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh data hasil pengambilan data dosis dari kurva DVH menggunakan teknik IMRT berupa data $D_{98\%}$, $D_{50\%}$, $D_{2\%}$, V_{PTV} , $V_{95\%}$ yang kemudian akan digunakan untuk menghitung HI dan CI. Selain itu dilakukan juga pengambilan data berupa $PTV_{95\%}$, $PTV_{107\%}$, dan V_{20} pada OAR paru-paru untuk melihat kesesuaian distribusi dosis dengan standar yang telah ditetapkan oleh QUANTEC. Berdasarkan hasil perhitungan HI dan CI didapatkan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai HI dan CI.

Gambar 2 merupakan grafik hasil perhitungan nilai HI untuk 10 pasien. Pada gambar terlihat bahwa nilai HI yang diperoleh mendekati nilai 0 dan tidak melewati nilai 1. Hasil penelitian yang didapatkan telah sesuai dengan ketentuan ICRU 83 bahwa HI idealnya memiliki nilai 0, yang berarti dosis pada PTV hampir homogen. Kehomogenan dosis pada perencanaan teknik IMRT disebabkan karena pada teknik IMRT berkas penyinaran radiasi akan dibagi menjadi segmen-segmen yang lebih kecil sehingga pada setiap volume kanker mendapatkan radiasi yang sama [13]. Peningkatan nilai HI dapat dilakukan dengan menambah jumlah lapangan penyinaran pada perencanaan IMRT agar lebih mendekati nilai ideal [14]. Pada penelitian ini digunakan 5 dan 6 lapangan penyinaran. Pada pasien MH, AVS, RBD, S, dan Y menggunakan 5 lapangan penyinaran dan pada pasien M, S, E, LR, dan FL menggunakan 6 lapangan penyinaran. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pasien dengan 6 lapangan penyinaran cenderung memiliki nilai HI yang lebih mendekati 0.

Gambar 3 menunjukkan grafik nilai CI pada 10 pasien. Pada penelitian ini nilai CI yang paling sesuai dengan standar ICRU yaitu 1 adalah pasien M. Sebagian besar perencanaan memiliki nilai 0.8 yang masih sesuai dengan standar ICRU. Untuk menjaga agar dosis pada OAR sesuai dengan batasan dosis yang diinginkan, maka pada daerah PTV dapat terjadi keadaan *underdosed*, yaitu keadaan ketika daerah target volume penyinaran menerima dosis radiasi yang lebih rendah dari dosis yang diinginkan, sehingga nilai CI yang dihasilkan menjadi kurang sesuai [15]. Analisis distribusi dosis yang diterima oleh PTV dan OAR dilakukan untuk memastikan apakah dosis yang diterima oleh PTV dan OAR sudah memadai dan memenuhi standar yang telah ditentukan. Menurut ICRU *Report 62*, nilai dosis pada PTV setidaknya 95% dan tidak lebih dari 107% dari dosis perskripsi.



Gambar 3. Letak IL dan CL pada perencanaan.

Pada penelitian ini dilakukan juga analisis dosis pada OAR paru-paru. OAR Paru-paru memiliki 2 bagian yaitu *Ipsilateral Lung* (IL) dan *Contralateral Lung* (CL). IL merupakan bagian paru-paru yang berada dekat dengan PTV, sedangkan CL merupakan bagian paru-paru yang berada diseberang PTV. Gambar 3 memperlihatkan letak IL dan CL pada perencanaan. Analisis OAR paru-paru dilakukan berdasarkan ketentuan QUANTEC yaitu $V_{20} < 30\%$ dan $D_{mean} < 2700$ cGy [16]. Analisis distribusi dosis pada PTV dan OAR dilakukan analisis secara statistik menggunakan SPSS. Analisis dilakukan dengan menggunakan hipotesis pada Tabel 1.

Tabel 1. Hipotesis pengujian parameter PTV dan OAR.

Parameter	H_0	H_1
PTV _{95%}	Volume PTV yang menerima 4750 cGy kurang dari 95%	Volume PTV yang menerima 4750 cGy lebih dari 95%
PTV _{107%}	Volume PTV yang menerima 5350 cGy lebih dari atau sama dengan 1%	Volume PTV yang menerima 5350 cGy kurang dari 1%
Dosis pada OAR paru-paru	Volume pada dosis paru-paru 20% melebihi 2000 cGy	Volume pada dosis OAR paru-paru 20% kurang dari 2000 cGy

Uji statistik yang dilakukan adalah uji normalitas untuk melihat apakah data yang dihasilkan memiliki distribusi yang normal. Jika data memiliki distribusi normal maka dilakukan uji *one sample t-test* dan jika data tidak terdistribusi normal maka dilakukan uji Binomial. Setelah dilakukan uji normalitas diperoleh hasil $p\text{-value} > 0,05$, yang berarti data memiliki distribusi normal. Tabel 2 menunjukkan bahwa semua parameter yang diuji memiliki distribusi normal kecuali CL.

Tabel 2. Hasil uji normalitas.

Parameter	Shapiro-Wilk Sig.
PTV _{95%}	0,540
PTV _{107%}	0,932
IL	0,084
CL	0,003
Mean IL	0,516
Mean CL	0,818

Tabel 3 menunjukkan hasil uji statistik yang menyatakan bahwa pada PTV_{95%} H_0 ditolak, yang berarti volume yang menerima 4750 cGy lebih dari 95%. Hal ini sudah sejalan dengan ketentuan yang dikeluarkan oleh ICRU. Sedangkan pada PTV_{107%} menyatakan bahwa H_0 diterima yang berarti volume PTV yang

menerima 5350 cGy lebih dari 1%. Hal ini tidak sesuai dengan ketentuan yang diberikan oleh ICRU. Dengan adanya ketidaksesuaian ini maka dilakukan analisis terhadap grafik dosis PTV_{95%} dan PTV_{107%}.

Tabel 3. Hasil uji *one sample t-test*.

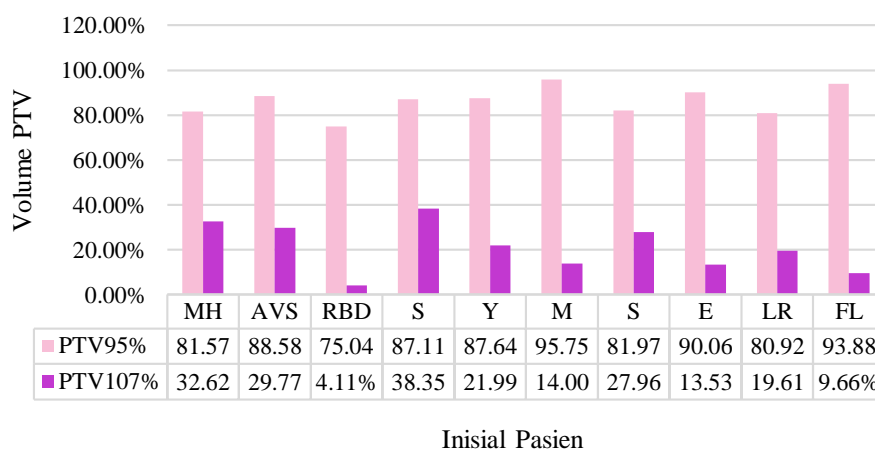
Parameter	Sig. (2-tailed)	Keterangan
PTV _{95%}	0,003	H ₀ ditolak
PTV _{107%}	0,111	H ₀ diterima
IL	0,006	H ₀ ditolak
Mean IL	0,000	H ₀ ditolak
Mean CL	0,000	H ₀ ditolak

Pada Gambar 4 dapat dilihat nilai PTV_{95%} dan PTV_{107%} pada masing-masing pasien. Untuk dosis PTV_{107%} menunjukkan bahwa lebih dari 1% volume menerima dosis 5350 cGy. Hal ini memicu munculnya *hot spot* pada PTV yang merupakan sebuah volume yang menerima dosis lebih besar daripada dosis yang ditentukan [17].

Tabel 3 dan 4 menunjukkan hasil uji *one sample t-test* yang dilakukan pada IL, CL, *mean* IL dan *mean* CL. Pada semua OAR H₀ ditolak yang berarti dosis pada 20% paru-paru tidak lebih dari 2000 cGy dan dosis *mean* 20% paru-paru tidak lebih dari 2700 cGy. Pada IL, volume terbanyak yang terpapar 20 Gy adalah pada pasien LR dengan 29.4% IL terpapar dosis 20 Gy. Angka tersebut sangat dekat dari batasan yang ditentukan oleh QUANTEC [18]. Penyebab tingginya dosis paru-paru pada pasien LR adalah letak paru-paru pasien yang terletak dekat dengan PTV sehingga terjadi kesulitan untuk meminimalkan dosis pada OAR. Letak organ pada pasien LR bisa dilihat pada Gambar 5.

Tabel 4. Hasil uji binomial.

Parameter	Sig. (2-tailed)	Keterangan
CL	0,002	H ₀ ditolak



Gambar 4. Penyebaran dosis pada PTV_{95%} dan PTV_{107%}.



Gambar 5. Hasil citra pasien LR (a) frontal, dan (b) aksial.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini diperoleh bahwa nilai HI dan CI sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Untuk nilai penyebaran dosis pada PTV terdapat beberapa pasien yang tidak memenuhi syarat ICRU, yang menyebabkan munculnya *hot spot* dan *cold spot*. Ketetapan oleh QUANTEC mengenai dosis OAR paru-paru telah terpenuhi oleh semua pasien meskipun ada beberapa pasien yang sangat mendekati batasan yang telah ditetapkan. Karena itu, analisis ini harus tetap dilakukan agar dapat mengetahui apakah dosis yang diberikan kepada pasien sudah sesuai dan tidak menimbulkan dampak negatif bagi pasien.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis sampaikan kepada seluruh staff Instalasi Radioterapi RS TK II Pelamonia Makassar yang telah memberikan fasilitas dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada dosen Program Studi Fisika, FMIPA, UNHAS yang telah membimbing dan membantu proses pelaksanaan penelitian ini sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.

Pustaka

- [1] J. Ferley, M. Ervik, F. Lam, M. Laversanne, M. Colombet, L. Mery, M. Pineros, A. Znaor, I. Soerjomataram, dan F. Bray, "Indonesia fact sheet," Global Cancer Observatory: Cancer Today, 2024. [Online]. Tersedia: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/populations/360-indonesia-fact-sheet.pdf>.
- [2] S. E. Griffiths dan C. A. Short, Radiotherapy: Principles to Practice a Manual for Quality in Treatment Delivery, Longman Singapore Publishers, 1994.
- [3] J. S. Chang, J. H. Chang, N. Kim, Y. B. Kim, K. H. Shin, dan K. Kim, "Intensity Modulated Radiotherapy and Volumetric Modulated Arc Therapy in the Treatment of Breast Cancer: An Updated Review," Journal of Breast Cancer, vol. 25, no. 5, pp. 349, 2022. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.4048/jbc.2022.25.e37>.
- [4] O. Febietri, D. Milvita, dan F. Diyona, "Analisis Dosis Radiasi Paru-Paru Pasien Kanker Payudara dengan Teknik Three Dimensional Conformal Radiation Therapy (3D-CRT) Berdasarkan Grafik Dose Volume Histogram (DVH)," Jurnal Fisika Unand, vol. 9, no. 1, pp. 110–117, 2020. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.110-117.2020>.
- [5] A. Rizka, M. K. Akbar, dan N. A. Putri, "CARCINOMA MAMMAE SINISTRA T4bN2M1 METASTASIS PLEURA," AVERROUS: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Malikussaleh, vol. 8, no. 1, pp. 23, 2022. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.29103/averrous.v8i1.7006>.
- [6] Y. Asri, G. N. Sutapa, I. W. B. Sudarsana, dan R. Irhas, "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>.
- [7] G. Novinda dan G. Illya, "EVALUASI DOSIS FOTON PADA PASIEN KANKER REKTUM DENGAN TEKNIK 3DCRT DAN IMRT," Karst: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapannya, vol. 7, no. 1, pp. 51–57, 2024. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.46918/karst.v7i1.2221>.

- [8] Y. E. Daniartie, P. S. Wardani, D. R. P. S. Putri, R. J. Stevenly, dan S. Suryaningsih, "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, 2022. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.30872/ppj.v3i1.873>.
- [9] I. Wulandari, N. Heru Apriantoro, S. Sriyatun, dan M. Haris, "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>.
- [10] S. Yani, "Analisis Kurva Dose Volume Histogram (DVH) pada Teknik 3D Konformal dengan Metode Monte Carlo," *POSITRON*, vol. 11, no. 1, pp. 19, 202
- [11] The International Commission on Radiation Units and Measurements, "ICRU Report 62, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Reports 50)," 1999.
- [12] The International Commission on Radiation Units and Measurements, "ICRU Report 83, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)," 2010.
- [13] M. Husni, M. A. Shafii, R. Adrial, dan M. Ilyas, "Analisis Perbandingan Nilai Conformity Index dan Homogeneity Index pada Teknik 3D-CRT dan IMRT pada Kasus Kanker Payudara Berdasarkan Hasil TPS di RS UNAND," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 511–517, 2021. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.511-517.2021>.
- [14] M. Ibrahim, E. Attalla, M. El Naggat, dan W. Elshemey, "Is 9-field IMRT superior to 7-field IMRT in the treatment of nasopharyngeal carcinoma?" *Indian Journal of Cancer*, vol. 57, no. 4, pp. 388, 2020. [Online]. Tersedia: https://doi.org/10.4103/ijc.IJC_555_18.
- [15] E. P. Sari, A. S. Lubis, R. F. Pratiwi, dan A. T. Oktaviana, "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>.
- [16] D. Mirza, I. P. E. Juliantara, dan C. Amelia, "ANALISIS DOSIS RADIASI PARU PADA PASIEN RADIOTERAPI KANKER PAYUDARA DENGAN TEKNIK 3D-CRT BERDASARKAN GRAFIK DVH," *Jurnal Medika Malahayati*, vol. 7, no. 4, pp. 1172–1181, 2024. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.33024/jmm.v7i4.12596>.
- [17] A. Ardani, E. Susanto, N. Sulaksono, dan S. Mulyati, "TATALAKSANA RADIOTERAPI EKSTERNA PADA KANKER PAYUDARA DENGAN TEKNIK SIMULTANEOUS INTEGRATED BOOSTER (SIB) DI UNIT RADIOTERAPI INSTALASI RADIOLOGI RS KEN SARAS KABUPATEN SEMARANG," *Jurnal Imejng Diagnostik (JImeD)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [18] S. Herwiningsih, A. Naba, S. Rianto, dan F. K. Hentihu, "DOSIMETRIC EVALUATION OF POST-MASTECTOMY THREE-DIMENSIONAL CONFORMAL RADIATION THERAPY (3DCRT) BREAST CANCER TREATMENT PLANS," *Indonesian Physical Review*, vol. 6, no. 3, pp. 284–293, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.29303/ipr.v6i3.240>.