



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**OPTIMASI DOSIS DAN WAKTU IRADIASI PADA KANKER
USUS BESAR MENGGUNAKAN TERAPI PROTON
DENGAN PHITS VERSI 3.341 GUNA Mendukung
MUTU KESEHATAN NASIONAL DALAM
TERAPI KANKER**

NURIN KRISFINA AWALIA YASIN

320210304019

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

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI FISIKA**

BOGOR 2025



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**OPTIMASI DOSIS DAN WAKTU IRADIASI PADA KANKER
USUS BESAR MENGGUNAKAN TERAPI PROTON
DENGAN PHITS VERSI 3.341 GUNA Mendukung
MUTU KESEHATAN NASIONAL DALAM
TERAPI KANKER**

NURIN KRISFINA AWALIA YASIN

320210304019

**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 : Nurin Krisfina Awalia Yasin
NIM : 320210304019
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi Dosis dan Waktu Iradiasi pada Kanker Usus Besar dengan Terapi Proton Menggunakan PHITS Versi 3.341 Guna Mendukung Mutu Kesehatan Nasional dalam Terapi Kanker

Dosen Pembimbing 1,



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

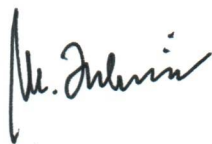
Dosen Pembimbing 2,



Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC
NIP. 198708242022032001
Tanggal : 15 Juli 2025

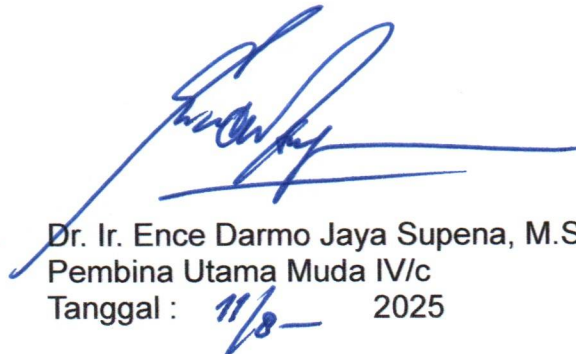
Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhnur Piliang, S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal : 5 Agustus 2025

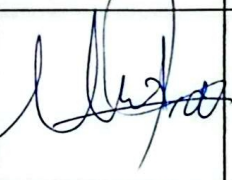
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal : 11/8- 2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Nurin Krisfina Awalia Yasin
NIM : 320210304019
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi Dosis dan Waktu Iradiasi pada Kanker Usus Besar dengan Terapi Proton Menggunakan PHITS Versi 3.341 Guna Mendukung Mutu Kesehatan Nasional dalam Terapi Kanker

No	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing 1 : Aditya Tri Oktaviana, S.Si., M.Si. NIP. 199210082022031003		14/7/2025
2.	Dosen Pembimbing 2: Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC NIP. 198708242022032001		15/7/2025
3.	Dosen Penguji 1: Dr. Mutia Meireni, S.S.T., M.Sc., M.Si. NIP. 198905242022032003		9/7/2025
4.	Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Rudi Lazuardi, S.Si., M.Si. Kolonel Laut (KH) NRP. 12824/P		17/7/2025

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

Bogor, 1 Agustus 2025



Nurin Krisfina Awalia Yasin

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

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Nurin Krisfina Awalia Yasin
NIM : 320210304019
Perguruan Tinggi : Universitas Pertahanan Republik Indonesia
Alamat Kampus : Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup,
Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16810
Alamat Rumah : Jl. Krajan Barat No. 08 RT/RW-03/02, Kel. Pecalukan,
Kec. Prigen, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur 67157

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 Dosis dan Waktu Iradiasi pada Kanker Usus Besar Menggunakan Terapi Proton dengan PHITS Versi 3.341 Guna Mendukung Mutu Kesehatan Nasional dalam Terapi Kanker**", 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.

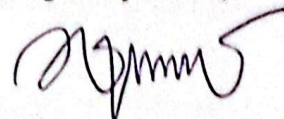
Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak **Universitas Pertahanan Republik Indonesia**, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bogor

Pada tanggal : 1 Agustus 2025

Yang menyatakan,



Nurin Krisfina Awalia Yasin

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: "Optimasi Dosis dan Waktu Iradiasi pada Kanker Usus Besar dengan Terapi Proton Menggunakan PHITS Versi 3.341 Guna Mendukung Mutu Kesehatan Nasional dalam Terapi Kanker" dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini ditunjukkan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI. Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini Kadet Mahasiswa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Letnan Jenderal TNI (Purn.) Dr. Anton Nugroho, M.MDS., M.A. selaku Rektor Universitas Pertahanan RI.
2. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer.
3. Bapak M. Zuhnir Piliang., S.Si., M.Eng. sebagai Kepala Program Studi Fisika.
4. Bapak Aditya Tri Oktaviana, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga dan bimbingan dalam penulisan skripsi.
5. Ibu Raditya Faradina Pratiwi, S.Si., MHC. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah dengan sabar serta memberi masukan dan solusi pada bimbingan dalam penulisan skripsi.
6. Prof Ir. Yohannes Sardjono, APU., Ir. Gede Sutresna Wijaya, M.Eng., dan Ir. Isman Mulyadi Triatmoko sebagai pembimbing lapangan yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam pengambilan data untuk skripsi.

menjadi sumber kekuatan dan inspirasi dalam setiap langkah hidup saya.

8. Galuh Lithuayu, S.T. dan Wildhan Arya Nugra, S.T. sebagai pendamping lapangan yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam pengambilan data untuk skripsi.
9. Seluruh Staf dan Dosen Program Studi Fisika yang telah memberikan ilmu dan arahan selama masa studi.
10. Seluruh rekan Kadet Mahasiswa *Cohort 2* Program Studi Fisika yang saling mendukung satu sama lain.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi *stakeholder* terkait dalam upaya pengembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, 1 Agustus 2025



Nurin Krisfina Awalia Yasin

ABSTRAK

OPTIMASI DOSIS DAN WAKTU IRADIASI PADA KANKER USUS BESAR DENGAN TERAPI PROTON MENGGUNAKAN PHITS VERSI 3.341 GUNA MENDUKUNG MUTU KESEHATAN NASIONAL DALAM TERAPI KANKER

Kanker usus besar merupakan salah satu jenis kanker yang menduduki peringkat ke-2 angka kematian di Indonesia dan membutuhkan penanganan lanjutan. Pemilihan terapi untuk pasien kanker usus besar hendaknya mempertimbangkan metode pengobatan yang mampu meminimalkan efek samping dan mempertahankan kualitas hidup pasca pengobatan, seperti radioterapi. Perkembangan terapi kanker di Indonesia masih berada dalam tahap pengembangan, yang umum digunakan saat ini adalah radioterapi dengan radiasi foton sedangkan terapi proton sedang dalam tahap pembangunan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis optimasi laju dosis berdasarkan arah penyinaran pada terapi proton, serta menentukan dosis yang diserap oleh *Organ At Risk* (OAR). Simulasi iradiasi kanker usus besar direpresentasikan dengan perangkat lunak *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS) versi 3.341. Energi proton dengan rentang 37 MeV dan interval energi 1 MeV digunakan dengan paparan pada kanker dari 5 arah penyinaran yaitu *Anterior-Posterior* (AP/0°), *Left Anterior Oblique* (LAO/45°), *Lateral Left* (LL/90°), *Left Posterior Oblique* (LPO/135°), *Posterior-Anterior* (PA/180°). Target tumor berupa bola dengan diameter 2 cm pada kedalaman 8 cm dan dosis yang digunakan 50.4 Gy dalam 28 fraksinasi. Hasil simulasi menunjukkan semakin besar nilai energi maka berkas proton akan menembus target lebih jauh. Kemudian, laju dosis akan meningkat seiring dengan semakin pendeknya waktu iradiasi. Arah penyinaran efektif adalah AP dengan waktu penyinaran 72.988 detik sehingga mendapatkan dosis 1,8 Gy per fraksi. Dosis yang diserap OAR arah penyinaran AP adalah usus besar (1,3 Gy), usus halus (0,0000031 Gy), dan tulang panggul (0,02389 Gy).

Kata Kunci: Kanker Usus Besar, Terapi Proton, PHITS, Dosimetri.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF DOSE RATE AND IRRADIATION TIME IN COLON CANCER WITH PROTON THERAPY USING PHITS VERSION 3.341 TO SUPPORT NATIONAL HEALTH QUALITY IN CANCER THERAPY

Colon cancer is one type of cancer that ranks 2nd of mortality in Indonesia and needs follow-up treatment. The selection of therapy for colorectal cancer patients should consider treatment methods that can minimize side effects and maintain quality of life after treatment, such as radiotherapy. Cancer therapy development in Indonesia is still in the growth phase, with photon-based radiotherapy currently being the most commonly used method, while proton therapy is still under development. This research was conducted to analyze optimization of dose rate and irradiation time in proton therapy, and determine the dose absorbed by Organ At Risk (OAR). Simulation of large cancer irradiation is represented by the Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) software version 3.341. Proton energy with range of 37 MeV and interval energy of 1 MeV was used with exposure at cancer from 5 irradiation direction such as Anterior-Posterior(AP/0°), Left Anterior Oblique (LAO/45°), Lateral Left (LL/90°), Left Posterior Oblique (LPO/135°), Posterior-Anterior(PA/180°). Tumor target of irradiation is a sphere with a diameter of 2 cm at a depth of 8 cm and the dose prescription used 50.4 Gy in 28 fractionation. The result of the simulation indicated the more values of energy, so the beam will through the target further. Then, the dose rate will increase as the irradiation time becomes shorter. The effective irradiation direction is AP with an irradiation time of 72.988 second to get a dose 1.8 Gy per fraction. The doses absorbed by OAR of Anterior-Posterior (AP) irradiation direction are colon (1.3 Gy), small intestine (0,0000031 Gy), and pelvis (0.02389 Gy).

Keywords: Colon Cancer, Proton Therapy, PHITS, Dosimetry.

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Landasan Teori.....	4
2.2. Hasil Penelitian Terdahulu.....	16
2.3. Kerangka Berpikir.....	18
2.4. Hipotesis.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1. Metode dan Desain Penelitian.....	19
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.4. Variabel Penelitian.....	22
3.5. Prosedur Penelitian.....	23

3.6.	Metode Analisis Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1.	Hasil.....	32
4.2	Pembahasan.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		44
LAMPIRAN A		50
LAMPIRAN B		55
LAMPIRAN C		57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi Usus Besar.....	4
Gambar 2.2 Faktor Risiko Kanker Usus Besar.....	5
Gambar 2.3 <i>Imaging</i> Kanker Usus Besar Menggunakan MRI.....	6
Gambar 2.4 Hubungan antara GTV, CTV, dan PTV.....	7
Gambar 2.5 Skema Mekanisme Interaksi Proton dengan Materi	8
Gambar 2.6 Grafik Dosis yang Diterima OAR terhadap Kedalaman	11
Gambar 2.7 Angka Insiden Kanker Usus Besar Berdasarkan Jenis Kelamin Pada Tahun 2020 Menurut WHO	14
Gambar 2.8 Kerangka Berpikir Penelitian	18
Gambar 3.1 Alur Penelitian Pembuatan Geometri Kanker Usus Besar dan <i>Absorber</i>	23
Gambar 3.2 Alur Penelitian untuk Optimasi Dosis dan Waktu Iradiasi	24
Gambar 3.3 Visualisasi Pemodelan 3D <i>Phantom</i> Tubuh Laki-laki Bagian Perut.....	26
Gambar 3.4 Visualisasi Pemodelan 2D Potongan Koronal <i>Phantom</i> Tumor Target.....	27
Gambar 3.5 Visualisasi Pemodelan 2D Potongan Aksial <i>Phantom</i> Tumor Target.....	27
Gambar 3.6 Visualisasi Pemodelan 2D Potongan Sagital <i>Phantom</i> Tumor Target.....	27
Gambar 3.7 Visualisasi (a) 2-D dan (b) 3-D Pemodelan <i>Absorber</i>	29
Gambar 4.1 Visualisasi Arah <i>Anterior-Posterior</i> (AP/0°) (a) Potongan Koronal (b) Potongan Aksial (c) Potongan Sagital.....	33
Gambar 4.2 Kurva Gabungan <i>Bragg Peak</i> Arah Penyinaran <i>Anterior- Posterior</i> (AP/0°)	34
Gambar 4.3 Kurva <i>Spread Of Bragg Peak</i> (SOBP) untuk Arah Penyinaran <i>Anterior-Posterior</i> (AP/0°).....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	16
Tabel 3.1 Rencana Penelitian	20
Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop yang Digunakan dalam Penelitian.....	20
Tabel 3.3 Spesifikasi Perangkat Lunak dalam Penelitian	21
Tabel 3.4 Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	21
Tabel 3.5 Komposisi OAR pada Kanker Usus Besar.....	25
Tabel 3.6 Nomor Atom dan Nomor Massa Unsur Penyusun Organ dan Absorber	26
Tabel 3.7 <i>Output</i> Volume Organ.....	28
Tabel 3.8 Batasan Dosis Terapi Kanker Usus Besar	29
Tabel 3.9 <i>Input</i> PHITS yang Digunakan dalam Penelitian	30
Tabel 4.1 Rentang Energi dari 5 Arah Penyinaran	32
Tabel 4.2 Waktu Iradiasi-Persentase Dosis OAR 5 Arah Penyinaran	36

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

2D	=	Dua Dimensi
3D	=	Tiga Dimensi
AP	=	<i>Anterior-Posterior</i>
BRIN	=	Badan Riset dan Inovasi Nasional
CTV	=	<i>Clinical Target Volume</i>
GTV	=	<i>Gross Tumour Volume</i>
Gy	=	Gray
ICRP	=	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
ICRU	=	<i>International Commision on Radiation Units and Measurements</i>
IMRT	=	<i>Intensity-Modulated Radiation Therapy</i>
IAEA	=	<i>Japanese Atomic Energy Agency</i>
LAO	=	<i>Left Anterior Oblique</i>
LET	=	<i>Linear Energy Transfer</i>
LL	=	<i>Lateral-Left</i>
LPO	=	<i>Left Posterior Oblique</i>
MRI	=	<i>Magnetic Resonance Imaging</i>
OAR	=	<i>Organ At Risk</i>
ORNL	=	<i>Oak Ridge National Laboratory</i>
ORTN	=	Organisasi Riset Tenaga Nuklir
PA	=	<i>Posterior-Anterior</i>
PBT	=	<i>Proton Beam Theraphy</i>
PHITS	=	<i>Particle Heavy and Ion Transport System</i>
PTV	=	<i>Planning Target Volume</i>
RBE	=	<i>Relative Biological Effectiveness</i>
RS	=	Rumah Sakit
RSPAD	=	Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat
SOBP	=	<i>Spread-Out Bragg Peak</i>
TPS	=	<i>Treatment Planning System</i>