KOLONI: Jurnal Multidisiplin Ilmu, 5 (4), Tahun 2026
e-ISSN: 2828-6863

Evaluasi Kualitas Dosimetri Rencana Radioterapi 3DCRT Berdasarkan Parameter Dose Volume Histogram (DVH) Pada Kasus Metastasis Tulang Lumbal Di RSUD Bali Mandara

Dhea Sukma Rahmadanni[1], Rickhy Krisopras Kakiay[2], I Kadek Sukadana[3], Burlian Mughnie[4], I Wayan Juliasa[5]
[1,2,3,4]AKTEK Radiodiganostik dan Radioterapi Bali, Denpasar, indonesia
[5]RSUD Bali Mandara, Denpasar, Indonesia
dheasukmaramadanni@gmail.com

Abstract: *Lumbar bone metastases may cause pain, neurological impairment, and reduced quality of life, requiring optimal radiotherapy planning. Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy (3DCRT) is one of the radiotherapy techniques that can be used for bone metastases while considering dose distribution to the target and surrounding normal tissues. The dosimetric quality of a treatment plan can be evaluated using the Dose Volume Histogram (DVH), particularly through Planning Target Volume (PTV) parameters. This study aimed to evaluate the dosimetric quality of 3DCRT radiotherapy treatment plans for lumbar bone metastases at RSUD Bali Mandara based on D95%, D2%, and Dmean parameters. A retrospective descriptive observational study with a case series approach was conducted on four radiotherapy treatment plans for patients with lumbar bone metastases. Data were obtained from the Treatment Planning System (TPS) and descriptively analyzed based on PTV DVH parameters, while the mean dose of the Organs at Risk (OARs) was used as supporting information. The results showed that D95% ranged from 97.2% to 100.8%, D2% from 105.4% to 106.2%, and Dmean from 101.5% to 104.1% of the prescribed dose. All treatment plans had D95% ≥95% and D2% ≤107% based on the evaluation criteria applied in this study. Mean OAR doses varied among patients and were associated with differences in anatomy, PTV size and location, and the spatial relationship between the target and OARs. Based on these findings, all four evaluated 3DCRT treatment plans met the PTV dosimetric criteria applied in this study, while the OAR data provided supporting information on dose distribution to normal tissues.*

Keywords*: Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy (3DCRT), Dose Volume Histogram (DVH), dosimetry, lumbar bone metastasis, Planning Target Volume (PTV), Organ at Risk (OAR)*

Abstrak: Metastasis tulang lumbal dapat menyebabkan nyeri, gangguan neurologis, dan penurunan kualitas hidup sehingga memerlukan perencanaan radioterapi yang optimal. Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy (3DCRT) merupakan salah satu teknik radioterapi yang dapat digunakan pada metastasis tulang dengan mempertimbangkan distribusi dosis pada target dan jaringan normal. Kualitas dosimetri rencana dapat dievaluasi menggunakan Dose Volume Histogram (DVH), terutama melalui parameter Planning Target Volume (PTV). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas dosimetri rencana radioterapi 3DCRT pada kasus metastasis tulang lumbal di RSUD Bali Mandara berdasarkan parameter D95%, D2%, dan Dmean. Penelitian ini menggunakan desain deskriptif observasional retrospektif dengan pendekatan case series terhadap empat rencana radioterapi pasien metastasis tulang lumbal. Data diperoleh dari Treatment Planning System (TPS) dan dianalisis secara deskriptif berdasarkan parameter DVH PTV, sedangkan Dmean Organ at Risk (OAR) digunakan sebagai informasi pendukung. Hasil penelitian menunjukkan nilai D95% berada pada rentang 97,2–100,8%, D2% sebesar 105,4–106,2%, dan Dmean sebesar 101,5–104,1% terhadap dosis resep. Seluruh rencana memiliki D95% ≥95% dan D2% ≤107% berdasarkan kriteria evaluasi yang digunakan. Nilai Dmean OAR menunjukkan variasi paparan dosis antar pasien yang berkaitan dengan perbedaan anatomi, ukuran dan lokasi PTV, serta hubungan spasial antara target dan OAR. Berdasarkan hasil tersebut, keempat rencana radioterapi 3DCRT yang dievaluasi memenuhi kriteria dosimetri PTV yang digunakan dalam penelitian, sedangkan data OAR memberikan informasi pendukung mengenai distribusi dosis pada jaringan normal.

Kata kunci: Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy (3DCRT), Dose Volume Histogram (DVH), dosimetri, metastasis tulang lumbal, Planning Target Volume (PTV), Organ at Risk (OAR).

Pendahuluan

Kanker merupakan salah satu penyebab utama morbiditas dan mortalitas di dunia. Berdasarkan *Global Cancer Statistics 2022*, diperkirakan terdapat sekitar 20 juta kasus kanker baru dan 9,7 juta kematian akibat kanker di seluruh dunia pada tahun 2022. Peningkatan keberlangsungan hidup pasien kanker sebagai akibat perkembangan deteksi dini dan berbagai modalitas terapi juga menyebabkan semakin banyak pasien hidup dengan penyakit metastatis. Salah satu lokasi metastasis yang sering ditemukan adalah tulang, terutama pada pasien dengan kanker payudara, prostat, paru, ginjal, dan beberapa keganasan lainnya. Metastasis tulang dapat menimbulkan nyeri, fraktur patologis, hiperkalsemia, gangguan neurologis, serta penurunan kualitas hidup sehingga memerlukan penatalaksanaan multidisiplin yang tepat (Bray et al., 2024; Coleman et al., 2020; Clézardin et al., 2021).

Tulang belakang merupakan salah satu lokasi penting metastasis tulang dan dapat mengalami komplikasi berupa nyeri, instabilitas vertebra, fraktur patologis, serta kompresi medula spinalis atau *cauda equina*. Kondisi tersebut dapat menyebabkan gangguan neurologis dan memengaruhi fungsi serta kualitas hidup pasien. Seiring meningkatnya harapan hidup pasien dengan kanker stadium lanjut, pengendalian penyakit metastatis pada tulang belakang menjadi semakin penting dalam pengelolaan pasien. Penatalaksanaan metastasis *spinal* melibatkan pendekatan multidisiplin yang dapat mencakup terapi sistemik, pembedahan pada kondisi tertentu, serta radioterapi sebagai salah satu modalitas utama untuk mengurangi gejala dan mengendalikan penyakit lokal (Coleman et al., 2020; Clézardin et al., 2021; Bahouth et al., 2022).

Radioterapi EBRT merupakan salah satu modalitas utama dalam penatalaksanaan metastasis tulang simptomatik, termasuk metastasis pada tulang belakang. Radioterapi terutama digunakan untuk memberikan kontrol nyeri dan mengendalikan gejala akibat keterlibatan tulang atau struktur neurologis di sekitarnya. Pedoman ASTRO menyatakan bahwa radioterapi merupakan bagian penting dalam penatalaksanaan metastasis tulang simptomatik dan pemilihan dosis serta fraksinasi perlu mempertimbangkan kondisi klinis pasien, prognosis, lokasi metastasis, risiko terhadap jaringan normal, serta tujuan terapi (Lutz et al., 2017; Alcorn et al., 2024).

Pemilihan dosis dan fraksinasi pada radioterapi metastasis tulang dapat bervariasi sesuai dengan kondisi klinis dan tujuan terapi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa radioterapi dengan fraksinasi tunggal maupun multipel dapat memberikan respons nyeri pada metastasis tulang, sehingga pemilihan regimen perlu disesuaikan dengan kondisi pasien dan tujuan pengobatan. Pada pedoman ASTRO terbaru, beberapa regimen radioterapi konvensional untuk metastasis tulang simptomatik antara lain 8 Gy dalam satu fraksi, 20 Gy dalam lima fraksi, 24 Gy dalam enam fraksi, dan 30 Gy dalam sepuluh fraksi (Chow et al., 2019; Alcorn et al., 2024).

Dalam perencanaan radioterapi, keberhasilan terapi tidak hanya ditentukan oleh dosis target, tetapi juga oleh kemampuan rencana menghasilkan distribusi dosis yang adekuat pada target dengan tetap mempertimbangkan jaringan normal di sekitarnya. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah 3DCRT, yaitu teknik yang menggunakan informasi anatomi tiga dimensi dari CT simulasi untuk membentuk lapangan radiasi sesuai dengan bentuk dan lokasi target. Meskipun teknik yang lebih kompleks seperti IMRT, VMAT, dan SBRT dapat memberikan distribusi dosis yang lebih kompleks dan konformal pada kondisi tertentu, 3DCRT tetap memiliki peranan dalam perencanaan radioterapi metastasis tulang karena relatif sederhana dan dapat memberikan distribusi dosis yang memadai dengan perencanaan yang tepat (Hodapp, 2012; Soyfer et al., 2013; Yeo, 2015).

Penggunaan 3DCRT pada metastasis tulang belakang telah diteliti dari aspek dosimetri. Soyfer et al. (2013) membandingkan rencana 3D dengan teknik PA dan AP-PA pada metastasis tulang lumbal dan mendapatkan cakupan PTV yang serupa, sedangkan beberapa parameter paparan jaringan normal, termasuk usus dan *spinal cord*, menunjukkan keuntungan pada rencana 3D. Penelitian Yeo (2015) pada metastasis tulang belakang torakal juga menunjukkan bahwa 3DCRT dapat menghasilkan distribusi dosis target yang homogen sekaligus mengurangi paparan terhadap beberapa organ normal dibandingkan teknik dua dimensi. Penelitian yang lebih baru oleh Arnold et al. (2023) menunjukkan bahwa modifikasi teknik 3DCRT dapat digunakan untuk membatasi dosis *spinal cord* pada radioterapi metastasis *spinal* dengan tetap mempertahankan cakupan target yang memadai. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kualitas perencanaan 3DCRT tetap relevan untuk dievaluasi pada kasus metastasis tulang belakang.

Evaluasi kualitas rencana radioterapi dapat dilakukan menggunakan DVH, yaitu representasi hubungan antara dosis radiasi dan volume struktur yang menerima dosis tersebut. DVH memungkinkan evaluasi distribusi dosis pada target maupun OAR secara volumetrik dan dapat digunakan untuk membandingkan karakteristik beberapa rencana radioterapi. Namun, DVH tidak memberikan informasi spasial mengenai lokasi dosis di dalam suatu struktur sehingga penggunaannya perlu dipertimbangkan bersama informasi anatomi dan distribusi dosis pada citra perencanaan (Drzymala et al., 1991). Selain itu, keakuratan data DVH yang dihasilkan oleh TPS merupakan bagian penting dalam proses evaluasi kualitas rencana radioterapi (Gossman & Bank, 2010).

Pada evaluasi target, parameter berbasis DVH dapat digunakan untuk menggambarkan cakupan dan distribusi dosis pada PTV. ICRU Report 50 dan Report 83 memberikan dasar dalam konsep pendefinisian target, pemberian dosis, serta pelaporan distribusi dosis dalam radioterapi. Dalam penelitian ini digunakan parameter D95%, D2%, dan Dmean. D95% digunakan untuk menggambarkan cakupan dosis pada PTV, D2% digunakan sebagai indikator

dosis tinggi yang diterima oleh sebagian kecil volume target, sedangkan *Dmean* digunakan untuk menggambarkan dosis rata-rata yang diterima oleh PTV. Penggunaan parameter tersebut memungkinkan distribusi dosis pada PTV dievaluasi secara kuantitatif dan dibandingkan antar rencana radioterapi (ICRU, 1993, 2010; Hodapp, 2012).

Selain target, evaluasi terhadap OAR merupakan bagian penting dalam perencanaan radioterapi karena organ normal di sekitar metastasis spinal dapat menerima paparan radiasi. Prinsip QUANTEC menunjukkan bahwa hubungan antara dosis, volume, dan toksisitas jaringan normal perlu dipertimbangkan dalam evaluasi rencana radioterapi. Pada *spinal cord*, risiko efek samping radiasi dipengaruhi oleh dosis total dan ukuran fraksi, sedangkan evaluasi organ seperti kandung kemih juga perlu mempertimbangkan distribusi dosis-volume serta karakteristik penyinaran. Oleh karena itu, parameter OAR perlu diinterpretasikan sesuai jenis organ, parameter DVH yang digunakan, dan skema fraksinasi, bukan hanya berdasarkan satu nilai dosis rata-rata (Bentzen et al., 2010; Kirkpatrick et al., 2010; Viswanathan et al., 2010).

Perkembangan teknik radioterapi menyebabkan tersedianya berbagai pilihan teknologi untuk metastasis tulang belakang, termasuk teknik konvensional dan teknik stereotaktik. Studi klinis dan meta-analisis menunjukkan bahwa SBRT dapat memberikan kontrol lokal dan respons nyeri yang baik pada kelompok pasien tertentu, tetapi penggunaannya membutuhkan perencanaan yang lebih kompleks dan perhatian yang ketat terhadap batas dosis OAR. Sementara itu, radioterapi konvensional tetap menjadi bagian penting dalam penatalaksanaan metastasis tulang simptomatik. Oleh karena itu, evaluasi dosimetri terhadap teknik 3DCRT tetap relevan, terutama pada fasilitas radioterapi yang menggunakan teknik tersebut dalam praktik klinis (Ryu et al., 2023; Alcorn et al., 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian yang secara khusus mengevaluasi kualitas dosimetri rencana 3DCRT pada metastasis tulang lumbal berdasarkan parameter D95%, D2%, dan Dmean masih perlu dilakukan, terutama untuk memberikan gambaran mengenai pencapaian cakupan dosis target dan distribusi dosis pada OAR pada praktik klinis setempat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas dosimetri rencana radioterapi 3DCRT pada kasus metastasis tulang lumbal di RSUD Bali Mandara berdasarkan parameter DVH, yaitu D95%, D2%, dan Dmean pada PTV, serta mendeskripsikan distribusi dosis rata-rata pada OAR sebagai informasi pendukung evaluasi rencana radioterapi.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan desain deskriptif observasional retrospektif menggunakan pendekatan *case series*. Subjek penelitian terdiri atas empat rencana radioterapi pasien dengan diagnosis metastasis tulang lumbal yang mendapatkan terapi menggunakan teknik 3DCRT di Instalasi Radioterapi RSUD Bali Mandara. Data penelitian

merupakan data sekunder yang diperoleh dari arsip TPS dan dikumpulkan pada Juni 2026. Pemilihan subjek dilakukan berdasarkan kriteria inklusi, yaitu rencana radioterapi dengan diagnosis metastasis tulang lumbal, menggunakan teknik 3DCRT, memiliki struktur PTV yang telah dikontur dan disetujui, serta memiliki data DVH yang dapat dievaluasi.

Data yang dikumpulkan meliputi jumlah dosis, struktur dan volume PTV, serta parameter DVH berupa D95%, D2%, dan *Dmean*. D95% digunakan untuk mengevaluasi cakupan dosis terhadap PTV, D2% digunakan untuk menggambarkan dosis tinggi yang diterima oleh sebagian kecil volume PTV, sedangkan *Dmean* digunakan untuk menggambarkan dosis rata-rata yang diterima oleh PTV. Nilai D95%, D2%, dan *Dmean* dinyatakan dalam persentase terhadap jumlah dosis sehingga dapat dilakukan perbandingan distribusi dosis antar rencana dengan jumlah dosis yang berbeda. Evaluasi distribusi dosis PTV dilakukan secara deskriptif berdasarkan kriteria yang digunakan dalam penelitian, dengan D95% ≥95% sebagai indikator cakupan target dan D2% ≤107% sebagai batas evaluasi dosis tinggi pada PTV. Dmean digunakan sebagai parameter pendukung untuk melihat kedekatan dosis rata-rata PTV terhadap dosis resep dan tidak digunakan sebagai batas *pass/fail* yang berdiri sendiri.

Selain evaluasi PTV, dilakukan analisis terhadap OAR yang teridentifikasi pada data TPS, yaitu medula spinalis, *cauda equina*, ginjal kanan dan kiri, *bowel bag*, rektum, dan kandung kemih. Data OAR yang dianalisis berupa *Dmean* masing-masing struktur pada setiap pasien. Hasil analisis OAR disajikan secara individual untuk pasien 1 sampai pasien 4 dalam bentuk tabel dan grafik DVH untuk menggambarkan variasi paparan dosis pada jaringan normal di sekitar target. Evaluasi OAR digunakan sebagai informasi pendukung terhadap kualitas perencanaan dan tidak digunakan sebagai dasar tunggal untuk menyatakan terpenuhi atau tidak terpenuhinya batas toleransi OAR, karena parameter toleransi masing-masing organ dapat menggunakan parameter dosis dan volume yang berbeda serta bergantung pada skema fraksinasi yang digunakan.

Seluruh data kemudian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai parameter DVH antar pasien. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel distribusi dosis PTV, tabel dosis rata-rata OAR, grafik DVH masing-masing pasien, serta uraian naratif untuk menjelaskan variasi distribusi dosis pada target dan jaringan normal. Pendekatan ini digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kualitas dosimetri rencana 3DCRT pada kasus metastasis tulang lumbal berdasarkan parameter DVH yang ditetapkan dalam penelitian.

Penelitian ini tidak melibatkan intervensi langsung terhadap pasien serta tidak memengaruhi proses terapi yang sedang atau telah dijalani. Oleh karena itu, penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian non-intervensi berbasis data sekunder. Kerahasiaan dan privasi pasien dijaga sesuai dengan prinsip etik penelitian kesehatan, yaitu *prinsip respect for persons, beneficence,* dan *confidentiality*. Data yang diperoleh hanya digunakan untuk tujuan

penelitian dan tidak disebarluaskan di luar kepentingan ilmiah. Nomer Etik NO: 00118/EA/KEPK.RSBM.DISKES/2026

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menganalisis empat rencana radioterapi menggunakan teknik 3DCRT pada pasien dengan metastasis tulang lumbal. Data diperoleh dari laporan DVH pada TPS. Dua rencana menggunakan dosis resep 30 Gy dalam 10 fraksi, sedangkan dua rencana lainnya menggunakan dosis resep 37,5 Gy dalam 15 fraksi. Evaluasi distribusi dosis pada PTV dilakukan menggunakan parameter D95%, D2%, dan *Dmean*.

Distribusi Dosis PTV

Hasil evaluasi distribusi dosis PTV disajikan pada Tabel 1. Nilai D95% pada keempat pasien berada pada rentang 97,2–100,8%, D2% berada pada rentang 105,4–106,2%, sedangkan Dmean berada pada rentang 101,5–104,1% terhadap dosis resep.

Tabel 1. Distribusi dosis PTV

Pasien	Dosis	D95%	D2%	Dmean	Interpretasi
1	30 Gy	98,1%	105,5%	102,3%	Memenuhi
2	30 Gy	97,2%	105,4%	101,5%	Memenuhi
3	37,5 Gy	98,5%	105,5%	102,4%	Memenuhi
4	37,5 Gy	100,8%	106,2%	104,1%	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 1, seluruh nilai D95% berada di atas 95%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar volume PTV memperoleh dosis yang mendekati dosis resep. Nilai D2% pada seluruh pasien berada di bawah 107%, sehingga dosis relatif tinggi pada sebagian kecil volume PTV masih berada dalam batas evaluasi yang digunakan dalam penelitian. Sementara itu, nilai Dmean berada pada kisaran 101,5–104,1%, yang menunjukkan bahwa dosis rata-rata yang diterima PTV relatif dekat dengan dosis resep.

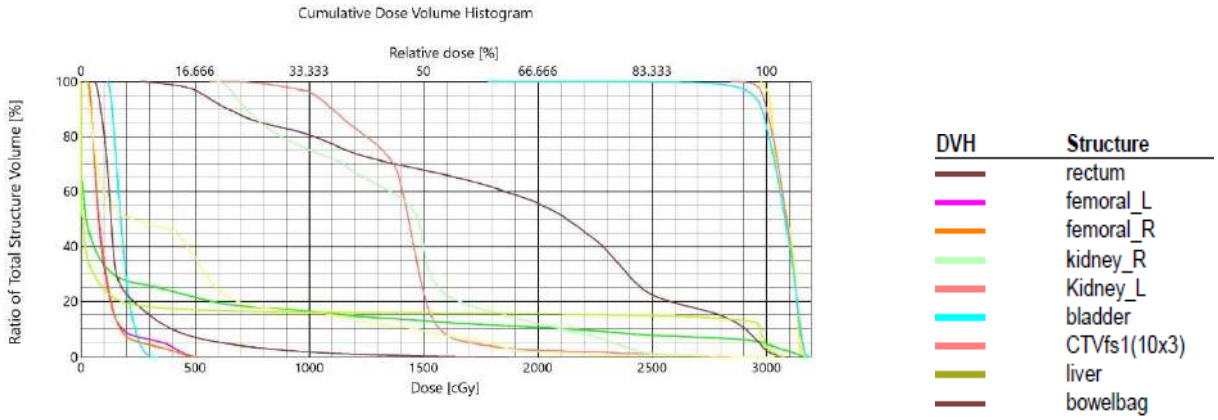
Pada pasien 1, nilai D95% sebesar 98,1%, D2% sebesar 105,5%, dan *Dmean* sebesar 102,3%. Pada pasien 2, D95% sebesar 97,2%, D2% sebesar 105,4%, dan *Dmean* sebesar 101,5%. Kedua pasien tersebut memperoleh dosis resep 30 Gy dalam 10 fraksi. Data TPS menunjukkan bahwa dosis rata-rata PTV pasien 1 sebesar 30,677 Gy, sedangkan pasien 2 sebesar 30,454 Gy, atau masing-masing sekitar 102,3% dan 101,5% dari dosis resep.

Pada pasien 3 dan pasien 4, dosis resep yang diberikan adalah 37,5 Gy dalam 15 fraksi. Pasien 3 memiliki D95% sebesar 98,5%, D2% sebesar 105,5%, dan *Dmean* sebesar 102,4%, sedangkan pasien 4 memiliki D95% sebesar 100,8%, D2% sebesar 106,2%, dan *Dmean* sebesar 104,1%. Data TPS menunjukkan *Dmean* PTV pasien 3 sebesar 38,404 Gy dan pasien 4 sebesar 39,051 Gy.

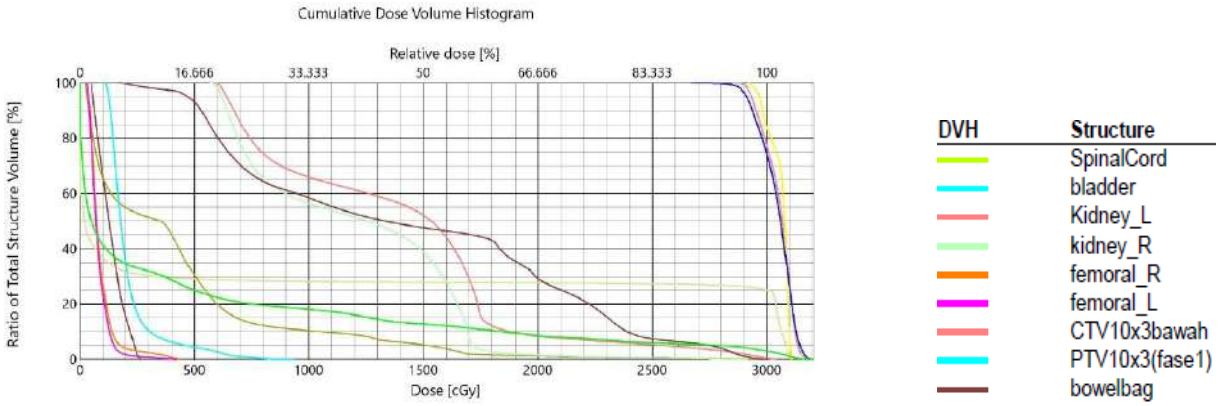
Hasil tersebut menunjukkan bahwa keempat rencana memiliki cakupan target yang memadai berdasarkan D95% dan distribusi dosis tinggi yang masih terkendali berdasarkan

D2%. Variasi *Dmean* antar pasien menunjukkan adanya perbedaan distribusi dosis rata-rata pada PTV, yang dapat berkaitan dengan perbedaan bentuk, ukuran, dan lokasi target serta konfigurasi lapangan penyinaran. Nilai *Dmean* digunakan sebagai parameter pendukung untuk menggambarkan distribusi dosis secara keseluruhan dan tidak digunakan sebagai batas *pass/fail* yang berdiri sendiri.

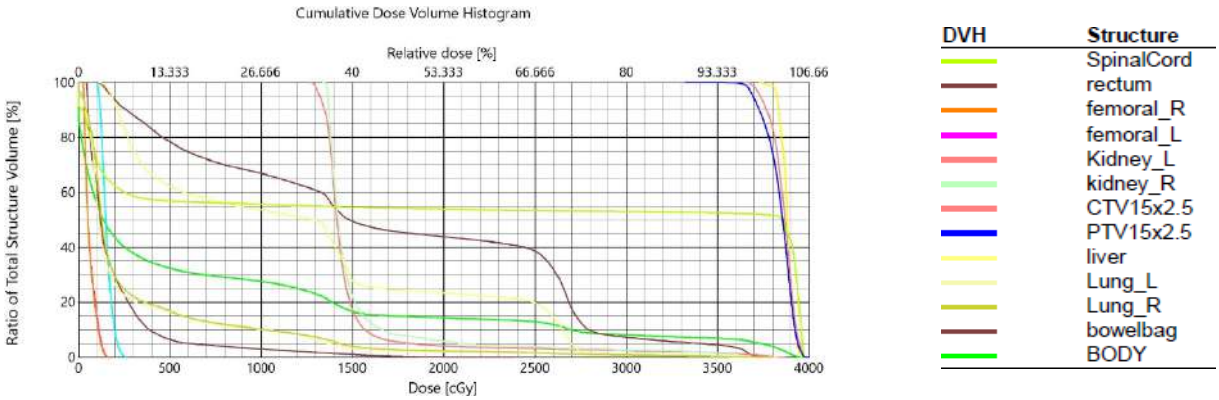
Distribusi dosis pada PTV dan OAR secara visual ditunjukkan melalui kurva DVH masing-masing pasien. Penyajian grafik DVH dilakukan untuk memperlihatkan hubungan antara dosis yang diterima dengan volume struktur yang memperoleh dosis tersebut.



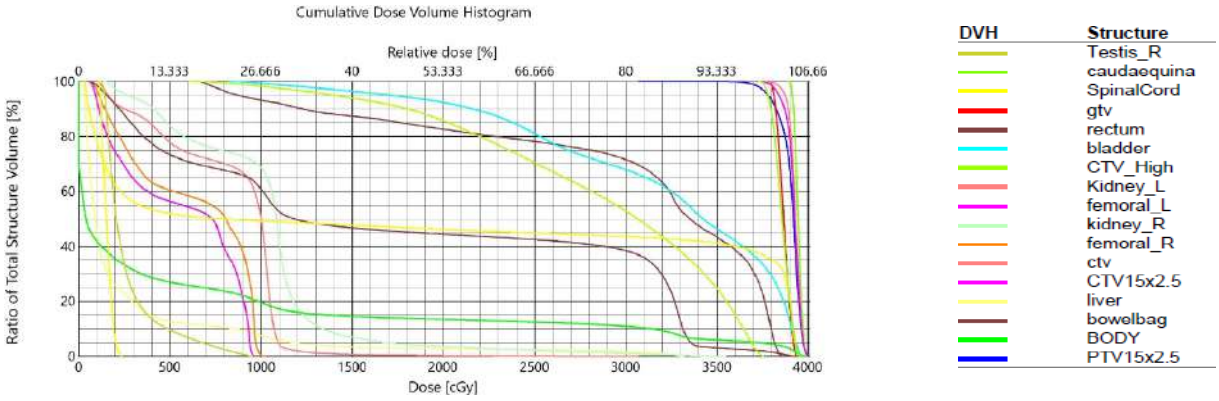
Gambar 1. Cumulative Dose Volume Histogram Pasien 1



Gambar 2. Cumulative Dose Volume Histogram Pasien 2



Gambar 3. Cumulative Dose Volume Histogram Pasien 3



Gambar 4. Cumulative Dose Volume Histogram Pasien 4.

Kurva DVH pada keempat pasien menunjukkan bahwa distribusi dosis PTV terkonsentrasi pada daerah dosis yang mendekati dosis total. Pada laporan TPS pasien 1, PTV memperoleh dosis minimum 17,795 Gy, maksimum 31,963 Gy, dan mean dose 30,677 Gy untuk resep 30 Gy. Pada pasien 2, PTV memperoleh dosis minimum 26,671 Gy, maksimum 32,038 Gy, dan mean dose 30,454 Gy. Pada pasien 3, PTV memiliki dosis minimum 33,153 Gy, maksimum 40,041 Gy, dan mean dose 38,404 Gy. Sedangkan pada pasien 4, PTV memiliki dosis minimum 30,569 Gy, maksimum 40,126 Gy, dan mean dose 39,051 Gy.

Perbedaan distribusi dosis antar pasien menunjukkan bahwa meskipun teknik yang digunakan sama, distribusi dosis tidak sepenuhnya identik. Hal tersebut dapat terjadi karena setiap pasien memiliki konfigurasi anatomi, ukuran PTV, posisi target, serta hubungan yang berbeda terhadap organ di sekitar target.

Evaluasi OAR

Selain PTV, evaluasi DVH dilakukan terhadap OAR yang berada di sekitar target. Struktur OAR yang tersedia pada laporan TPS meliputi medula spinalis, *cauda equina*, ginjal kanan dan kiri, *bowel bag*, rektum, dan kandung kemih. Hasil dosis rata-rata OAR pada masing-masing pasien disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dosis rata-rata *Organ at Risk* (OAR) pada masing-masing pasien

OAR	Pasien 1 (Gy)	Pasien 2 (Gy)	Pasien 3 (Gy)	Pasien 4 (Gy)	Acuan Evaluasi
Spinal cord	4,93	8,76	21,73	18,70	Dosis *spinal cord* perlu dibatasi; QUANTEC menekankan risiko myelopati terkait dosis dan fraksinasi
Cauda equina	30,83	30,59	38,79	39,45	Tidak terdapat batas Dmean universal yang dapat langsung diterapkan pada fraksinasi penelitian
Kidney L	14,10	13,86	14,98	8,36	Dmean ginjal umumnya dijaga serendah mungkin; interpretasi bergantung fraksinasi
Kidney R	13,93	11,94	15,30	10,20	Dmean ginjal umumnya dijaga serendah mungkin; interpretasi bergantung fraksinasi
Bowel bag	18,91	14,24	16,79	17,92	Risiko toksisitas dinilai terutama dengan parameter volume-dosis (Vx), bukan Dmean saja
Rectum	2,02	1,33	2,03	30,32	QUANTEC menggunakan parameter V50–V75, bukan Dmean sebagai batas utama
Bladder	1,80	2,10	1,53	32,06	QUANTEC menggunakan parameter V65–V80, bukan Dmean sebagai batas utama

Berdasarkan Tabel 2, distribusi dosis rata-rata pada OAR menunjukkan variasi antar pasien. Pada *spinal cord*, nilai *Dmean* berkisar antara 4,93–21,73 Gy. Kirkpatrick et al. (2010) menjelaskan bahwa toleransi *spinal cord* terhadap radiasi dipengaruhi oleh dosis total dan ukuran fraksi, sehingga evaluasi dosis pada organ ini perlu mempertimbangkan skema fraksinasi yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan fraksinasi 3 Gy per fraksi untuk dosis resep 30 Gy dan 2,5 Gy per fraksi untuk dosis resep 37,5 Gy, sehingga nilai *Dmean spinal cord* digunakan sebagai gambaran distribusi dosis dan tidak secara langsung dibandingkan dengan batas toleransi dari fraksinasi konvensional 1,8–2 Gy per fraksi.

Pada *cauda equina*, nilai *Dmean* berkisar antara 30,59–39,45 Gy. Perbedaan dosis antar pasien dapat dipengaruhi oleh posisi dan ukuran PTV serta kedekatan *cauda equina* terhadap lapangan penyinaran. Dalam penelitian ini, dosis *cauda equina* digunakan untuk

menggambarkan distribusi dosis pada struktur OAR yang berada di sekitar target. Penilaian terhadap toleransi *cauda equina* secara spesifik tidak dilakukan menggunakan satu nilai *Dmean* sebagai batas universal karena respons jaringan saraf terhadap radiasi dipengaruhi oleh dosis per fraksi dan distribusi dosis. Hal tersebut sejalan dengan prinsip QUANTEC bahwa hubungan dosis-volume dan toksisitas perlu diinterpretasikan sesuai karakteristik penyinaran yang digunakan (Bentzen et al., 2010).

Pada kedua ginjal, nilai *Dmean* berkisar antara 8,36–14,98 Gy pada ginjal kiri dan 10,20–15,30 Gy pada ginjal kanan. Variasi tersebut menunjukkan bahwa distribusi dosis pada ginjal berbeda antar pasien, yang dapat dipengaruhi oleh lokasi target dan konfigurasi lapangan 3DCRT. Oleh karena itu, nilai *Dmean* ginjal pada penelitian ini digunakan sebagai parameter deskriptif untuk melihat paparan dosis terhadap organ, sedangkan penilaian risiko toksisitas ginjal secara lebih komprehensif memerlukan parameter dosis-volume yang sesuai dengan pedoman dan skema fraksinasi yang digunakan.

Pada *bowel bag*, nilai *Dmean* berada pada rentang 14,24–18,91 Gy. Perbedaan dosis antar pasien dapat terjadi akibat variasi anatomi dan hubungan spasial antara *bowel bag* dengan PTV. Prinsip evaluasi QUANTEC menekankan penggunaan hubungan dosis-volume untuk menghubungkan paparan radiasi dengan risiko toksisitas jaringan normal, sehingga *Dmean* dalam penelitian ini lebih tepat digunakan untuk menggambarkan distribusi dosis daripada sebagai satu-satunya parameter penentuan batas toleransi (Bentzen et al., 2010).

Pada rektum, *Dmean* berkisar antara 1,33–30,32 Gy, sedangkan pada kandung kemih berkisar antara 1,53–32,06 Gy. Nilai yang lebih tinggi pada beberapa pasien menunjukkan adanya variasi paparan dosis terhadap organ yang berdekatan dengan target. Viswanathan et al. (2010) menjelaskan bahwa evaluasi efek radiasi pada kandung kemih perlu mempertimbangkan distribusi dosis pada seluruh organ dan karakteristik penyinaran, karena data pada penyinaran parsial atau distribusi dosis yang tidak seragam memiliki keterbatasan dalam menghubungkan dosis dengan toksisitas. Dengan demikian, nilai *Dmean* rektum dan kandung kemih pada penelitian ini digunakan sebagai gambaran distribusi dosis OAR dan tidak digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menyatakan pemenuhan batas toleransi organ.

Secara keseluruhan, dosis OAR pada keempat pasien dapat dikendalikan berdasarkan nilai *Dmean* yang diperoleh dan tidak menunjukkan paparan berlebihan secara deskriptif. Variasi dosis antar pasien dipengaruhi oleh perbedaan anatomi, ukuran dan lokasi PTV, serta hubungan spasial antara PTV dan OAR. Hasil evaluasi *Dmean* OAR menunjukkan bahwa distribusi dosis pada jaringan normal tetap dapat dikendalikan dalam keempat rencana 3DCRT. Meskipun demikian, pemenuhan batas toleransi OAR secara definitif tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan nilai *Dmean*, karena setiap organ memiliki karakteristik

toleransi dan parameter dosis-volume yang berbeda serta dipengaruhi oleh skema fraksinasi. Oleh karena itu, analisis OAR dalam penelitian ini digunakan sebagai informasi pendukung dalam mengevaluasi kualitas dosimetri rencana 3DCRT, bersama dengan evaluasi distribusi dosis pada PTV berdasarkan parameter D95%, D2%, dan *Dmean*. Pendekatan ini sesuai dengan prinsip evaluasi dose-volume yang menekankan bahwa interpretasi dosis pada jaringan normal perlu mempertimbangkan karakteristik organ, distribusi dosis, dan skema fraksinasi yang digunakan (Bentzen et al., 2010).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap empat rencana radioterapi menggunakan teknik 3DCRT pada kasus metastasis tulang lumbal di RSUD Bali Mandara, dapat disimpulkan bahwa seluruh rencana yang dievaluasi memenuhi kriteria distribusi dosis PTV yang digunakan dalam penelitian. Nilai D95% berada pada rentang 97,2–100,8% dan memenuhi kriteria D95% ≥95%, sedangkan nilai D2% sebesar 105,4–106,2% berada di bawah kriteria D2% ≤107%. Nilai *Dmean* sebesar 101,5–104,1% menunjukkan bahwa dosis rata-rata yang diterima PTV relatif dekat dengan dosis yang dihitung dan digunakan sebagai parameter pendukung dalam evaluasi distribusi dosis.

Analisis OAR menunjukkan adanya variasi dosis rata-rata pada *spinal cord, cauda equina*, ginjal kanan dan kiri, *bowel bag*, rektum, serta kandung kemih. Variasi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan anatomi, ukuran dan lokasi PTV, serta hubungan spasial antara target dan OAR. Berdasarkan nilai *Dmean* yang diperoleh, distribusi dosis pada jaringan normal dapat dikendalikan dalam keempat rencana 3DCRT. Namun, pemenuhan batas toleransi OAR secara definitif tidak ditentukan hanya berdasarkan *Dmean*, karena setiap organ memiliki parameter dosis-volume dan pertimbangan fraksinasi yang berbeda.

Secara keseluruhan, empat rencana radioterapi 3DCRT yang dievaluasi di RSUD Bali Mandara telah memenuhi kriteria dosimetri penelitian berdasarkan cakupan dan distribusi dosis pada PTV, khususnya melalui parameter D95% dan D2%, dengan *Dmean* sebagai parameter pendukung. Hasil evaluasi OAR juga menunjukkan bahwa distribusi dosis pada jaringan normal tetap dapat dikendalikan dan menjadi bagian penting dalam pertimbangan kualitas perencanaan radioterapi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara, radiografer radioterapi, fisikawan medis, dan dokter spesialis onkologi radiasi atas izin,

dukungan, dan bantuan selama proses penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga atas doa, dukungan, dan semangat yang diberikan hingga penelitian ini selesai.

Referensi

Alcorn, S. R., Artal Cortés, Á., Bradfield, L., Brennan, M., Dennis, K., Diaz, D. A., et al. (2024). External beam radiation therapy for palliation of symptomatic bone metastases: An ASTRO clinical practice guideline. *Practical Radiation Oncology, 14*(5), 377–397. https://doi.org/10.1016/j.prro.2024.04.018.

Arnold, C. C., Toussaint, A., Mantel, F., Flentje, M., & Bratengeier, K. (2023). Dosimetric evaluation of a spinal cord dose-limiting 3D-CRT technique for radiotherapy of spinal metastases. *Journal of Applied Clinical Medical Physics, 24*(10), e14042. https://doi.org/10.1002/acm2.14042.

Bentzen, S. M., Constine, L. S., Deasy, J. O., Eisbruch, A., Jackson, A., Marks, L. B., Ten Haken, R. K., & Yorke, E. D. (2010). Quantitative analyses of normal tissue effects in the clinic (QUANTEC): An introduction to the scientific issues. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics, 76*(3 Suppl.), S3–S9. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.09.040.

Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians, 74*(3), 229–263. https://doi.org/10.3322/caac.21834.

Chow, R., Hoskin, P., Schild, S. E., Raman, S., Im, J., Zhang, D., et al. (2019). Single vs multiple fraction palliative radiation therapy for bone metastases: Cumulative meta-analysis. *Radiotherapy and Oncology, 141*, 56–61. https://doi.org/10.1016/j.radonc.2019.06.037.

Clézardin, P., Coleman, R., Puppo, M., Ottewell, P., Bonnelye, E., Paycha, F., Confavreux, C., Holen, I., & Colleoni, M. (2021). Bone metastasis. *Nature Reviews Disease Primers, 7*(1), 18. https://doi.org/10.1038/s41572-021-00281-4.

Coleman, R., Hadji, P., Body, J. J., Santini, D., Chow, E., Terpos, E., et al. (2020). Bone health in cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines. *Annals of Oncology, 31*(12), 1650–1663. https://doi.org/10.1016/j.annonc.2020.07.019.

Drzymala, R. E., Mohan, R., Brewster, L. J., Chu, J. C. H., Goitein, M., & Muench, P. (1991). Dose-volume histograms. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics, 21*(1), 71–78. https://doi.org/10.1016/0360-3016(91)90168-4.

Hodapp, N. (2012). The ICRU Report 83: Prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT). *Strahlentherapie und Onkologie, 188*(1), 97–99. https://doi.org/10.1007/s00066-011-0015-x.

International Commission on Radiation Units and Measurements. (1993). *ICRU Report 50: Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy*. International Commission on Radiation Units and Measurements.

International Commission on Radiation Units and Measurements. (2010). *ICRU Report 83: Prescribing, recording and reporting intensity-modulated photon-beam therapy (IMRT). Journal of the ICRU, 10*(1). https://doi.org/10.1093/jicru/ndq002.

Kirkpatrick, J. P., van der Kogel, A. J., & Schultheiss, T. E. (2010). Radiation dose-volume effects in the spinal cord. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics, 76*(3 Suppl.), S42–S49. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.04.095.

Lutz, S., Balboni, T., Jones, J., Lo, S., Petit, J., Rich, S. E., et al. (2017). Palliative radiation therapy for bone metastases: Update of an ASTRO evidence-based guideline. *Practical Radiation Oncology, 7*(1), 4–12. https://doi.org/10.1016/j.prro.2016.08.001.

Ryu, S., Deshmukh, S., Timmerman, R. D., Movsas, B., Gerszten, P., Yin, F. F., et al. (2023). Stereotactic radiosurgery vs conventional radiotherapy for localized vertebral metastases of the spine: Phase 3 results of NRG Oncology/RTOG 0631 randomized clinical trial. *JAMA Oncology, 9*(6), 800–807. https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2023.0356.

Soyfer, V., Corn, B. W., Shtraus, N., Schifter, D., & Tempelhof, H. (2013). The advantage of 3D conformal treatment of lumbar spine metastases in comparison to traditional PA or AP-PA techniques: Restoring an intermediate niche of therapeutic sophistication. *Radiation Oncology, 8*, 34. https://doi.org/10.1186/1748-717X-8-34.

Viswanathan, A. N., Yorke, E. D., Marks, L. B., Eifel, P. J., & Shipley, W. U. (2010). Radiation dose-volume effects of the urinary bladder. *International Journal of Radiation Oncology • Biology • Physics, 76*(3 Suppl.), S116–S122. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.02.090.

Yeo, S. G. (2015). Palliative radiotherapy for thoracic spine metastases: Dosimetric advantage of three-dimensional conformal plans. *Oncology Letters, 10*(1), 497–501. https://doi.org/10.3892/ol.2015.3205.