Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 15, No. 5, September 2026, hal. 529 – 535
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.15.5.529-535.2026

Open Access

Analisis Dosis Radiasi Kanker Paru Menggunakan Teknik *Intensity Modulated Radiotherapy* untuk Minimalisasi Paparan *Organ at Risk*

Aulia Miftahul Jannah[1], Rico Adrial[1*], Fiqi Diyona[2], Muhammad Ilyas[2]
[1]Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163
[2]Rumah Sakit Universitas Andalas, Padang

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 15 Januari 2026
Direvisi: 10 Agustus 2026
Diterima: 30 September 2026

Kata kunci:
Conformity Index
Dose Volume Histogram
Homogeneity Index
Kanker Paru

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis dosis radiasi kanker paru menggunakan teknik *intensity modulated radiotherapy* untuk minimalisasi paparan organ at risk. Penelitian dilakukan menggunakan 5 citra pasien kanker paru yang diolah menggunakan *software Treatment Planning System* (TPS) *Eclipse* di Rumah Sakit Universitas Andalas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi dosis radiasi pada pasien kanker paru dengan menganalisis nilai *Conformity Index* (CI), *Homogeinity Index* (HI), dosis radiasi *Organ at Risk* (OAR) berdasarkan kurva *Dose Volume Histogram* (DVH) dan dosis maksimum yang diterima *Planning Target Volume* (PTV) berdasarkan hasil perencanaan terapi. Analisis tersebut berdasarkan acuan *International Commission on Radiation Units and Measures* (ICRU) Report 62 dan Report 83 untuk nilai CI dan HI. Dosis radiasi pada OAR paru-paru dan jantung dianalisis berdasarkan acuan *Quantitative Analysis of Normal Tissue Effect in the Clinic* (QUANTEC). Hasil penelitian untuk nilai CI diperoleh nilai mendekati 1 berdasarkan ICRU *Report* 62 dan nilai HI mendekati 0 berdasarkan ICRU *Report* 83. Dosis radiasi yang diterima OAR jantung sesuai dengan rekomendasi QUANTEC yaitu <10% sedangkan dosis radiasi yang diterima OAR paru-paru terdapat 2 pasien yang melebihi batasan volume yang direkomendasikan QUANTEC yaitu < 30%-35%. Pada dosis maksimum terdapat 2 pasien yang sama melebihi dosis rekomendasi ICRU Report 62 sebesar 107%.

Keywords:
Conformity Index
Dose Volume Histogram
Homogeneity Index
Lung Cancer

Penulis Korespondensi:
Rico Adrial
Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

Radiation dose analysis of lung cancer using intensity modulated radiotherapy technique has been conducted to minimize exposure to organs at risk. The study was conducted using 5 images of lung cancer patients processed using Eclipse Treatment Planning System (TPS) software at Andalas University Hospital. This study was conducted to determine the radiation dose distribution in lung cancer patients by analyzing the value of Conformity Index (CI), Homogeinity Index (HI), Organ at Risk (OAR) radiation dose based on the Dose Volume Histogram (DVH) curve and the maximum dose received by Planning Target Volume (PTV) based on the results of therapy planning. The analysis is based on the International Commission on Radiation Units and Measures (ICRU) Report 62 and Report 83 for CI and HI values. Radiation dose in OAR lungs and heart was analyzed based on the Quantitative Analysis of Normal Tissue Effect in the Clinic (QUANTEC) reference. The results of the study for CI values obtained values close to 1 based on ICRU Report 62 and HI values close to 0 based on ICRU Report 83. The radiation dose received by the heart OAR is in accordance with the QUANTEC recommendation of <10% while the radiation dose received by the lung OAR there are 2 patients who exceed the volume limit recommended by QUANTEC which is <30-35%. At the maximum dose there are 2 patients who both exceed the recommended dose of ICRU Report 62 by 107%.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Kanker paru adalah penyakit ganas pada organ paru-paru yang disebabkan oleh perubahan genetikan pada sel epitel saluran pernafasan sehingga terjadi proliferasi sel yang tidak normal. Menurut data (World Health Organization, 2023) kanker paru menjadi penyebab kematian akibat kanker peringkat pertama dengan jumlah sebanyak 1,80 juta kematian. Berdasarkan (Komite Penanggulangan Kanker Nasional, 2015) pengobatan kanker paru dapat menggunakan pembedahan, kemoterapi, terapi target dan radioterapi.

Radioterapi adalah metode pengobatan yang menggunakan radiasi berenergi tinggi untuk membunuh sel kanker di tubuh pasien. Prinsip radioterapi adalah memberikan dosis radiasi yang mematikan tumor pada daerah yang telah ditentukan dan jaringan normal disekitar kanker mendapat dosis seminimal mungkin. Umumnya pengobatan kanker paru menggunakan radiasi eksternal (teleterapi). Radiasi eksternal atau teleterapi merupakan pengobatan kanker dengan menggunakan sumber radiasi dari luar tubuh pasien (Susworo & Kodrat, 2017). Radiasi eksternal umumnya menggunakan pesawat radioterapi *Linear Accelerator* (LINAC). Pesawat LINAC merupakan pesawat terapi yang menggunakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi untuk mempercepat partikel elektron sehingga menghasilkan energi yang lebih tinggi melalui tabung linear. LINAC dapat memproduksi foton dan elektron dalam berbagai tingkatan energi yang digunakan untuk mengobati target kanker pada kedalaman dangkal maupun pada kedalaman yang cukup jauh (Winarno, 2021).

Pesawat LINAC yang berada di Rumah Sakit Unand memiliki dua teknik penyinaran yaitu *Three Dimension Conformal Radiotherapy* (3D-CRT) dan *Intensity Modulated Radiotherapy* (IMRT). Teknik 3D-CRT dapat memberikan hantaran dosis radiasi tepat dan akurat pada volume target kanker dengan paparan radiasi yang relatif lebih rendah di daerah jaringan normal sekitar kanker. Teknik IMRT merupakan pengembangan dari teknik 3D-CRT dilengkapi dengan *multileaf collimator* (MLC) yang memiliki keunggulan intensitas radiasi tidak seragam tiap arah lapangan penyinaran. Teknik IMRT memberikan efek membunuh sel kanker lebih besar dibandingkan efek yang menimbulkan kerusakan pada jaringan normal di sekitar kanker.

Pelaksanaan radioterapi menggunakan LINAC membutuhkan *Treatment Planning System* (TPS). TPS ialah sistem komputer yang digunakan untuk perencanaan pengobatan kanker menggunakan radiasi yang membentuk kurva Dose Volume Histogram (DVH). Kurva DVH memberikan informasi dosis radiasi pada volume kanker total, volume target klinis, volume target pada perencanaan dan dosis pada organ penting disekitar kanker (BAPETEN, 2013).

Febrietri et al. (2020) melakukan analisis dosis radiasi paru-paru pada pasien kanker payudara dengan teknik 3D-CRT dan IMRT berdasarkan grafik DVH pada enam orang pasien. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi asas optimasi dan limitasi dalam proteksi radiasi dengan mengevaluasi dosis radiasi yang diterima target kanker dan dosis yang diterima paru-paru pasien kanker payudara. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil dosis radiasi yang diterima paru-paru pasien melebihi aturan dan dapat beresiko terjadinya pneumonitis.

Husni et al. (2021) melakukan analisa perbandingan nilai CI dan HI pada teknik 3D-CRT dan IMRT pada kasus kanker payudara. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil penggunaan teknik IMRT mendekati nilai CI dan nilai HI ideal. Terlihat teknik IMRT lebih efisien dibandingkan teknik 3D-CRT.

Effina et al. (2022) melakukan perbandingan distribusi radiasi foton pada TPS menggunakan teknik 3D-CRT dan IMRT pada kanker serviks. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi dosis yang mencangkup planning target volume melalui nilai CI, HI dan NTID berdasarkan kurva DVH. Berdasarkan penelitian ini didapatkan nilai pada CI dan HI untuk teknik IMRT lebih bagus dibandingkan 3D-CRT.

Asri et al. (2022) melakukan perbandingan radiasi kanker serviks pada organ *bladder* dengan radioterapi LINAC menggunakan teknik 3D-CRT dan teknik IMRT. Teknik ini dibandingkan dengan menganalisis nilai dari CI, HI dan distribusi dosis radiasi pada OAR yaitu organ *bladder*. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil penggunaan teknik IMRT lebih meminimalisir dosis serap pada OAR, terlihat dari persentase dosis rata-rata pada organ bladder dengan teknik IMRT memperoleh persentase dosis lebih kecil.

Pada penelitian ini dilakukan analisis dosis radiasi pada 5 pasien kanker paru menggunakan teknik IMRT berdasarkan nilai CI, HI, dosis pada OAR dan dosis radiasi maksimum. Data diperoleh berdasarkan perencanaan terapi pada kurva DVH. Nilai CI dibandingkan berdasarkan acuan

International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) *Report* 62 dan nilai HI berdasarkan acuan ICRU *Report* 83. Dosis pada OAR dibandingkan berdasarkan acuan *Quantitative Analysis of Normal Tissue Effect in the Clinic* (QUANTEC) dan dosis radiasi maksimum dibandingkan berdasarkan acuan ICRU Report 62.

II. METODE

Penelitian dilakukan dengan pengambilan 5 data pasien kanker paru dengan perencanaan teknik IMRT di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas. Pemilihan Data pasien diambil berdasarkan kurva DVH. Kurva DVH didapatkan setelah melakukan pencitraan pada pasien kanker paru-paru. Pencitraan dilakukan menggunakan alat CT-Simulator oleh radioterapis. Hasil citra akan dikontur oleh dokter onkologi untuk menentukan posisi kanker dengan organ disekitar kanker. Citra yang telah dikontur oleh dokter onkologi dilakukan pembuatan perencanaan teknik IMRT pada TPS. Perencanaan TPS menggunakan *software* TPS *Eclipse* dengan dosis total radiasi sebesar 6000 cGy. Analisis distribusi dosis pada TPS dilakukan berdasarkan analisis PTV dengan memperhitungkan nilai CI, HI dan dosis pada OAR. Pengambilan nilai CI dan HI didapatkan berdasarkan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$CI = \frac{V95\%}{Volume\ PTV} \quad (1)$$

dengan V95% adalah besarnya volume yang menerima dosis 95% (cm^3), VPTV adalah besarnya volume PTV pada target radiasi (cm^3).

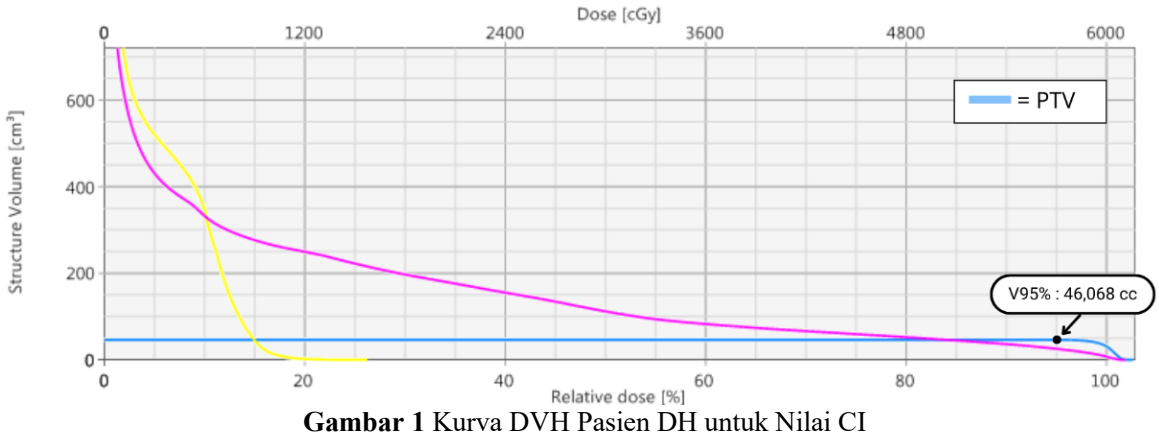
$$HI = \frac{D2\% - D98\%}{D50\%} \quad (2)$$

dengan D2% adalah besarnya dosis pada 2% volume PTV (cGy), D98% adalah besarnya dosis pada 98% volume PTV (cGy), D50% adalah besarnya dosis pada 50% volume PTV (cGy).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis *Planning Target Volume* (PTV)

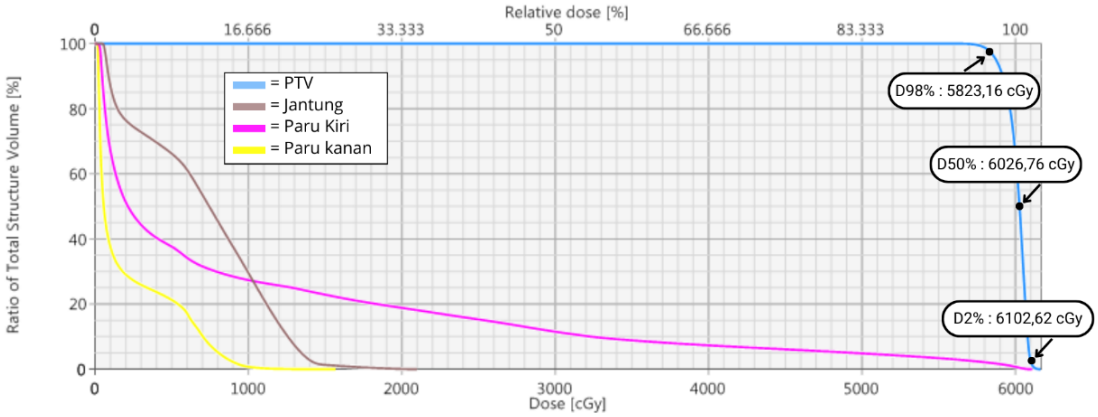
Analisis PTV dilakukan dengan menghitung nilai CI dan HI sesuai standar ICRU *Report* 62 dan *Report* 83. Analisis nilai CI bertujuan untuk melihat dosis radiasi preskripsi yang melingkupi seluruh volume target kanker. Data volume target didapatkan dari kurva DVH pada setiap pasien kanker paru. Kurva DVH untuk melakukan perhitungan nilai CI pada pasien kanker paru dengan inisial DH dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kurva DVH Pasien DH untuk Nilai CI

Pada Gambar 1 didapatkan kurva DVH yang menampilkan nilai dosis radiasi (cGy) yang diterima PTV dan OAR terhadap volume (cm^3). Kurva PTV pada Gambar 4.1 berwarna biru diperlukan untuk memperoleh nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai CI. Nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan nilai CI yaitu volume target kanker keseluruhan (V_{PTV}) dan volume kanker saat diberikan 95% dari total dosis radiasi ($V_{95\%}$). Pengambilan dan cara membaca data volume target pada kurva DVH dilakukan dengan cara yang sama untuk setiap pasien kanker paru. Kurva DVH untuk nilai CI tiap pasien.

Analisis nilai HI dilakukan untuk melihat keseragaman distribusi dosis radiasi pada volume target. Data dosis radiasi yang dibutuhkan akan diperoleh dari kurva DVH pada setiap pasien kanker paru. Kurva DVH untuk melakukan perhitungan nilai HI pada pasien kanker paru dengan inisial DH dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva DVH Pasien DH untuk Nilai HI

Pada Gambar 2 didapatkan kurva DVH yang menampilkan nilai dosis radiasi (cGy) yang diterima PTV dan OAR terhadap volume (%). Kurva PTV pada Gambar 2 berwarna biru diperlukan untuk memperoleh nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai HI. Nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan nilai HI yaitu dosis melingkupi 2% volume target ($D_{2\%}$), dosis melingkupi 50% volume target ($D_{50\%}$), dan dosis melingkupi 98% volume target ($D_{98\%}$). Pengambilan dan cara membaca data dosis pada kurva DVH dilakukan dengan cara yang sama untuk setiap pasien kanker paru.

3.1.1 Analisis Nilai *Conformity Index* (CI)

Analisis nilai CI dilakukan untuk melihat seberapa besar dosis yang diberikan mencakupi volume target pada kanker. Pengambilan dan cara membaca data volume berdasarkan kurva DVH pada lampiran C dilakukan dengan cara yaitu membandingkan volume target pada saat diberikan dosis 95% dengan volume total yang telah diberikan radiasi. Perhitungan nilai CI sesuai Persamaan 1 dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai CI untuk pasien kanker paru

No	Insial Pasien	V95% (cm3)	Vtotal (cm3)	CI
1	A	300,816	373,7	0,805
2	DH	46,068	46,1	0,999
3	FS	79,083	84,7	0,934
4	H	204,996	213,7	0,959
5	YA	292,152	353,3	0,827

Pada Tabel 1 dapat dilihat nilai CI untuk 5 pasien kanker paru yaitu antara 0,805 sampai dengan 0,999. Nilai CI pada pasien berinisial A yaitu 0,805 yang berarti hanya 80% volume kanker yang mendapatkan dosis radiasi yang direkomendasikan oleh ICRU *Report* 62. Nilai CI yang diperoleh telah mendekati nilai ideal dari standar CI sesuai rekomendasi ICRU Report 62 yaitu adalah 1. Nilai ideal CI adalah mendekati 1 yang artinya seluruh dosis radiasi preskripsi melingkupi seluruh PTV. Nilai CI digunakan untuk mengukur keefektifan dosis radiasi mengenai target kanker dan menghindari jaringan sehat disekitar kanker. Hasil perhitungan nilai CI pada 5 pasien kanker paru telah memenuhi standar ICRU Report 62. Pada pasien A dan Y terlihat hasil nilai CI lebih rendah dibandingkan pasien lain. Hal ini disebabkan volume target kanker pada pasien kanker paru cukup besar mendekati OAR sehingga distribusi dosis kurang efektif.

3.1.2 Analisis Nilai *Homogeinity Index* (HI)

Analisis nilai HI dilakukan untuk melihat keseragaman distribusi dosis radiasi pada volume target. Pengambilan dan cara membaca data volume berdasarkan kurva DVH pada Lampiran C

dilakukan dengan cara yang sama yaitu selisih dari dosis melingkupi 2% volume target ($D_{2\%}$) dan dosis melingkupi 98% volume target ($D_{98\%}$) kemudian dibagi dengan dosis melingkupi 98% volume target ($D_{98\%}$). Perhitungan nilai HI pada 5 pasien kanker paru menggunakan Persamaan 2 dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai HI pada pasien kanker paru

No	Inisial Pasien	D2% (cGy)	D50% (cGy)	D98% (cGy)	HI (cGy)
1	A	6285,24	5921,85	4947,2	0,073
2	DH	6102,62	6026,76	5823,16	0,013
3	FS	6142,65	5929,83	5453,27	0,039
4	H	6082,24	5971,82	5609,48	0,020
5	YA	6497,42	5974,24	5111,86	0,102

Pada Tabel 2 dapat dilihat nilai HI untuk 5 pasien kanker paru yaitu 0,013 sampai dengan 0,102. Nilai HI ideal menurut ICRU *Report* 83 adalah mendekati 0 yang menunjukkan distribusi dosis yang diberikan pada saat pengobatan homogen atau merata ke seluruh target yang dituju. Semakin tinggi nilai HI, maka semakin tidak merata dosis yang diterima pada saat pengobatan. Nilai HI pada tiap pasien kanker paru mendekati 0 dan membuktikan perencanaan terapi dapat digunakan. Menurut ICRU *Report* 83 untuk dosis radiasi organ penting di sekitar kanker lebih diprioritaskan nilai dosis radiasinya dibandingkan dengan nilai HI. Namun akan lebih baik jika nilai HI mendekati 0 dan organ penting mendapatkan dosis radiasi seminimal mungkin.

3.2 Analisis *Organ at Risk* (OAR)

Analisis OAR dilakukan dengan melihat dosis yang diterima organ penting di sekitar kanker dan disesuaikan dengan standar *Quantitative Analysis of Normal Tissue Effect in the Clinic* (QUANTEC). Organ penting yang berada di sekitar kanker paru yaitu paru-paru dan jantung.

3.2.1 Organ Paru-paru

Dosis radiasi yang diterima organ paru berdasarkan kurva DVH dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Dosis radiasi yang diterima organ paru-paru

No	Inisial Pasien	Dosis Diterima Paru-paru (V20)	Dosis Toleransi paru-paru	Keterangan
1	A	45%		Tidak aman
2	DH	18%		Aman
3	FS	34%	< 30% - 35%	Aman
4	H	34%		Aman
5	YA	47%		Tidak aman

Pada Tabel 3 menjelaskan persentase volume organ paru-paru yang menerima dosis radiasi sebesar 2000 cGy. Nilai batasan dosis maksimum yang diatur oleh QUANTEC untuk organ paru-paru adalah V20 < 30% - 35% yang artinya di 30% - 35% volume paru-paru hanya dapat menerima dosis radiasi sebesar 2000 cGy. Dosis radiasi yang diterima organ paru-paru pada perencanaan pasien A dan YA melewati standar QUANTEC. Hal ini disebabkan volume target kanker yang besar sehingga radiasi yang mengenai organ paru-paru melebihi batasan dosis toleransi. Untuk meminimalisir dosis radiasi yang diterima organ paru-paru lebih besar maka perlu dilakukan optimasi lebih lanjut pada perencanaan pasien dengan inisial A dan YA. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Febrietri et al., 2020) persentase volume yang melebihi rekomendasi diperkirakan akan menyebabkan pneumonitis pada pasien kanker payudara.

3.2.2 Organ Jantung

Dosis radiasi yang diterima organ jantung berdasarkan kurva DVH dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Dosis radiasi yang diterima organ jantung

No	Inisial Pasien	Dosis Diterima Jantung (V25)	Dosis Toleransi Jantung	Keterangan
1	A	0%		Aman
2	DH	0%		Aman
3	FS	0%	< 10%	Aman
4	H	0%		Aman
5	YA	4%		Aman

Pada Tabel 4 menunjukkan persentase volume organ jantung yang menerima dosis radiasi sebesar 2500 cGy. Berdasarkan aturan QUANTEC organ jantung pada pasien kanker payudara menerima dosis V25 < 10% yang artinya di 10% volume jantung hanya dapat menerima dosis radiasi sebesar 2500 cGy. Dosis radiasi yang diterima organ jantung pada perencanaan pasien kanker paru penelitian ini aman dan tidak melewati standar QUANTEC. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan radioterapi pada pasien kanker paru telah efektif dalam meminimalkan dosis radiasi yang diterima oleh organ jantung tanpa melebihi batasan yang telah ditetapkan oleh QUANTEC.

3.3 Analisis Dosis Maksimum

Perencanaan terapi dosis maksimum yang diterima pasien kanker paru juga diperhatikan karena setiap organ pada tubuh manusia mempunyai batas toleransi terhadap radiasi. Pengambilan dan cara membaca data dosis radiasi maksimum dilakukan dengan cara yang sama untuk setiap pasien kanker paru. Nilai dosis maksimum dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai dosis maksimum pada pasien kanker paru

No	Inisial Pasien	Dosis Maksimal (cGy)	Toleransi Dosis Maksimal (cGy)	Keterangan
1	A	6501		Tidak aman
2	DH	6011		Aman
3	FS	6418	6420	Aman
4	H	6238,5		Aman
5	YA	6921,5		Tidak aman

Pada Tabel 5 dapat dilihat nilai dosis maksimum pada pasien kanker paru. Berdasarkan ICRU *Report* 62, suatu volume di rekomendasikan menerima radiasi rentang 95% sampai dengan 107%. Pada kanker paru, pasien menerima radiasi sebesar 6000 cGy. Maka dosis maksimal yang diterima oleh pasien tidak lebih dari 6420 cGy. Dari penelitian ini terdapat 2 pasien kanker paru dosis maksimumnya melebihi 107% dengan pasien inisial A dan YA. Hal ini disebabkan volume target kanker yang besar sehingga membutuhkan dosis yang lebih besar untuk membunuh target kanker. Peraturan yang ditetapkan oleh ICRU *Report* 62 adalah rekomendasi standar dan tidak dijadikan aturan yang mutlak. Perencanaan terapi kanker paru menggunakan teknik IMRT masih dapat digunakan karena tidak memprioritaskan satu komponen saja namun ada komponen pendukung lain yang harus dipertimbangkan seperti nilai dosis radiasi PTV dan dosis radiasi pada OAR.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada perencanaan 5 pasien kanker paru mengenai analisis dosis radiasi kanker paru menggunakan teknik *intensity modulated radiotherapy* untuk minimalisasi paparan *organ at risk*, disimpulkan bahwa analisis nilai CI dan HI yang didapatkan berdasarkan kurva DVH memiliki hasil yang baik, dimana nilai CI dan HI sesuai dengan standar ICRU *Report* 62 yaitu mendekati 1 dan ICRU *Report* 80 yaitu mendekati 0. Namun dosis radiasi pada OAR

paru-paru dan dosis maksimum terdapat 2 pasien yang melampaui batasan QUANTEC yaitu < 30% - 35% dan ICRU *Report* 62 sebesar 107% karena volume target kanker besar sehingga berdekatan dengan OAR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Asri, Y., Sutapa, G. N., Sudarsana, I. W. B., & Irhas, R. (2022). Perbandingan Radiasi Kanker Serviks Pada Organ Bladder Dengan Radioterapi LINAC Energi 10 MV Menggunakan Teknik 3DCRT dan IMRT Di RSUP Sanglah Denpasar Comparison of Cervical Cancer Radiation in Bladder Organs with 10 MV LINAC Energy Radiotherapy Using 3D. *Buletin Fisika*, *19*(2), 98–105.

BAPETEN. (2013). Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Radioterapi. BAPETEN Homepage.

Effina, A., Milvita, D., & Ilyas, M. (2022). Distribusi Dosis Radiasi Foton pada Treatment Planning System Menggunakan Teknik 3DCRTdan IMRT untuk Terapi Kanker Serviks. *Jurnal Fisika Unand*, *11*(1), 126–130. https://doi.org/10.25077/jfu.11.1.126-130.2022

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

Husni, M., Shafii, M. A., Adrial, R., & Ilyas, M. (2021). 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*, *10*(4), 511–517. https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.511-517.2021.

IAEA, 2023, Iaea Human Health Series Establishingand Improvinginterventiona Radiology,https://wwwpub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1983_web.pdf (diakses 14-Juni-2025).

Komite Penanggulangan Kanker Nasional. (2015). Panduan Penatalaksanaan Kanker Paru. *Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*, 1–47. http://kanker.kemkes.go.id/guidelines/PPKProstat.pdf

Susworo, R., & Kodrat, H. (2017). Dasar dasar Radioterapi Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker (Edisi 2). UI Press.

Winarno, W. (2021). Radioterapi Kanker Cervix Dengan Linear Accelerator (LINAC). *Jurnal Biosains Pascasarjana*, *23*(2), 75. https://doi.org/10.20473/jbp.v23i2.2021.75-86

World Health Organization. (2023). *Lung Cancer*. WHO Homepage. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lung-cancer