



**Analysis of OAR Dose in Radiotherapy for Sinistra Breast Cancer
At Universitas Andalas Hospital**

**Analisis Dosis OAR Pada Radioterapi Kanker Payudara Sinistra
Di Rumah Sakit Universitas Andalas**

**Ramacos Fardela^{1*}, Adinda Mahesa Putri¹, Innes Andriani¹, Fiqi Diyona^{1,2}, Rika Analia¹,
Dedi Mardiansyah¹**

¹Departemen Fisika, Universitas Andalas, Indonesia

² Fisikawan Medis, Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit Universitas Andalas, Indonesia

*ramacosfardela@sci.unand.ac.id

Article History	Received : 02 08 2023	Revised : 14 08 2023	Accepted : 03 09 2023
------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------

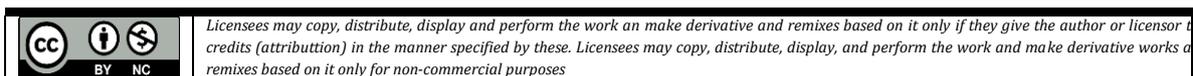
Abstract: Breast cancer ranks first in Indonesia and is one of the main contributors to cancer deaths. Breast cancer treatment can be done using radiation therapy or commonly called radiotherapy. One modality that is often used in radiotherapy is Linear Accelerator (Linac). In order for radiation therapy to hit cancer targets and safe Organ-At-Risk (OAR), it is necessary to evaluate radiation therapy planning. Evaluation was conducted on two radiation therapy planning techniques, namely Three Dimensional Conformal Radiotherapy (3D-CRT) and Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) techniques. Radiation therapy tests were conducted on 3 patients with left breast cancer. The results of dose analysis on OAR using 3D-CRT technique obtained better target dose distribution and protection of OAR compared to 2D planning technique. The best radiation therapy planning is obtained in the IMRT technique. In this planning technique, a more homogeneous dose distribution is obtained on the target and dose achievement on the OAR around the cancer target.

Keywords: Breast cancer; LINAC; PDD; 3D-CRT; IMRT.

Abstrak: Kanker payudara menempati urutan pertama di Indonesia dan menjadi salah satu penyumbang kematian utama akibat kanker. Penanganan Kanker payudara dapat dilakukan menggunakan terapi radiasi atau biasa disebut radioterapi. Salah satu modalitas yang sering digunakan dalam radioterapi adalah *Linear Accelerator* (Linac). Agar terapi radiasi dapat mengenai target kanker dan aman *Organ-At-Risk* (OAR) perlu dilakukan evaluasi perencanaan terapi radiasi. Evaluasi dilakukan terhadap dua teknik perencanaan terapi radiasi yaitu teknik *Three Dimensional Conformal Radiotherapy* (3D-CRT) dan *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT). Uji terapi radiasi dilakukan terhadap 3 orang pasien kanker payudara kiri. Hasil analisis dosis pada OAR menggunakan teknik 3D-CRT diperoleh sebaran dosis target dan perlindungan terhadap OAR lebih baik dibandingkan dengan teknik perencanaan 2D. Perencanaan terapi radiasi terbaik diperoleh pada teknik IMRT. Pada teknik perencanaan tersebut diperoleh sebaran dosis lebih homogen pada target maupun capaian dosis pada OAR sekitar target kanker.

Kata Kunci: Kanker Payudara; LINAC; PED; 3D-CRT; IMRT.

How to cite: Fardela, R., Andriani, I., Putri, AM., Diyona, F., Analia, R., dan Mardiansyah, D., 2023. Analisis Dosis OAR Pada Radioterapi Kanker Payudara Sinistra Di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Natural Science: Jurnal Penelitian Bidang IPA dan Pendidikan IPA*, 9(2): 112-123.



A. Pendahuluan

Kanker payudara merupakan salah satu jenis kanker yang paling banyak diderita oleh masyarakat, khususnya wanita. Kanker payudara menempati urutan pertama terkait jumlah kanker terbanyak di Indonesia serta menjadi salah satu penyumbang kematian pertama akibat kanker. Data Globocan tahun 2020, menyebutkan bahwa jumlah kasus baru kanker payudara mencapai 68.858 kasus (16,6%) dari total 396.914 kasus baru kanker di Indonesia. Sementara itu, untuk jumlah kematiannya mencapai lebih dari 22 ribu jiwa (Kemenker RI, 2022). Pengobatan pada kanker payudara tergantung pada jenis, stadium, ukuran kanker, serta sensitivitasnya terhadap hormon. Metode pengobatan kanker payudara dapat dilakukan dengan pembedahan, kemoterapi, terapi hormone, dan terapi radiasi.

Terapi radiasi atau biasa disebut dengan radioterapi merupakan salah satu teknik pengobatan atau tindakan medis yang digunakan untuk membunuh sel kanker dengan memanfaatkan radiasi pengion (Susworo, 2007). Salah satu modalitas yang sering digunakan dalam radioterapi adalah *Linear Accelerator* (Linac). Linac merupakan pesawat teleterapi menggunakan sumber radiasi pada jarak tertentu dari tubuh pasien. Linac dirancang untuk mempercepat pergerakan elektron secara Linear dan memiliki teknik penyinaran radiasi dua dimensi (2D), *Three Dimensional Conformal Radiotherapy* (3D-CRT), *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT), dan *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) (IAEA, 2000).

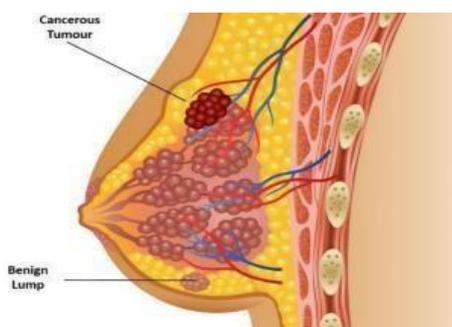
Tatalaksana pengobatan pada kanker payudara menggunakan linac harus didahului dengan diagnosa yang lengkap dan akurat termasuk penetapan stadium. Diagnosa dan tatalaksana pada kanker payudara haruslah dilakukan dengan pendekatan humanis dan komprehensif (Permenkes, 2018). Pemberian dosis radiasi dalam terapi tersebut harus tepat sesuai dengan perencanaan dari dokter. Oleh karena itu diperlukan perencanaan dosis yang tepat agar dosis diterima sesuai kebutuhan pasien. Jumlah total dosis untuk terapi kanker payudara sebesar (50-70) Gy dan dapat diberikan dalam beberapa fraksi. Jumlah fraksi yang sering digunakan antara 25-30 fraksi dengan dosis (1,8 sampai 2,0) Gy per fraksi (Montay, dkk, 2022), (Yang, dkk, 2022). Disamping pemberian dosis yang tepat perlu memperhatikan dosis yang diterima oleh OAR yaitu bagian dari tubuh yang berada di sekitar area target yang dirawat dan merupakan struktur yang harus dihindari dari paparan radiasi sebanyak mungkin untuk mengurangi risiko komplikasi jangka panjang.

Penelitian terkait evaluasi dosis OAR pada pemeriksaan radioterapi telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya oleh Elvira, dkk (2023) melakukan penelitian terkait perencanaan radioterapi menggunakan teknik IMRT (*Intensity Modulated Radiotherapy*) pada pasien kanker nasofaring. Suryaning, dkk (2023) melakukan penelitian terkait tentang analisis sebaran dosis radiasi pada OAR dengan menggunakan pendekatan *dose volume histogram* (DVD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat penerimaan dosis OAR yang cukup tinggi pada bagian jantung dan paru-paru kiri terjadi khususnya pada pasien yang sudah menjalani operasi mastektomi. Penelitian lainnya dilakukan oleh Iqbal, dkk (2023) terkait

analisis dosis OAR pada radioterapi kanker serviks menggunakan IMRT. Hasil penelitian menyatakan bahwa setiap prosedur yang dilakukan telah memenuhi standar yang ditetapkan, menghasilkan terapi tepat pada target dan rendah pada OAR (Iqbal, dkk, 2023). Febrietri, dkk (2020) telah melakukan penelitian tentang Analisis Dosis Radiasi Paru-Paru Pasien Kanker Payudara dengan Teknik 3D-CRT Berdasarkan Grafik DVH. Hasil penelitian menyatakan dosis radiasi pada *Planning Target Volume* (PTV) dan paru-paru yaitu dosis radiasi yang diterima paru-paru pasien melebihi aturan QUANTEC dan menjadi salah satu risiko terjadinya pneumonitis. Selanjutnya, terkait dengan penelitian sebelumnya, artikel ini mengkaji tentang analisis dosis OAR pada pemeriksaan kanker payudara sinistra di Rumah Sakit Universitas Andalas. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui teknik perencanaan terapi yang paling tepat dalam terapi kanker payudara, dengan harapan OAR mendapatkan radiasi yang rendah dan kanker mendapatkan dosis radiasi yang maksimal.

Kanker Payudara (*Carcinoma Mammae*)

Kanker payudara adalah penyakit yang timbul pada organ payudara. Kanker tersebut disebabkan oleh sel-sel yang membelah tanpa kendali. Sel-sel tersebut berupa sel hasil dari mutasi gen dengan perubahan bentuk, ukuran maupun fungsinya (*American Cancer Society, 2022*). Kanker payudara dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sel Kanker Pada Payudara

American Joint Committee on Cancer (AJCC) mengklasifikasikan kanker payudara kedalam variabel TNM. Variabel TNM merupakan singkatan dari tumor (T) yang menggambarkan ukuran dan lokasi tumor di dalam payudara. Nodus (N) menggambarkan apakah sel kanker telah menyebar ke kelenjar getah bening di dekat payudara. Metastasis (M) menggambarkan apakah sel kanker telah menyebar ke organ tubuh lainnya. Sistem penilaian TNM ini membantu dokter dalam membuat perencanaan pengobatan yang tepat berdasarkan stadium dan perkembangan penyakit pasien.

Radioterapi

Radioterapi merupakan penggunaan radiasi pengion dalam tindakan medis untuk mematikan sel-sel kanker semaksimal mungkin dengan meminimalkan

kerusakan pada sel normal. Dosis radiasi yang diterima oleh organ sehat di sekitar kanker haruslah seminimal mungkin dan dosis radiasi pada target harus tepat. Dosis rendah akan mempengaruhi proses penyembuhan pasien, sedangkan dosis yang berlebih akan membahayakan pasien. Pemberian dosis radiasi bergantung pada jenis kanker (Koka, dkk, 2022).

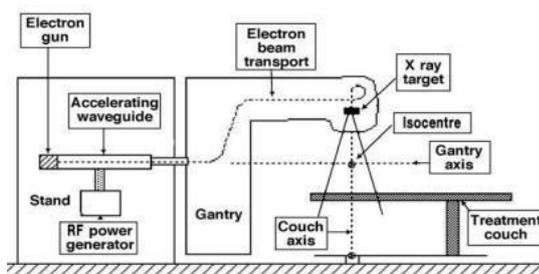
Salah satu jenis terapi berdasarkan jarak sumber radiasi ke tubuh manusia adalah teleterapi. Teleterapi teknik pemberian radiasi dengan meletakkan sumber radiasi pada jarak yang telah ditentukan dari tubuh pasien. Salah satu instrumen teleterapi yang tersedia pada Rumah Sakit Universitas Andalas adalah *Linear Accelerator* (Linac). Pesawat Linac dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pesawat Linac
(Sumber : Dokumentasi RS Unand, 2023)

Linac merupakan instrumen penghasil elektron atau foton berenergi tinggi. Elektron berenergi tinggi digunakan untuk mengobati kanker/tumor yang posisinya dangkal (kulit), sedangkan berkas foton energi tinggi untuk mengobati kanker yang lokasinya lebih dalam (Podgorsak, 2005).

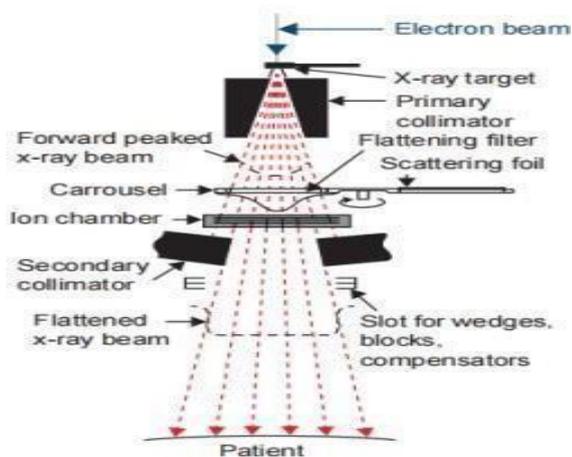
Pesawat Linac terdiri dari beberapa komponen *stand*, *RF power generator*, *electron gun*, *accelerating waveguide*, *gantry*, *elektron beam transport*, kepala Linac, meja kerja, dan *couch*. Komponen utama pesawat Linac terdapat di bagian kepala. Skema pesawat Linac dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Pesawat Linac (Podgorsak, 2005)

Proses pembentukan foton energi tinggi pada pesawat Linac melalui beberapa tahapan. Elektron yang bersumber dari elektron gun dipercepat oleh *Accelerator*

waveguide. Kemudian elektron dilewatkan ke magnet pembelok yang akan membelokkan berkas elektron sebesar 90°. Elektron diteruskan melalui saluran berkas sampai menuju target. Elektron bertumbukan dengan target tungsten dan menghasilkan foton sinar X energi tinggi di kepala linac. Fungsi lain kepala linac adalah pembentukan berkas foton (Podgorsak, 2003). Skema kepala pesawat Linac dalam menghasilkan foton energi tinggi diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembentukan foton sinar X pada kepala linac

Sinar-X energi tinggi yang terbentuk terdiri dari sinar X karakteristik dan sinar X Bremsstrahlung. Sinar X Bremsstrahlung terjadi saat elektron dengan energi kinetik berinteraksi dengan medan energi tinggi pada atom target. Saat inti atom dan elektron berdekatan, inti atom yang memiliki medan energi yang cukup besar untuk ditembus oleh elektron proyektil, sehingga inti atom memperlambat gerak elektron proyektil dan menyebabkan elektron proyektil kehilangan energi dan berubah menjadi sinar-X Bremsstrahlung (Khan dan Gibbons, 2014).

Percentage Depth Dose (PDD)

Percentage Depth Dose (PDD) adalah perbandingan dosis serap pada kedalaman tertentu (D_d) dengan dosis serap pada kedalaman maksimum (d_{max}) sepanjang sumbu pusat yang dinyatakan dalam persentase. Distribusi dosis pada pusat sumbu dalam pasien atau fantom dinormalisasikan ke $d_{max}=100\%$ pada kedalaman maksimum (z_{max}). Kedalaman maksimum atau biasa disebut dengan daerah *build up* merupakan jarak antara permukaan sampai dengan titik target dengan dosis maksimum (Podgorsak, 2003). PDD dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$PDD = \frac{D}{d_{max}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan:

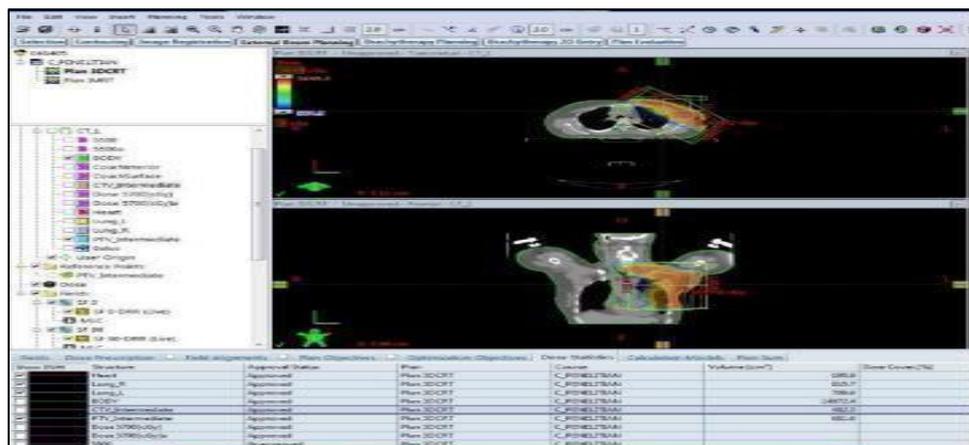
D : Dosis pada kedalaman tertentu.

d_{max} : Dosis pada kedalaman maksimum.

Three Dimensional Conformal Radiotherapy (3D-CRT)

Three Dimensional Conformal Radiotherapy atau 3D-CRT merupakan penggambaran dari proses perencanaan dan pemberian radioterapi pada data pencitraan 3 dimensi dan konformal yang merupakan bentuk dari penyinaran yang disesuaikan dengan bentuk target radiasi (Susworo dan Kodrat, 2017). Pengaturan berkas radiasi lebih kompleks dengan intensitas homogen dapat dihasilkan dengan terapi konformal, sehingga dapat diberikan dosis maksimal pada tumor dan dosis minimal pada jaringan sehat.

Perencanaan 3D-CRT mempunyai prinsip komputerisasi secara forward, yakni setelah pengaturan berkas radiasi, dosis radiasi dan sudut penyinaran dilakukan perhitungan optimasinya. MLC dan sudut penyinaran dapat diatur jika dosis radiasi yang diinginkan belum tercapai. Fitur Perencanaan terapi dan visualisi target dan OAR dengan Teknik 3D-CRT dapat dilihat pada Gambar 5.

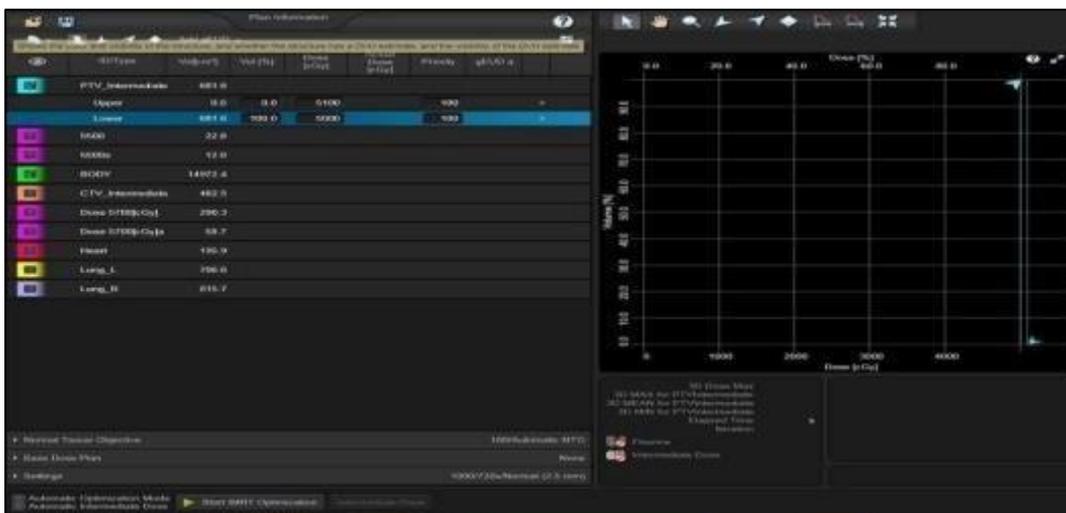


Gambar 5. Perencanaan 3D-CRT (Sumber: RS. Unand)

Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)

IMRT merupakan metode dalam perencanaan terapi pemberian radiasi dengan berkas sinarnya non-uniform yang bertujuan agar distribusi dosis homogen sesuai dengan bentuk PTV atau bentuk target. Sehingga dosis maksimum yang diterima target dan dosis minimum yang diterima oleh organ sehat disekitarnya, sehingga tujuan dari radioterapi dapat dicapai dan kualitas hidup pasien akan lebih baik dan meningkat (Cho, 2018).

Teknik IMRT diawali dengan pengambilan citra dengan CT-Scan atau CT-Simulator yang kemudian dilakukan perencanaan terapi dengan menggunakan perangkat lunak khusus komputer atau komputerisasi secara inversi. Perencanaan secara inversi dengan memasukkan tujuan yang ingin dicapai sehingga komputer akan menghitung dosis radiasi PTV dan OAR. Komputer akan menentukan dosis radiasi pada target kanker, organ sehat di sekitar, dan bentuk lapangan. Optimasi perhitungan akan diulangi jika dosis pada PTV atau OAR belum tercapai. Tujuan dari optimasi inversi tercapai jika dosis maksimum pada target dan dosis minimum pada organ sehat. Fitur software Teknik IMRT dan visualisasi kurva *Dose Histogram Value* (DVH) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perencanaan IMRT (Sumber: RS. Unand)

Treatment Planning System (TPS)

Treatment Planning System (TPS) adalah suatu sistem komputer yang sistematis berperan dalam pembuatan perencanaan terapi radiasi. Perencanaan dilakukan sebelum dilakukan penyinaran pada pasien dengan tujuan agar mengetahui distribusi dosis radiasi yang akan diterima oleh pasien. TPS memiliki tujuan agar distribusi dosis radiasi optimal dan homogen pada volume target serta dosis minimum pada organ sehat. TPS digunakan untuk menentukan energi radiasi, luas lapangan, arah penyinaran dan perhitungan motor unit (MU). Masing-masing pasien yang akan diterapi menjalani perencanaan secara individual (Mayles, 2007).

B. Metode Penelitian

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data pasien Rumah Sakit Universitas Andalas di bagian Instalasi Radioterapi. Data tersebut merupakan data citra pasien yang telah diperiksa menggunakan alat CT Simulator. Selanjutnya, dokter spesialis onkologi radiasi melakukan penandaan (deliniasi) volume target dan daerah OAR. Setelah penandaan gambar selesai, fisikawan medis melakukan perencanaan terapi radiasi eksternal pada pasien menggunakan teknik 3D-CRT dan IMRT. Hasil dari perencanaan tersebut dilakukan analisa kurva *Dose Histogram Value* (DVH) untuk menentukan sebaran dosis pada target dan OAR serta menentukan efektifitas teknik 3D-CRT dan IMRT dalam perencanaan terapi radiasi.

C. Hasil dan Pembahasan

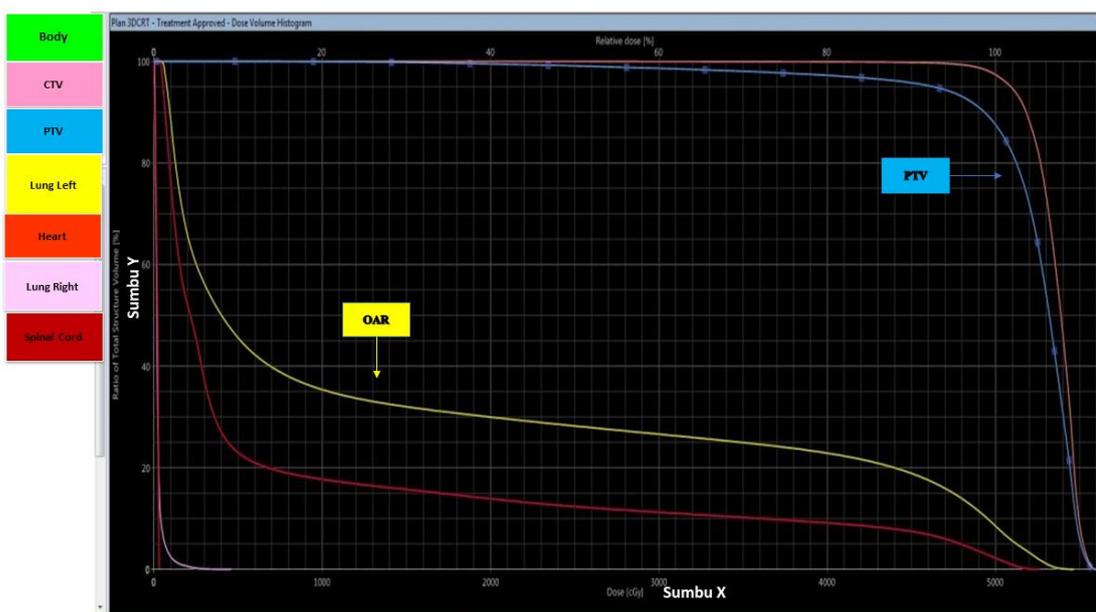
Analisis Nilai *Organ at Risk* (OAR) Teknik 3D-CRT

Analisis OAR dilakukan terhadap 3 orang pasien kanker payudara kiri dengan perencanaan terapi radiasi menggunakan teknik 3D-CRT. OAR terdekat pada pasien kanker payudara kiri yang ditinjau adalah organ paru kiri dan jantung. Hasil perencanaan terapi radiasi menggunakan teknik 3D-CRT diperoleh kurva *Dose*

Histogram Value (DVH) pada target dan OAR diperlihatkan pada Gambar 7 dan nilai Analisis kurva Dose Histogram Value (DVH) diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Nilai OAR menggunakan Teknik 3D-CRT

No	Nama Pasien	Teknik	DVH target		DVH OAR	
			Chest	Supraclav	Paru Kiri	Jantung
1	B	3D-CRT	94,33%	95,8%	38,6%	11,9%
2	EG	3D-CRT	93,84%		29,9%	12,33%
3	RM	3D-CRT	86,73%	95,2%	35,55%	9,8%



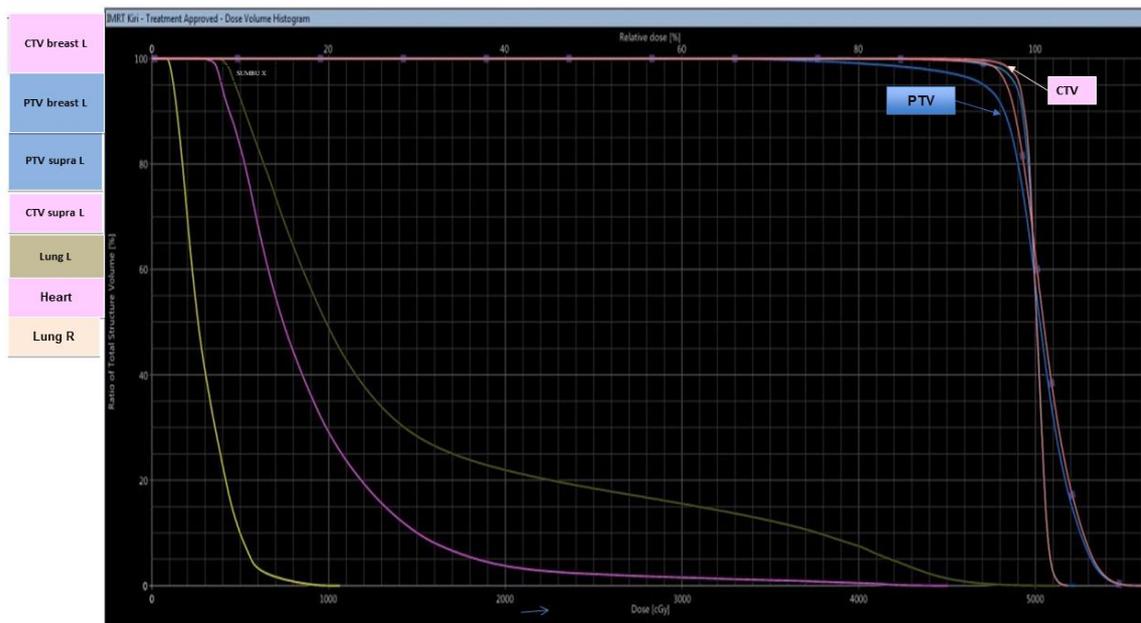
Gambar 7. Kurva DVH dari target kanker dan OAR menggunakan Teknik 3D-CRT

Berdasarkan Gambar 7 dan Tabel 1 terlihat bahwa dosis target kanker dan dosis pada OAR saling mempengaruhi. Nilai dosis yang mengenai OAR paru kiri sebesar $V_{20} < 29,98\%$. Nilai tersebut masih memenuhi ketentuan *dose constrain* paru yaitu $V_{20} < 30\%$. Sedangkan pada organ jantung diperoleh nilai sebaran dosis berada pada $V_{25} < 13\%$. Nilai tersebut lebih besar dari nilai yang disyaratkan pada *dose constrain* untuk jantung yaitu $V_{25} < 10\%$. Tingginya sebaran dosis yang diterima OAR (jantung) disebabkan posisi target kanker dan posisi OAR yang terlalu berdekatan dengan target kanker. Pada perencanaan radiasi menggunakan teknik 3D-CRT didapatkan hasil lebih baik jika dibandingkan dengan teknik perencanaan 2D, baik dari sebaran dosis target maupun perlindungan terhadap OAR. Adapun kurva hasil sebaran dosis pada 3D-CRT disajikan pada Gambar 7.

Analisis Nilai Organ At Risk (OAR) Teknik IMRT

Analisis nilai sebaran dosis pada target kanker dan OAR dilakukan terhadap 3 orang pasien kanker payudara kiri melalui kurva Dose Histogram Value (DVH). Hasil analisis kurva Dose Histogram Value (DVH) pada target dan OAR diperlihatkan pada

Gambar 8 dan nilai Analisis kurva *Dose Histogram Value (DVH)* OAR diperlihatkan pada Tabel 2.



Gambar 8. Kurva DVH dari target kanker dan OAR menggunakan Teknik IMRT

Tabel 2. Hasil Analisis Nilai *Organ at Risk (OAR)* menggunakan Teknik IMRT

No	Nama Pasien	Teknik	DVH target		DVH OAR	
			Chest	Supraclav	Paru Kiri	Jantung
1	DN	IMRT	96,2%	96,78%	26,69%	4,87%
2	RY	IMRT	99,78%	99,99%	21,9%	2,1%
3	R	IMRT	95,7%	98,9%	29,35%	7,79%

Berdasarkan Gambar 8 dan Tabel 2 diperoleh nilai dosis yang mengenai OAR paru kiri sebesar $V_{20} < 23,49\%$. Nilai tersebut lebih rendah dari ketentuan *dose constrain* paru yaitu $V_{20} < 30\%$. Sedangkan pada organ jantung diperoleh nilai sebaran dosis sebesar $V_{25} < 3,21\%$. Nilai tersebut lebih kecil dari nilai yang disyaratkan pada *dose constrain* untuk jantung yaitu $V_{25} < 10\%$. Menurut Salimi et al. (2017) di dalam jurnalnya mengenai terapi radiasi konformal 3D (3D CRT) pada kanker prostat menjelaskan bahwa rendahnya dosis pada OAR disebabkan IMRT merupakan metode dalam perencanaan terapi pemberian radiasi dengan berkas sinarnya *non-uniform* yang bertujuan agar distribusi dosis homogen sesuai dengan bentuk PTV atau bentuk target. Sehingga dosis maksimum yang diterima target dan dosis minimum yang diterima oleh organ sehat disekitarnya. Penggunaan perencanaan radioterapi dengan menggunakan teknik IMRT lebih baik untuk melindungi OAR disekitar target jika dibandingkan dengan perencanaan radisi teknik 3D-CRT, baik dari nilai homogenitas sebaran dosis maupun capaian dosis pada OAR sekitar target kanker.

D. Simpulan

Perencanaan radiasi dapat dilakukan menggunakan teknik 3D-CRT dan IMRT. Penggunaan teknik 3D-CRT lebih baik dibandingkan penggunaan teknik 2D. Pemanfaatan teknik 3D-CRT belum sepenuhnya efektif karena tidak dapat memberikan perlindungan optimal pada organ sehat sekitar target radiasi. Perencanaan radiasi menggunakan teknik IMRT mendapatkan hasil jauh lebih baik untuk sebaran nilai dosis target kanker maupun perlindungan terhadap organ sehat sekitar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dokter Spesialis Onkologi dan Pihak Rumah Sakit Universitas Andalas yang telah memberikan izin penelitian ini.

Daftar Pustaka

- American Cancer Society. (2022). *Breast Cancer What is breast cancer? American Cancer Society. Cancer Facts and Figures Atlanta, Ga: American Cancer Society*, 1-19. <http://www.cancer.org/cancer/breast-cancer/about/what-is-breast-cancer.html>.
- Azizah, M., Milvita, D., Herlida, S. & Yudi Pati Sandy, K. (2016). Verifikasi Dosis Radiasi Kanker Menggunakan TLD-100 pada Pasien Kanker Payudara dengan Penyinaran Open System. *Jurnal Fisika Unand*, 5(2). <https://doi.org/10.25077/jfu.5.2.147-152.2016>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2018.04.001>
- Cho, B. (2018). Intensity-modulated radiation therapy: a review with a physics perspective. *Radiation oncology journal*, 36(1), 1. <https://doi.org/10.3857/roj.2018.00122>
- Elvira, R., Taufiq, I., Adrial, R., & Ilyas, M. (2021). Analisis Perencanaan Radioterapi Pasien Kanker Nasofaring Menggunakan Teknik Intensity Modulated Radiotherapy. *Jurnal Fisika Unand*, 10(3), 337-343. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.337-343.2021>
- Febrietri, O., Milvita, D., & Diyona, F. (2020). 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*, 9(1), 110-117. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.110-117.2020>
- Freire, L., Calado, A., Cardoso, J.V., Santos, L.M. & Alves, J.G. (2008). *Comparison of LiF (TLD-100 and TLD-100H) Detectors for Extremity Monitoring, Radiation Measurements*, Vol. 43, No. 2, Elsevier, hal. 646- 650. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2007.12.013>
- International Atomic Energy Agency. (2000). *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*, Technical Reports Series 398, IAEA, Vienna.

- International Atomic Energy Agency. (2012). *External Photon Beams Physical Aspek*s, IAEA, Vienna.
- Iqbal, M., Milvita, D., & Ilyas, M. (2023). Analisis Perencanaan Radioterapi Menggunakan Teknik Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) pada Pasien Kanker Serviks. *Jurnal Fisika Unand*, 12(1), 164-170. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.1.164-170.2023>
- Kemendes Homepage. (2013). Panduan Penatalaksanaan Kanker Payudara, Kementerian Kesehatan, Komite Penanggulangan Kanker Nasional, <http://kanker.kemendes.go.id> (Diakses Maret 2023).
- Kemendes Homepage. (2019). Hari kanker sedunia diperingati setiap tanggal 4 februari, <https://www.kemendes.go.id/article/view/19020100003/hari-kanker-sedunia-2019.html> (Diakses Maret 2023).
- Kementerian Kesehatan RI. (2022). Kanker Payudara Paling Banyak di Indonesia, Kemendes Targetkan Pemerataan Layanan Kesehatan Sehat Negeriku. Biro Komunikasi Dan Pelayanan Masyarakat, 8-9. <https://sehatnegeriku.kemendes.go.id/baca/umum/20220202/1639254/kanker-payudara-paling-banyak-di-indonesia-kemendes-targetkan-pemerataan-layanan-kesehatan/> (Diakses Maret 2023).
- Khan, F.M. & Gibbons, J.P. (2014). *The Physics of Radiation Therapy, The 5 th edition*, Lippincott Williams & Wilkins, USA.
- Koka, K., Verma, A., Dwarakanath, B. S., & Papineni, R. V. (2022). Technological advancements in external beam radiation therapy (EBRT): An indispensable tool for cancer treatment. *Cancer Management and Research*, 1421-1429. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S351744>
- Mayles, P. (2007). *Handbook of Radiotherapy Physics: Teori and Practice*, Taylor and Francis Group, New York.
- Mayles, P. (2011). *Development of Procedures For In Vivo Dosimetry in Radiotherapy*. Radiotherapy and Oncology, 99, S225.
- Montay-Gruel, P., Corde, S., Laissue, J. A., & Bazalova-Carter, M. (2022). FLASH radiotherapy with photon beams. *Medical Physics*, 49(3), 2055-2067. <https://doi.org/10.1002/mp.15222>
- Podgorsak, E.B. (2005). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and students*, IAEA, Vienna.
- Pramesti, W. S., Yuana, F., Herwiningsih, S., Hentihu, F. K., & Anto, A. K. (2023). Analisis sebaran dosis organ at risk (OAR) pada perencanaan radioterapi kanker payudara kiri dengan teknik 3D-CRT melalui dose volume histogram (DVH). *Journal of Medical Physics and Biophysics*, 10(1), 28-38.
- Salimi M, Abi KST, Nedaie HA, Hassani H, Gharaati H, Samei M, Shahi R, Zarei H. Assessment and Comparison of Homogeneity and Conformity Indexes in Step-and-Shoot and Compensator-Based Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) and Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy (3D CRT) in Prostate Cancer. *J Med Signals Sens*. 2017 Apr-Jun;7(2):102-107. PMID: 28553583; PMCID: PMC5437761.
- Susworo, R. & Kodrat H. (2017) *Dasar Dasar Radioterapi Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker*, Edisi II, UI Press, Jakarta.
- Susworo, R. (2007). *Dasar-Dasar Radioterapi*, UI Press, Jakarta.

Yang, H. J., Kim, T. H., Schaarschmidt, T., Park, D. W., Kang, S. H., Chung, H. T., & Suh, T. S. (2022). A multivariate approach to determine electron beam parameters for a Monte Carlo 6 MV Linac model: Statistical and machine learning methods. *Physica Medica*, 93, 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.12.005>.