



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**OPTIMASI LAPANGAN PENYINARAN RADIASI PADA
TERAPI SINAR-X UNTUK KANKER PARU-PARU
MENGUNAKAN PROGRAM PHITS VERSI 3.33
GUNA MENUNJANG TERAPI KANKER
DI RUMAH SAKIT**

MUFTI LABIB AHMADA

320210304015

**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 NASKAH SKRIPSI

Nama : Mufti Labib Ahmada
NIM : 320210304015
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi Lapangan Penyinaran Radiasi pada Terapi Sinar-X untuk Kanker Paru-Paru Menggunakan Program PHITS Versi 3.33 Guna Menunjang Terapi Kanker di Rumah Sakit

Dosen Pembimbing I,



Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC
NIP. 199001202022032002
Tanggal : 14 / 07 / 25

Dosen Pembimbing II,



Mutmainnah, S.Si., M.Si.
NIP. 199306162022032002
Tanggal : 14 / 07 / 25

Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal : 15 / 07 / 25

Dekan Fakultas MIPA Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal : 16 / 07 / 25

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Mufti Labib Ahmada
NIM : 320210304015
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi Lapangan Penyinaran Radiasi pada Terapi Sinar-X untuk Kanker Paru-Paru Menggunakan Program PHITS Versi 3.33 Guna Menunjang Terapi Kanker di Rumah Sakit

No.	Nama	Tanda tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC NIP. 199001202022032002		14/07/25
2.	Dosen Pembimbing II Mutmainnah, S.Si, M.Si. NIP. 199306162022032002		14/07/25
3.	Dosen Penguji I Dr. Mutia Meireni, S.S.T., M.Si., M.Sc. NIP. 198905242022032003		10/07/25
4.	Dosen Penguji II Kol Tek. M. Zuhnir P., S.Si, M.Eng. NRP. 522657		15/07/25

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan 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 dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 15 Juli 2025



Mufti Labib Ahmada

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

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Mufti Labib Ahmada
NIM : 320210304015
Perguruan Tinggi : Universitas Pertahanan Republik Indonesia
Alamat Kampus : Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16810
Alamat Rumah : Jl. Nuri Sampang
Kelurahan Gunong Sekar Kecamatan Sampang
Jawa Timur 69215

Dengan ini menyetujui untuk memberikan ijin kepada pihak **Universitas Pertahanan Republik Indonesia**, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*) atas karya ilmiah kami yang berjudul: **"Optimasi Lapangan Penyinaran Radiasi pada Terapi Sinar-X untuk Kanker Paru-Paru Menggunakan Program PHITS Versi 3.33 Guna Menunjang Terapi Kanker di Rumah Sakit"**, beserta perangkat yang diperlukan (apabila ada).

Dengan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** ini pihak **Universitas Pertahanan Republik Indonesia** berhak menyimpan, mengalih-media atau *format*-kan, mengelolanya dalam pangkalan data (*database*), mendistribusikannya dan menampilkan atau mempublikasikannya di *internet* atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari kami selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta karya ilmiah tersebut.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak **Universitas Pertahanan Republik Indonesia**, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bogor
Pada tanggal : 15 Juli 2025

Yang menyatakan,



Mufti Labib Ahmada

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: "Optimasi Lapangan Penyinaran Radiasi pada Terapi Sinar-X untuk Kanker Paru-paru Menggunakan Program PHITS Versi 3.33 Guna Menunjang Terapi Kanker di Rumah Sakit" dapat diselesaikan. Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan RI, Bogor.
2. Kolonel Tek. M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng selaku Kepala Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan RI, Bogor.
3. Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC selaku pembimbing utama yang dengan penuh kearifan telah menyediakan waktu, tenaga, dan pemikirannya dalam membimbing penulis.
4. Mutmainnah, S.Si., M.Si. selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pemikirannya dalam membimbing penulis dan memberikan masukan kepada penulis.
5. Prof. Yohannes Sardjono selaku pembimbing BRIN yang telah meluangkan waktu dan pemikirannya dalam membimbing dan memberikan masukan kepada penulis.
6. Seluruh staf pengajar dan staf administrasi Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer

Universitas Pertahanan RI atas jasanya dalam mengajar dan melayani penulis.

7. Bapak Moh. Holil, Ibu Ainun Jariyah, Mbak Rizka Aulya, Mbak Shofi Fitrotis Salimah, Mbak Atina Nabila, adik Moh. Ghazi Al-Ghifari, dan seluruh keluarga yang senantiasa mendukung penulis.
8. Adilla Fida Sauqina selaku pihak yang menemani penulis dari jarak jauh.
9. Teman seperjuangan Fisika angkatan 2021 serta adik-adik angkatan 2022-2025 yang senantiasa menemani dan mendukung penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Dalam penulisan skripsi, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi semua pihak terkait dalam upaya pemanfaatan radioterapi di bidang kesehatan.

Bogor, Juli 2025

Mufti Labib Ahmada

ABSTRAK

OPTIMASI LAPANGAN PENYINARAN RADIASI PADA TERAPI SINAR-X UNTUK KANKER PARU-PARU MENGGUNAKAN PROGRAM PHITS VERSI 3.33 GUNA MENUNJANG TERAPI KANKER DI RUMAH SAKIT

Kanker paru-paru merupakan jenis kanker paling mematikan di Indonesia dengan potensi kematian sebesar 88,27%, di mana pada tahun 2022 tercatat 38.904 kasus dan 34.339 kematian menurut data WHO. Terapi kanker di Indonesia berkembang melalui pemanfaatan *linear accelerator (Linac)* dengan teknik SBRT, namun masih menghadapi tantangan dalam optimalisasi jumlah lapangan penyinaran yang memengaruhi efektivitas distribusi dosis ke tumor dan jaringan sehat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jumlah lapangan penyinaran terapi sinar-X yang optimal dalam penanganan kanker paru-paru stadium I. Metode yang digunakan adalah metode simulasi menggunakan perangkat lunak *Particle and Heavy Ion Transport System (PHITS)*. Simulasi penyinaran radioterapi dimodelkan secara komputasional menggunakan perangkat lunak dengan sumber foton dari Linac dengan energi 10 MV. Objek penelitian didesain menggunakan *phantom* pria ORNL (versi 1996). Desain penyinaran dilakukan dengan skema 7, 9, dan 11 lapangan dengan jarak sumber sinar ke permukaan sebesar 80 cm. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan. Kurva PDD menunjukkan dosis yang diserap sel kanker dengan penggunaan 7, 9, dan 11 lapangan berturut-turut adalah 1,94 Gy, 2,03 Gy dan 2,06 Gy dengan waktu penyinaran 303 detik, 321 detik, dan 328 detik. Penggunaan 9 dan 11 lapangan memerlukan 6 kali fraksi, sedangkan penggunaan 7 lapangan memerlukan 7 kali fraksi. Hasil penelitian menunjukkan 9 lapangan lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan 7 dan 11 lapangan karena memiliki dosis total pada organ berisiko paling kecil dan waktu iradiasi lebih singkat daripada penggunaan 11 lapangan. Kesimpulannya adalah perencanaan terapi sinar-X untuk kanker paru-paru stadium I lebih optimal dengan menggunakan 9 lapangan penyinaran.

Kata kunci: Lapangan penyinaran, dosis, waktu iradiasi, fraksinasi.

ABSTRACT

OPTIMISATION OF RADIATION FIELD IRRADIATION IN X-RAY THERAPY FOR LUNG CANCER USING PHITS VERSION 3.33 TO SUPPORT CANCER THERAPY IN HOSPITALS

Lung cancer is the deadliest type of cancer in Indonesia, with a mortality rate of 88.27%. In 2022, there were 38,904 cases and 34,339 deaths, according to WHO data. Cancer therapy in Indonesia has advanced through the use of linear accelerators (Linac) with SBRT techniques; however, challenges remain in optimising the number of radiation fields, which affects the effectiveness of dose distribution to the tumour and healthy tissue. The objective of this study is to determine the optimal number of radiation fields for X-ray therapy in the treatment of stage I lung cancer. The method used is a simulation method employing the Particle and Heavy Ion Transport System (PHITS) software. Radiotherapy irradiation simulations were computationally modelled using the software with a photon source from a Linac at 10 MV energy. The research object was designed using the ORNL male phantom (1996 version). The irradiation design was performed using 7, 9, and 11 fields with a source-to-surface distance of 80 cm. The results obtained were then compared. The PDD curves showed that the absorbed dose in cancer cells using 7, 9, and 11 fields, respectively, was 1.94 Gy, 2.03 Gy, and 2.06 Gy, with irradiation times of 303 seconds, 321 seconds, and 328 seconds. The use of 9 and 11 fields required 6 fractions, while the use of 7 fields required 7 fractions. The study results indicate that 9 fields are more optimal than 7 and 11 fields because they have the lowest total dose to at-risk organs and shorter irradiation time compared to 11 fields. The conclusion is that X-ray therapy planning for stage I lung cancer is more optimal using 9 irradiation fields.

Keywords: Irradiation field, dose, irradiation time, fractination.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat Teoritis	4
1.4.2 Manfaat Praktis	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Interaksi Sinar-X dengan Materi	6
2.1.2 Dosimetri Radiasi	8
2.1.3 Waktu Iradiasi	10
2.1.4 Radioterapi	11
2.1.5 Organ Paru-paru	18
2.1.6 <i>Particle and Heavy Ion Transport System (PHITS)</i>	22
2.1.7 <i>Phantom Pria ORNL</i>	22

2.2	Hasil Penelitian Terdahulu	23
2.3	Kerangka Berpikir	29
2.4	Hipotesis	29
BAB III METODE PENELITIAN.....		31
3.1	Metode dan Desain Penelitian	31
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan	32
3.3.1	Alat	32
3.3.2	Bahan	32
3.4	Variabel Penelitian	34
3.5	Prosedur Penelitian	34
3.5.1	Pembuatan <i>Voxel Phantom</i>	35
3.5.2	Pembuatan <i>Voxel Linac</i>	37
3.5.3	Penyinaran Radiasi	38
3.6	Metode Analisis	40
3.6.1	Analisis Dosis Pada Organ	40
3.6.2	Analisis Waktu Iradiasi Penyinaran	41
3.6.3	Analisis Jumlah Fraksinasi	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1	Hasil Penelitian	42
4.1.1	Variasi Jumlah Lapangan Terhadap Distribusi Dosis Setiap Organ	42
4.1.2	Variasi Jumlah Lapangan Terhadap Dosis Total Organ	49
4.1.3	Variasi Jumlah Lapangan Terhadap Dosis <i>Organ-at-risk</i> (OAR)	55
4.1.4	Variasi Jumlah Lapangan Terhadap Dosis Organ Target	56
4.1.5	Waktu Iradiasi dan Jumlah Fraksinasi	57
4.2	Pembahasan	59
4.2.1	Hubungan Jumlah Lapangan Penyinaran terhadap Distribusi Dosis Serap pada OAR	59
4.2.2	Dosis <i>Organ at Risk</i> (OAR) pada Penyinaran 3 Variasi Jumlah Lapangan Penyinaran	60

4.2.3	Hubungan Jumlah Lapangan Penyinaran terhadap Dosis Serap Total pada OAR	61
4.2.4	Hubungan Jumlah Lapangan Penyinaran terhadap Dosis Serap pada Target GTV, CTV, dan PTV	62
4.2.5	Hubungan Jumlah Lapangan Penyinaran terhadap Jumlah Fraksinasi.....	63
4.2.6	Hubungan Jumlah Lapangan Penyinaran terhadap Waktu Iradiasi.....	65
4.2.7	Penerapan PHITS untuk <i>Treatment Planning System</i> di Rumah Sakit.....	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....		71
DAFTAR LAMIRAN		
LAMPIRAN A.....		77
LAMPIRAN B.....		79
LAMPIRAN C.....		82
LAMPIRAN D.....		86
LAMPIRAN E.....		100
LAMPIRAN F.....		101
LAMPIRAN G.....		103
LAMPIRAN H.....		105
LAMPIRAN I.....		107
LAMPIRAN J.....		108
LAMPIRAN K.....		110
LAMPIRAN L.....		112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Terjadinya Penyerapan Fotoelektrik.....	6
Gambar 2.2	Skema Fisis Terjadinya Efek Compton	7
Gambar 2.3	Skema Cara Kerja <i>Linac</i>	12
Gambar 2.4	Skema Penyinaran dari SBRT	15
Gambar 2.5	Karakteristik PDD Secara umum	17
Gambar 2.6	Anatomi Fisiologi Paru-Paru	18
Gambar 2.7	<i>Digital Chest Tomosynthesis</i> Organ Paru Penderita Kanker Stadium I	21
Gambar 2.8	Kerangka Berpikir Penelitian.....	29
Gambar 3.1	<i>Phantom</i> Pria Dewasa	32
Gambar 3.2	Prosedur Penelitian	35
Gambar 3.3	Hasil Pemodelan 2D Organ Berisiko pada Terapi Kanker Paru-paru Stadium I.....	37
Gambar 3.4	<i>Voxel Linac</i> 10 MV.....	38
Gambar 4.1	Grafik Dosis Serap Kulit pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	42
Gambar 4.2	Grafik Dosis Serap GTV pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	43
Gambar 4.3	Grafik Dosis Serap CTV dan PTV pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	44
Gambar 4.4	Grafik Dosis Serap Jaringan Lunak pada Setiap Sudut Penyinaran dengan Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	45
Gambar 4.5	Grafik Dosis Serap Tulang Rusuk pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	46
Gambar 4.6	Grafik Dosis Serap Paru-paru pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	47

Gambar 4.7	Grafik Dosis Serap Tulang Belakang pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	48
Gambar 4.8	Grafik Dosis Serap Jantung pada Setiap Sudut Penyinaran pada Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	49
Gambar 4.9	Diagram Dosis Serap pada Organ Berisiko dalam Penyinaran 7 Lapangan	50
Gambar 4.10	Grafik Dosis-Kedalaman Penyinaran Arah $25,71^{\circ}$	51
Gambar 4.11	Diagram Dosis Serap pada Organ Berisiko dalam Penyinaran 9 Lapangan	52
Gambar 4.12	Grafik Dosis-Kedalaman Penyinaran Arah 20°	53
Gambar 4.13	Diagram Dosis Serap pada Organ Berisiko dalam Penyinaran 11 Lapangan	54
Gambar 4.14	Grafik Dosis-Kedalaman Penyinaran Arah $16,36^{\circ}$	55
Gambar 4.15	Diagram Perbandingan Dosis Serap Total pada OAR dengan Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	56
Gambar 4.16	Diagram Dosis Serap Total pada GTV, CTV, dan PTV dengan Penggunaan 3 Variasi Lapangan Penyinaran	57
Gambar 4.17	Diagram Perbandingan Jumlah Lapangan dengan Jumlah Fraksinasi	63
Gambar 4.18	Diagram Hubungan Jumlah Lapangan Penyinaran Terhadap Waktu Iradiasi	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Dosis pada OAR	9
Tabel 2.2 Perbandingan Jenis-Jenis Teknik Penyinaran.....	14
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	24
Tabel 3.1 Waktu Penelitian Tugas Akhir	32
Tabel 3.2 Material Setiap Organ pada <i>Phantom</i>	36
Tabel 3.3 Parameter <i>Input</i> yang Digunakan.....	39
Tabel 3.4 Sudut pada Setiap Lapangan Penyinaran	40
Tabel 4.1 Waktu Iradiasi Total dan Jumlah Fraksinasi pada Penggunaan Variasi 7, 9, dan 11 Lapangan Penyinaran.....	58



DAFTAR SINGKATAN



WHO	: <i>World Health Organization</i>
Gy	: <i>Gray</i> (satuan dalam radiasi)
SCLC	: <i>Small Cell Lung Cancer</i>
NSCLC	: <i>Non-Small Cell Lung Cancer</i>
ORNL	: <i>Oak Ridge National Laboratory</i>
PHITS	: <i>Particle and Heavy Ion Transport System</i>
PDD	: <i>Percentage Deepth Dose</i>
MeV	: <i>Mega electron Volt</i>
Linac	: <i>Linear Accelerator</i>
GTV	: <i>Gross Tumor Volume</i>
PTV	: <i>Planning Tumor Volume</i>
CTV	: <i>Cross Tumor Volume</i>
ICRP	: <i>Internasional Commision Radiological Protection</i>
SBRT	: <i>Stereotactic Body Radio Therapy</i>
IMRT	: <i>Intensity-Modulated Radiation Therapy</i>
3D-CRT	: <i>Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy</i>
VMAT	: <i>Volumetric Modulated Arc Therapy</i>