

Evaluasi Dose Volume Histogram pada Perencanaan Simultaneous Integrated Boost IMRT Karsinoma Nasofaring Pediatrik: Laporan Kasus

Mariska Salsabila¹, Km Agus Bima Sakti², I Putu Andreana³

^{1,2}AKTEK Radiodiganostik dan Radioterapi Bali, Denpasar, Indonesia

³RSUD Bali Mandara, Denpasar, Indonesia

Mariskasbl77@gmail.com

Abstrak: Karsinoma nasofaring (KNF) pediatrik merupakan kasus yang jarang dan memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan radioterapi karena tingginya risiko efek samping jangka panjang pada jaringan yang masih berkembang. Teknik Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy (SIB-IMRT) memungkinkan pemberian dosis berbeda secara simultan pada beberapa target volume sesuai tingkat risiko klinis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi dosis berdasarkan Dose Volume Histogram (DVH) dan hasil Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) pada perencanaan radioterapi SIB-IMRT pada pasien pediatrik dengan KNF. Penelitian ini merupakan laporan kasus dengan pendekatan deskriptif evaluatif dosimetri. Data diperoleh dari Treatment Planning System berupa parameter DVH pada target volume, parameter dosis organ at risk (OAR), serta hasil PSQA menggunakan metode Portal Dosimetry. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa PTV70 telah memenuhi rekomendasi ICRU Report 83 dengan nilai D95% sebesar 97,0%, sedangkan PTV60 dan PTV54 memiliki nilai D95% masing-masing sebesar 85,1% dan 76,2%, yang menunjukkan adanya kompromi dosimetri dalam proses optimasi perencanaan. Seluruh OAR menerima dosis dalam batas toleransi berdasarkan pedoman CORSAIR. Hasil PSQA menunjukkan gamma passing rate sebesar 99,8% pada kriteria gamma 3%/2 mm dengan dose threshold 10%, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara dosis yang direncanakan dan yang dihantarkan. Disimpulkan bahwa teknik SIB-IMRT pada kasus KNF pediatrik ini mampu memberikan cakupan dosis optimal pada target risiko tinggi, mempertahankan dosis OAR dalam batas toleransi, serta menghasilkan akurasi penghantaran dosis yang sangat baik.

Kata kunci: karsinoma nasofaring pediatrik, SIB-IMRT, DVH, organ at risk, PSQA

Abstract: Pediatric nasopharyngeal carcinoma (NPC) is a relatively rare malignancy that requires special consideration in radiotherapy planning due to the high risk of long-term side effects in developing tissues. Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy (SIB-IMRT) enables the simultaneous delivery of different dose levels to multiple target volumes according to their clinical risk. This study aimed to evaluate dose distribution using Dose Volume Histogram (DVH) parameters and Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) results in SIB-IMRT planning for a patient with NPC. This study was conducted as a case report using with descriptive dosimetric evaluation approach. Data were obtained from the Treatment Planning System, including DVH parameters (D95%, D2%, and Dmean) for target volumes (PTV70, PTV60, and PTV54), dose parameters for organs at risk (OARs), and PSQA results using the Portal Dosimetry method. The evaluation showed that PTV70 met the recommendations of ICRU Report 83 with a D95% value of 97.0%, whereas PTV60 and PTV54 demonstrated D95% values of 85.1% and 76.2%, respectively, reflecting dose compromises made during the optimization process. All OARs received doses within the tolerance limits recommended by the CORSAIR guidelines. The PSQA results showed a gamma passing rate of 99.8% using the 3%/2 mm gamma criteria with a 10% dose threshold, indicating excellent agreement between the planned and delivered doses. In conclusion, the SIB-IMRT technique in this pediatric NPC case was able to achieve optimal dose coverage for the high-risk target volume, maintain OAR doses within the recommended tolerance limits, and provide excellent dose delivery accuracy.

Keywords: pediatric nasopharyngeal carcinoma, SIB-IMRT, DVH, organ at risk, PSQA

Pendahuluan

Karsinoma nasofaring (KNF) merupakan salah satu keganasan pada daerah kepala dan leher yang memiliki distribusi geografis khas, dengan prevalensi tinggi di wilayah Asia Timur dan Asia

Tenggara, termasuk Indonesia. Data epidemiologi global menunjukkan bahwa kedua wilayah tersebut memiliki insidensi KNF tertinggi dibandingkan wilayah lain di dunia ([Bray et al., 2018](#); [Sung et al., 2021](#)). Di Indonesia, KNF masih menjadi salah satu kanker kepala dan leher yang sering ditemukan serta memberikan kontribusi signifikan terhadap beban kanker nasional berdasarkan data [International Agency for Research on Cancer \(2024\)](#).

Meskipun lebih sering ditemukan pada populasi dewasa, KNF juga dapat terjadi pada anak dan remaja dengan beban penyakit yang tidak dapat diabaikan. Studi Global Burden of Disease (GBD) menunjukkan bahwa insidensi KNF pediatrik memiliki variasi geografis yang signifikan, dengan prevalensi yang lebih tinggi di wilayah Asia Timur dan Asia Tenggara ([Xu et al., 2025](#)). Oleh karena itu, KNF pediatrik tetap menjadi masalah kesehatan yang relevan di wilayah dengan insidensi tinggi, termasuk Indonesia.

Berdasarkan data pasien di Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara periode 17 Januari 2023 hingga 27 Januari 2026, tercatat sebanyak 153 pasien KNF, dengan hanya 1 pasien pediatrik berusia 13 tahun yang menjalani radioterapi. Hal ini menunjukkan bahwa kasus KNF pediatrik relatif jarang ditemukan. Meskipun demikian, karakteristik pasien anak yang lebih rentan terhadap efek samping radiasi menjadikan kasus ini penting untuk dikaji sebagai bahan evaluasi klinis dan pengembangan praktik radioterapi.

Radioterapi merupakan modalitas utama dalam tata laksana KNF, baik sebagai terapi definitif maupun bagian dari terapi multimodal. Pada pasien pediatrik, tujuan terapi tidak hanya untuk mencapai kontrol tumor, tetapi juga meminimalkan paparan radiasi pada organ vital seperti otak, batang otak, saraf optik, dan kelenjar endokrin. Paparan radiasi pada jaringan yang masih berkembang berisiko menimbulkan efek samping jangka panjang, seperti gangguan neurokognitif, pertumbuhan, dan fungsi endokrin. Oleh karena itu, evaluasi keamanan dosis menjadi aspek penting dalam perencanaan radioterapi ([American Cancer Society, 2024](#); [Palmer et al., 2021](#)).

Perkembangan teknologi radioterapi modern memungkinkan peningkatan presisi dalam pemberian dosis. Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) merupakan teknik yang banyak digunakan pada tumor kepala dan leher karena mampu menghasilkan distribusi dosis yang konformal serta menurunkan paparan pada organ risiko. Pada kasus KNF pediatrik, penggunaan IMRT direkomendasikan untuk mencapai keseimbangan antara kontrol tumor dan perlindungan jaringan normal ([Ben-Ami, 2024](#); [Denunzio & Yock, 2020](#)).

Salah satu pengembangan dari IMRT adalah teknik Simultaneous Integrated Boost (SIB), yang memungkinkan beberapa target volume dengan tingkat risiko berbeda menerima dosis radiasi secara simultan dalam satu rencana terapi. Pendekatan ini memberikan keuntungan dalam optimalisasi distribusi dosis sesuai stratifikasi klinis. Dalam populasi pediatrik, teknik ini menjadi relevan karena memungkinkan kontrol tumor yang adekuat dengan tetap meminimalkan paparan radiasi pada jaringan yang sensitif terhadap efek jangka panjang ([Palmer et al., 2021](#)). Selain itu, penggunaan SIB-IMRT dikaitkan dengan hasil klinis yang baik serta profil toksisitas yang dapat diterima pada kanker kepala dan leher ([Pratap Singh et al., 2022](#)).

Dibandingkan dengan teknik sequential boost, pendekatan SIB-IMRT memiliki keunggulan dalam meningkatkan efisiensi terapi melalui pengurangan jumlah fraksi dan durasi penyinaran.

Selain itu, distribusi dosis yang lebih konformal memungkinkan cakupan target yang optimal dengan tetap mempertahankan dosis pada jaringan normal dalam batas toleransi sehingga risiko toksisitas dapat diminimalkan (Grover et al., 2021; Jiang et al., 2019)

Evaluasi kualitas perencanaan radioterapi dilakukan menggunakan Dose Volume Histogram (DVH), yang merupakan alat standar dalam praktik radioterapi modern untuk menggambarkan hubungan antara dosis radiasi dan volume jaringan yang menerima dosis tersebut (ICRU, 2010).

Berdasarkan rekomendasi International Commission on Radiation Units and Measurements dalam ICRU Report 83, evaluasi cakupan Planning Target Volume (PTV) pada teknik IMRT dianjurkan menggunakan parameter dosis berbasis persentil, yaitu D98% sebagai near-minimum dose, D50% sebagai dosis median, dan D2% sebagai near-maximum dose (ICRU, 2010). Dalam praktik klinis, kecukupan cakupan target umumnya dinilai dengan memastikan bahwa D95% \geq 95% dari dosis serap yang diresepkan, yang menunjukkan bahwa minimal 95% volume PTV menerima sekurang-kurangnya 95% dari dosis serap yang telah ditetapkan untuk target tersebut (ICRU, 2010).

Selain itu, untuk mengendalikan kemungkinan terjadinya hot spot di dalam target volume, nilai D2% direkomendasikan tidak melebihi 107% dari dosis serap yang diresepkan ($D2\% \leq 107\%$), sehingga homogenitas distribusi dosis tetap terjaga dan risiko efek samping akibat kelebihan dosis dapat diminimalkan (ICRU, 2010). Pendekatan berbasis parameter D95% dan D2% ini memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap distribusi dosis dalam PTV dibandingkan parameter volume seperti V95%, karena evaluasi dilakukan langsung berdasarkan besaran dosis serap yang diterima oleh sebagian besar volume target.

Dengan demikian, analisis DVH dalam penelitian ini difokuskan pada parameter D95%, Dmean, dan D2% untuk menilai kecukupan cakupan dosis serta homogenitas distribusi dosis pada target volume, sesuai prinsip pelaporan dan evaluasi IMRT yang direkomendasikan dalam ICRU Report 83 (ICRU, 2010).

Selain evaluasi target volume, penilaian dosis pada organ at risk (OAR) juga merupakan aspek penting dalam perencanaan radioterapi. Pembatasan dosis pada OAR bertujuan untuk meminimalkan risiko toksisitas radiasi terhadap jaringan normal. Pedoman Dose-Volume Constraints for organs At Risk In Radiotherapy (CORSAIR) menyediakan rekomendasi batas toleransi dosis untuk berbagai organ berdasarkan telaah literatur dan konsensus para ahli sehingga dapat dijadikan acuan dalam evaluasi rencana radioterapi (Bisello et al., 2022).

Dalam teknik SIB, di mana beberapa target volume menerima dosis berbeda secara simultan, evaluasi DVH menjadi krusial untuk memastikan keseimbangan antara cakupan dosis target dan perlindungan organ risiko. Oleh karena itu, evaluasi perencanaan radioterapi menggunakan teknik SIB-IMRT pada pasien pediatrik dengan KNF diperlukan untuk menilai kesesuaian distribusi dosis dengan standar yang direkomendasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi dosis pada target volume dan organ risiko berdasarkan parameter DVH, serta menilai kesesuaian hasil Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) pada perencanaan radioterapi teknik SIB-IMRT pada pasien pediatrik dengan KNF dalam bentuk laporan kasus.

Metode

Penelitian ini merupakan laporan kasus (case report) dengan pendekatan deskriptif evaluatif dosimetri. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi kualitas perencanaan radioterapi menggunakan teknik Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy melalui analisis parameter Dose Volume Histogram serta hasil Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) pada pasien pediatrik dengan karsinoma nasofaring. Penelitian dilaksanakan di Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara. Pengambilan data dilakukan pada bulan Februari 2026

Subjek dalam penelitian ini adalah satu kasus pasien pediatrik dengan diagnosis karsinoma nasofaring yang menjalani perencanaan radioterapi menggunakan teknik Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy di Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara. Kasus ini dipilih karena merupakan satu-satunya pasien pediatrik dengan data perencanaan radioterapi yang lengkap, termasuk data Dose Volume Histogram dan hasil Patient-Specific Quality Assurance (PSQA), pada periode pengamatan. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi pasien pediatrik dengan diagnosis karsinoma nasofaring yang direncanakan menggunakan teknik Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy memiliki data Dose Volume Histogram yang lengkap, serta memiliki hasil Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) yang terdokumentasi dengan baik.

Pasien menjalani CT-simulation dengan posisi head first–supine menggunakan imobilisasi masker termoplastik kepala dan leher. Akuisisi citra CT dilakukan dengan ketebalan irisan 2,0 mm sesuai protokol klinis. Contouring dilakukan untuk menentukan Gross Tumor Volume (GTV), Clinical Target Volume (CTV), dan Planning Target Volume (PTV). Pada teknik Simultaneous Integrated Boost (SIB), ditetapkan tiga tingkat target dosis yang diberikan secara bersamaan dalam satu rencana terapi. Target dosis tersebut meliputi PTV70 sebagai daerah berisiko tinggi dengan dosis 70 Gy, PTV60 sebagai daerah berisiko sedang dengan dosis 60 Gy, dan PTV54 sebagai daerah berisiko rendah atau profilaksis dengan dosis 54 Gy. Pemberian ketiga tingkat dosis tersebut secara simultan memungkinkan setiap volume target menerima dosis sesuai tingkat risikonya dalam satu rangkaian penyinaran.

Delineasi organ at risk (OAR) meliputi brainstem, medulla spinalis, nervus optikus kanan dan kiri, kiasma optikum, bola mata, lensa, kelenjar parotis, lobus temporalis, koklea, dan kelenjar tiroid. Perencanaan radioterapi dilakukan menggunakan teknik SIB-IMRT dengan energi foton 6 MV. Dosis total 70 Gy diberikan dalam 33 fraksi pada PTV70, dengan distribusi simultan pada PTV60 dan PTV54. Penyinaran menggunakan 9 lapangan untuk menghasilkan distribusi dosis yang konformal dan homogen

Variabel dalam penelitian ini meliputi parameter dosimetri yang diperoleh dari hasil perencanaan radioterapi teknik Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy (SIB-IMRT) berbasis Dose Volume Histogram (DVH), serta parameter verifikasi Patient-Specific Quality Assurance (PSQA). Variabel dosimetri pada target volume dalam penelitian ini meliputi parameter D95%, D2%, dan Dmean. Parameter tersebut dievaluasi pada seluruh target volume dalam teknik Simultaneous Integrated Boost (SIB), yaitu PTV70, PTV60, dan PTV54

Parameter dosimetri pada organ at risk (OAR) dalam penelitian ini meliputi nilai Dmean dan Dmax sebagai indikator paparan dosis rata-rata dan dosis maksimum pada jaringan normal. Evaluasi dilakukan pada beberapa organ risiko di daerah kepala dan leher, yaitu brainstem, medulla spinalis, nervus optikus, kiasma optikum, koklea, kelenjar parotis, lobus temporalis, serta kelenjar tiroid. Variabel verifikasi kualitas perencanaan radioterapi (Patient-Specific Quality Assurance/PSQA) dalam penelitian ini meliputi nilai gamma passing rate (%), nilai gamma maksimum (γ max), nilai gamma rata-rata (γ mean), serta persentase area dengan nilai gamma lebih dari 1.

Data diperoleh dari Treatment Planning System (TPS) Eclipse (Varian Medical Systems) berupa Dose Volume Histogram (DVH) untuk PTV70, PTV60, PTV54, dan organ at risk (OAR), dengan parameter dosimetri meliputi D95%, D2%, Dmean, dan Dmax. Data verifikasi perencanaan diperoleh dari Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) menggunakan Portal Dosimetry berbasis Electronic Portal Imaging Device (EPID), meliputi gamma passing rate, gamma maksimum, gamma rata-rata, serta persentase area gamma >1 . Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan hasil perencanaan terhadap standar internasional, dimana evaluasi target volume mengacu pada ICRU Report 83 dengan kriteria D95% $\geq 95\%$ dari dosis resep dan D2% $\leq 107\%$, sedangkan evaluasi OAR mengacu pada batas toleransi CORSAIR menggunakan parameter Dmean dan Dmax. Analisis PSQA dilakukan dengan metode evaluasi gamma 3%/2 mm dan dose threshold 10%, dengan kriteria keberterimaan gamma passing rate $\geq 95\%$, dan seluruh hasil disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan narasi.

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data perencanaan radioterapi dari Treatment Planning System (TPS) yang telah dianonimkan tanpa mencantumkan identitas pasien. Penelitian tidak melibatkan intervensi langsung terhadap pasien dan hanya menggunakan data untuk kepentingan akademik. Kerahasiaan data dijaga sesuai prinsip etik penelitian kesehatan, yaitu *respect for persons*, *beneficence*, dan *confidentiality*. Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik dengan Nomor: 0042/EA/KRPK.RSBM.DISKES/2026A.

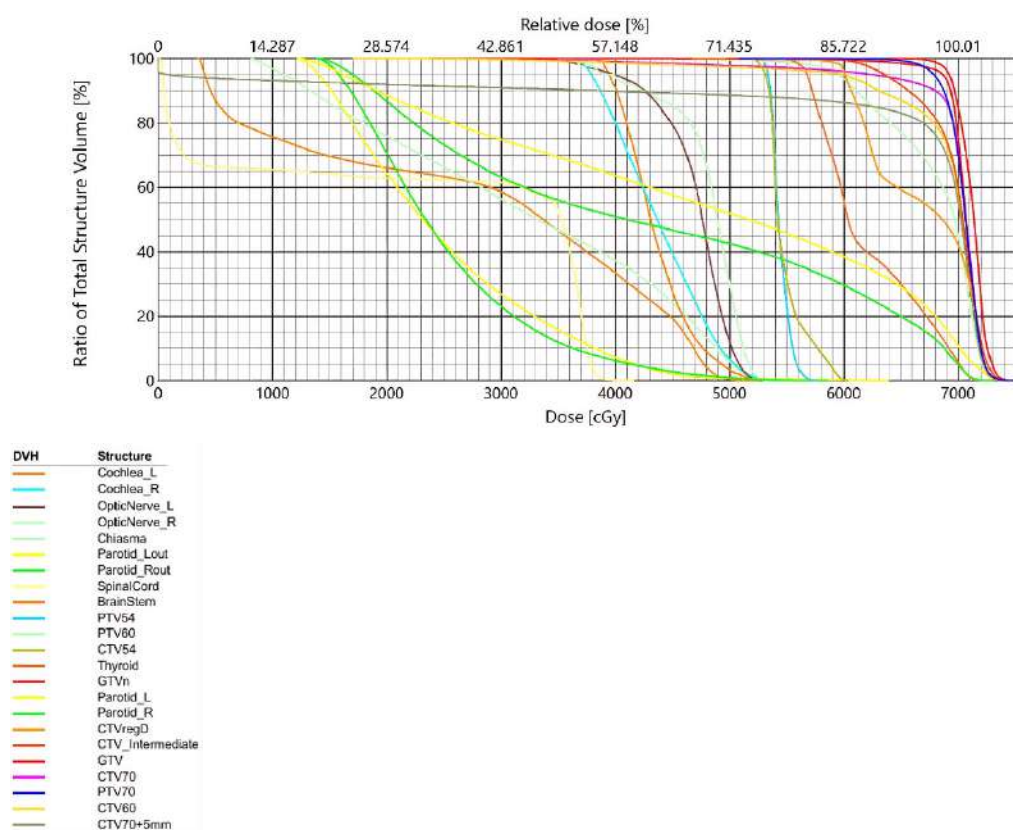
Hasil

Penelitian ini mengevaluasi kualitas perencanaan radioterapi teknik Simultaneous Integrated Boost–Intensity Modulated Radiation Therapy (SIB-IMRT) pada pasien pediatrik dengan karsinoma nasofaring berdasarkan parameter Dose Volume Histogram (DVH) serta hasil verifikasi Patient-Specific Quality Assurance (PSQA). Hasil penelitian disajikan dalam bentuk distribusi dosis pada target volume yang terdiri dari PTV70, PTV60, dan PTV54, evaluasi organ risiko (Organ at Risk/OAR), serta analisis gamma pada verifikasi PSQA.

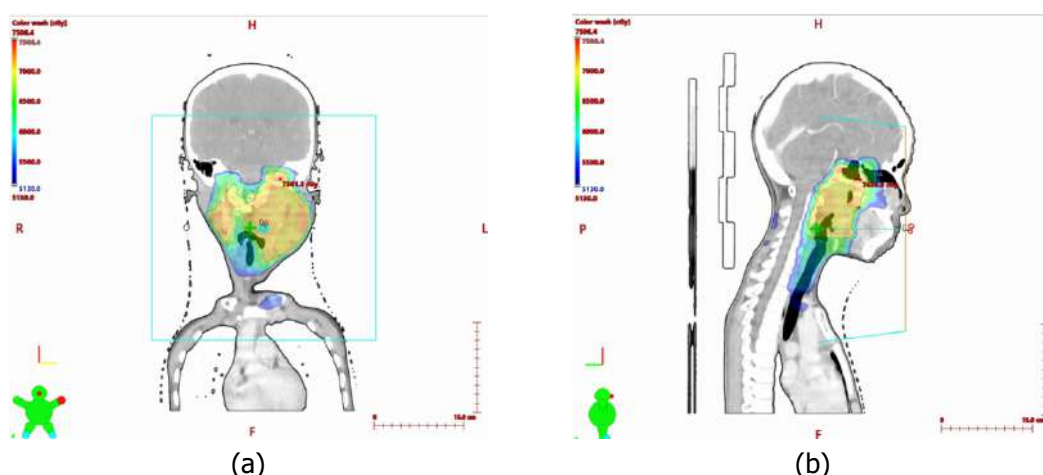
Evaluasi Dosis Pada Target Volume

Tabel 1. Distribusi Dosis PTV

Parameter	Standar ICRU 83	PTV70 (%)	PTV60 (%)	PTV54 (%)
D95%	≥95%	97,0	85,1	76,2
D2%	≤107%	104,0	103,7	80,6
Dmean	≈100%	100,7	96,9	77,7



Gambar 1. Cumulative Dose Volume Histogram



Gambar 2. Distribusi PTV pada tampilan frontal dan sagital PTV70. (a) Tampilan frontal menunjukkan distribusi dosis pada bidang koronal dengan dosis tinggi yang terfokus pada area target PTV70. (b) Tampilan sagital menunjukkan distribusi dosis pada bidang lateral yang memperlihatkan cakupan dosis terhadap target serta hubungan dengan jaringan di sekitarnya. Fiducial marker yang tampak pada citra digunakan sebagai titik referensi dalam proses CT-simulation dan perencanaan radioterapi untuk membantu memastikan akurasi posisi pasien selama penyinaran. Gradasi warna merepresentasikan tingkat dosis radiasi, di mana warna merah menunjukkan dosis tinggi dan warna biru menunjukkan dosis lebih rendah

Evaluasi parameter dosimetri pada target volume dilakukan berdasarkan analisis Dose Volume Histogram (DVH) yang meliputi D95%, D2%, dan Dmean pada masing-masing target dalam teknik Simultaneous Integrated Boost (SIB).

Berdasarkan Tabel 1, pada PTV70 diperoleh nilai D95% sebesar 97,0%, yang menunjukkan bahwa cakupan dosis telah memenuhi standar ICRU Report 83 ($\geq 95\%$). Nilai D2% sebesar 104,0% masih berada di bawah batas dosis maksimum yang direkomendasikan ($< 107\%$), sedangkan nilai Dmean sebesar 100,7% menunjukkan distribusi dosis rata-rata yang mendekati dosis resep.

Pada PTV60 diperoleh nilai D95% sebesar 85,1%, yang menunjukkan bahwa cakupan dosis belum memenuhi standar yang direkomendasikan ($\geq 95\%$). Meskipun demikian, nilai D2% sebesar 103,7% masih berada di bawah batas toleransi yang direkomendasikan, dan nilai Dmean sebesar 96,9% menunjukkan bahwa distribusi dosis rata-rata masih mendekati dosis resep.

Pada PTV54 diperoleh nilai D95% sebesar 76,2%, yang juga menunjukkan bahwa cakupan dosis belum memenuhi standar ($\geq 95\%$). Nilai D2% sebesar 80,6% dan nilai Dmean sebesar 77,7% menunjukkan bahwa target ini menerima dosis yang lebih rendah sesuai dengan perannya sebagai area risiko rendah dalam teknik SIB. Hasil ini mengindikasikan adanya kompromi dosimetri dalam proses optimasi perencanaan untuk mempertahankan dosis organ at risk (OAR) tetap berada dalam batas toleransi klinis.

Distribusi kurva Dose Volume Histogram (DVH) pada masing-masing target volume ditampilkan pada Gambar 1, yang menunjukkan pola penurunan volume seiring peningkatan dosis pada PTV70, PTV60, dan PTV54. Selain itu, distribusi target volume pada tampilan frontal dan sagital ditunjukkan pada Gambar 2. Keberadaan fiducial marker yang terlihat pada citra simulasi menunjukkan titik referensi yang digunakan dalam proses perencanaan radioterapi. Marker tersebut membantu memastikan reproduksibilitas posisi pasien serta mendukung akurasi penentuan koordinat target selama proses penyinaran.

Evaluasi Distribusi Dosis pada Organ Risiko (OAR)

Tabel 2. Distribusi Dosis Organ At Risk

Organ Risiko	Dmean (Gy)	Dmax (Gy)	Dose Constraint (CORSAIR)
Brainstem	20,45	52,30	Dmax ≤ 54 Gy
Spinal cord	18,73	41,60	Dmax ≤ 45 Gy
Optic nerve (kanan)	28,12	53,40	Dmax ≤ 54 Gy
Optic nerve (kiri)	27,85	52,90	Dmax ≤ 54 Gy
Optic chiasm	29,67	53,10	Dmax ≤ 54 Gy
Cochlea (kanan)	18,25	34,80	Dmean ≤ 45 Gy
Cochlea (kiri)	17,90	33,95	Dmean ≤ 45 Gy
Parotis (kanan)	24,60	46,20	Dmean ≤ 26 Gy
Parotis (kiri)	23,85	45,75	Dmean ≤ 26 Gy
Thyroid	21,40	39,10	Dmean ≤ 45 Gy

Evaluasi distribusi dosis pada organ at risk (OAR) dilakukan berdasarkan parameter Dmean dan Dmax yang diperoleh dari analisis Dose Volume Histogram (DVH). Hasil evaluasi distribusi dosis OAR disajikan pada Tabel 2.

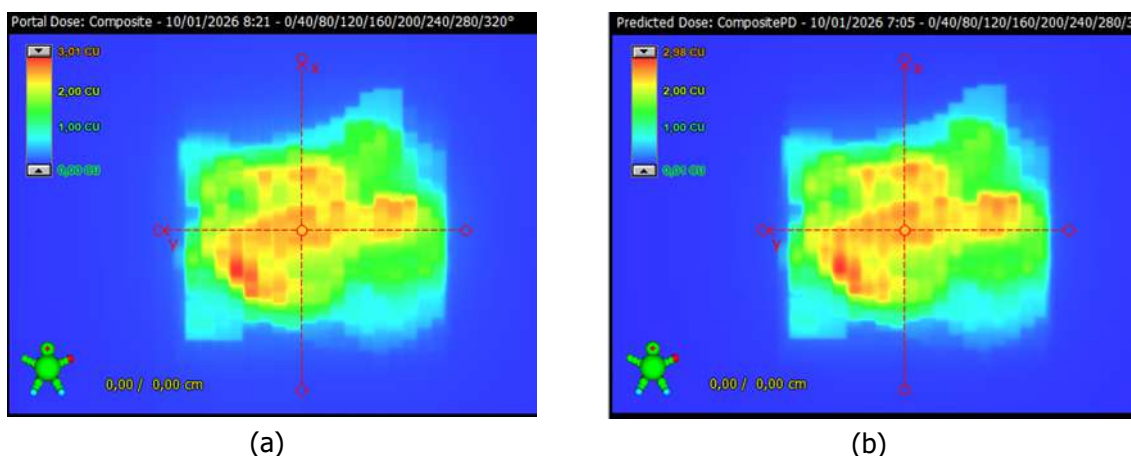
Berdasarkan hasil analisis, nilai Dmax pada brainstem sebesar 52,30 Gy dengan nilai Dmean sebesar 20,45 Gy. Pada medulla spinalis diperoleh nilai Dmax sebesar 41,60 Gy dan Dmean sebesar 18,73 Gy.

Nilai Dmax pada nervus optikus kanan dan kiri masing-masing sebesar 53,40 Gy dan 52,90 Gy, dengan nilai Dmean sebesar 28,12 Gy dan 27,85 Gy. Pada optic chiasm diperoleh nilai Dmax sebesar 53,10 Gy dan Dmean sebesar 29,67 Gy.

Nilai Dmean pada koklea kanan dan kiri masing-masing sebesar 18,25 Gy dan 17,90 Gy, dengan nilai Dmax sebesar 34,80 Gy dan 33,95 Gy. Pada kelenjar parotis kanan dan kiri diperoleh nilai Dmean masing-masing sebesar 24,60 Gy dan 23,85 Gy, dengan nilai Dmax sebesar 46,20 Gy dan 45,75 Gy.

Selain itu, pada kelenjar tiroid diperoleh nilai Dmean sebesar 21,40 Gy dan Dmax sebesar 39,10 Gy.

Hasil Pasien-Specific Quality Assurance (PSQA)



Gambar 4. Distribusi dosis hasil perencanaan dan pengukuran pada verifikasi PSQA
(a) Distribusi dosis hasil perencanaan (predicted dose) yang dihitung oleh sistem Treatment Planning System (TPS). **(b) Distribusi dosis hasil pengukuran (portal dose) menggunakan Electronic Portal Imaging Device (EPID).** Kedua gambar menunjukkan kesesuaian pola distribusi dosis, dengan gradasi warna yang merepresentasikan tingkat dosis radiasi, di mana warna merah menunjukkan dosis tinggi dan warna biru menunjukkan dosis lebih rendah.

Tabel 3. Parameter PSQA

Parameter	Keterangan
Metode PSQA	Portal Dosimetry (EPID)
Jenis evaluasi	Composite dose
Kriteria gamma	3% / 2 mm
Dose Threshold	10%
ROI	Seluruh lapangan (composite)
Sistem TPS	Eclipse (Varian)
Sistem akuisisi	Electronic Portal Imaging Device (EPID)

Tabel 4. Hasil Evaluasi Gamma

Parameter Evaluasi	Nilai	Standar Toleransi
Gamma passing rate	99,8%	≥ 95%
Nilai gamma maksimum	1,29	< 2
Nilai gamma rata-rata	0,34	—
Area gamma > 1	2,6%	< 5%
Status verifikasi	Passed	—

Evaluasi Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) pada perencanaan radioterapi dilakukan menggunakan metode Portal Dosimetry dengan sistem akuisisi Electronic Portal Imaging Device (EPID). Analisis dilakukan menggunakan evaluasi composite dose dengan kriteria gamma 3%/2 mm dan Dose Threshold sebesar 10%, dengan area evaluasi meliputi seluruh lapangan penyinaran.

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan distribusi dosis hasil perencanaan (predicted dose) dan hasil pengukuran (portal dose) pada proses verifikasi PSQA.

Parameter verifikasi PSQA yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3, yang meliputi metode evaluasi, kriteria gamma, Dose Threshold, serta sistem yang digunakan dalam proses pengukuran dan analisis.

Berdasarkan hasil evaluasi gamma pada Tabel 4, diperoleh gamma passing rate sebesar 99,8%, yang menunjukkan bahwa hasil verifikasi telah memenuhi kriteria penerimaan ($\geq 95\%$). Nilai gamma maksimum yang diperoleh sebesar 1,29, sedangkan nilai gamma rata-rata sebesar 0,34. Selain itu, persentase area dengan nilai gamma > 1 sebesar 2,6%.

Berdasarkan parameter evaluasi tersebut, hasil verifikasi PSQA pada rencana penyinaran ini dinyatakan memenuhi kriteria (passed).

Pembahasan

Perencanaan radioterapi menggunakan teknik *Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy* (SIB-IMRT) memungkinkan pemberian dosis yang berbeda secara simultan pada beberapa target volume sesuai tingkat risiko klinisnya. Pada penelitian ini, evaluasi distribusi dosis dilakukan pada tiga target volume, yaitu PTV70, PTV60, dan PTV54 berdasarkan parameter *Dose Volume Histogram* (DVH) yang meliputi D95%, D2%, dan Dmean.

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 1, distribusi dosis pada PTV70 menunjukkan nilai D95% sebesar 97,0%, yang berarti lebih dari 95% volume target menerima setidaknya 95% dosis resep. Hasil ini menunjukkan bahwa cakupan dosis pada target risiko tinggi telah memenuhi rekomendasi *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) Report 83. Nilai D2% sebesar 104,0% juga masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan ($< 107\%$), yang menunjukkan bahwa daerah dosis tinggi (*hotspot*) pada target masih dapat diterima secara klinis. Selain itu, nilai Dmean sebesar 100,7% menunjukkan bahwa rata-rata distribusi dosis berada sangat dekat dengan dosis resep sehingga distribusi dosis pada target utama dapat dikatakan cukup homogen.

Pada PTV60 diperoleh nilai D95% sebesar 85,1%, yang menunjukkan bahwa cakupan dosis belum mencapai standar yang direkomendasikan ($\geq 95\%$). Meskipun demikian, nilai D2% sebesar 103,7% masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan dan nilai Dmean sebesar 96,9% menunjukkan bahwa sebagian besar volume target tetap menerima distribusi dosis yang mendekati dosis resep. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh letak target yang berdekatan dengan beberapa *organ at risk* (OAR) kritis di daerah kepala dan leher, seperti *brainstem*, medulla spinalis, serta struktur optik. Dalam proses optimasi perencanaan, prioritas utama diberikan pada

PTV70 sebagai target risiko tinggi sehingga diperlukan kompromi dosimetri pada target risiko sedang untuk mempertahankan dosis OAR tetap berada dalam batas toleransi klinis.

Hasil evaluasi pada PTV54 menunjukkan nilai D95% sebesar 76,2%, yang juga berada di bawah standar cakupan dosis yang direkomendasikan. Namun, kondisi ini masih dapat dipahami karena PTV54 merupakan target risiko rendah yang bersifat profilaksis dalam konsep SIB-IMRT. Selain itu, letaknya yang berdekatan dengan beberapa organ risiko seperti kelenjar parotis, koklea, dan lobus temporalis turut mempengaruhi proses optimasi distribusi dosis. Upaya pembatasan dosis pada organ-organ tersebut dilakukan untuk mengurangi risiko efek samping seperti xerostomia, gangguan pendengaran, serta gangguan neurokognitif. Pada pasien pediatrik, perlindungan jaringan normal menjadi aspek yang sangat penting karena sensitivitas jaringan terhadap radiasi lebih tinggi dan berisiko menimbulkan efek samping jangka panjang. Oleh karena itu, dalam kondisi tertentu, perlindungan OAR dapat menjadi pertimbangan utama dibandingkan pencapaian cakupan dosis optimal pada target profilaksis. Temuan ini sejalan dengan penelitian Qiu et al. (2017) yang menunjukkan bahwa penggunaan IMRT pada pasien karsinoma nasofaring anak dan remaja mampu menurunkan risiko toksisitas dibandingkan radioterapi konvensional.

Distribusi kurva *Dose Volume Histogram* (DVH) pada Gambar 1 menunjukkan hubungan antara persentase volume struktur dengan dosis yang diterima selama perencanaan radioterapi. Kurva target volume memperlihatkan pola distribusi dosis bertingkat sesuai prinsip SIB-IMRT, di mana PTV70 menerima dosis tertinggi, diikuti oleh PTV60 dan PTV54 sesuai dengan dosis resep masing-masing target. Selain itu, kurva berbagai OAR seperti *brainstem*, *medulla spinalis*, *nervus optikus*, *optic chiasm*, koklea, dan kelenjar parotis berada pada rentang dosis yang lebih rendah dibandingkan target volume. Pola tersebut menunjukkan bahwa sistem perencanaan mampu menghasilkan distribusi dosis yang konformal dengan tetap membatasi paparan radiasi pada organ risiko.

Distribusi dosis pada target volume juga ditunjukkan pada Gambar 2 dalam tampilan frontal dan sagital. Secara visual, distribusi dosis tampak mengikuti bentuk target volume dengan konsentrasi dosis tertinggi pada area PTV70 dan penurunan dosis secara bertahap pada PTV60 serta PTV54 sesuai prinsip *simultaneous integrated boost*. Selain itu, pada citra simulasi terlihat keberadaan *fiducial marker* yang digunakan sebagai titik referensi dalam proses perencanaan dan verifikasi posisi pasien. Keberadaan *fiducial marker* tersebut membantu memastikan reproduksibilitas posisi pasien selama rangkaian terapi serta meningkatkan akurasi penentuan koordinat target dan isosenter penyinaran. Dengan demikian, distribusi dosis yang direncanakan dapat dihantarkan secara lebih presisi pada target yang dituju sekaligus meminimalkan kemungkinan kesalahan posisi selama proses radioterapi.

Evaluasi distribusi dosis pada OAR yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh organ kritis menerima dosis yang masih berada dalam batas toleransi klinis berdasarkan pedoman CORSAIR. Nilai Dmax pada *brainstem* sebesar 52,30 Gy dan medulla spinalis sebesar 41,60 Gy masih berada di bawah batas toleransi yang direkomendasikan, sehingga risiko kerusakan neurologis serius dapat diminimalkan. Struktur optik seperti nervus optikus dan *optic chiasm* juga menerima dosis dalam batas aman yang dapat membantu menurunkan risiko gangguan penglihatan.

Selain itu, organ risiko lainnya seperti koklea, kelenjar parotis, lobus temporalis, dan kelenjar tiroid juga menerima dosis yang masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan. Hasil ini menunjukkan bahwa perencanaan radioterapi mampu mempertahankan paparan dosis pada organ-organ kritis tetap aman selama proses penyinaran. Temuan ini menjadi penting pada pasien pediatrik mengingat jaringan yang masih berkembang memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap paparan radiasi serta berisiko mengalami efek samping jangka panjang.

Selain evaluasi distribusi dosis, verifikasi rencana penyinaran dilakukan melalui *Patient-Specific Quality Assurance* (PSQA) menggunakan metode *Portal Dosimetry*. Secara visual, hasil perbandingan antara distribusi dosis hasil perencanaan (*predicted dose*) dan hasil pengukuran (*portal dose*) menunjukkan pola distribusi yang serupa. Kesesuaian pola tersebut mengindikasikan bahwa sistem penyinaran mampu merealisasikan distribusi dosis sesuai dengan yang direncanakan pada *Treatment Planning System* (TPS).

Berdasarkan hasil evaluasi gamma pada Tabel 4, diperoleh *gamma passing rate* sebesar 99,8% dengan kriteria gamma 3%/2 mm dan *dose threshold* 10%. Nilai tersebut telah melampaui standar kelulusan klinis sebesar $\geq 95\%$, sehingga menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara perhitungan TPS dan hasil pengukuran menggunakan *Electronic Portal Imaging Device* (EPID). Nilai gamma maksimum sebesar 1,29, gamma rata-rata sebesar 0,34, serta persentase area dengan gamma >1 sebesar 2,6% menunjukkan bahwa sebagian besar area penyinaran memiliki deviasi dosis yang sangat kecil.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi target volume, organ risiko, dan verifikasi PSQA menunjukkan bahwa perencanaan radioterapi menggunakan teknik SIB-IMRT pada kasus karsinoma nasofaring pediatrik ini mampu memberikan cakupan dosis yang optimal pada target risiko tinggi, mempertahankan dosis OAR dalam batas toleransi yang direkomendasikan, serta menghasilkan akurasi penghantaran dosis yang sangat baik. Meskipun terdapat penurunan cakupan dosis pada target risiko sedang dan rendah, kondisi tersebut masih dapat diterima sebagai bagian dari strategi optimasi untuk mencapai keseimbangan antara efektivitas terapi dan perlindungan jaringan normal pada pasien pediatrik.

Kesimpulan

Perencanaan radioterapi menggunakan teknik Simultaneous Integrated Boost Intensity-Modulated Radiation Therapy (SIB-IMRT) pada kasus karsinoma nasofaring pediatrik ini mampu memberikan cakupan dosis yang optimal pada target risiko tinggi (PTV70), dengan nilai D95% memenuhi rekomendasi International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report 83 serta nilai D2% yang masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan.

Cakupan dosis pada target risiko sedang (PTV60) dan target risiko rendah (PTV54) belum mencapai nilai yang direkomendasikan, namun kondisi tersebut menunjukkan adanya kompromi dosimetri dalam proses optimasi perencanaan untuk mempertahankan dosis pada organ at risk (OAR) tetap berada dalam batas toleransi klinis.

Evaluasi dosis pada organ risiko menunjukkan bahwa seluruh parameter dosis masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan berdasarkan pedoman CORSAIR. Selain itu, hasil verifikasi Patient-Specific Quality Assurance (PSQA) menunjukkan gamma passing rate sebesar 99,8% dengan kriteria gamma 3%/2 mm dan dose threshold 10%, sehingga memenuhi standar kelulusan klinis dan menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara dosis yang direncanakan dan dosis yang dihantarkan.

Secara keseluruhan, teknik SIB-IMRT pada kasus karsinoma nasofaring pediatrik ini mampu menghasilkan keseimbangan antara pencapaian cakupan dosis pada target risiko tinggi, perlindungan organ risiko, serta akurasi penghantaran dosis yang tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara beserta seluruh radiografer radioterapi, fisikawan medis, dan dokter spesialis onkologi radiasi atas izin, dukungan, serta bantuan yang diberikan selama proses pengambilan data dan perencanaan radioterapi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis turut menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua dan keluarga atas doa, kasih sayang, dukungan, serta semangat yang tiada henti selama proses penyusunan penelitian ini hingga selesai.

Referensi

- American Cancer Society. (2024). *Long-term and Late Effects of Childhood Cancer Treatment*. <https://doi.org/1.800.227.2345>
- Ben-Ami, T. (2024). Nasopharyngeal Carcinoma in Children, Current Treatment Approach. In *Journal of Pediatric Hematology/Oncology* (Vol. 46, Number 3, pp. 117–124). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/MPH.0000000000002848>
- Bisello, S., Cilla, S., Benini, A., Cardano, R., Nguyen, N. P., Deodato, F., Macchia, G., Buwenge, M., Cammelli, S., Wondemagegnehu, T., Uddin, A. F. M. K., Rizzo, S., Bazzocchi, A., Strigari, L., & Morganti, A. G. (2022). Dose–Volume Constraints for Organ At Risk in Radiotherapy (CORSAIR): An “All-in-One” Multicenter–Multidisciplinary Practical Summary. In *Current Oncology* (Vol. 29, Number 10, pp. 7021–7050). MDPI. <https://doi.org/10.3390/curroncol29100552>

- Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A. (2018). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, *68*(6), 394–424. <https://doi.org/10.3322/caac.21492>
- Denunzio, N. J., & Yock, T. I. (2020). Modern radiotherapy for pediatric brain tumors. In *Cancers* (Vol. 12, Number 6, pp. 1–16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/cancers12061533>
- Grover, A., Soni, T. P., Patni, N., Singh, D. K., Jakhotia, N., Gupta, A. K., Sharma, L. M., Sharma, S., & Gothwal, R. S. (2021). A randomized prospective study comparing acute toxicity, compliance and objective response rate between simultaneous integrated boost and sequential intensity-modulated radiotherapy for locally advanced head and neck cancer. *Radiation Oncology Journal*, *39*(1), 15–23. <https://doi.org/10.3857/roj.2020.01018>
- ICRU. (2010). IMRT Plan Evaluation according to ICRU Report 83. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, *81*(2), S849. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2011.06.1506>
- Jiang, L., Zhang, Y., Yang, Z., Liang, F., Wu, J., Wang, R., & Ding, J. (2019). A comparison of clinical outcomes between simultaneous integrated boost (SIB) versus sequential boost (SEQ) intensity modulated radiation therapy (IMRT) for head and neck cancer: A meta-analysis. In *Medicine (United States)* (Vol. 98, Number 34). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016942>
- Palmer, J. D., Tsang, D. S., Tinkle, C. L., Olch, A. J., Kremer, L. C. M., Ronckers, C. M., Gibbs, I. C., & Constine, L. S. (2021). Late effects of radiation therapy in pediatric patients and survivorship. *Pediatric Blood and Cancer*, *68*(S2). <https://doi.org/10.1002/pbc.28349>
- Pratap Singh, N., Khurana, R., Sapru, S., Rastogi, M., Gandhi, A. K., Rath, S., Hadi, R., Prasad Mishra, S., Srivastava, A. K., Bharti, A., Sahni, K., Ali, M., & Tiwari, R. (2022). Long term outcome and late toxicity of SIB-IMRT in definitive management of head and neck cancers in patients not suitable for chemo-Radiotherapy. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, *18*(6), 1461–1468. https://doi.org/10.4103/jcrt.jcrt_1053_21
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, *71*(3), 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- Xu, Y., Dai, H., Chen, Q., Xu, Y., Xu, Y., Dai, S., & Hong, M. (2025). Global, regional, and national burden of pediatric nasopharyngeal carcinoma (1990–2021) and projections of future disease burden trends. *Frontiers in Pediatrics*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fped.2025.1555091>