

Perbandingan Teknik 2D, 3D-CRT dan IMRT Pada Radioterapi Kanker Serviks: Analisis Cakupan Dosis Target dan Dosis Organ Risiko Berbasis *Dose Volume Histogram* (DVH)

I Made Wahyu Gelgel Natha Wijaya¹, I Km Agus Bima Sakti²

¹Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Indonesia

²Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Indonesia

Corresponding author : wahyugegel@gmail.com

Abstrak: Kanker serviks adalah salah satu jenis kanker yang paling umum keempat di antara wanita di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Kanker serviks disebabkan oleh infeksi persisten *Human papillomavirus* (HPV) risiko tinggi, terutama tipe 16 dan 18. Terapi yang dapat dilakukan pada kanker serviks adalah terapi histerektomi, radioterapi, kemoterapi, atau kombinasi sesuai dengan stadiumnya. Salah satu metode terapi radiasi yang digunakan yaitu terapi radiasi eksternal. Penggunaan terapi radiasi eksternal biasanya menjadi pilihan utama dikarenakan kanker serviks bersifat radiosensitif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan *Planning target volume* (PTV) serta membandingkan dosis yang diterima oleh *Organ at risk* (OAR) pada berbagai skema perencanaan radioterapi 2D, 3DCRT dan IMRT dengan penerapan batasan optimasi dosis tertentu, guna menilai keseimbangan antara kualitas cakupan target dan proteksi jaringan normal. Penelitian ini merupakan studi dosimetri komparatif retrospektif berbasis *Treatment planning system* (TPS) pada 45 pasien kanker serviks stadium II–III yang menjalani tindakan terapi radiasi eksternal baik pada pesawat cobalt-60 dan *Linear accelerator* (LINAC) di RS Dr. Hasan Sadikin Bandung Provinsi Jawa Barat

Kata Kunci : IMRT, 3D-CRT, Teknik 2D, Kanker Serviks, EBRT

Abstrak: *Cervical cancer is the fourth most common type of cancer among women worldwide, including in Indonesia. Cervical cancer is primarily caused by persistent infection with high-risk Human papillomavirus (HPV), particularly types 16 and 18. Treatment options for cervical cancer include hysterectomy, radiotherapy, chemotherapy, or a combination of these modalities depending on the stage of the disease. One of the radiation therapy methods used is external beam radiation therapy (EBRT). EBRT is commonly considered a primary treatment option because cervical cancer is radiosensitive. This study aimed to compare the planning target volume (PTV) and the doses received by organs at risk (OARs) among various radiotherapy planning techniques, including 2D radiotherapy, three-dimensional conformal radiation therapy (3D-CRT), and intensity-modulated radiation therapy (IMRT), with the application of specific dose optimization constraints, in order to evaluate the balance between target coverage quality and normal tissue protection. This study was a retrospective comparative dosimetric study based on a treatment planning system (TPS), involving 45 patients with stage II–III cervical cancer who underwent external beam radiation therapy using both cobalt-60 and linear accelerator (LINAC) machines at Dr. Hasan Sadikin General Hospital, West Java Province, Indonesia.*

Keywords : IMRT, 3D-CRT, Two-Dimensional Radiotherapy Technique, Cervical Cancer, EBRT

Pendahuluan

Kanker serviks merupakan kanker keempat tersering pada perempuan secara global dan masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang besar (Son et al., 2025). Pada tahun 2022, tercatat sekitar 660.000 kasus baru dan hampir 350.000 kematian akibat kanker serviks di seluruh dunia, dengan beban penyakit yang lebih tinggi pada negara-negara dengan tingkat pembangunan manusia yang rendah hingga menengah (Son et al., 2025). Secara etiologis, kanker serviks hampir seluruhnya berkaitan dengan infeksi persisten *Human papillomavirus* (HPV) risiko tinggi (Bosch et al., 2002). Dominasi kanker serviks dalam epidemiologi kanker Indonesia disebabkan oleh faktor kompleks yaitu faktor kesadaran, perilaku, infeksi, lingkungan, dan keterbatasan sistem kesehatan. Alasan utama dominansinya adalah etiologi infeksius. Kanker ini secara langsung

disebabkan oleh infeksi menetap *Human Papillomavirus* (HPV) onkogenik yang ditularkan secara seksual. Kondisi ini menunjukkan rendahnya pemahaman masyarakat terhadap infeksi HPV, mencakup ketidaktahuan mengenai faktor penyebab, gejala klinis, rendahnya jangkauan skrining atau deteksi dini dan program vaksinasi yang terbatas (Sakti et al., 2026). Oleh karena itu, upaya pencegahan dan deteksi dini memegang peranan penting dalam menurunkan angka kesakitan dan kematian akibat penyakit ini.

Penatalaksanaan kanker serviks ditentukan berdasarkan stadium klinis, ukuran tumor, luas penyebaran, serta kondisi umum pasien (National Cancer Institute, 2025). Modalitas terapi yang dapat digunakan meliputi pembedahan, radioterapi, kemoterapi, atau kombinasi dari beberapa modalitas tersebut sesuai dengan indikasi klinis (National Cancer Institute, 2025). Pada stadium awal, pembedahan radikal maupun radioterapi dapat menjadi pilihan terapi, sedangkan pada stadium lokal lanjut, kemoradioterapi merupakan tata laksana utama yang paling sering direkomendasikan (National Cancer Institute, 2025). Radioterapi menggunakan radiasi pengion karena kemampuannya dalam membentuk ion (partikel bermuatan listrik) dan menyimpan energi di dalam sel jaringan yang dilaluinya. Akumulasi energi ini memiliki potensi untuk menghancurkan sel kanker atau memicu perubahan genetik yang dapat mengakibatkan kematian sel kanker. Radioterapi dapat diberikan dengan tujuan kuratif, paliatif, profilaktik, maupun pada kondisi kegawatdaruratan onkologis sesuai kebutuhan klinis (Dwikuntari et al., 2017). Dalam tata laksana kanker serviks, radioterapi umumnya diberikan dalam bentuk *External Beam radiation therapy* (EBRT) dan pada banyak kasus dikombinasikan dengan brakhiterapi untuk mencapai kontrol lokal yang optimal (National Cancer Institute, 2025).

Perkembangan teknologi radioterapi eksternal telah membawa perubahan dari teknik konvensional dua dimensi menuju teknik tiga dimensi seperti *3-dimensional Conformal radiation therapy* (3D-CRT), *Intensity modulated radiation therapy* (IMRT), dan *Image-guided radiation therapy* (IGRT) (Koka et al., 2022). Teknik radioterapi dua dimensi menggunakan citra radiografi ortogonal dan lapangan radiasi sederhana, sehingga memiliki keterbatasan dalam menentukan bentuk target dan organ berisiko secara akurat (Koka et al., 2022). Teknik 3D-CRT kemudian dikembangkan dengan memanfaatkan data CT-scan pada *Treatment planning system* untuk membentuk lapangan radiasi sesuai geometri target secara tiga dimensi (Irna, 2020). Selanjutnya, IMRT hadir sebagai pengembangan dari 3D-CRT dengan kemampuan memodulasi intensitas radiasi pada setiap segmen lapangan, sehingga distribusi dosis menjadi lebih konformal dan paparan radiasi pada jaringan sehat di sekitar target dapat ditekan (Koka et al., 2022).

Dalam perencanaan radioterapi tiga dimensi, evaluasi kualitas rencana sangat bergantung pada *Dose volume histogram* (DVH), yaitu kurva yang menggambarkan hubungan antara dosis radiasi dan volume jaringan yang menerima dosis tertentu (Pramesti et al., 2023). Melalui *Dose volume histogram*, parameter dosimetri pada *Planning target volume* (PTV) dan *Organ at*

risk (OAR) dapat dianalisis secara kuantitatif, seperti dosis maksimum, dosis minimum, dosis rata-rata, Dx, Vx, *Conformity index* (CI), dan *Homogeneity index* (HI) (Pramesti et al., 2023). Analisis tersebut penting untuk memastikan target penyinaran menerima dosis terapeutik yang adekuat dan merata, sekaligus menjaga paparan dosis pada *Organ at risk* tetap serendah mungkin (Pramesti et al., 2023).

Pada kanker serviks, *Organ at risk* yang menjadi perhatian utama dalam perencanaan radiasi meliputi *Bladder*, *rectum*, dan kedua *Caput femur* karena letaknya berdekatan dengan area target (Raina & Singh, 2022). Optimasi perencanaan radiasi diperlukan agar cakupan dosis pada PTV tetap baik, namun dosis yang diterima *Organ at risk* tetap berada dalam batas toleransi untuk menurunkan risiko toksisitas (Guo et al., 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa IMRT cenderung memberikan *Sparing Organ at risk* yang lebih baik dibandingkan 3D-CRT tanpa mengorbankan cakupan target, terutama pada target yang kompleks dan berdekatan dengan *Organ at risk* (Sharma et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, analisis perbandingan perencanaan radioterapi teknik 3D-CRT dan IMRT pada kanker serviks menjadi penting untuk dilakukan menggunakan parameter DVH (Pramesti et al., 2023). Evaluasi ini diperlukan untuk menilai cakupan dosis pada PTV, dan paparan dosis pada OAR seperti *Bladder*, *rectum*, dan kedua *Caput femur*, sehingga dapat ditentukan teknik penyinaran yang paling optimal dari sisi kualitas dosimetri dan perlindungan *Organ at risk* (Raina & Singh, 2022).

Metode

Penelitian ini merupakan studi dosimetri komparatif retrospektif berbasis *Treatment planning system* (TPS) pada pasien kanker serviks stadium II–III yang menjalani *External Beam radiation therapy* di Instalasi Radioterapi RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Populasi penelitian adalah seluruh pasien kanker serviks stadium II–III yang memiliki data CT simulasi dan data perencanaan radiasi yang dapat dievaluasi. Sampel dipilih dengan teknik total sampling sesuai ketersediaan data, dengan jumlah akhir sebanyak 45 pasien. Sebanyak 20 pasien dengan planning teknik 2D menggunakan pesawat cobalt-60, 20 pasien menggunakan planning dengan teknik 3D-CRT pada pesawat *Linear accelerator* dan 5 pasien dengan teknik *intensity modulated radiotherapy* (IMRT) menggunakan pesawat *Linear accelerator*.

Pada penelitian ini, perencanaan radiasi dianalisis berdasarkan teknik yang digunakan pada masing-masing kelompok pasien. Dari total 45 pasien kanker serviks stadium II–III, sebanyak 20 pasien menjalani *planning* dengan teknik 2D menggunakan pesawat cobalt-60 *theratron* dengan *Beam Four-field box* pada sudut gantry 0°, 90°, 180°, dan 270°. Sebanyak 20 pasien lainnya menjalani *planning* dengan teknik 3D-CRT menggunakan *Linear accelerator* Elekta Precise 6 MV dengan *Beam Four-field box Conformal*. Sementara itu, 5 pasien menjalani *planning* dengan teknik

IMRT menggunakan *Linear accelerator* Elekta Precise 6 MV dengan 8–9 *Beam*, mode *Step-and-shoot*. Pada penelitian ini keseluruhan data menggunakan alat fiksasi yang sama yaitu masker Thermoplastik Abdomen sebagai alat fiksasi untuk memastikan target tidak bergerak pada saat terapi radiasi dilakukan. Serta penggunaan protokol *Bladder* juga dilakukan pada keseluruhan data untuk memastikan kondisi *Bladder* konsisten pada keseluruhan fraksi saat terapi radiasi. Dengan demikian, perbandingan dosimetri dilakukan antar kelompok berdasarkan teknik radioterapi yang digunakan dalam *planning* klinis masing-masing pasien.

Evaluasi dosimetri dilakukan menggunakan *Dose volume histogram* (DVH). Parameter PTV yang dianalisis meliputi D_{95} , D_{mean} , D_{max} , V_{95} , V_{100} dan presentase volume PTV. Parameter OAR yang dianalisis meliputi D_{mean} , D_{max} , D_{95} , V_{90} , dan persentase volume organ yang menerima dosis tinggi pada *Bladder*, *Rectum*, dan kedua *Caput femur*. Nilai dosimetri dihitung dari TPS dan dicatat dalam lembar kerja penelitian.

Populasi dalam penelitian ini adalah data pasien kanker serviks yang telah menjalani terapi radiasi menggunakan teknik 2D, 3D-CRT dan IMRT. dan sample yang digunakan 45 pasien, Sebanyak 20 pasien dengan planning teknik 2D menggunakan pesawat cobalt-60, 20 pasien menggunakan planning dengan teknik 3D-CRT dan 5 pasien dengan teknik *Intensity Modulated RadioTherapy* (IMRT) menggunakan pesawat *Linear accelerator* dengan klinis kanker serviks stadium II-III.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi komputer Treatment Planning System (TPS) dengan software Monaco External Beam Planning yang digunakan untuk melakukan perencanaan penyinaran pada pasien serta memperoleh data yang dibutuhkan dalam penelitian. Data yang digunakan berupa data sekunder pasien kanker serviks stadium II–III yang telah menjalani perencanaan radioterapi. Selain itu, print out diagram Dose Volume Histogram (DVH) digunakan sebagai sumber data untuk memperoleh dan menganalisis parameter dosimetri pada *Planning Target Volume* (PTV) dan *Organ at Risk* (OAR) pada masing-masing teknik perencanaan radioterapi.

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, hasil menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada cakupan radiasi volume target antar teknik 2D, 3D-CRT, dan IMRT, meskipun secara deskriptif nilai tertinggi diperoleh pada teknik IMRT. Hasil ini dapat disimpulkan bahwa ketiga teknik masih mampu memberikan *Coverage* pada PTV secara maksimal, dan hal ini sejalan Raina dan Singh yang menyatakan bahwa bahwa baik 3D-CRT maupun IMRT dapat mencapai target *Coverage* yang ditoleransi pada kanker serviks.

Tabel 1. Hasil dosimetri untuk *Planning target volume* (PTV)

Parameter	2D (Mean±SD)	3D-CRT (Mean±SD)	IMRT (Mean±SD)	P-Value
-----------	--------------	------------------	----------------	---------

D ₉₅ PTV	46.64 ± 7.64	46.08 ± 7.38	55.70 ± 10.72	0.053
D _{mean} PTV	49.09 ± 8.01	49.32 ± 8.01	59.90 ± 10.73	0.034
D _{max} PTV	52.32 ± 8.49	51.51 ± 8.38	63.78 ± 11.05	0.022
V ₉₅ PTV	1091.84 ± 278.91	1363.10 ± 433.42	796.87 ± 740.52	0.017
V ₁₀₀ PTV	1219.05 ± 1722.31	1125.00 ± 417.06	698.45 ± 627.30	0.692
Presentase V ₉₅	96.1 %	99.0 %	99.5 %	0.000
Presentase V ₁₀₀	73.7 %	80.8 %	89.2 %	0.002

Secara Keseluruhan hasil analisis pada D_{max} PTV yaitu bahwa teknik yang lebih modern memiliki homogenitas dosis yang lebih baik dari kedua teknik yaitu 2D dan 3D-CRT. Semua teknik memenuhi planning dosis yang telah ditentukan, yaitu lebih dari 95% dosis yang ditentukan mencakup 95% volume PTV. Nilai D_{max} pada teknik IMRT lebih tinggi sebesar 63,7 Gy, dibandingkan dengan teknik 2D dan 3D-CRT, yaitu pada masing masing teknik sebesar 52,32 Gy dan 51.5 Gy.

Pada Nilai D_{mean} PTV menunjukkan perbedaan signifikan dari setiap teknik yang digunakan, dengan nilai tertinggi pada teknik IMRT. Hal ini mengindikasikan bahwa teknik IMRT memberikan deposisi dosis yang lebih tinggi daripada volume target teknik 2D dan 3D-CRT. Secara dosis radiasi kepada *Planning Treatment Volume*, kondisi ini dapat diinterpretasikan sebagai kemampuan teknik IMRT mampu memusatkan dosis ke target secara lebih maksimal dibandingkan dengan teknik 2D dan 3D-CRT.

Sedangkan untuk Hasil dari nilai V₉₅ PTV dari Total Volume PTV, terlihat bahwa teknik 3D-CRT dan IMRT memiliki cakupan target yang teknik lebih baik dibandingkan teknik 2D. Rerata total volume PTV pada teknik 2D, 3D-CRT, dan IMRT masing-masing sebesar 1197,91 cm, 1382,80 cm, dan 802,25 cm. Pada rata rata nilai V₉₅ PTV masing-masing teknik 2D, 3D-CRT, dan IMRT sebesar 1091,84 cm, 1363,10 cm, dan 796,87 cm. Berdasarkan dari hasil data teknik bahwa maka volume target yang menerima minimal 95% dosis pada 2D hanya mencakup sekitar 96.1% dari total volume PTV, sedangkan pada 3D-CRT dan IMRT masing-masing mencapai sekitar 99.0% dan 99.5%. Hasil ini menunjukkan bahwa baik teknik 2D, 3D-CRT dan IMRT memberikan cakupan dosis 95% yang hampir menyeluruh pada volume target, sehingga secara dosimetrik lebih baik dalam distribusi dosis radiasi terhadap seluruh PTV.

Pada parameter V₁₀₀ PTV, Nilai rerata V₁₀₀ PTV pada 2D, 3D-CRT, dan IMRT masing-masing teknik memiliki cakupan radiasi sebesar 1219,05 cm, 1125,00 cm, dan 698,45 cm. Total volume PTV, maka pada 3D-CRT dan IMRT. Berdasarkan dari hasil data teknik bahwa volume target yang menerima minimal 100% dosis pada teknik 2D, 3D-CRT dan IMRT volume target yang menerima 100% dosis mencakup sekitar 73.7% pada teknik 2D, 80,8% pada teknik 3D-CRT dan 89.2% pada teknik IMRT dari total volume PTV. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun besar target telah mendapatkan dosis tinggi, tidak seluruh volume PTV menerima 100% dosis secara merata.

Secara keseluruhan, jika V_{95} PTV dan V_{100} PTV dianalisis berdasarkan total volume seluruh PTV, maka hasil penelitian ini menunjukkan bahwa IMRT memiliki kemampuan paling baik dalam mempertahankan cakupan target yang tinggi terhadap hampir seluruh volume PTV, diikuti oleh 3D-CRT. Sementara itu, teknik 2D tampak kurang konsisten dalam memberikan cakupan dosis yang optimal terhadap target, terutama bila dilihat dari ketidaksesuaian antara volume target total dan volume yang menerima dosis tinggi.

Tabel 2 Volume total *Organ at risk* (OAR)

Organ	Mean $\pm$ SD	Minimum	Maximum
<i>Bladder</i>	58.69 $\pm$ 66.58	10.1	406.6
<i>Rectum</i>	63.08 $\pm$ 39.69 63.08 $\pm$ 39.69	12.6	165.6
<i>Caput femur</i> Kiri	48.31 $\pm$ 32.43 48.31 $\pm$ 32.43	20.1	100.6
<i>Caput femur</i> Kanan	46.1 $\pm$ 26.77 46.1 $\pm$ 26.77	22.5	107.5

Berdasarkan hasil analisis data DVH pada tabel 2 rata rata volume *Organ at risk* pada *Rectum* yaitu 63,08 cm dengan range dari 12.6 cm hingga 165.6 cm, diikuti oleh *Bladder* sebesar 58,6 cm dengan range sebesar 10.1 cm hingga 406.6 cm, *Caput femur* kiri sebesar 48,3 cm dengan range mulai dari 20.1 hingga 190.1 cm, dan *Caput femur* kanan sebesar 46.1cm dengan range dari 22.5 cm hingga 107.5 cm.

Tabel 3 Hasil dosimetri *Organ at risk* (OAR) pada *Bladder*

Organ	Parameter	2D (mean $\pm$ SD)	3D-CRT (mean $\pm$ SD)	IMRT (mean $\pm$ SD)
<i>Bladder</i>	D ₉₅	45.90 $\pm$ 7.74	38.68 $\pm$ 7.97	25.62 $\pm$ 7.45
	D _{mean}	47.19 $\pm$ 8.07	46.35 $\pm$ 7.95	43.08 $\pm$ 5.70
	D _{max}	50.49 $\pm$ 8.21	49.77 $\pm$ 8.33	57.52 $\pm$ 8.33
	V ₉₀	110.31 $\pm$ 238.42	15.58 $\pm$ 18.56	6.15 $\pm$ 4.75
	Presentase volume	94.01 $\pm$ 7.84	21.52 $\pm$ 9.60	13.07 $\pm$ 9.32

Volume rata rata *Bladder* yang dikontur pada TPS adalah 58,6 cm³ (berkisar antara 10.1 cm³ hingga 406.6 cm³). Sasaran perencanaan pada *Bladder*, yaitu 50% volume *Bladder* menerima dosis kurang dari 50 Gy. Nilai D₉₅ *Bladder* masing-masing adalah 45,90 Gy pada 2D, 38.68 Gy pada 3D-CRT, dan 25.62 Gy pada IMRT. Nilai pada D_{mean} yang diterima pada *Bladder*, yaitu 47,19 Gy pada 2D dengan rata rata dosis terbesar, selanjutnya pada 3D-CRT yaitu 46.35 Gy, dan yang terendah pada teknik IMRT sebesar 43.08 Gy. Untuk Volume organ *Bladder* yang terkena 90% dosis radiasi, pada teknik 2D yaitu 110,31 cm, selanjutnya 15,58 cm pada teknik 3D-CRT dan volume paparan dosis 90% terendah pada teknik IMRT yaitu 6.15 cm. sedangkan presentase volume organ *Bladder* terpapar radiasi yaitu dari 94,01% pada 2D, 21,52% pada 3D-CRT dan 13.07% pada IMRT. Berdasarkan hasil dari grafik DVH, dapat diketahui bahwa IMRT memberikan hasil yang lebih baik dalam hal *Sparing Bladder* dibandingkan dengan teknik 2D dan 3DCRT pada

semua parameter.

Tabel 4 Hasil dosimetri *Organ at risk* (OAR) pada *Rectum*

Organ	Parameter	2D (mean±SD)	3D-CRT (mean±SD)	IMRT (mean±SD)
<i>Rectum</i>	D ₉₅	44.05 ± 8.83	34.38 ± 7.96	28.04 ± 11.29
	D _{mean}	45.68 ± 9.17	45.98 ± 4.73	45.48 ± 9.56
	D _{max}	50.55 ± 8.16	50.80 ± 4.42	56.82 ± 7.88
	V ₉₀	41.90 ± 24.19	15.94 ± 12.66	9.62 ± 15.60
	Presentase volume	90.22 ± 6.64	17.39 ± 7.20	10.98 ± 14.06

Pada *Rectum*, volume rata rata obyek yang dikontur pada *Treatment planning system* yaitu 63.08 cm. Pada *Treatment planning system* sasaran perencanaan dosis yang diterima oleh *Rectum* yaitu 50 Gy dari total 50% volume dari keseluruhan organ *Rectum*. Pada tabel 2, terlihat bahwa dosis rata rata (D_{mean}) yang diterima oleh *Rectum* pada teknik 2D, 3D-CRT dan IMRT masing masing adalah 45,68 Gy pada 2D, 45,98 Gy pada 3D-CRT dan 45.48 Gy pada teknik IMRT.

Demikian pula, nilai D₉₅ *Rectum* dari masing masing teknik yaitu 44,05 Gy pada teknik 2D, 34,38 Gy pada teknik 3D-CRT dan 28,04 Gy pada teknik IMRT, parameter V₉₀ juga memperlihatkan perbedaan yang signifikan pada volume yang terpapar dosis, yaitu 41,90 cm pada 2D, 15,94 cm pada 3D-CRT, dan 9.62 cm pada IMRT. Demikian pula presentase volume *Rectum* yang terpapar dosis radiasi dari 90,2 % pada 2D menjadi 17,3% pada 3D-CRT dan 10.9 % pada IMRT.

Berdasarkan hasil statistik dari *Dose volume histogram*, dapat diketahui bahwa teknik IMRT lebih baik dibandingkan teknik 2D dan 3D-CRT untuk semua parameter, yaitu D_{mean}, D₉₅, V₉₀, D_{max} dan presentase volume *Rectum* yang terpapar radiasi. Dengan demikian, dosis yang diterima *rectum* pada IMRT menunjukkan bahwa teknik ini merupakan pilihan yang lebih sesuai dalam melindungi organ *Rectum* dibandingkan teknik lainnya.

Tabel 5 Hasil dosimetri *Organ at risk* (OAR) pada *Caput femur* kanan dan kiri

Organ	Parameter	2D (mean±SD)	3D-CRT (mean±SD)	IMRT (mean±SD)
<i>Caput femur Kiri</i>	D ₉₅	25.86 ± 10.74	18.15 ± 5.14	10.33 ± 5.16
	D _{mean}	38.96 ± 7.95	28.01 ± 6.44	25.43 ± 13.28
	D _{max}	51.39 ± 1.11	47.38 ± 6.61	42.07 ± 17.38
	V ₉₀	8.26 ± 5.55	3.72 ± 6.02	0.55 ± 0.48
	Presentase volume	25.07 ± 21.09	8.14 ± 12.80	1.40 ± 1.21
<i>Caput Femur Kanan</i>	D ₉₅	25.05 ± 10.02	17.09 ± 6.63	11.07 ± 5.25
	D _{mean}	36.67 ± 7.95	27.14 ± 9.10	28.30 ± 6.58
	D _{max}	51.06 ± 0.63	42.88 ± 12.49	47.73 ± 8.43
	V ₉₀	7.29 ± 5.06	2.57 ± 3.78	0.20 ± 0.17
	Presentase volume	21.01 ± 17.54	5.79 ± 10.14	0.48 ± 0.42

Pada *Caput femur* sasaran perencanaan, yaitu 40% volume *Caput femur* menerima dosis kurang dari 40 Gy, semua teknik dapat memenuhi sasaran dosis yang telah ditentukan. Nilai D₉₅ *Caput femur* kiri dan kanan menunjukkan nilai 25.86 Gy untuk *Caput femur* kiri dan 25.05 Gy untuk *Caput femur* kanan pada teknik 2D, selanjutnya pada teknik 3D-CRT sebesar 18.15 Gy untuk *Caput*

femur kiri dan 17.09 Gy untuk *Caput femur* kanan dan pada teknik IMRT sebesar 10.33 Gy untuk *Caput femur* kiri sedangkan pada *Caput femur* kanan yaitu 11.07 Gy. Pada nilai D_{mean} femur caput kiri dan kanan, dengan nilai terendah pada IMRT yaitu 25.43 Gy pada *Caput femur* kiri dan 28.30 Gy untuk *Caput femur* kanan, Selanjutnya pada teknik 3D-CRT yaitu 28.01 Gy untuk *Caput femur* kiri sedangkan untuk *Caput femur* kanan sebesar 27.14 Gy dan dengan dosis rata rata tertinggi pada teknik 2D sebesar 38.96 Gy pada *Caput femur* kiri serta pada *Caput femur* kanan sebesar 38.67 Gy. Pada presentase volume yang terpapar oleh radiasi teknik IMRT dengan nilai presentase paling rendah sebesar 1.40% pada *Caput femur* kiri serta 0.48% pada *Caput femur* kanan, kemudian disusul dengan teknik 3D-CRT yaitu 8.14% untuk *Caput femur* kiri dan untuk *Caput femur* kanan yaitu 5.79%, selanjutnya yang terakhir yaitu teknik 2D dengan presentase sebesar 25.07% pada *Caput femur* kiri untuk *Caput femur* kanan presentase sebesar 21.01 % volume yang terpapar radiasi. Perencanaan IMRT memberikan *Sparing Caput femur* yang lebih baik dibandingkan kedua teknik lainnya. Hal ini bisa dilihat dari jumlah dosis paparan radiasi pada teknik IMRT lebih rendah untuk kedua *Caput femur* dibandingkan teknik lainnya dan juga memiliki presentasi volume yang terpapar radiasi yang lebih rendah dibandingkan dengan teknik 2D dan 3D-CRT.

Hasil dari analisis *Organ at risk* berdasarkan teknik menunjukkan bahwa teknik IMRT memberikan *Sparing* terbaik pada organ *Bladder*, *Rectum* dan kedua *Caput femur* bisa dilihat dari parameter D_{95} , V_{90} , dan presentase volume. Pada ketiga organ tersebut, nilai dosis dan volume iradiasi menurun secara bertahap pada teknik 2D dan 3D-CRT, lalu mencapai nilai terendah pada IMRT. Hasil ini menunjukkan bahwa teknik yang lebih modern mampu membatasi penyebaran dosis ke *Organ at risk* secara lebih baik dibanding teknik konvensional. Hasil tersebut sejalan dengan jurnal Sharma *et al.* yang menyatakan bahwa IMRT memberikan penurunan dosis pada *Organ at risk* dibandingkan dengan teknik 3D-CRT [10]. Secara keseluruhan, IMRT adalah teknik yang paling baik dalam *Sparing* untuk keseluruhan *Organ at risk*, karena memberikan dosis dan volume iradiasi yang paling rendah pada sebagian besar parameter

Teknik radioterapi dua dimensi (2D) merupakan teknik konvensional yang menggunakan citra radiografi sederhana dengan lapangan penyinaran standar. Teknik ini masih banyak digunakan karena proses perencanaannya relatif sederhana, waktu planning lebih singkat, serta membutuhkan perangkat dan sumber daya yang lebih minimal dibandingkan teknik modern. Pada beberapa pusat radioterapi dengan keterbatasan fasilitas, teknik 2D masih menjadi pilihan karena tetap mampu memberikan cakupan dosis dasar pada *Planning target volume* (PTV). Dalam penerapannya, teknik 2D umumnya menggunakan teknik *Four-field box* dan dapat dikombinasikan dengan metode *Field in field* untuk membantu mengurangi area *Hot spot* atau paparan dosis berlebih pada jaringan tertentu. Namun demikian, keterbatasan utama teknik ini adalah ketidakmampuannya dalam memvisualisasikan target dan *Organ at risk* (OAR) secara tiga dimensi.

Akibatnya, distribusi dosis menjadi kurang homogen dan paparan dosis terhadap organ normal seperti *Bladder*, *Rectum*, dan *Caput femur* cenderung lebih tinggi dibandingkan teknik 3D-CRT dan IMRT. Selain itu, konsistensi cakupan target pada teknik 2D juga lebih rendah sehingga proteksi jaringan sehat belum optimal.

Teknik *3-dimensional Conformal radiation therapy* (3D-CRT) merupakan teknik yang memanfaatkan data CT-scan pada *Treatment planning system* (TPS) untuk membentuk lapangan radiasi sesuai geometri target secara tiga dimensi. Teknik ini memiliki kelebihan dalam menghasilkan distribusi dosis yang lebih konformal sehingga cakupan target menjadi lebih baik dibandingkan teknik 2D. Pada penelitian ini, teknik 3D-CRT menggunakan *Beam Four-field box Conformal* dengan energi 6 MV pada *Linear accelerator*. Kemampuan *Conformal Beam shaping* pada teknik ini memungkinkan penurunan dosis radiasi pada *Organ at risk* seperti *Bladder*, *Rectum*, dan *Caput femur* dibandingkan teknik 2D. Selain itu, teknik 3D-CRT memiliki keseimbangan yang cukup baik antara kualitas distribusi dosis, kompleksitas perencanaan, dan efisiensi waktu *Quality assurance*. Teknik ini juga relatif lebih mudah diterapkan dibandingkan IMRT karena proses optimasi dan verifikasi tidak terlalu kompleks. Meskipun demikian, kemampuan *Sparing Organ at risk* pada 3D-CRT masih belum seoptimal IMRT, terutama pada target yang bentuknya kompleks dan berdekatan dengan organ penting. Distribusi dosis pada teknik ini masih dapat menghasilkan paparan radiasi yang lebih tinggi pada jaringan sehat dibandingkan IMRT.

Intensity modulated radiation therapy (IMRT) merupakan teknik radioterapi modern yang mampu memodulasi intensitas radiasi pada setiap segmen lapangan penyinaran. Pada penelitian ini, teknik IMRT menggunakan 8–9 *Beam* dengan mode *Step-and-shoot* untuk menghasilkan distribusi dosis yang lebih presisi. Teknik ini menunjukkan kualitas dosimetri terbaik dibandingkan teknik 2D dan 3D-CRT karena mampu mempertahankan cakupan target (PTV) secara optimal sekaligus memberikan *Sparing* yang lebih baik terhadap *Organ at risk* seperti *Bladder*, *Rectum*, dan kedua *Caput femur*. IMRT memiliki distribusi dosis yang lebih konformal dan homogen sehingga dosis radiasi dapat dipusatkan pada target dengan paparan minimal terhadap jaringan sehat di sekitarnya. Selain itu, nilai presentase volume iradiasi pada *Organ at risk* juga menjadi yang paling rendah dibandingkan teknik lainnya, sehingga risiko toksisitas radiasi dapat ditekan lebih baik. Walaupun demikian, teknik IMRT memiliki beberapa keterbatasan, yaitu proses planning yang lebih kompleks, waktu optimasi yang lebih lama, serta membutuhkan perangkat teknologi yang lebih canggih. Teknik ini juga memerlukan tenaga profesional yang terlatih dan *Quality assurance* yang lebih ketat untuk memastikan akurasi distribusi dosis. Dari segi biaya, penggunaan IMRT relatif lebih tinggi dibandingkan teknik 2D maupun 3D-CRT sehingga implementasinya masih terbatas pada fasilitas radioterapi tertentu.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis *Dose volume histogram* (DVH), teknik IMRT menunjukkan kualitas dosimetri terbaik dibandingkan teknik 2D dan 3D-CRT pada radioterapi kanker serviks, terutama dalam menurunkan paparan dosis pada *Organ at risk* (OAR) seperti *Bladder*, *Rectum*, dan kedua *Caput femur*. IMRT memiliki kelebihan berupa distribusi dosis yang lebih konformal dan homogen sehingga cakupan *Planning target volume* (PTV) lebih optimal serta proteksi jaringan normal lebih baik. Namun, teknik ini memerlukan proses planning yang lebih kompleks, *Quality assurance* yang lebih ketat, serta biaya dan teknologi yang lebih tinggi.

Teknik 3D-CRT memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan teknik 2D karena mampu membentuk lapangan radiasi sesuai bentuk target secara tiga dimensi sehingga cakupan target dan *Sparing* OAR menjadi lebih baik. Teknik ini juga memiliki keseimbangan yang cukup baik antara kualitas distribusi dosis dan kompleksitas perencanaan. Akan tetapi, kemampuan *Sparing* organ normal masih belum seoptimal IMRT.

Sementara itu, teknik 2D masih mampu memberikan cakupan dasar pada PTV dengan proses planning yang lebih sederhana, waktu lebih singkat, dan kebutuhan alat yang lebih minimal. Teknik ini juga dapat menggunakan metode *Field in field* untuk membantu mengurangi paparan dosis berlebih. Namun, teknik 2D memiliki distribusi dosis yang kurang homogen dan paparan dosis pada organ normal yang lebih tinggi dibandingkan 3D-CRT dan IMRT. Dengan demikian, IMRT menjadi teknik paling optimal, sedangkan 3D-CRT dapat menjadi alternatif yang lebih baik dibandingkan teknik 2D apabila IMRT belum tersedia.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali atas dukungan, fasilitas, dan kesempatan yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Dukungan tersebut sangat membantu dalam kelancaran proses penelitian dan penyelesaian artikel ini.

Referensi

- Bosch, F. X., Lorincz, A., Muñoz, N., Meijer, C. J. L. M., & Shah, K. V. (2002). The causal relation between human papillomavirus and cervical cancer. *Journal of Clinical Pathology*, 55(4), 244–265. <https://doi.org/10.1136/jcp.55.4.244>
- Dwikuntari, L., Setijadi, A. R., & Hendrik, H. (2017). External beam radiation therapy pada kanker paru (a literature review). *Berkala Ilmiah Kedokteran Duta Wacana*, 2(2). <https://doi.org/10.21460/bikdw.v2i2.56>
- Guo, Q., Cai, S., Qian, J., & Tian, Y. (2019). Dose optimization strategy of sacrum limitation in cervical cancer intensity modulation radiation therapy planning. *Medicine*, 98(24), e15938. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015938>
- Irna, J. E. S. (2020). Komparasi treatment planning berkas foton teknik 3 dimensional-conformal radiation therapy dan intensity modulated radiation therapy untuk kanker payudara kiri. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2020*, 143–150.

- Koka, K., Verma, A., Dwarakanath, B. S., & Papineni, R. V. L. (2022). Technological advancements in external beam radiation therapy (EBRT): An indispensable tool for cancer treatment. *Cancer Management and Research*, 14, 1421–1429. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S351744>
- National Cancer Institute. (2025, May 13). *Cervical cancer treatment (PDQ®): Health professional version*.
- Pramesti, W. S., Yuana, F., Herwiningsih, S., & Hentihu, F. K. (2023). Analisis dosis sebaran 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), 1–11.
- Raina, P., & Singh, S. (2022). Comparison between three-dimensional conformal radiation therapy (3DCRT) and intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for radiotherapy of cervical carcinoma: A heterogeneous phantom study. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 12(5), 465–476. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2101-1257>
- Sakti, K. A. B., Jyoti, N. K. S. N., Pinatih, N. L. P. A. S., Haris, Y. P., & Sukmasari, N. I. (2026). *Buku ajar radioterapi onkologi: Tatalaksana terkini untuk kanker payudara, paru dan serviks di Indonesia*. Penerbit Buku Sonpedia.
- Sharma, N., Gupta, M., Joseph, D., Gupta, S., Pasricha, R., Ahuja, R., et al. (2022). A prospective randomized study of intensity-modulated radiation therapy versus three-dimensional conformal radiation therapy with concurrent chemotherapy in locally advanced carcinoma cervix. *Cureus*, 14(1), e21000. <https://doi.org/10.7759/cureus.21000>
- Son, Y., Hong, S., Jang, W., Kim, S., Lee, H., Lee, S., et al. (2025). Global, regional, and national burden of cervical cancer in 2022 and projections to 2050: A population-based analysis of GLOBOCAN. *International Journal of Gynecologic Cancer*, 36(1), 102751. <https://doi.org/10.1016/j.ijgc.2025.102751>