

**STUDI PERENCANAAN RADIOTERAPI SIMULTANEOUS
INTEGRATED BOOST (SIB) PADA KASUS CA CERVIX DENGAN
TEKNIK FIELD IN FIELD 3D-CRT**

Tugas Akhir

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Profesi Fisikawan
Medik (**F.Med**) pada Program Studi Pendidikan Profesi Fisikawan Medik



Disusun oleh:

FIRZA INDRAMATA LISTIONO

NIM. 24040125225050

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN PROFESI FISIKAWAN MEDIK

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS DIPONEGORO

2026

PERSETUJUAN UJIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing dari:

Mahasiswa : Firza Indrastata Listiono
NIM : 24040125225050
Program Studi/Fakultas : Pendidikan Profesi Fisikawan Medik/ Sains dan Matematika
Judul Tugas Akhir : Studi Perencanaan Radioterapi *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) pada Kasus Ca Cervix dengan Teknik *Field in Field* 3D-CRT

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Seminar Hasil Tugas Akhir sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tugas Akhir.

Semarang,

Dosen Pembimbing

Jatmiko Endro Suseno, S.Si., M.Si., Ph.D., F.Med
NIP. 197211211998021001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah tugas akhir ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan (plagiat), saya bersedia Tugas Akhir dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 12 Mei 2026

Mahasiswa

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Firza Indrastata Listiono', with a stylized, flowing script.

Firza Indrastata Listiono

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**Studi Perencanaan Radioterapi *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) pada
Kasus *Ca Cervix* dengan Teknik Field in Field 3D-CRT**

**Disusun Oleh:
Firza Indrastata Listiono
24040125225050**

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 02 Juni 2026**

**Tim penguji,
Dosen Pembimbing I ,**

**(Jatmiko Endro Suseno, S.Si., M.Si., Ph.D., F.Med)
NIP. 197211211998021001**

Penguji I,

**(Prof. Dr. Drs. Wahyu Setia Budi, M.S., F.Med)
NIP. 195806151985031002**

**Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Profesi Fisikawan Medik (F.Med)**

**Tanggal, 02 Juni 2026
Ketua Program Studi
Profesi Fisikawan Medik,**

**Dr. Choirul Anam, S.Si., M.Si., F.Med.
NIP. 197901042006041001**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah Yang Maha Kasih dan Penyayang atas segala limpahan rahmat dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah tugas akhir yang berjudul “**Studi Perencanaan Radioterapi *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) pada Kasus Ca Cervix dengan Teknik *Field in Field* 3D-CRT**” sebagai salah satu syarat wajib dalam memperoleh gelar profesi Fisikawan Medik (F.Med). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada

1. Bapak Jatmiko Endro Suseno, S.Si., M.Si., Ph.D., F.Med dan Prof. Dr. Drs. Wahyu Setia Budi, M.S., F.Med selaku selaku pembimbing dan penguji yang senantiasa memberikan saran dan pengetahuan bagi penulis dalam pelaksanaan penelitian hingga selesainya penulisan naskah tesis ini.
2. Ibu Lies Suharwati dan ayah Sri Martono yang selalu mendukung segala usaha dan selalu medoakan penulis selama masa perkuliahan dan naskah ini diselesaikan.
3. Kepala Instalasi Radioterapi RSUD dr Saiful Anwar Provinsi Jawa Timur, dr. Alfred Julius Petrarizky, Sp. Onk. Rad (K) yang memberikan dukungan penulis dalam melanjutkan studi program profesi fisikawan medik.
4. Ketua Prodi Profesi Fisikawan Medik, Bapak Dr. Choirul Anam, S.Si., M.Si., F. Med yang berperan penting dalam proses administrasi dan izin yang telah diberikan kepada penulis untuk melaksanakan tugas akhir.
5. Teman-teman angkatan RPL dan teman-teman terdekat penulis yang penulis sayangi.

Tentunya sebagai manusia, akan terdapat banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang,

Firza Indrastata Listiono

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN UJIAN TUGAS AKHIR	iii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Linear Accelerator</i>	3
2.2 Perencanaan Teknik <i>Three-Dimensional Conformal Radiotherapy</i> (3D-CRT)	
2.3 Target Perencanaan dan <i>Organ at Risk</i>	7
2.4 Parameter Dosimetri.....	9
2.5 Kanker Serviks	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Desain dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Prosedur Penelitian	15
BAB IV.....	21
HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil Perencanaan 3D-CRT <i>Simutaneous Integrated Boost</i>	21
4.2 Evaluasi Hasil Dosis PTV dan OAR.....	31
4.3 Evaluasi Index Kualitas Distribusi dosis dari perencanaan.....	33
BAB V	36
KESIMPULAN	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi umum dari sebuah pesawat linier accelerator.....	3
Gambar 2.2 Skema komponen dasar pada bagian kepala linier accelerator.	4
Gambar 2.3 Ilustrasi citra yang digunakan dalam perencanaan radioterapi (Faghihi Moghaddam et al., 2020).....	6
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Ilustrasi CT simulator.....	17
Gambar 3.3 Deliniasi target dan Organ at risk.....	17
Gambar 3.4 PTV Elektif PTV 45 Gy yang mencakup seluruh rongga panggul dan kelenjar getah bening regional untuk menerima dosis dasar	18
Gambar 3.5 PTV Boost PTV 55 Gy yang difokuskan secara eksklusif pada massa karsinoma primer serviks atau nodus limfa yang membesar	19
Gambar 3.6 Optimasi pembobotan sub-lapangan SIB	19
Gambar 4.1 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 1	22
Gambar 4.2 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 2	25
Gambar 4.3 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 3	26
Gambar 4.4 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 4	27
Gambar 4.5 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 5	28
Gambar 4.6 Grafik dari hasil kalkulasi HI subjek.....	34
Gambar 4.7 Grafik dari hasil kalkulasi CI subjek.....	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker serviks terus menjadi tantangan kesehatan global yang signifikan, menempati urutan kedelapan sebagai kanker yang paling sering didiagnosis dan urutan kesembilan sebagai penyebab kematian akibat kanker di seluruh dunia pada tahun 2022. Berdasarkan estimasi terbaru, terdapat sekitar 661,021 kasus baru kanker serviks dengan angka kematian mencapai 348,189 jiwa secara global. Penyakit ini menunjukkan ketimpangan geografis yang tajam, di mana kanker serviks menjadi jenis kanker yang paling umum didiagnosis pada wanita di 25 negara dan menjadi penyebab utama kematian akibat kanker di 37 negara, terutama di wilayah sub-Sahara Afrika, Amerika Selatan, dan Asia Tenggara (Ferlay et al., 2024). Kanker serviks menjadi beban kesehatan yang substansial di Indonesia, dengan estimasi 36.964 kasus baru dan 20.708 kematian pada tahun 2023. Angka insidensi terstandarisasi usia di Indonesia mencapai 23,3 per 100.000 wanita, dengan tingkat mortalitas sebesar 13,2 per 100.000 wanita (Indonesia, 2025). Saat ini tersedia beberapa teknik pengobatan untuk kanker serviks karena kemajuan sistem pencitraan, seperti radioterapi *3D Conformal Radiotherapy* (3D-CRT) dan *Intensity Modulated Radiation Radiotherapy* (IMRT) (Raina & Singh, 2022).

Teknik radioterapi eksternal *3-Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3D-CRT) menjadi salah satu modalitas utama dalam tata laksana kanker serviks karena kemampuannya untuk menyesuaikan distribusi dosis radiasi dengan bentuk dan lokasi target tumor secara lebih presisi. Meskipun teknik yang lebih lanjut seperti IMRT menawarkan konformalitas yang lebih tinggi, 3D-CRT tetap menjadi pilihan yang efektif dan banyak diimplementasikan dalam praktik klinis untuk mencapai kontrol lokal tumor yang optimal (Ngongoloy et al., 2024). *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) adalah pengiriman dosis untuk target elektif (dosis rendah) dan target tumor utama (dosis tinggi) dilakukan secara serentak dalam satu fraksi pengobatan yang sama setiap harinya. Berbeda dengan *sequential boost*, perencanaan dilakukan secara bertahap atau dalam dua fase terpisah. Pasien pertama-tama menerima radiasi pada volume target yang lebih luas dengan dosis

standar hingga selesai. Setelah fase pertama selesai, dilanjutkan dengan membuat *plan* baru (fase kedua) untuk memberikan dosis tambahan (*boost*) secara spesifik hanya pada area tumor utama (Raina, 2022).

Field-in-Field (FIF) 3D-CRT SIB adalah teknik *forward planning* yang menggunakan pelindung *multileaf collimator* (MLC) dan penyesuaian sudut gantry untuk menghindari organ sehat (OAR). Teknik ini dilakukan dengan menambahkan sub-lapangan (*sub-fields*) melalui optimasi manual pada bobot berkas (*beam weight*) dan pengaturan MLC untuk mencakup 95% isodosis sambil meminimalkan *hotspot* di atas 107%. Teknik ini merupakan alternatif yang layak secara teknis, efektif secara biaya, dan mudah diterapkan secara praktis, terutama di pusat kesehatan yang memiliki keterbatasan fasilitas IMRT (Joseph et al., 2018). Dalam rangka penerapan teknik dan metode perencanaan radioterapi tersebut, maka dilakukan studi dengan judul “***Studi Perencanaan Radioterapi Simultaneous Integrated Boost (SIB) pada Kasus Ca Cervix dengan Teknik Field in Field 3D-CRT***”.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui evaluasi hasil *Dose Volume Histogram* (DVH) dan *Organ at Risk* (OAR) dari perencanaan 3D-CRT dengan metode *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) pada kasus kanker serviks
2. Untuk mengetahui indeks kualitas distribusi dosis dari perencanaan 3D-CRT dengan metode *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) pada kasus kanker serviks.

1.3 Manfaat

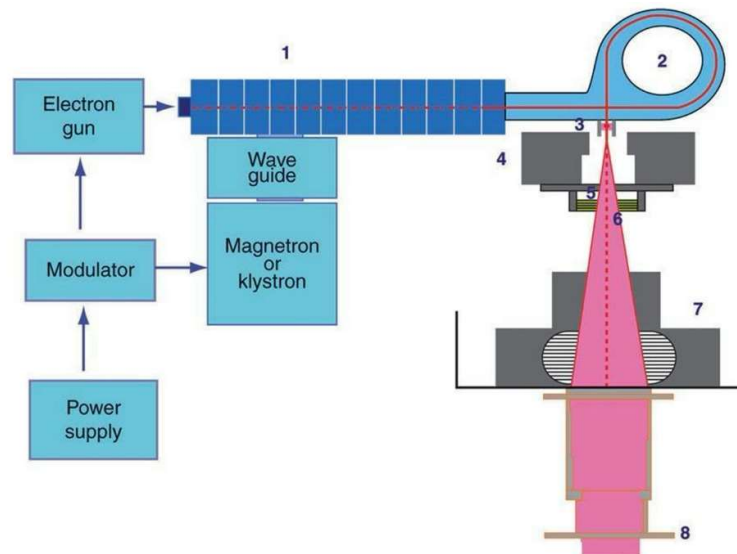
Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi pengoptimalan teknik 3D-CRT di fasilitas yang terbatas izin teknik lanjut. Selain itu, penelitian ini diharapkan sebagai kajian variasi perencanaan radioterapi yang menggunakan metode SIB dengan teknik 3D-CRT pada kasus Serviks yang umumnya diimplementasikan pada teknik lanjut seperti IMRT.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 *Linear Accelerator*

Linear Accelerator (Linac) adalah alat medis yang menggunakan frekuensi radio tinggi untuk menaikkan energi elektron secara drastis. Elektron-elektron kuat ini kemudian ditabrakkan ke logam berat seperti tungsten untuk memproduksi sinar-X berenergi tinggi, atau bisa langsung dimanfaatkan untuk terapi elektron. Berkat sinar inilah, tumor dapat dicecilkan dan sel kanker dapat dihancurkan dengan sangat akurat. Seperti yang tampak pada Gambar 2.1, Linac secara umum tersusun atas enam komponen dasar, yaitu: (1) Sistem injeksi, (2) Sistem pembangkit frekuensi radio, (3) *Accelerating Wave Guide*, (4) Sistem pelengkap, (5) *Beam Transport*, serta (6) Sistem pemantauan dan kolimasi berkas (Beyzadeoglu, 2022).



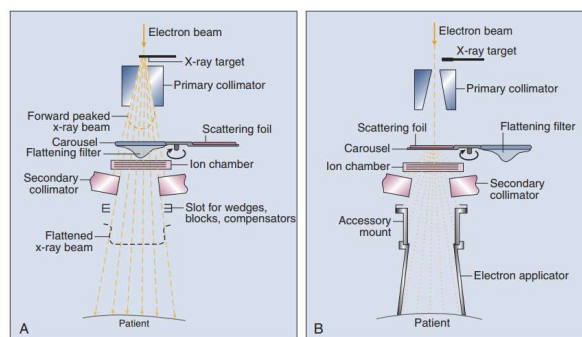
Gambar 2.1 Ilustrasi umum dari sebuah pesawat linier accelerator.
(1) produksi dan pemercepat elektron, (2) Bending magnet, (3) target dan filter primer, (4) kolimator primer, (5) filter utama, (6) Ionization Chamber, (7) multi-leaf collimator (MLC), (8) aplikator (Beyzadeoglu, 2022).

Mekanisme pemercepatan elektron pada akselerator linier (Linac) dalam prosedur radioterapi sangat bergantung pada pemanfaatan gelombang mikro berfrekuensi tinggi. Secara operasional, proses ini diinisiasi oleh aliran arus searah (DC) dari catu daya menuju modulator guna menghasilkan pulsa tegangan tinggi.

Pulsa ini bekerja secara simultan untuk memicu dua komponen esensial: senapan elektron (*electron gun*) yang bertugas melepaskan elektron, serta magnetron atau klystron yang memproduksi gelombang mikro. Selanjutnya, emisi elektron dan gelombang mikro tersebut diintegrasikan ke dalam tabung pemercepat (*accelerator tube*). Di dalam struktur inilah elektron menerima transfer energi yang masif dari medan elektromagnetik gelombang mikro, sehingga terakselerasi hingga mencapai tingkat kecepatan yang hampir menyamai kecepatan cahaya (Beyzadeoglu, 2022).

2.1.1 Kepala Linac (*Head Linac*)

Struktur bagian kepala linier akselerator (Linac) mencakup ragam komponen krusial yang mengendalikan produksi dan pembentukan berkas radiasi, sebagaimana terilustrasi pada Gambar 2.2. Proses ini bermula ketika elektron yang diemisikan oleh *electron gun* dipacu di dalam accelerating waveguide. Begitu mencapai taraf energi spesifik, berkas elektron yang terfokus tersebut ditransmisikan menuju kepala Linac. Dalam mode produksi sinar-X, elektron akan dibenturkan pada material target, dan pancaran yang dihasilkan kemudian didistribusikan secara merata menggunakan *flattening filter*. Sebaliknya, pada mode terapi berkas elektron, paparan dilakukan tanpa melibatkan target maupun *filter*. Tahap berikutnya difasilitasi oleh kolimator primer dan sekunder yang berfungsi membentuk dimensi berkas radiasi menjadi area persegi dengan bukaan maksimal $40 \times 40 \text{ cm}^2$. Sebagai kontrol presisi, sebuah bilik ionisasi ganda (*dual ionization chamber*) diintegrasikan pada akhir lintasan untuk mengukur serta memantau dosis keluaran radiasi secara aktual dalam metrik *Monitor Unit* (MU) (Zeman, 2020).



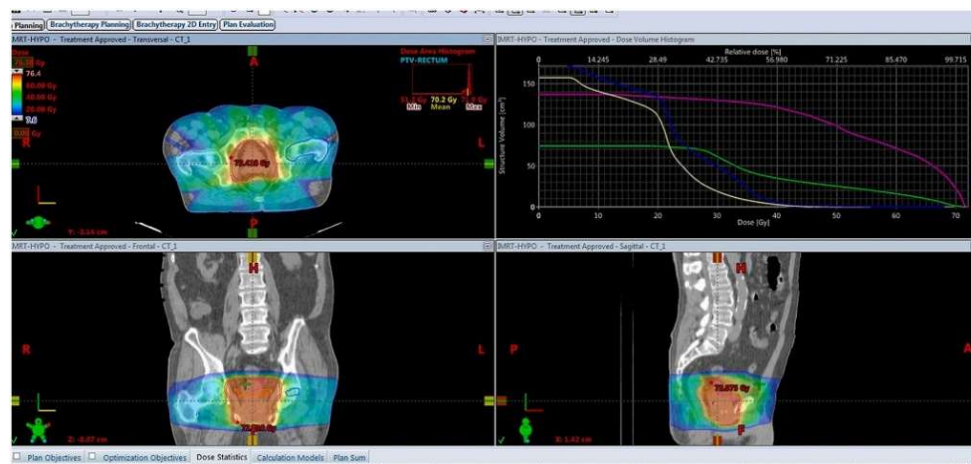
Gambar 2.2 Skema komponen dasar pada bagian kepala *linier accelerator*.
A) komponen untuk menghasilkan sinar-x. B) Komponen untuk menghasilkan elektron (Zeman dkk., 2020)

2.2 Perencanaan Teknik *Three-Dimensional Conformal Radiotherapy* (3D-CRT)

Treatment Planning System (TPS) merupakan komputasi perangkat lunak krusial dalam radioterapi eksternal yang berfungsi untuk menyimulasikan dan merancang distribusi dosis radiasi pada anatomi pasien. Objektif utama dari sistem ini adalah mencapai optimasi dosimetri, yakni memberikan dosis preskripsi yang maksimal pada target tumor sekaligus menekan paparan radiasi serendah mungkin pada jaringan sehat di sekitarnya (*Organs at Risk*). Konfigurasi perencanaan pada TPS sangat bergantung pada sejumlah parameter fisis dan klinis, yang meliputi jenis berkas radiasi, jumlah dan geometri lapangan radiasi, sudut arah *gantry* (penyinaran), dimensi bukaan lapangan, pemanfaatan aksesoris tambahan, serta kalkulasi akhir berupa akumulasi *Monitor Unit* (MU) (Sibtain, 2023).

Three Dimensional Conformal Radiotherapy (3D-CRT) merupakan suatu teknik yang diaplikasikan dalam merancang terapi kanker (sistem perencanaan terapi) dengan memanfaatkan paparan radiasi yang dipancarkan melalui *gantry*. Teknik ini memungkinkan pengaturan arah, sudut, jumlah lapangan, serta energi radiasi yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik. Penentuan arah, sudut, jumlah lapangan, dan energi radiasi secara presisi ini bertujuan untuk mengoptimalkan efektivitas dalam penanganan kanker (An Nisa Octavia et al., 2025). *Forward planning* dalam radioterapi adalah teknik perhitungan manual di depan dimana perencanaan menentukan sudut, bentuk, dan bobot berkas sebelum menghitung distribusi dosis akhir. Sebagai perluasan dari perencanaan konformal 3D, teknik ini sering digunakan untuk kasus kanker payudara, serviks dan paliatif karena efisiensinya, memungkinkan pengendalian homogenitas dosis melalui optimasi segmen manual, tidak seperti *inverse planning* yang mengoptimalkan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya (Podgorsak, 2005). Implementasi 3D-CRT sangat bergantung pada *Treatment Planning System* (TPS) berbasis komputer yang diilustrasikan pada Gambar 2.3. Proses diawali dengan akuisisi citra anatomi pasien menggunakan CT Simulator yang kemudian direkonstruksi menjadi model 3D. Berdasarkan model tersebut, dokter onkologi radiasi akan menggambar (konturing) batas-batas tumor dan organ sehat secara presisi, TPS kemudian digunakan untuk merancang konfigurasi berkas radiasi, termasuk penentuan sudut

gantry, arah, pembobot berkas (*beam weight*), dan modifikasi lapangan radiasi menggunakan *Multi-Leaf Collimator* (MLC). MLC berperan krusial dalam 3D-CRT karena daun-daun kolimatornya dapat diatur secara dinamis atau statis untuk memblokir radiasi ke luar area target. Hal ini memastikan bentuk paparan radiasi benar-benar menyerupai bentuk tumor dari berbagai sudut pandang proyeksi (Pramesti et al., 2023).



Gambar 2.3 Ilustrasi citra yang digunakan dalam perencanaan radioterapi (Faghihi Moghaddam et al., 2020)

2.2.1 *Simultaneous Integrated Boost* (SIB)

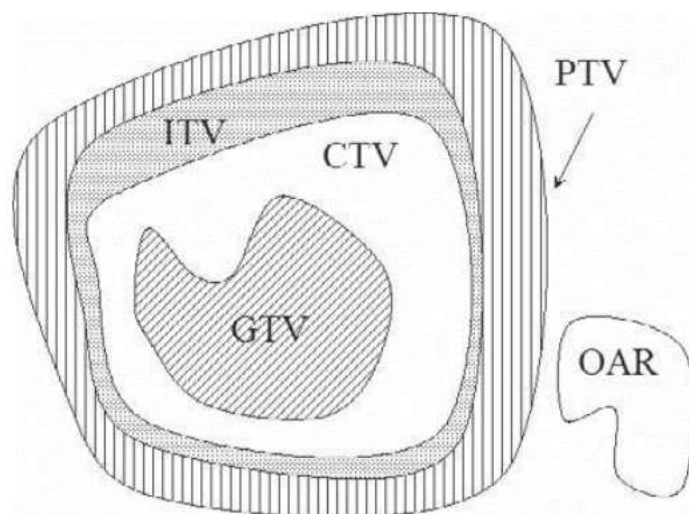
Simultaneous Integrated Boost (SIB) adalah sebuah teknik pemberian dosis radioterapi tingkat lanjut yang memungkinkan penyaluran dua atau lebih tingkatan dosis preskripsi yang berbeda pada beberapa volume target yang berbeda, secara serentak dalam satu sesi (fraksi) penyinaran yang sama. Dalam teknik ini, distribusi radiasi dimodulasi sedemikian rupa sehingga area pusat tumor (seperti GTV atau PTV primer) menerima dosis per fraksi yang lebih tinggi, sementara area jaringan di sekitarnya yang berisiko subklinis (CTV atau PTV sekunder) menerima dosis profilaksis yang lebih rendah pada saat yang bersamaan (Mireştean et al., 2023).

Simultaneous Integrated Boost (SIB) lazimnya diintegrasikan dengan algoritma *inverse planning* pada IMRT, teknik ini dapat direalisasikan dalam kerangka 3D-CRT melalui metode *Field-in-Field* (FiF). FiF pada dasarnya merupakan bentuk IMRT berbasis *forward planning* sederhana. Pada SIB-FiF, modulasi intensitas dosis tidak dilakukan oleh pergerakan daun kolimator (*Multi-*

Leaf Collimator/MLC) secara dinamis, melainkan dikendalikan secara manual oleh perencana dosis (*planner*) melalui penambahan beberapa sub-lapangan radiasi (*segmen*) statis ke dalam lapangan utama (*main field*) (Joseph et al., 2018).

2.3 Target Perencanaan dan *Organ at Risk*

Dalam prosedur *Treatment Planning System* (TPS), penentuan spesifikasi volume sangat krusial untuk memisahkan area target radiasi dengan organ sehat di sekitarnya (*Organs at Risk* / OAR). Pendefinisian volume ini menjadi pedoman utama bagi fisikawan medis guna mencapai optimasi distribusi dosis, yakni memastikan paparan maksimal pada jaringan target sekaligus menekan dosis sekecil mungkin pada OAR. Berdasarkan rekomendasi *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) Report 50, sebagaimana terilustrasi pada Gambar 2.4, penetapan batas volume tersebut merupakan tahapan esensial. Pedoman ICRU 50 menegaskan bahwa terdapat dua parameter volume utama yang wajib didefinisikan secara presisi sebelum proses kalkulasi perencanaan terapi dilaksanakan (Asetiyo et al., 2026).



Gambar 2.4 Contoh target dan *organ at risk* (Asetiyo et al., 2026)

a. *Gross Tumor Volume (GTV)*

Gross Tumor Volume (GTV) didefinisikan sebagai entitas tumor yang terlihat secara kasat mata atau melalui pencitraan medis. Volume ini dapat berupa massa tumor primer utama, metastasis *limfadenopati*, maupun bentuk penyebaran makroskopis

lainnya. Pemetaan GTV sangat krusial karena area ini merupakan representasi dari pusat pertumbuhan lesi dengan tingkat kepadatan sel tumor yang paling maksimum.

b. *Clinical Target Volume (CTV)*

Clinical Target Volume (CTV) merupakan parameter volume target yang melingkupi GTV beserta area sekitarnya yang dicurigai mengandung sel-sel kanker subklinis (mikroskopis) yang harus dimusnahkan. Dalam prosedur radioterapi sinar eksternal, pendefinisian CTV bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh volume jaringan tersebut menerima paparan dosis radiasi yang akurat, sesuai dengan skema waktu dan pola pemberian dosis yang telah diresepkan oleh dokter (Sibtain, 2023). Sedangkan selama proses perencanaan perawatan, volume yang ditentukan adalah:

a. *Planning Target Volume (PTV)*

Planning Target Volume (PTV) didefinisikan sebagai margin geometris tambahan di luar batas CTV yang digunakan untuk mengakomodasi segala kemungkinan ketidakpastian posisi dan bentuk anatomis selama terapi berlangsung. Melalui konsep geometri ini, ukuran dan pengaturan berkas radiasi dapat dikalibrasi sedemikian rupa agar dosis resep dapat sepenuhnya mencakup target CTV. Karena PTV menjadi basis operasional bagi evaluasi dan spesifikasi dosis harian, representasinya harus dimuat secara definitif dalam *Treatment Planning System*. Pemenuhan target dosis radiasi pada keseluruhan volume PTV pada hakikatnya merupakan jaminan terserapnya dosis kuratif yang diwajibkan untuk CTV.

b. *Organ at Risk (OAR)*

Organ kritis atau *Organs at Risk (OAR)* didefinisikan sebagai jaringan normal bersensitivitas radiasi tinggi, yang keberadaannya menjadi parameter pembatas dalam penentuan rencana pengobatan dan distribusi dosis (Antoniou, 2022).

Adapun spesifikasi mengenai ambang batas paparan dosis yang masih dapat ditoleransi oleh berbagai organ berisiko tersebut dapat merujuk pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Batas dosis untuk area pelvis

OAR	(Emami dkk., 1991)	Quantec
Rectum	$V60 < 100 \text{ cc}$	$V50 < 50 \%$
Bladder	$V65 < 100 \%$	$V65 \leq 50 \%$
Bowel	$V50 < 33 \%$	$V45 < 195 \text{ cc}$
Femoral Head	$V52 < 100 \%$	-

Pada Gambar Untuk hasil dari perencanaan perawatan, volume yang dihasilkan:

a. *Treated Volume* (Volume Terapi)

Treated Volume didefinisikan sebagai volume anatomis tiga dimensi yang dilingkupi oleh nilai permukaan isodosis tertentu. Batas isodosis ini dipilih dan ditetapkan secara spesifik oleh dokter spesialis onkologi radiasi guna memastikan tercapainya target pengobatan secara klinis, baik yang bersifat kuratif (eradikasi tumor secara total) maupun paliatif (pengendalian gejala).

b. *Volume Irradiasi* (*Irradiated Volume*)

Irradiated Volume merupakan cakupan volume jaringan normal yang menerima dosis penyinaran sekunder pada level yang dinilai berisiko atau signifikan terhadap batas toleransi jaringan itu sendiri. Pemantauan volume ini krusial untuk menekan tingkat toksisitas radiasi di luar area target (Podgorsak, 2005)

2.4 Parameter Dosimetri

Dalam evaluasi perencanaan radioterapi, parameter dosimetri digunakan untuk mengukur kualitas distribusi dosis pada kurva *Dose-Volume Histogram* (DVH). Parameter ini krusial untuk memastikan tumor (PTV) mendapatkan dosis yang diresepkan secara presisi, sementara organ sehat (OAR) di sekitarnya tetap terlindungi. Berikut adalah parameter dosimetri utama yang umumnya dievaluasi dalam *Treatment Planning System* (TPS):

a. Parameter Cakupan Target (*Target Coverage*)

Parameter ini digunakan untuk menilai seberapa baik dosis mencakup *Planning Target Volume* (PTV). Berdasarkan standar ICRU Report 83, pengukuran ini lebih banyak menggunakan representasi volume daripada titik dosis (*point dose*) :

- i. $D_{98\%}$ (Dosis Minimum Ciri): Dosis yang diterima oleh 98% volume target. Ini digunakan sebagai representasi *minimum dose* yang lebih akurat dan terhindar dari *cold spot* artifisial di tepi volume.
- ii. $D_{2\%}$ (Dosis Maksimum Ciri): Dosis yang diterima oleh 2% volume target. Digunakan sebagai indikator hotspot ($D_{\max}$) di dalam target.
- iii. $D_{50\%}$ (Dosis Median): Dosis yang diterima oleh tepat separuh (50%) volume target. Sering dianggap sangat mendekati nilai rata-rata dosis (D_{mean}) dalam distribusi yang homogen.
- iv. $V_{95\%}$: Persentase volume target yang menerima minimal 95% dari dosis preskripsi. Standar klinis umumnya menargetkan $V_{95\%} \geq 95\%$.

b. Indeks Kualitas Distribusi Dosis

- i. Homogeneity Index (HI): Mengukur seberapa merata dosis tersebar di dalam PTV. Semakin banyak *hotspot* atau *cold spot*, nilai HI akan semakin buruk.

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (2.2)$$

Nilai ideal: Mendekati 0.

- ii. Conformity Index (CI): Mengukur seberapa pas bentuk isodosis preskripsi (misalnya isodosis 95%) membungkus bentuk anatomis PTV, tanpa "tumpah" berlebihan ke jaringan sehat di sekitarnya. V_{RI} merupakan Rasio volume referensi isodosis terhadap volume target

$$CI = \frac{V_{RI}}{TV} \quad (2.3)$$

Nilai ideal mendekati 1

c. Parameter *Organ At Risk* (OAR)

Evaluasi organ sehat dibagi berdasarkan karakteristik radiobiologis jaringan. Pada kasus area pelvis, evaluasi OAR sangat ketat untuk menghindari komplikasi jangka panjang.

- i. Dosis Volume (V_x): Persentase volume OAR yang menerima dosis spesifik x Gy. Contoh pada Rektum $V_{50Gy} < 60Gy$ (Volume rektum

yang menerima 40 Gy harus di bawah 60%) dan *Bladder* V45 Gy < 35%

- ii. $D_{\max}$ (Organ Serial): Untuk organ bersusun seri seperti *spinal cord* atau *bowel* (usus), kerusakan pada satu titik kecil bisa menyebabkan kerusakan fungsi total. Oleh karena itu, evaluasi difokuskan pada dosis maksimum ($D_{\max}$ atau volume sangat kecil seperti D_{1cc}).

D_{mean} (Organ Paralel): Untuk organ bersusun paralel seperti ginjal, paru-paru, atau *femoral head* (kaput femur), kerusakan fungsi terjadi jika sebagian besar volumenya terpapar radiasi. Evaluasinya difokuskan pada Dosis Rata-rata (D_{mean}) dan V_x dosis rendah hingga menengah (misalnya V20Gy pada paru).

d. Parameter Efisiensi Mekanis

Selain dari kurva DVH, kualitas *treatment plan* terutama untuk IMRT, VMAT, atau *field-in-field* 3D-CRT juga dinilai dari aspek mesin *Linear Accelerator* (LINAC): yaitu *Total Monitor Unit* (MU). MU mengindikasikan seberapa efisien paparan radiasi yang dikirimkan. MU yang terlalu tinggi sering terjadi pada optimasi IMRT yang terlalu kompleks dapat memperpanjang waktu terapi, meningkatkan keausan tabung LINAC, dan meningkatkan paparan radiasi hambur (*scatter dose*) yang berisiko memicu keganasan sekunder pada pasien (Aslan & Aksozen, 2025).

2.5 Kanker Serviks

Kanker serviks merupakan bentuk keganasan yang diinisiasi oleh mutasi dan pertumbuhan sel-sel abnormal di luar kendali pada area pelapis leher rahim. Karakteristik utama dari penyakit ini adalah sifat otonomi sel kankernya yang terus membelah, mendesak, dan merusak struktur jaringan normal di sekitarnya. Tidak hanya bersifat lokal, sel-sel kanker ini dapat bermigrasi dan memicu pertumbuhan jaringan ganas baru di lokasi anatomis yang jauh (metastasis). Selama fase pertumbuhannya, keberadaan massa kanker ini secara langsung mengancam viabilitas jaringan sehat melalui kompetisi patologis dalam memperebutkan pasokan oksigen dan nutrisi di dalam tubuh (Fera, 2023).

Human Papillomavirus (HPV) diidentifikasi sebagai agen etiologi (penyebab) utama dalam patogenesis kanker serviks. Bukti klinis menunjukkan bahwa lebih dari 90% kasus karsinoma sel skuamosa serviks terbukti mengandung DNA HPV, di mana 50% di antaranya secara spesifik didominasi oleh HPV tipe

16. Transmisi utama patogen ini terjadi melalui kontak seksual yang berisiko. Secara patofisiologis, paparan awal virus menargetkan membran mukosa, termasuk pada area anus, rongga mulut, dan esofagus. Keberadaan lesi atau luka terbuka akan semakin memfasilitasi invasi virus ke dalam jaringan sehat. Partikel virus kemudian memanfaatkan perantara *viral attachment* untuk melekat secara presisi pada reseptor permukaan sel inang dan melakukan penetrasi. Sesampainya di dalam sel, virus bertranslokasi menuju inti sel untuk menginisiasi proses transkripsi (rekonstruksi) materi genetik DNA menjadi mRNA. Rangkaian intervensi genomik yang terjadi secara persisten dalam jangka waktu panjang inilah yang memicu pertumbuhan sel-sel pra-kanker. Selain disebabkan oleh virus, ada beberapa faktor penyebab kanker serviks yaitu merokok, kontrasepsi oral, diet yang berlebihan dan riwayat ginekologi. Padawanita yang merokok memiliki resiko lebih besar terkena kanker serviks daripada wanita yang tidak merokok (Khabibah et al., 2022).

Perkembangan patologi kanker serviks diklasifikasikan melalui sistem penentuan stadium (*staging*). Stadium didefinisikan sebagai indikator medis yang mendeskripsikan level perluasan dan penyebaran jaringan ganas. Saat ini, sistem klasifikasi yang menjadi acuan utama secara internasional adalah konsensus yang dirilis oleh *International Federation of Gynecology and Obstetrics* (FIGO). Sistem FIGO ini membagi tahapan kanker ke dalam rentang angka Romawi dari 0 hingga IV. Nilai stadium yang semakin tinggi merupakan cerminan dari perluasan infiltrasi kanker yang semakin parah, sehingga mengharuskan tenaga medis untuk merencanakan dan mengeksekusi strategi pengobatan lanjutan yang lebih agresif.

a. Stadium 0

Stadium awal ini merepresentasikan kondisi lesi pra-kanker yang dikenal dengan sebutan *karsinoma in situ*. Karakteristik utama dari stadium ini adalah keberadaan sel-sel ganas yang pertumbuhannya terbatas hanya pada lapisan epitel terluar leher rahim, tanpa disertai penetrasi ke jaringan normal di sekitarnya. Oleh karena belum terjadinya invasi jaringan, tahapan ini sangat responsif terhadap berbagai modalitas terapi dan pengobatan medis.

b. Stadium I

Stadium I ditandai dengan pertumbuhan sel karsinoma yang telah berinfiltrasi ke dalam leher rahim (serviks), namun belum menjalar ke organ atau struktur jaringan di sekitarnya. Klasifikasi ini mencakup dua subdivisi berdasarkan ukuran dan visibilitas lesi: Stadium IA, yang merepresentasikan ukuran tumor sangat kecil dan eksklusif hanya dapat diamati secara mikroskopis; serta Stadium IB, di mana pertumbuhan kanker telah meluas dan teridentifikasi secara visual (makroskopis), dengan catatan bahwa penyebaran massanya tetap terkungkung di dalam jaringan serviks.

c. Stadium II

Stadium II mengindikasikan bahwa pertumbuhan karsinoma telah berekspansi ke luar area leher rahim, namun batas invasi tersebut belum mengenai struktur dinding panggul serta sepertiga bawah vagina. Tahapan penyebaran ini diklasifikasikan menjadi dua kategori klinis: Stadium IIA, di mana invasi ganas hanya memengaruhi bagian atas vagina tanpa melibatkan jaringan parametrium; dan Stadium IIB, di mana sel kanker secara nyata telah menginfiltrasi jaringan penyangga di sekitar serviks (parametrium) dengan luasan yang masih tertahan sebelum area dinding panggul.

d. Stadium III

Stadium III menandai fase penyebaran karsinoma yang lebih progresif, di mana jaringan ganas mulai menginvasi struktur jaringan lunak di sekitar vagina hingga ke dinding panggul. Pembagian spesifik pada stadium ini terdiri atas Stadium IIIA dan IIIB. Karakteristik klinis Stadium IIIA adalah meluasnya area kanker hingga mencakup sepertiga bagian bawah vagina, dengan syarat tidak ada keterlibatan dinding panggul. Sebaliknya, pada Stadium IIIB, infiltrasi sel kanker telah mencapai struktur dinding panggul secara menyeluruh. Selain itu, pasien pada Stadium IIIB seringkali mengalami komplikasi sekunder berupa gangguan fungsi ginjal akibat terhambatnya saluran pembuangan urine oleh massa kanker.

e. Stadium IV

Sebagai tingkat keparahan paling puncak, Stadium IV mengindikasikan bahwa penyebaran karsinoma serviks telah melampaui batas anatomis reproduksi dan secara agresif menyerang organ-organ lain. Tahapan lanjut ini diklasifikasikan ke

dalam Stadium IVA dan IVB berdasarkan letak dan jangkauan perluasannya. Stadium IVA mendeskripsikan kondisi lokal tingkat lanjut di mana massa tumor telah merusak dan menginfiltrasi organ yang berbatasan langsung, seperti kandung kemih dan rektum. Sebaliknya, klasifikasi Stadium IVB diberikan apabila kanker telah terkonfirmasi bermetastasis (menyebar jauh) secara sistemik ke berbagai organ luar panggul, dengan paru-paru sebagai salah satu lokasi penyebaran sekunder yang paling umum dijumpai (Bhatla et al., 2021).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain dan Tempat Penelitian

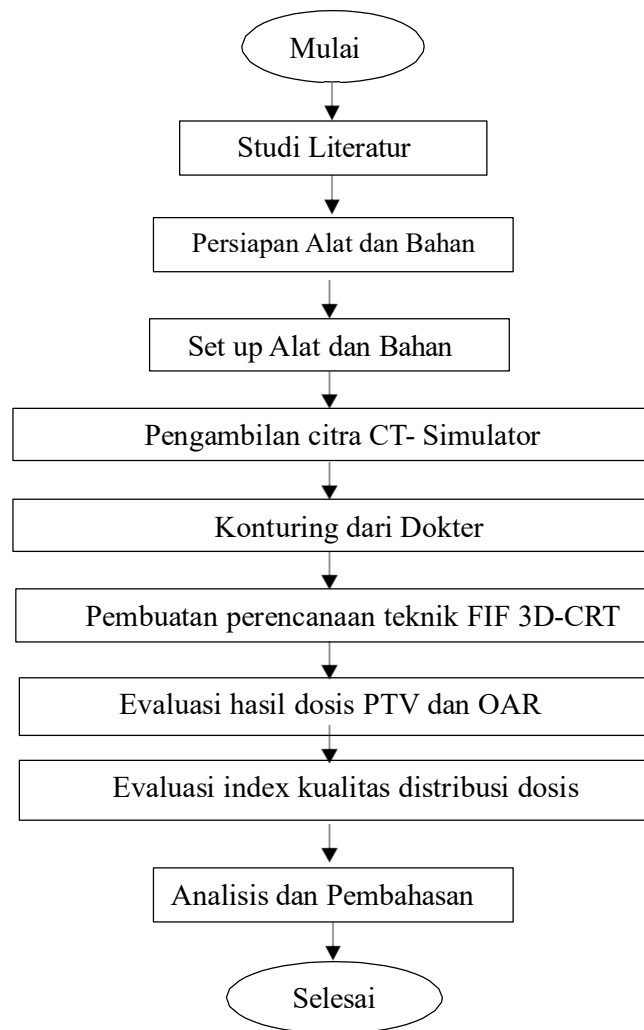
Kegiatan ini dilakukan di Instalasi Radioterapi RSUD dr. Saiful Anwar Provinsi Jawa Timur. Data diambil pada tanggal 01 April – 30 April 2026. Simulasi 5 perencanaan radioterapi *Simutaneous Integrated Boost* untuk pasien kanker serviks stadium III dieksekusi melalui TPS berbasis perangkat lunak *Monaco* menggunakan data citra CT pasien. Pendekatan yang diimplementasikan adalah 3D-CRT dengan memanfaatkan foton berenergi 6 MV. Dosis preskripsi yang ditetapkan total 55 Gy, diberikan dalam 25 fraksi dengan dosis per fraksi sebesar 2,2 Gy. Evaluasi hasil perencanaan berfokus pada beberapa aspek krusial, meliputi konfigurasi dan pembobotan lapangan penyinaran (*field*), index kualitas distribusi dosis, analisis kurva *Dose-Volume Histogram* (DVH), serta kalkulasi akumulasi dosis pada *Planning Target Volume* (PTV) dan *Organ at Risk*.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah komputer *workstation* merk HP, *software Treatment Planning System Monaco* sebagai *software* perencanaan radioterapi dari Elekta, dan CT-Simulator merk *Canon* sebagai pemindai tubuh pasien. Subjek yang digunakan adalah 5 pasien kasus kanker serviks kuratif stadium III-C yang rencana pengobatannya menggunakan metode SIB.

3.3 Prosedur Penelitian

Langkah kerja pada penulisan laporan ini dimulai dari studi literatur hingga analisis data hasil simulasi TPS dan verifikasi. Adapun tahapan langkah kerja yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1. Untuk penjelasan tiap tahapan dijelaskan sebagai berikut



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Pengambilan Citra Tubuh Pasien

Fase pendahuluan dalam studi ini diawali dengan akuisisi citra anatomis pasien (sebagai subjek penelitian) menggunakan modalitas *CT-Simulator*, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.2. Prosedur yang dikerjakan oleh radiografer ini bertujuan untuk melokalisasi posisi dan geometri massa tumor secara presisi. Selama proses pemindaian berlangsung, pasien diposisikan menggunakan alat fiksasi berupa *moulding*. Penggunaan *moulding* ini bersifat krusial untuk meminimalisasi pergerakan pasien (imobilisasi) dan menjamin reproduksibilitas posisi tubuh, mengingat alat bantu yang sama persis akan digunakan kembali pada saat tahap eksekusi terapi radiasi harian. Seluruh set data citra digital yang diperoleh dari *CT-Simulator* tersebut selanjutnya dievaluasi oleh

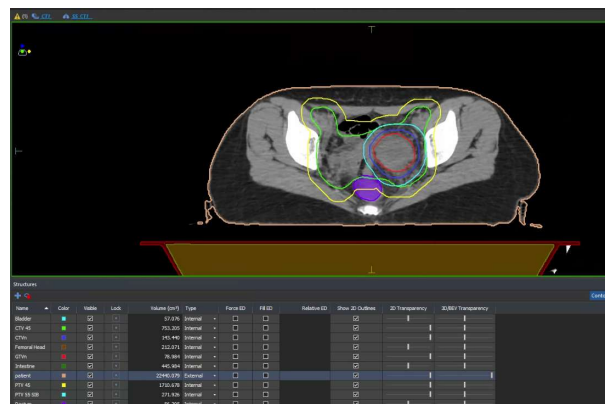
dokter spesialis onkologi radiasi dan diimpor ke dalam *Treatment Planning System* (TPS) untuk tahapan perancangan dosis.



Gambar 3.2 Ilustrasi CT simulator

3.3.2 Deliniasi

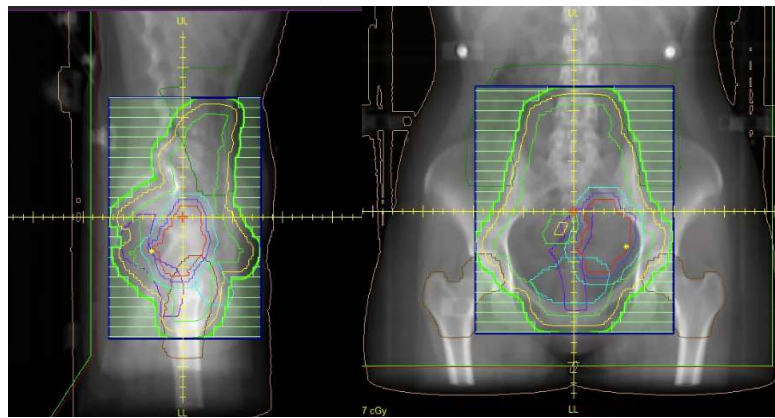
Proses perencanaan terapi diawali dengan mengimpor citra akuisisi CT *Simulator* dari kasus kanker serviks anonim ke dalam perangkat lunak TPS Monaco. Setelah data terintegrasi, dokter onkologi radiasi melakukan proses deliniasi guna memetakan batas volume radiasi. Pemetaan struktur anatomi ini meliputi *Clinical Target Volume* (CTV), *Planning Target Volume* (PTV), serta organ-organ kritis atau *Organs at Risk* (OAR) yang terdiri atas rektum, *bladder*, *bowel*, dan *femoral head*. Hasil konturing ini berfungsi sebagai cetak biru fundamental bagi fisikawan medis dalam melaksanakan perhitungan dosimetri. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 3.3, rincian struktur OAR dan volume target tersebut dibedakan menggunakan indikator warna khusus dan dapat ditinjau melalui representasi bidang aksial, sagital, maupun koronal.



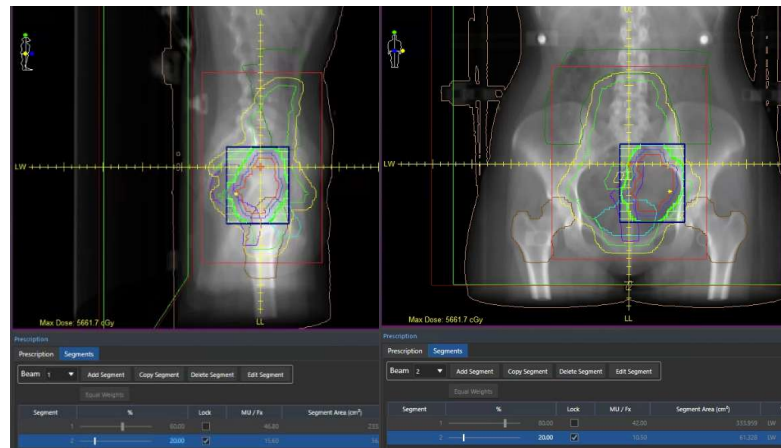
Gambar 3.3 Deliniasi target dan *Organ at risk*

3.3.3 Pembuatan Treatment Planning System (TPS)

Implementasi teknik *Simultaneous Integrated Boost* (SIB) berbasis *Field-in-Field* (FiF) pada perencanaan 3D-CRT untuk kanker serviks dieksekusi melalui pendekatan *forward planning* yang sistematis di dalam *Treatment Planning System* (TPS). Tahapan perencanaan dimulai delineasi target multipel, dokter menetapkan dua tingkat volume target. Target pertama adalah PTV Elektif misalnya PTV 45 yang mencakup seluruh rongga panggul dan kelenjar getah bening regional untuk menerima dosis dasar seperti pada Gambar 3.4. Target kedua adalah PTV *Boost* PTV55 Gy yang difokuskan secara eksklusif pada massa karsinoma primer serviks atau nodus limfa yang membesar seperti pada Gambar 3.5. Perencanaan diawali dengan pembuatan lapangan radiasi utama menggunakan teknik *four-field box* (sudut *gantry* 0°, 90°, 180°, dan 270°). Buka *Multi-Leaf Collimator* (MLC) pada lapangan utama ini diatur untuk mencakup keseluruhan PTV Elektif (Raina & Singh, 2022). Lapangan utama diberikan pembobotan (*weighting*) dominan untuk menghantarkan dosis dasar harian.



Gambar 3.4 PTV Elektif PTV 45 Gy yang mencakup seluruh rongga panggul dan kelenjar getah bening regional untuk menerima dosis dasar



Gambar 3.5 PTV Boost PTV 55 Gy yang difokuskan secara eksklusif pada massa karsinoma primer serviks atau nodus limfa yang membesar

Untuk memberikan eskalasi dosis secara simultan, fisikawan medis menduplikasi lapangan utama menjadi beberapa sub-lapangan statis (segmen). Pada sub-lapangan ini, daun MLC dimodifikasi sedemikian rupa untuk sepenuhnya memblokir area PTV Elektif dan jaringan sehat, serta membiarkan bukaan hanya berpusat pada area PTV *Boost* seperti yang ditampilkan Gambar 3.5.

Optimasi pembobotan Sub-lapangan SIB diberikan tambahan bobot *monitor unit* (MU) dalam persentase kecil (umumnya 2–5% per segmen) seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.6. Melalui kalkulasi akumulatif, area panggul akan menerima dosis profilaksis sesuai target, sementara area tumor primer akan menyerap total preskripsi dosis yang dielevasi secara bersamaan dalam setiap fraksinya.

Prescription				
Prescription Segments				
Beam 1	Add Segment	Copy Segment	Delete Segment	Edit Segment
Equal Weights				
Segment	%	Lock	MU / Fx	
1	60.00	☐	46.80	
2	20.00	☒	15.60	
3	5.00	☒	3.90	
4	5.00	☒	3.90	
5	5.00	☒	3.90	
6	5.00	☒	3.90	

Gambar 3.6 Optimasi pembobotan sub-lapangan SIB

3.3.4 Evaluasi Hasil Dosis PTV dan OAR

Rencana penyinaran ini kemudian dianalisis menggunakan grafik *Dose Volume Histogram* (DVH). Target keberhasilan perencanaan diukur dari dua parameter utama yaitu tercapainya kriteria ICRU 50 di mana PTV menerima serapan dosis antara 95% hingga 107%, dan bertahannya dosis OAR di bawah ambang batas toleransi maksimal sesuai Tabel 2.1 (Herwiningsih et al., 2023). Jika evaluasi DVH awal belum ideal, fisikawan medis akan memodulasi distribusi dosis menggunakan tambahan lapangan statis atau teknik *Field-in-Field* (FiF). Langkah korektif ini bertujuan untuk meratakan dosis dan mengeliminasi area *hot spot* ekstrem ($>107\%$) pada PTV.

3.3.5 Evaluasi Index Kualitas Distribusi dosis dari perencanaan

Parameter *homogeneity index* (HI) digunakan untuk mengukur seberapa merata dosis tersebar di dalam PTV. Semakin banyak *hotspot* atau *cold spot*, nilai HI akan semakin buruk. Persamaan tersebut dirumuskan pada persamaan 3.1

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (3.1)$$

Nilai ideal mendekati 0, yang mengindikasikan bahwa distribusi dosis di dalam area PTV sepenuhnya homogen tanpa fluktuasi *hotspot* atau *coldspot* yang mengganggu (Thanvi et al., 2024).

Conformity index (CI) digunakan untuk mengukur seberapa menyerupai bentuk isodosis 95% preskripsi membungkus bentuk anatomis PTV, tanpa keluar berlebihan ke jaringan sehat di sekitarnya. V_{RI} merupakan Rasio volume referensi isodosis terhadap volume target dan TV adalah Total volume PTV.

$$CI = \frac{V_{RI}}{TV} \quad (3.2)$$

Jika nilai $CI > 1$, berarti area yang menerima dosis penuh lebih besar dari PTV. Jika nilai $CI < 1$, berarti ada area PTV yang *underdosed*. Nilai CI yang mendekati 1 menunjukkan konformitas sempurna antara dosis tinggi dan target tumor (Rastogi et al., 2018).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

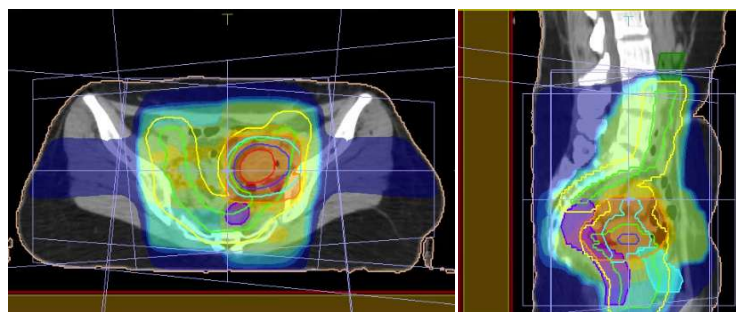
4.1 Hasil Perencanaan 3D-CRT *Simutaneous Integrated Boost*

Teknik 3D-CRT pada kasus ca serviks mengaplikasikan empat lapangan radiasi dengan berbagai segmen disetiap lapangannya. Penggunaan *field* dan segmen lebih dari satu ini bertujuan untuk mendistribusikan radiasi dari berbagai sudut secara kontinu melalui berkas sinar non-seragam yang telah dioptimisasi. Perencanaan ini memungkinkan pemusatan dosis tinggi pada volume target sekaligus meminimalkan paparan pada jaringan sehat, di mana keseluruhan pancaran sinar tersebut kemudian diakumulasikan untuk menghitung dosis total (Khan & Gibbons, 2014).

Dari Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5 terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam perencanaan radioterapi, yaitu sudut gantri, kolimator, bobot lapangan dan besar *Monitor Unit* (MU) perfraksi. Pada semua subjek memiliki pola perencanaan yang sama, menggunakan 4 lapangan yaitu 0°, 90°, 180°, dan 270° dengan pemberian kolimator adalah 0° disemua lapangannya. Pemberian bobot lapangan dan MU perfraksi adalah salah satu bentuk optimasi dalam pendistribusian dosis ke target, dimana pemberian mempertimbangkan aspek anatomi yaitu Separasi lateral *pelvis* manusia jauh lebih tebal, bisa mencapai > 30 cm dibandingkan separasi *Anterior-Posterior* (AP) dan *Posterior-Anterior* (PA). Berkas foton harus menempuh jarak kedalaman yang jauh lebih dalam untuk mencapai isocenter dari arah lateral. Saat *Multi-Leaf Collimator* (MLC) banyak memblok proyeksi lateral untuk melindungi *Organ at Risk* (OAR), volume *planning target volume* (PTV) yang terpapar *fluence* sinar primer berkurang secara signifikan. Untuk mempertahankan *coverage target* yaitu memastikan $V_{95\%}$ mencakup seluruh PTV, fisikawan medik seringkali menaikkan *weight* pada segmen dasar yang terbuka. Peningkatan bobot kompensasi ini secara langsung menarik total MU lateral yaitu 270° dan 90° menjadi jauh lebih tinggi (Gazsi & Marcu, 2025).

Tabel 4.1 Perencanaan dan pembobotan Subjek 1

<i>Id Beam</i>	Gantri (°)	Kolimator (°)	Bobot	MU/fx
1. G-270	270°	0°	26	78
Segmen 1 G-270	270°	0°	60	46.80
Segmen 2 G-270	270°	0°	20	15.60
Segmen 3 G-270	270°	0°	5	3.90
Segmen 4 G-270	270°	0°	5	3.90
Segmen 5 G-270	270°	0°	5	3.90
Segmen 6 G-270	270°	0°	5	3.90
2. G-0	0°	0°	17.50	52.50
Segmen 1 G-0	0°	0°	80	42.00
Segmen 2 G-0	0°	0°	20	10.50
3. G-90	90°	0°	25.00	75.00
Segmen 1 G-90	90°	0°	60	45.00
Segmen 2 G-90	90°	0°	20	15.00
Segmen 3 G-90	90°	0°	5	3.75
Segmen 4 G-90	90°	0°	5	3.75
Segmen 5 G-90	90°	0°	5	3.75
Segmen 6 G-90	90°	0°	5	3.75
4. G-180	180°	0°	31.50	94.50
Segmen 1 G-180	180°	0°	80	75.60
Segmen 2 G-180	180°	0°	20	18.90

**Gambar 4.1** Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 1

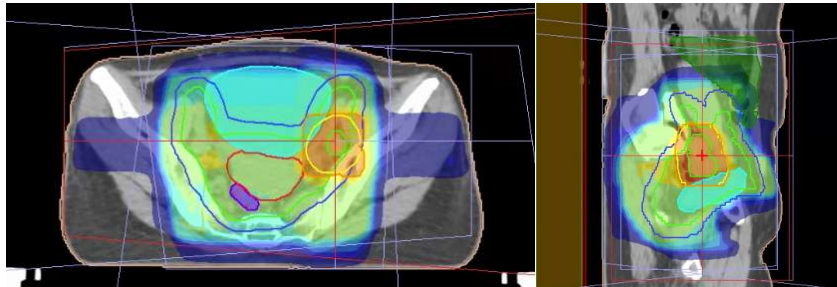
Tabel 4.1 menunjukkan parameter perencanaan dan pembobotan dosis radioterapi 3D-CRT dengan metode Simultaneous Integrated Boost (SIB) pada Subjek 1. Perencanaan ini menggunakan empat arah gantry (270° , 0° , 90° , dan 180°) dengan sudut kolimator 0° dan total pancaran sebesar 300 *Monitor Unit* per fraksi (MU/fx). Berdasarkan tabel tersebut, kontribusi dosis tertinggi diberikan dari arah *posterior* (G-180) dengan bobot 31,50% dengan 94,50 MU/fx, diikuti oleh arah lateral G-270 26% dan G-90 25%. Arah *anterior* (G-0) menerima pembobotan terkecil, yakni 17,50%. Perbedaan distribusi bobot ini dirancang untuk mengoptimalkan dosis pada target volume sekaligus melindungi *Organ at Risk* di sekitarnya. Untuk mencapai distribusi SIB yang presisi, perencanaan ini menggunakan teknik segmentasi lapangan (*field-in-field*) dengan perencanaan sudut *Lateral* G-270 dan G-90 membutuhkan modulasi dosis yang kompleks dengan 6 segmen. Segmen utama menyumbang 60% MU, sedangkan 5 segmen berukuran kecil yaitu bobot 20% dan 5% difungsikan sebagai kompensator untuk menambal *cold spot* pada area *boost* atau menekan *hot spot* di jaringan sehat. Sudut *Anterior-Posterior* G-0 dan G-180 membutuhkan modulasi yang lebih sederhana dengan hanya 2 segmen, di mana segmen utama yang merupakan lapangan terbuka diatur sebesar 80% MU dan segmen sekunder 20% MU. Secara keseluruhan, variasi jumlah segmen dan distribusi MU/fx ini mengindikasikan bahwa pencapaian gradien dosis yang curam antara area eskalasi (target boost) dan organ sehat pada subjek 1 sangat mengandalkan modulasi lapangan dari sudut *lateral* (An Nisa Octavia et al., 2025).

Sama seperti subjek sebelumnya, Tabel 4.2 menunjukkan perencanaan ini menggunakan teknik empat lapangan ortogonal dengan arah gantry 270° , 0° , 90° , dan 180° serta sudut kolimator 0° . Berdasarkan data distribusi pembobotan, kontribusi dosis tertinggi pada Subjek 2 diberikan dari arah lateral kanan (G-90) sebesar 31,15% (89,48 MU/fx), disusul oleh arah posterior (G-180) dengan bobot 26,53% dengan 76,20 MU/fx. Sebaliknya, arah *anterior* (G-0) dan *lateral* kiri (G-270) menerima alokasi yang lebih kecil dengan proporsi yang hampir seimbang, yakni 21,48% dan 20,84%. Distribusi asimetris ini dirancang mengikuti posisi spesifik letak anatomis target volume guna membatasi dosis pada *Organ at Risk* (OAR) di sekitarnya. Untuk mengakomodasi distribusi SIB, perencanaan ini menerapkan teknik segmentasi lapangan (*field-in-field*) dengan pola yang lebih

seragam dibandingkan Subjek 1 dengan Segmen 1 bertindak sebagai penyumbang dosis utama (lapangan terbuka) dengan mengambil porsi terbesar sekitar 71,99% hingga 76,99% dari total MU pada masing-masing arah *gantry*. Segmen 2 secara konsisten dialokasikan sekitar 20% MU, sedangkan Segmen 3 digunakan untuk penyesuaian akhir yang lebih halus dengan bobot bervariasi antara 3,01% hingga 8%. Segmen 2 dan 3 ini berfungsi vital sebagai kompensator untuk menambal *cold spot* pada area *boost* atau menekan *hot spot* pada jaringan sehat. Secara keseluruhan, penggunaan tepat 3 segmen pada setiap sudut penyinaran mengindikasikan bahwa pembentukan gradien dosis SIB untuk Subjek 2 membutuhkan tingkat modulasi intensitas (penyesuaian lapangan) yang relatif seimbang dari seluruh arah datangnya radiasi.

Tabel 4.2 Perencanaan dan pembobotan Subjek 2

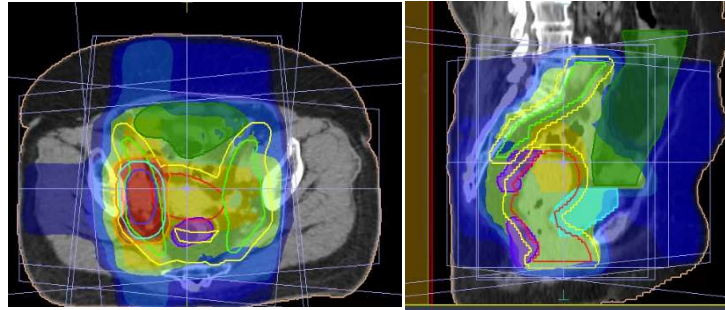
Id <i>Beam</i>	Gantri (°)	Kolimator (°)	Bobot	MU/fx
1. G-270	270°	0°	20.84	59.85
Segmen 1 G-270	270°	0°	72	43.09
Segmen 2 G-270	270°	0°	20	11.97
Segmen 3 G-270	270°	0°	8	4.79
2. G-0	0°	0°	21.48	61.68
Segmen 1 G-0	0°	0°	75.00	46.26
Segmen 2 G-0	0°	0°	20.01	12.34
Segmen 3 G-0	0°	0°	4.99	3.08
3. G-90	90°	0°	31.15	89.48
Segmen 1 G-90	90°	0°	71.99	64.42
Segmen 2 G-90	90°	0°	20	17.90
Segmen 3 G-90	90°	0°	8	7.16
4. G-180	180°	0°	26.53	76.20
Segmen 1 G-180	180°	0°	76.99	58.67
Segmen 2 G-180	180°	0°	20	15.24
Segmen 3 G-180	180°	0°	3.01	2.29



Gambar 4.2 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 2

Tabel 4.3 Perencanaan dan pembobotan Subjek 3

<i>Id Beam</i>	Gantri (°)	Kolimator (°)	Bobot	MU/fx
1. G-270	270°	0°	26	92.70
Segmen 1 G-270	270°	0°	50	46.35
Segmen 2 G-270	270°	0°	20	18.54
Segmen 3 G-270	270°	0°	10	9.27
Segmen 4 G-270	270°	0°	15	13.91
Segmen 5 G-270	270°	0°	5	4.64
2. G-0	0°	0°	29.00	103.39
Segmen 1 G-0	0°	0°	80	82.71
Segmen 2 G-0	0°	0°	20	20.68
3. G-90	90°	0°	18.58	66.24
Segmen 1 G-90	90°	0°	50	33.12
Segmen 2 G-90	90°	0°	20	13.25
Segmen 3 G-90	90°	0°	10	6.62
Segmen 4 G-90	90°	0°	15	9.94
Segmen 5 G-90	90°	0°	5	3.31
4. G-180	180°	0°	26.42	94.20
Segmen 1 G-180	180°	0°	80	75.36
Segmen 2 G-180	180°	0°	20	18.34



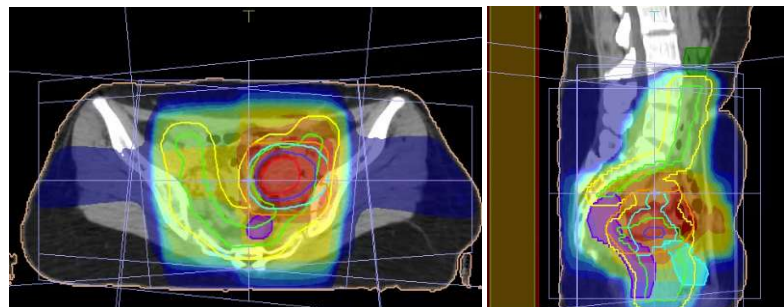
Gambar 4.3 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 3

Dengan arah gantry yang sama Tabel 4.3 menunjukkan dari segi distribusi pembobotan utama, kontribusi dosis terbesar pada Subjek 3 diberikan dari arah *anterior* (G-0) dengan bobot 29,00% (103,39 MU/fx). Arah *posterior* (G-180) dan *lateral* kiri (G-270) memberikan kontribusi yang hampir setara, masing-masing 26,42% dan 26%. Sebaliknya, arah *lateral* kanan (G-90) menerima alokasi terkecil yakni 18,58%. Proporsi pembobotan ini secara spesifik disesuaikan dengan posisi anatomis target radiasi guna memaksimalkan cakupan dosis sekaligus melindungi *Organ at Risk*. Terkait penerapan teknik segmentasi lapangan (*field-in-field*) untuk mengakomodasi distribusi SIB, terlihat pola modulasi yang sangat kontras antara sudut penyinaran pada sudut *lateral* G-270 dan G-90. Pada sudut ini menunjukkan tingkat modulasi dosis yang tinggi dengan penggunaan 5 segmen pada masing-masing arah. Segmen utama (lapangan terbuka) menyumbang setengah dari total MU sebesar 50%, sementara 4 segmen sekunder dengan variasi bobot yaitu 20%, 15%, 10%, dan 5% difungsikan secara spesifik untuk menambal *cold spot* pada area *boost* maupun menekan *hot spot* pada jaringan sehat (Azalmad et al., 2026).

Sudut *Anterior-Posterior* G-0 dan G-180 membutuhkan modulasi yang jauh lebih sederhana dengan hanya 2 segmen. Pola pembobotannya identik, di mana segmen utama mendominasi sebesar 80% MU dan segmen sekunder berfungsi sebagai penyesuaian minor sebesar 20% MU. Secara keseluruhan, meskipun arah anterior menyumbang total dosis terbesar (MU/fx tertinggi), pembentukan gradien dosis SIB yang presisi pada Subjek 3 sangat mengandalkan variasi dan modulasi bentuk lapangan dari arah *lateral* (G-270 dan G-90).

Tabel 4.4 Perencanaan dan pembobotan Subjek 4

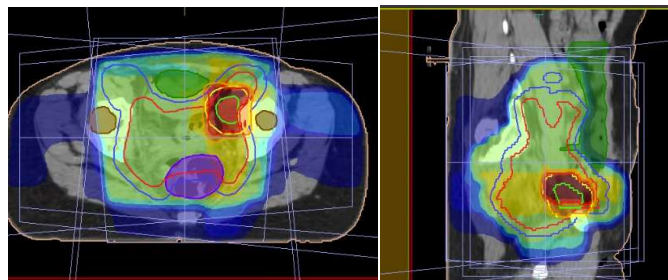
<i>Id Beam</i>	Gantri (°)	Kolimator (°)	Bobot	MU/fx
1. G-270	270°	0°	24.18	72.54
Segmen 1 G-270	270°	0°	61.98	44.96
Segmen 2 G-270	270°	0°	20	14.51
Segmen 3 G-270	270°	0°	3.01	2.18
Segmen 4 G-270	270°	0°	5	3.63
Segmen 5 G-270	270°	0°	5	3.63
Segmen 6 G-270	270°	0°	5	3.63
2. G-0	0°	0°	22.50	67.50
Segmen 1 G-0	0°	0°	80	54
Segmen 2 G-0	0°	0°	20	13.50
3. G-90	90°	0°	25.10	75.30
Segmen 1 G-90	90°	0°	57.03	42.94
Segmen 2 G-90	90°	0°	20	15.06
Segmen 3 G-90	90°	0°	3	2.26
Segmen 4 G-90	90°	0°	4.99	3.76
Segmen 5 G-90	90°	0°	4.99	3.76
Segmen 6 G-90	90°	0°	4.99	3.76
Segmen 7 G-90	90°	0°	4.99	3.76
4. G-180	180°	0°	28.22	84.66
Segmen 1 G-180	180°	0°	80	67.73
Segmen 2 G-180	180°	0°	20	16.93



Gambar 4.4 Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 4

Tabel 4.5 Perencanaan dan pembobotan Subjek 5

Id Beam	Gantri (°)	Kolimator (°)	Bobot	MU/fx
1. G-270	270°	0°	25.07	78.97
Segmen 1 G-270	270°	0°	62	48.96
Segmen 2 G-270	270°	0°	20	15.79
Segmen 3 G-270	270°	0°	9	7.11
Segmen 4 G-270	270°	0°	9	7.11
2. G-0	0°	0°	18	56.70
Segmen 1 G-0	0°	0°	65.01	36.86
Segmen 2 G-0	0°	0°	20	11.34
Segmen 3 G-0	0°	0°	14.99	8.50
3. G-90	90°	0°	31.93	100.58
Segmen 1 G-90	90°	0°	54.01	54.32
Segmen 2 G-90	90°	0°	20	20.12
Segmen 3 G-90	90°	0°	4	4.02
Segmen 4 G-90	90°	0°	4	4.02
Segmen 5 G-90	90°	0°	5	5.03
Segmen 6 G-90	90°	0°	4	4.02
Segmen 7 G-90	90°	0°	6	6.03
Segmen 8 G-90	90°	0°	3	3.02
4. G-180	180°	0°	25	78.85
Segmen 1 G-180	180°	0°	69.99	55.12
Segmen 2 G-180	180°	0°	20	15.75
Segmen 3 G-180	180°	0°	10.01	7.88

**Gambar 4.5** Tampilan sebaran isodosis pada proyeksi axial dan sagital pada perencanaan subjek 5

Berdasarkan data distribusi pembobotan Tabel 4.4, kontribusi dosis tertinggi diberikan dari arah posterior (G-180) sebesar 28,22% dengan 84,66 MU/fx. Arah *lateral* kanan (G-90) dan *lateral* kiri (G-270) memberikan porsi yang hampir seimbang, masing-masing sebesar 25,10% dan 24,18%. Sementara itu, arah anterior (G-0) menerima alokasi terkecil dengan bobot 22,50%. Distribusi ini menunjukkan pembagian dosis yang relatif merata, namun tetap dioptimalkan dari arah *posterior* untuk menyesuaikan letak target volume terhadap *Organ at Risk*. Dalam penerapan teknik segmentasi lapangan (*field-in-field*) untuk menghasilkan distribusi dosis SIB, Subjek 4 menunjukkan pola modulasi yang sangat kontras dan kompleks pada *gantry* tertentu seperti *gantry Lateral* G-270 dan G-90 yang membutuhkan tingkat modulasi yang paling kompleks dibandingkan subjek lainnya, dimana G-270 menggunakan 6 segmen dan G-90 menggunakan 7 segmen. Segmen utama menyumbang sekitar 57% hingga 62% dari total MU. Banyaknya segmen sekunder berskala kecil dengan bobot berkisar 3% hingga 20% menunjukkan upaya ekstra yang signifikan untuk melakukan koreksi dosis sebagai kompensator guna menambal *cold spot* atau melindungi OAR di sekitar area target.

Sudut *Anterior-Posterior* G-0 dan G-180 menunjukkan pola modulasi dasar yang sangat sederhana. Kedua arah penyinaran ini masing-masing hanya menggunakan 2 segmen dengan rasio pembobotan yang identik, yaitu 80% untuk segmen lapangan utama dan 20% untuk segmen sekunder. Secara keseluruhan, data pada Subjek 4 menegaskan bahwa untuk mencapai gradien dosis eskalasi (SIB) yang ideal, perencanaan sangat bergantung pada modifikasi bentuk lapangan yang intensif dari arah *lateral*, sementara sudut *anterior-posterior* difungsikan lebih sebagai penyumbang dosis dasar dengan modulasi minimal.

Berdasarkan data distribusi pembobotan Tabel 4.5, kontribusi dosis paling dominan diberikan dari arah *lateral* kanan (G-90) dengan bobot 31,93% (100,58 MU/fx). Arah *lateral* kiri (G-270) dan *posterior* (G-180) menerima alokasi yang hampir setara, masing-masing sebesar 25,07% dan 25%. Sementara itu, arah *anterior* (G-0) diberikan bobot paling kecil, yakni 18% (56,70 MU/fx). Ketimpangan distribusi ini dirancang secara spesifik berdasarkan letak anatomis target volume guna memaksimalkan cakupan radiasi pada tumor dan meminimalkan paparan pada *Organ at Risk*.

Dalam penerapan teknik segmentasi lapangan (*field-in-field*) untuk membentuk distribusi SIB, Subjek 5 memperlihatkan tingkat kompleksitas modulasi yang sangat tinggi, khususnya pada satu sisi sudut penyinaran yaitu sudut *lateral* kanan (G-90). Hal ini Menunjukkan tingkat modulasi yang ekstrem dengan penggunaan 8 segmen. Segmen utama hanya menyumbang 54,01% MU, sedangkan sisanya dipecah ke dalam 7 segmen sekunder berskala kecil berkisar antara 3% hingga 20%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses penambalan *cold spot* pada area *boost* atau perlindungan jaringan sehat sangat bergantung pada penyesuaian bentuk lapangan dari arah G-90 (Azalmad et al., 2026). Sudut *lateral* Kiri (G-270) dimodulasi menggunakan 4 segmen, di mana segmen utama menyumbang 62% MU, diikuti 3 segmen tambahan untuk koreksi sekunder. sudut *Anterior-Posterior* G-0 dan G-180 menunjukkan pola modulasi yang lebih sederhana dibandingkan sudut *lateral*. Keduanya menggunakan 3 segmen dengan proporsi segmen utama yang lebih besar 65,01% untuk G-0 dan 69,99% untuk G-180, sementara dua segmen sisanya berfungsi sebagai kompensator penyesuaian akhir. Secara keseluruhan, data pada Subjek 5 menegaskan bahwa untuk mencapai gradien eskalasi dosis SIB yang presisi, sistem sangat mengandalkan intensitas modulasi lapangan yang masif dari arah *lateral* kanan (G-90).

Penambahan segmen teknik *forward planning* pada lapangan lateral sangat berkaitan dengan anatomi *pelvis* dan perlindungan OAR. Hasil perencanaan radiasi pada kasus serviks menghasilkan visual sebaran dosis yang disajikan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5. Pada proyeksi lateral si potongan sagital, PTV serviks berada persis di antara dua organ kritis utama yaitu Kandung Kemih (*Bladder*) di sisi anterior dan rektum di sisi posterior. Dari semua perencanaan pada subjek memiliki besar pembobotan dan pemberian MU perfraksi yang sejenis pada area lateral. Hal ini sesuai dengan pembobotan yang telah dilakukan pada sudut lateral 270° dan 90° di subjek 1 dengan 6 segmen, 5 segmen di subjek 3, 6 dan 7 segmen di subjek 4, 4 dan 8 segmen disubjek 5, dimana pada sudut lateral pemberian bobot lebih besar dari AP dan PA. Subjek 3 memberikan segmen yang imbang disetiap lapangan dengan masing-masing 3 segmen. Hal ini bertujuan untuk memberikan dosis yang terdistribusi maksimal ke PTV sambil membatasi dosis pada rektum dan kandung kemih sesuai dengan limitasi toleransi QUANTEC atau protokol lokal, sehingga dibutuhkan pembentukan lapangan yang

lebih presisi sesuai dengan kondisinya. Bentuk PTV yang *overlap* atau sangat berdekatan dengan OAR, fisikawan medik harus menambahkan beberapa segmen tambahan untuk menutup area OAR secara bertahap menggunakan MLC untuk menurunkan *hotspot* dan melindungi OAR. Akibatnya, jumlah segmen di lapangan lateral disemua subjek menjadi lebih banyak dibandingkan lapangan AP/PA yang secara geometri memiliki ruang *shielding* yang lebih terbuka (Raina & Singh, 2022).

4.2 Evaluasi Hasil Dosis PTV dan OAR

Tabel 4.6 menyajikan hasil evaluasi dosimetris perencanaan radioterapi untuk lima subjek penelitian berdasarkan pembacaan kurva *Dose Volume Histogram* (DVH). Parameter yang dievaluasi mencakup tingkat cakupan dosis pada PTV serta tingkat perlindungan terhadap organ-organ sehat di sekitarnya OAR. Secara keseluruhan, rencana perlakuan (*treatment plan*) pada kelima subjek menunjukkan hasil yang memenuhi batasan dosis (*dose constraint*) klinis yang telah ditetapkan. Evaluasi cakupan target data distribusi dosis pada target tumor, perencanaan radioterapi menunjukkan cakupan volume target yang sangat cukup untuk diterapkan pada klinis. Pada PTV 45 Gy, persentase volume yang menerima 95% dari dosis preskripsi dengan $V_{42.75} > 95\%$ berhasil dipenuhi oleh seluruh subjek. Nilai cakupan berada pada rentang 95,64% hingga 99,62% dengan tertinggi pada Subjek 3. Kualitas cakupan yang sangat baik juga terlihat pada PTV 55 Gy, di mana parameter $V_{52.25} > 95\%$ terpenuhi secara konsisten. Seluruh subjek mendapatkan cakupan di atas 95,83%, dengan Subjek 3 mencapai cakupan maksimal sebesar 100%. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi dosis pada area target utama sangat homogen dan memenuhi syarat untuk mencapai kontrol lokal tumor secara optimal.

Tabel 4.6 Hasil evaluasi dosimetri dari grafik DVH perencanaan radioterapi untuk lima subjek penelitian

PTV dan OAR	Batas Ambang	Hasil Dosimetri dari DVH				
		Subjek 1	Subjek 2	Subjek 3	Subjek 4	Subjek 5
<i>Rectum</i>	V55 < 50 %	2,52%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Bladder</i>	Dmax < 55 Gy	54,148 Gy	54,976 Gy	49,993	54,540 Gy	54,894 Gy
<i>Femoral Head</i>	V52 ≤ 100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Intestine</i>	V45Gy < 195 cm ³	0,146 cm ³	5,698 cm ³	0,00%	1,150 cm ³	152,03 cm ³
PTV 45 Gy	V42.75 > 95 %	95,88%	95,64%	99,62%	96,39%	95,73%
PTV 55 Gy	V52.25 > 95 %	98,75%	99,35%	100%	99,89%	95,83%

Selain memberikan dosis yang maksimal pada PTV, perencanaan ini juga terbukti mampu menekan dosis pada organ sehat hingga berada di bawah batas toleransi. Rektum dengan Parameter V55 mensyaratkan volume rektum yang menerima dosis 55 Gy harus kurang dari 50%. Hasil pengujian menunjukkan nilai yang sangat memuaskan, di mana paparan tertinggi hanya sebesar 2,52% di Subjek 1, sedangkan keempat subjek lainnya menunjukkan angka 0,00%. Ini menandakan perlindungan rektum yang sangat optimal. *Bladder* batas aman dosis maksimum (*Dmax*) untuk *bladder* ditetapkan kurang dari 55 Gy. Kelima subjek memenuhi kriteria ini, meskipun Subjek 2 menerima dosis maksimum yang cukup mendekati batas ambang, yaitu sebesar 54,976 Gy. Namun demikian, nilai tersebut masih dikategorikan aman dan dapat diterima secara klinis. Perlindungan terhadap struktur tulang kaput femoralis menunjukkan hasil yang sangat baik. Parameter V52 untuk keseluruhan subjek adalah 0,00%, mengartikan bahwa tidak ada bagian volume kaput femoralis yang menerima paparan dosis tinggi sebesar 52 Gy. *Intestine* batasan klinis menetapkan bahwa volume usus yang menerima paparan 45 Gy (V45Gy) tidak boleh melebihi 195 cm³. Evaluasi menunjukkan variasi volume

dari 0,00 cm³ hingga 152,03 cm³ pada Subjek 5. Meskipun Subjek 5 memiliki volume paparan yang relatif lebih tinggi dibandingkan subjek lainnya, nilai tersebut masih berada pada rentang aman di bawah 195 cm³.

4.3 Evaluasi Index Kualitas Distribusi dosis dari perencanaan

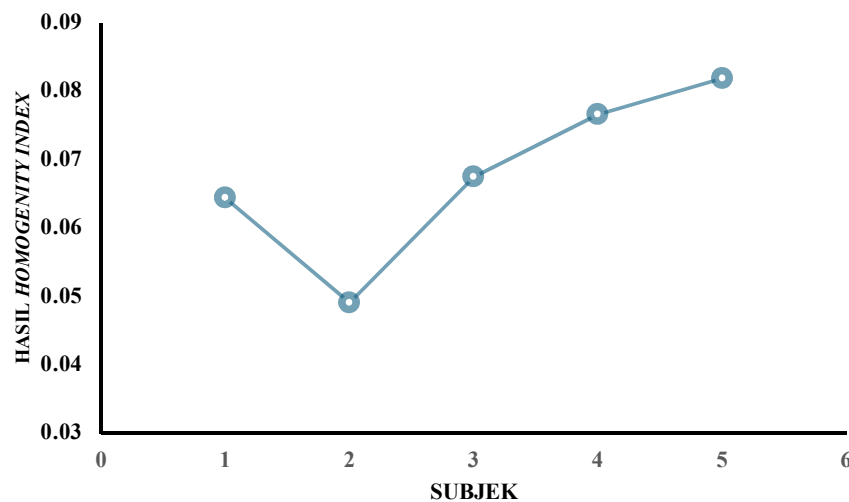
Berdasarkan hasil perencanaan radioterapi teknik 3D-CRT pada kelima subjek, nilai HI menunjukkan hasil yang sangat memuaskan dan konsisten seperti yang disajikan pada Tabel 4.7. Nilai HI untuk seluruh subjek berada pada rentang 0,0491 hingga 0,0819. Menurut ICRU Report 83, nilai ideal untuk HI adalah 0 batas Teknik 3D-CRT $\leq 0,12$, yang mengindikasikan dosis terdistribusi secara merata tanpa adanya *hot spot* atau *cold spot* yang ekstrem di dalam PTV (Al-Rawi et al., 2022). Subjek 2 menunjukkan tingkat homogenitas terbaik dengan nilai 0,0491, sementara Subjek 5 memiliki nilai HI tertinggi yaitu 0,0819, namun tetap berada dalam batas toleransi yang sangat baik mendekati 0. Tingginya keseragaman dosis ini membuktikan bahwa konfigurasi lapangan radiasi (*beam arrangement*), penggunaan *wedge*, dan pembobotan *beam* (*beam weighting*) pada proses *forward planning* telah dilakukan secara optimal. Hal ini memastikan bahwa seluruh area tumor menerima dosis yang memadai untuk mematikan sel kanker, sekaligus meminimalkan risiko toksisitas akibat dosis maksimum yang berlebih di dalam target.

Tabel 4.7 Tabel data *homogeneity Index*

Subjek	D2%	D98 %	D50 %	HI
Subjek 1	56,083 Gy	52,553 Gy	54,771 Gy	0,0644
Subjek 2	55,261 Gy	52,593 Gy	54,323 Gy	0,0491
Subjek 3	58,080 Gy	54,245 Gy	56,804 Gy	0,0675
Subjek 4	57,206 Gy	52,953 Gy	55,524 Gy	0,0766
Subjek 5	56,296 Gy	51,688 Gy	56,296 Gy	0,0819

Gambar 4.6 memvisualisasikan tren grafik *Homogeneity Index* (HI) dari kelima sampel berdasarkan data pada Tabel 4.7, dimana nilai tersebut dievaluasi menggunakan selisih parameter dosis maksimum (D2%) dan minimum (D98%) yang dibagi dengan dosis median (D50%). Berdasarkan fluktuasi garis grafik, Subjek 2 mencatatkan nilai HI terendah sebesar 0,0491, yang mengindikasikan pencapaian distribusi dosis paling seragam atau homogen di dalam target volume, mengingat nilai HI yang semakin mendekati nol (0) menunjukkan homogenitas

yang semakin ideal. Sebaliknya, tren grafik memperlihatkan lonjakan nilai yang terus meningkat hingga memuncak pada Subjek 5 dengan angka tertinggi sebesar 0,0819, hal ini menandakan bahwa perencanaan pada Subjek 5 menghasilkan sebaran dosis yang paling tidak homogen yang menandakan memiliki gradien variasi dosis *hot spot* dan *cold spot* yang paling lebar dibandingkan keempat subjek lainnya (Ngongoloy et al., 2024).



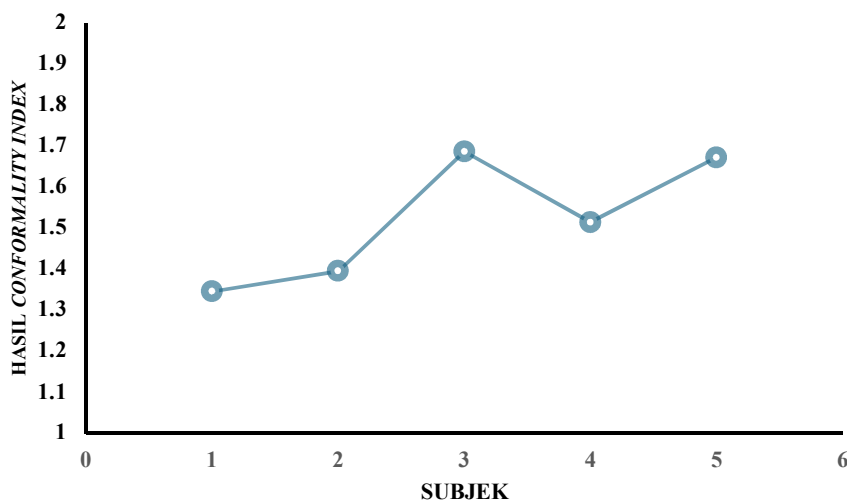
Gambar 4.6 Grafik dari hasil kalkulasi HI subjek

Berbeda dengan parameter homogenitas, evaluasi CI menunjukkan dinamika konformalitas yang menjadi karakteristik dari teknik 3D-CRT. Menurut pedoman standar RTOG, nilai CI ideal adalah 1,0. Rentang nilai 1,0 hingga 2,0 dikategorikan sebagai deviasi minor yang secara klinis masih dapat diterima (*acceptable protocol*), sedangkan nilai $> 2,0$ merupakan deviasi mayor (Stanley et al., 2011). Pada evaluasi akhir, seluruh subjek berhasil masuk ke dalam kategori deviasi minor dengan rentang nilai CI antara 1,346 hingga 1,687 seperti yang disajikan pada Tabel 4.8. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat dosis yang melebihi kontur PTV atau *dose spillage* ke jaringan sehat akibat keterbatasan modulasi pada sistem *forward planning* 3D-CRT, volume jaringan di luar target yang menerima paparan dosis tinggi masih terkendali dan berada pada batas toleransi klinis. Hasil evaluasi dari kelima subjek membuktikan bahwa teknik 3D-CRT mampu memberikan distribusi dosis yang homogen sekaligus menjaga tingkat konformalitas dalam batas yang dapat diterima.

Tabel 4.8 Hasil data *Comformality Index*

Subjek	Vri	TV	CI
Subjek 1	366.087 cm ³	272.031 cm ³	1,346
Subjek 2	95.679 cm ³	68.511 cm ³	1,396
Subjek 3	182.688 cm ³	108.311 cm ³	1,687
Subjek 4	412.221 cm ³	272.031 cm ³	1,515
Subjek 5	59,448 cm ³	99,474 cm ³	1,673

Gambar 4.7 memvisualisasikan grafik *Conformality Index* (CI) dari kelima subjek penelitian berdasarkan data pada Tabel 4.8, di mana nilai ini diperoleh dari perbandingan antara volume isodosis referensi (Vri) terhadap volume target aktual (TV). Berdasarkan tren tersebut, Subjek 1 mencatatkan nilai CI terendah dan paling mendekati angka ideal (1), yakni sebesar 1,346, yang mengindikasikan bahwa perencanaan dosis pada subjek ini memiliki tingkat konformalitas paling baik yang menandakan distribusi radiasi sangat pas menutupi area target dengan sedikit paparan pada jaringan sehat. Sebaliknya, grafik menunjukkan lonjakan nilai CI tertinggi pada Subjek 3 sebesar 1,687 dan Subjek 5 sebesar 1,673, yang menandakan bahwa perencanaan pada subjek-subjek tersebut kurang konformal karena volume jaringan yang menerima isodosis referensi melampaui ukuran volume target yang sesungguhnya (Thanvi et al., 2024).

**Gambar 4.7** Grafik dari hasil kalkulasi CI subjek

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a) Cakupan Target PTV pada perencanaan radioterapi berhasil memenuhi kriteria cakupan dosimetri, di mana target PTV 45 Gy dan PTV 55 Gy menerima dosis sesuai preskripsi di atas 95%. Dosis radiasi yang diterima oleh seluruh OAR yaitu rektum, *bladder*, *femoral head*, dan *intestine* berada jauh di bawah batas toleransi klinis yang aman.
- b) Nilai HI dari kelima subjek berada pada rentang 0,0491 hingga 0,0819, yang sangat mendekati angka ideal 0 dan $\leq 0,12$. Ini membuktikan bahwa dosis tersebar merata di dalam PTV tanpa adanya *hot spot* atau *cold spot* yang ekstrem. Nilai CI berada pada rentang 1,346 hingga 1,687. Hasil ini masuk dalam kategori deviasi minor dengan rentang 1,0 hingga 2,0 sesuai standar RTOG yang menunjukkan bahwa meskipun terdapat *dose spillage* akibat keterbatasan forward planning 3D-CRT, konformitas dan jaringan di luar target masih terkendali dan dapat diterima secara klinis.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini belum dilakukannya verifikasi pretreatment dikarenakan kajian hanya difokuskan pada perencanaan radioterapi. Diperlukan kajian pada proses jaminan kualitas pretreatment untuk lebih meyakinkan perencanaan sebelum digunakan ke pasien lebih terjamin.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Rawi, S. A. I., Abouelenein, H., Khalil, M. M., Alabdei, H. H., Sulaiman, A. A., Al-Nuaimi, D. S., & Nagdy, M. E.-S. E. L. (2022). Evaluation of Conformity and Homogeneity Indices Consistency Throughout the Course of Head and Neck Cancer Treatment With and Without Using Adaptive Volumetric Modulated Arc Radiation Therapy. *Advances in Radiation Oncology*, 7(5), 100905. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.adro.2022.100905>
- An Nisa Octavia, Devina R. P. S. P, Robert Janssen Stevenly, & Ave Kurnia Sari. (2025). The Use of 3D-CRT Technique in dose Distribution Analysis for Cervical Cancer Treatment Planning. *Jurnal Inotera*, 10(1 SE-Articles), 24–32. <https://doi.org/10.31572/inotera.Vol10.Iss1.2025.ID353>
- Antoniou, G. (2022). *Assessment of Adaptive Radiotherapy Workflows for Head and Neck Cancer* [University of Adelaide]. <https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/135959>
- Asetiyo, D., Milvita, D., & Ilyas, M. (2026). *Analysis of Breast Cancer Radiation Dose Distribution Using Bolus Density in 3DCRT Technique Radiotherapy Planning at Andalas University Hospital*. 18(1), 45–54.
- Aslan, D., & Aksozen, M. T. (2025). Dosimetric comparison of IMRT, VMAT, and hybrid techniques in stereotactic body radiotherapy for adrenal metastases. *Scientific Reports*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06707-1>
- Azalmad, A., Nhila, O., & Hilal, M. (2026). Optimizing Cervical Cancer Radiotherapy: Dosimetric Comparison of 3D-CRT, IMRT, and VMAT: Experience at a Single Oncology Center. *Journal of Obstetrics, Gynecology and Cancer Research*, 11(3), 192–200. <https://doi.org/10.24200/jogcr.11.3.192>
- Bhatla, N., Singhal, S., Dhamija, E., Mathur, S., Natarajan, J., & Maheshwari, A. (2021). Implications of the revised cervical cancer FIGO staging system. *The Indian Journal of Medical Research*, 154(2), 273–283. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_4225_20
- Faghihi Moghaddam, F., Bakhshandeh, M., Ghorbani, M., & Mofid, B. (2020). Assessing the out-of-field dose calculation accuracy by eclipse treatment planning system in sliding window IMRT of prostate cancer patients. *Computers in Biology and Medicine*, 127(October), 104052. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.104052>
- Fera, N. (2023). Kanker Serviks. *GALENICAL: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Mahasiswa Malikussaleh*, 2(1), 45–56.
- Ferlay, J., Rebecca, M. E., & Mph, L. S. (2024). *Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries*. February, 229–263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- Gazsi, I., & Marcu, L. G. (2025). Comparative dosimetric assessment of combined treatment modalities in cervical cancer radiotherapy for optimal organ

- protection. *Radiation and Environmental Biophysics*, 64(2), 291–302.
<https://doi.org/10.1007/s00411-025-01113-7>
- Herwiningsih, S., Naba, A., Rianto, S., & Hentihu, F. K. (2023). DOSIMETRIC EVALUATION OF POST-MASTECTOMY THREE-DIMENSIONAL CONFORMAL RADIATION THERAPY (3DCRT) BREAST CANCER TREATMENT PLANS. *Indonesian Physical Review*, 6(3), 284–293.
<https://doi.org/10.29303/ipr.v6i3.240>
- Indonesia, E. S. (2025). *Executive summary indonesia*. April, 1–9.
- Joseph, B., Farooq, N., Kumar, S., Vijay, C. R., Puthur, K. J., Ramesh, C., & Lokesh, V. (2018). *Breast Cancer Breast - conserving radiotherapy with simultaneous integrated boost ; field - in - field three - dimensional conformal radiotherapy versus inverse intensity - modulated radiotherapy – A dosimetric comparison : Do we need intensity - modulate*. 6–9.
<https://doi.org/10.4103/sajc.sajc>
- Khabibah, U., Adyani, K., & Rahmawati, A. (2022). Faktor Risiko Kanker Serviks: Literature Review. *Faletehan Health Journal*, 9(3), 270–277.
<https://doi.org/10.33746/fhj.v10i03.354>
- Khan, F. M., & Gibbons, J. P. (2014). *Khan's The Physics of Radiation Therapy*. Wolters Kluwer Health.
<https://books.google.co.id/books?id=cvtPBAAQBAJ>
- Mireştean, C. C., Iancu, R. I., & Iancu, D. P. T. (2023). Simultaneous Integrated Boost (SIB) vs. Sequential Boost in Head and Neck Cancer (HNC) Radiotherapy: A Radiomics-Based Decision Proof of Concept. *Journal of Clinical Medicine*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/jcm12062413>
- Ngongoloy, D. K., Agung, A., Diartama, A., & Astina, K. Y. (2024). *Teknik Terapi Radiasi 3DCRT Pada Kasus Kanker Serviks Dengan Studi Literatur*. 3(1).
- Podgorsak, E. B. (Ed.). (2005). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. International Atomic Energy Agency.
- Pramesti, W. S., Yuana, F., Herwiningsih, S., Hentihu, F. K., & Anto, A. K. (2023). Analisis Sebaran Dosis Organ at Risk (OAR) pada Perencanaan Radioterapi Kanker Payudara Kiri dengan Teknik 3D-CRT melalui Dose Volume Histogram (DVH). *Journal of Medical Physics and Biophysics*, 10(1), 28–38.
- 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 & Engineering*, 12(5), 465–476.
<https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2101-1257>
- Rastogi, K., Sharma, S., Gupta, S., Agarwal, N., Bhaskar, S., & Jain, S. (2018). Dosimetric comparison of IMRT versus 3DCRT for post-mastectomy chest wall irradiation. *Radiation Oncology Journal*, 36(1), 71–78.
<https://doi.org/10.3857/roj.2017.00381>
- Sibtain, A. M. A. M. N. (2023). Physics for Clinical Oncology. In *Physics for*

Clinical Oncology. <https://doi.org/10.1093/med/9780199573356.001.0001>

- Stanley, J., Breitman, K., Dunscombe, P., Spencer, D. P., & Lau, H. (2011). Evaluation of stereotactic radiosurgery conformity indices for 170 target volumes in patients with brain metastases. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 12(2), 3449. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v12i2.3449>
- Thanvi, S., Patidar, Y., Sharma, N., Rawal, T., Sinwer, R. K., Jakhar, S. L., Harsh, K. K., & Kumar, H. S. (2024). Dosimetric Comparison of Conventional 3D-Conformal Radiotherapy (3DCRT) and Volumetric-Modulated Arc Therapy (VMAT) for Head and Neck Cancer. *Asian Pacific Journal of Cancer Care*, 9(1), 49–53. <https://doi.org/10.31557/apjcc.2024.9.1.49-53>