



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**ANALISIS PERENCANAAN TERAPI SINAR-X PADA
KANKER SERVIKS MENGGUNAKAN TEKNIK IMRT 8 *FIELD*
DENGAN SIMULASI PROGRAM PHITS VERSI 3.341 PADA
INSTALASI RUMAH SAKIT MILITER**

DHAWYA NAJMA NABILLA RAMADHIN

320210304007

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI FISIKA
BOGOR, 2025**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Dhawya Najma Nabilla Ramadhin
NIM : 320210304007
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Analisis Perencanaan Terapi Sinar-X pada Kanker
Serviks Menggunakan Teknik IMRT 8 *Field* dengan
Simulasi Program PHITS Versi 3.341 pada Instalasi
Rumah Sakit Militer

Pembimbing I,



Aditya Tri Oktaviana, S. Si., M. Si.
NIP. 199210082022031003
Tanggal : 14 Juli 2025

Pembimbing II,



Dr. Mutia Meireni, S.S.T., M.Sc., M.Si.
NIP. 198905242022032003
Tanggal : 10 Juli 2025

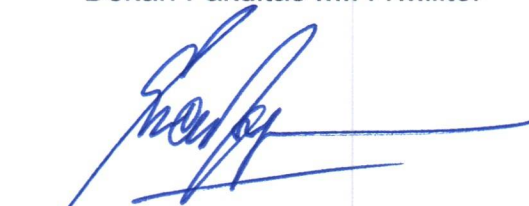
Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhni P. S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal : 27 Juli 2025

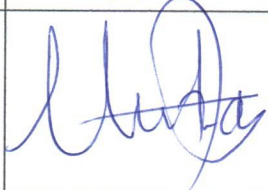
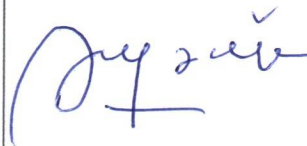
Dekan Fakultas MIPA Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si
Pembina Utama Muda IV/C
Tanggal : 31 Juli 2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Dhawya Najma Nabilla Ramadhin
 NIM : 320210304007
 Program Studi : Fisika
 Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
 Judul Skripsi : Analisis Perencanaan Terapi Sinar-X pada Kanker Serviks Menggunakan Teknik IMRT 8 *Field* dengan Simulasi Program PHITS Versi 3.341 pada Instalasi Rumah Sakit Militer

No	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dosen Pembimbing 1 : Aditya Tri Oktaviana, S. Si., M. Si. NIP. 199210082022031003		14/25/7
2	Dosen Pembimbing 2: Dr. Mutia Meireni, S.S.T., M.Sc., M.Si. NIP. 198905242022032003		10/7-2025
3	Dosen Penguji 1: Diyana Parwatiningtyas, S.Si., M.T., M.Sc. NIP. 197801222024212001		10/25/7
4	Dosen Penguji 2 : Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC. NIP. 199001202022032002		15/25/7

PERNYATAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kersajanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 27 Juli 2025



Dhawya Najma Nabilla R.

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dhawya Najma Nabilla Ramadhin

NIM : 320210304007

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer

Jenis Karya : Skripsi

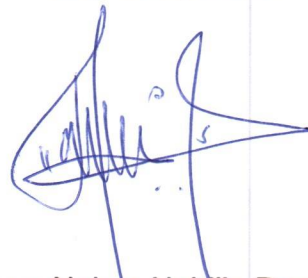
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisis Perencanaan Terapi Sinar-X pada Kanker Serviks Menggunakan Teknik IMRT 8 *Field* dengan Simulasi Program PHITS Versi 3.341 pada Instalasi Rumah Sakit Militer

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor
Pada tanggal : 11 Agustus 2025
Yang menyatakan



Dhawya Najma Nabilla Ramadhin
NIM. 320210304007

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: Analisis Perencanaan Terapi Sinar-X pada Kanker Serviks Menggunakan Teknik IMRT 8 *Field* dengan Simulasi Program PHITS Versi 3.341 pada Instalasi Rumah Sakit Militer.

Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, dengan segala hormat, peneliti menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Letnan Jenderal TNI (Purn) Dr. Anton Nugroho, M.M.D.S., M.A., selaku Rektor Universitas Pertahanan Republik Indonesia, atas bimbingan, arahan, serta kesempatan yang diberikan kepada penulis dalam menempuh pendidikan di fakultas ini.
2. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan dalam mendukung kegiatan akademik di lingkungan kampus.
3. Kolonel Tek. M. Zuhnir Piliang, S.Si., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Fisika, atas dukungan, arahan, serta motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis selama proses studi hingga penyusunan skripsi.
4. Aditya Tri Oktaviana, S. Si., M. Si., selaku dosen pembimbing 1, yang telah dengan penuh kesabaran dan ketelitian dalam memberikan

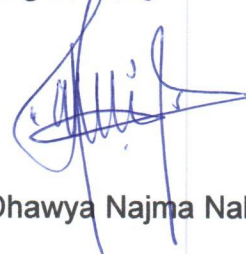
arahan serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini.

5. Dr. Mutia Meireni, S.S.T., M.Sc., M.Si., selaku dosen pembimbing 2, atas dedikasi dan perhatian yang diberikan dalam memberikan koreksi, arahan, serta motivasi akademik yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
6. Letkol Kal. Heru Purwoko, SE., Isma Tantina, SE., Naila Zhafira Raihana AZ-Zahra, Fadhila Salma Kamila Zahrani atas segala doa, dukungan moral, serta semangat yang tidak pernah putus, yang menjadi sumber kekuatan utama dalam menyelesaikan studi ini.
7. Rekan-rekan seperjuangan di Program Studi Fisika, atas kerja sama, semangat, dan motivasi yang turut mendorong peneliti dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan baik dari segi teknis maupun isi, mengingat keterbatasan ilmu dan pengalaman. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi pengembangan keilmuan, khususnya dalam bidang fisika medis dan aplikasi simulasi dalam peningkatan mutu layanan radioterapi di lingkungan rumah sakit militer.

Bogor, 27 Juli 2025



Dhawya Najma Nabilla R.

ABSTRAK

ANALISIS PERENCANAAN TERAPI SINAR-X PADA KANKER SERVIKS MENGGUNAKAN TEKNIK IMRT 8 *FIELD* DENGAN SIMULASI PROGRAM PHITS VERSI 3.341 PADA INSTALASI RUMAH SAKIT MILITER

Perencanaan terapi sinar-X yang tepat sangat krusial dalam pengobatan kanker serviks stadium IIA1 untuk memastikan distribusi dosis yang efektif dan aman terhadap jaringan target serta meminimalkan paparan pada organ sehat di sekitarnya. Penelitian ini menganalisis rencana terapi menggunakan teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) 8 *field* berbasis simulasi Monte Carlo dengan program PHITS versi 3.341. Distribusi dosis dianalisis melalui delapan sudut *gantry*: PA (0°), RPO (45°), LR (90°), RAO (135°), AP (180°), LPO (225°), LL (270°), dan LAO (315°), dengan mempertimbangkan parameter klinis seperti dosis fraksinasi (1,8–2 Gy), energi LINAC 10 MV, serta jarak sumber-ke-permukaan (SSD) sejauh 80 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut menghasilkan sebaran dosis yang merata dan berada dalam rentang toleransi yang dianjurkan secara klinis. Terapi dilakukan sebanyak 25 kali fraksi selama 1 jam 8 menit dengan 2 menit 43 detik untuk setiap fraksinasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap referensi pendukung terkait distribusi dosis, menunjukkan kesesuaian yang baik. Penelitian ini mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis PHITS dapat diintegrasikan dalam sistem perencanaan terapi di rumah sakit militer yang telah memiliki fasilitas LINAC, sebagai alternatif yang akurat dan fleksibel untuk perencanaan radiasi berbasis teknik IMRT.

Kata kunci: Kanker Serviks, IMRT 8 *Field*, PHITS, Distribusi Dosis, Perencanaan Terapi.

ABSTRACT

X-RAY THERAPY PLANNING ANALYSIS FOR CERVICAL CANCER USING IMRT 8 FIELD TECHNIQUE THROUGH PHITS V.3.341 SIMULATION AT A MILITARY HOSPITAL

Accurate X-ray therapy planning is crucial in the treatment of stage IIA1 cervical cancer to ensure effective and safe dose distribution to the target tissue while minimizing exposure to surrounding healthy organs. This study analyzes a therapy plan using the Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) 8-field technique based on Monte Carlo simulation with the PHITS version 3.341 program. Dose distribution was analyzed across eight gantry angles: PA (0°), RPO (45°), LR (90°), RAO (135°), AP (180°), LPO (225°), LL (270°), and LAO (315°), taking into account clinical parameters such as fractionated dose (1.8–2 Gy), 10 MV LINAC energy, and a source-to-surface distance (SSD) of 80 cm. Simulation results showed that this configuration produced a uniform dose distribution within clinically recommended tolerance limits. The therapy was administered in 25 fractions over a total duration of 1 hour and 8 minutes, with each fraction lasting 2 minutes and 43 seconds. Validation was conducted by comparing the simulation results with supporting reference data on dose distribution, showing good agreement. This study indicates that the PHITS-based approach can be integrated into the therapy planning systems of military hospitals equipped with LINAC facilities, offering an accurate and flexible alternative for radiation planning using the IMRT technique.

Keyword : Cervical Cancer, 8 Field IMRT, PHITS, Dose Distribution, Therapy Planning.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat Teoritis	4
1.4.2 Manfaat Praktis.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Kanker Serviks.....	5
2.1.2 Radioterapi	7
2.1.3 OAR (<i>Organs at Risk</i>)	12
2.1.4 Dosimetri.....	13
2.1.5 PHITS versi 3.341.....	17
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	19
2.3 Kerangka Berpikir	22
2.4 Hipotesis Penelitian	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23

3.1 Metode dan Desain Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.3 Alat dan Bahan	25
3.4 Variabel Penelitian.....	27
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Pemodelan Geometri <i>Phantom</i> Kanker Serviks dan Mesin LINAC.....	30
3.5.2 Simulasi Teknik IMRT 8 <i>Field</i> pada Kanker Serviks Stadium IIA1	32
3.6 Metode Analisis	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Hasil.....	35
4.1.1 PDD (<i>Percentage Depth Dose</i>).....	35
4.1.2 Waktu Penyinaran	36
4.1.3 Dosis Serap	36
4.1.4 Dosis Ekuivalen (HT)	38
4.1.5 Dosis Efektif (E).....	39
4.2 Pembahasan.....	40
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Organ Serviks	5
Gambar 2.2 Pencitraan Kanker Serviks Stadium IIA1 Melalui FDG-PET Scan.....	6
Gambar 2.3 Ciri PDD	11
Gambar 2.4 Komponen PDD	12
Gambar 2.5 Posisi GTV, CTV, dan PTV.....	12
Gambar 2.6 Kerangka Berpikir.....	22
Gambar 3.1 LINAC Elekta Versa HD	25
Gambar 3.2 Pencitraan Kanker Serviks Stadium IIA1 Melalui FDG-PET Scan.....	26
Gambar 3.3 Alur Penelitian	29
Gambar 3.4 Tampak Atas Geometri 2D Sel Kanker Serviks	31
Gambar 3.5 Tampak Depan Geometri 3D Sel Kanker Serviks.....	31
Gambar 3.6 Geometri 3D Pemodelan Mesin LINAC.....	32
Gambar 3.7 Geometri pada Arah Penyinaran <i>Right Posterior Oblique</i> (45°)	32
Gambar 4.1 Grafik PDD pada Arah Penyinaran <i>Right Posterior Oblique</i> (45°).....	35
Gambar 4.2 Grafik Komparasi PDD dengan Batas Toleransi Dosis.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas Toleransi Dosis OAR	15
Tabel 2.2 Faktor Bobot Radiasi, w_R	16
Tabel 2.3 Faktor Bobot Jaringan, w_T	17
Tabel 2.4 Bagian pada Penulisan Program PHITS	18
Tabel 2.5 Hasil Penelitian Terdahulu	19
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	24
Tabel 3.2 Unsur Penyusun OAR Kanker Serviks	26
Tabel 3.3 Unsur Penyusun Mesin LINAC	27
Tabel 3.4 Paramater yang Digunakan dalam Simulasi	30
Tabel 4.1 Waktu Penyinaran IMRT 8 <i>Field</i> pada Kanker Serviks	36
Tabel 4.2 Nilai Batas Toleransi Dosis dan Dosis Serap 8 <i>Field</i>	37
Tabel 4.3 Dosis Ekuivalen di Setiap <i>Field</i>	39
Tabel 4.4 Dosis Efektif di Setiap <i>Field</i>	40

DAFTAR SINGKATAN



AP	: <i>Anterior-Posterior</i>
BAPETEN	: <i>Badan Pengawas Tenaga Nuklir</i>
BNCT	: <i>Boron Neutron Capture Therapy</i>
BRIN	: <i>Badan Riset dan Inovasi Nasional</i>
CMS	: <i>Centers for Medicare and Medicaid Services</i>
CT	: <i>Computer Tomography</i>
CTV	: <i>Clinical Target Volume</i>
DNA	: <i>Deoxyribonucleic Acid</i>
EBRT	: <i>External Beam Radiation Therapy</i>
eV	: <i>Electron Volt</i>
FDG-PET	: <i>Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography</i>
FIGO	: <i>The International Federation of Gynecology and Obstetrics</i>
GTV	: <i>Gross Tumor Volume</i>
Gy	: <i>Gray</i>
HDR-BT	: <i>High Dose Rate Brachytherapy</i>
HPV	: <i>Human Papillomavirus</i>
IAEA	: <i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRP	: <i>Commission on Radiological Protection</i>
IMRT	: <i>Intensity Modulated Radiation Therapy</i>
IAEA	: <i>Japan Atomic Energy Agency</i>
LAO	: <i>Left Anterior Oblique</i>
LINAC	: <i>Linear Accelerator</i>
LL	: <i>Lateral Left</i>
LPO	: <i>Left Posterior Oblique</i>
LR	: <i>Lateral Right</i>
MCNP	: <i>Monte Carlo N-Particle</i>
MRI	: <i>Magnetic Resonance Imaging</i>
MTV	: <i>Metabolic Tumor Volume</i>
MU	: <i>Monitor Unit</i>

OAR	: <i>Organ at Risk</i>
ORNL	: <i>Oak Ridge National Laboratory</i>
PA	: <i>Posterior-Anterior</i>
PDD	: <i>Percentage Depth Dose</i>
PHITS	: <i>Particle and Heavy Ion Transport code System</i>
PRTKMMN	: <i>Pusat Riset Tenaga Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir</i>
PTV	: <i>Planning Target Volume</i>
RAO	: <i>Right Anterior Oblique</i>
RIST	: <i>Research Institute of Science and Technology</i>
RPO	: <i>Right Posterior Oblique</i>
TeV	: <i>Tera Electron Volt</i>
TeV/u	: <i>Tera Electron Volt per Nucleon</i>
TPS	: <i>Treatment Planning System</i>
VMAT	: <i>Volumetric Modulated Arc Therapy</i>
2D	: <i>2 Dimensi</i>
3DCRT	: <i>3 Dimensional Conformal Radiation Therapy</i>