

SKRIPSI

**ANALISIS DISTRIBUSI DOSIS RADIASI
PADA TERAPI TANGKAPAN PROTON-BORON UNTUK
KASUS MENINGIOMA DENGAN MENGGUNAKAN PHITS**

*Analysis of Radiation Dose Distribution in Boron-Proton Capture Therapy
for Meningioma Case by Using PHITS*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh
Muhammad Rafi Astamar
247003536003

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL
Jakarta
2025**

**ANALISIS DISTRIBUSI DOSIS RADIASI
PADA TERAPI TANGKAPAN PROTON-BORON UNTUK
KASUS MENINGIOMA DENGAN MENGGUNAKAN PHITS**

*Analysis of Radiation Dose Distribution in Boron-Proton Capture Therapy
for Meningioma Case by Using PHITS*



Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Sains** pada
Program Studi Fisika

Oleh
Muhammad Rafi Astamar
247003536003

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS NASIONAL**

**Jakarta
2025**

**PERNYATAAN
BEBAS PRAKTIK PLAGIARISME**

Dengan ini saya nyatakan sesungguhnya bahwa Skripsi dan seluruh isinya yang berjudul :

**“ANALISIS DISTRIBUSI DOSIS RADIASI PADA TERAPI TANGKAPAN
PROTON-BORON UNTUK KASUS MENINGIOMA DENGAN
MENGUNAKAN PHITS”**

adalah benar karya saya sendiri yang ditulis dibawah arahan dan bimbingan dosen pembimbing. Sepanjang pengetahuan saya di dalamnya tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika penulisan karya ilmiah yang berlaku, dari karya ilmiah sejenis yang pernah ditulis atau diajukan oleh penulis lain untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Lembaga Pendidikan lain, kecuali semua kutipan dan rujukan dalam karya ini baik yang terpublikasikan maupun tidak, telah dengan jelas saya sebutkan dalam daftar pustaka.

Jika dalam karya tulis ini nantinya masih ditemukan adanya unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya dan diproses sesuai pertauran yang berlaku.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sejujur-jujurnya.

Jakarta,



Muhammad Rafi Astamar
247003536003

**PERNYATAAN
PELIMPAHAN HAK PUBLIKASI SKRIPSI**

Untuk kepentingan penyebaran dan kemajuan ilmu pengetahuan, maka dengan ini saya menyatakan bersedia dan menyetujui untuk melimpahkan hak cipta atas karya tulis saya beserta perangkat prototypenya, yang berjudul :

**“ANALISIS DISTRIBUSI DOSIS RADIASI PADA TERAPI TANGKAPAN
PROTON-BORON UNTUK KASUS MENINGIOMA DENGAN
MENGUNAKAN PHITS”**

kepada Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional untuk menyimpan, mengalihmediakan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), dan merawat, serta memublikasikan skripsi saya sepanjang tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagi pemilik Hak Cipta.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan tanpa tekanan dari pihak manapun.

Jakarta,
Yang menyatakan


Muhammad Rafi Astamar
247003536003

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**ANALISIS DISTRIBUSI DOSIS RADIASI
PADA TERAPI TANGKAPAN PROTON-BORON UNTUK KASUS
MENINGIOMA DENGAN MENGGUNAKAN PHITS**

Ditulis dan dipersiapkan oleh :

Muhammad Rafi Astamar
247003536003

Disetujui untuk diajukan pada sidang skripsi Program Studi Fisika

Disetujui Oleh :

Pembimbing I


Febria Anita, S.Si., M.Sc.
NIDN. 0328028501

Pembimbing II


Dr. Susilo Widodo, M.Eng.
NIP. 19580414 1980031005

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika


Purwaningsih, S.Si., M.Sc.
NIDN. 0613078501

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS DISTRIBUSI DOSIS RADIASI
PADA TERAPI TANGKAPAN PROTON-BORON UNTUK KASUS
MENINGIOMA DENGAN MENGGUNAKAN PHITS**

Ditulis oleh :

Muhammad Rafi Astamar
247003536003

Telah dipertahankan di depan dan diuji oleh para dewan penguji skripsi, dan dinyatakan:

LULUS

Jakarta, 24 Februari 2025

Penguji I



Prof. Dr. H. Budi Santoso, M.Sc.
NIDN. 050090569

Penguji II



Ni Larasati Kartika Sari, S.Pd, M.Si.
NIDN. 0320898001

Penguji III



Drs. Nalsali Pinem, M.Si.
NID. 050083085

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Dengan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Distribusi Dosis Radiasi pada Terapi Tangkapan Proton-Boron untuk Kasus Meningioma dengan Menggunakan PHITS**”. Penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika.

Selama proses penulisan skripsi ini, penulis mendapat bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Febria Anita, S.Si, M.Sc., selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Susilo Widodo, M.Eng. selaku pembimbing II yang telah membimbing serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Ibu dan Ayah serta keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan moril serta bantuan materiil.
3. Ibu Purwantiningsih, S.Si., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional.
4. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional.
5. Semua pihak yang turut memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam karya tulis ini. Oleh sebab itu, demi kesempurnaan karya tulis ini, penulis menerima dengan tangan terbuka untuk setiap kritik serta saran dari para pembaca. Akhir kata, besar harapan penulis agar skripsi ini bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi pengembangan ilmu pengetahuan fisika, khususnya di bidang Fisika Medik.

Jakarta, 14 Februari 2025

Muhammad Rafi Astamar

ABSTRAK

Astamar, Muhammad Rafi, 2025. Analisis Distribusi Dosis Radiasi pada Terapi Tangkapan Proton-Boron untuk Kasus Meningioma dengan Menggunakan PHITS. Dibimbing oleh: Febria Anita, S.Si., M.Sc. dan Dr. Susilo Widodo, M.Eng.

Beragam cara dilakukan untuk meningkatkan efektivitas terapi proton, salah satunya adalah *boron-proton capture therapy* (BPCT). Pada teknik BPCT, secara teoretis, proton yang diiradiasikan ke sel yang telah terakumulasi ^{11}B akan menghasilkan reaksi $p+^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha$. Penelitian ini akan menganalisis efektivitas teknik tersebut melalui perhitungan simulasi Monte Carlo dengan menggunakan *particle and heavy ions transfer code system* (PHITS). Simulasi dilakukan untuk mengestimasi distribusi dosis radiasi untuk kasus meningioma. Tumor meningioma diasumsikan berbentuk bola dengan jari-jari 1,85 cm pada kedalaman 1,41 cm dari permukaan kulit kepala bagian depan dengan volume yang terbagi menjadi PTV, CTV, dan GTV. Parameter input jaringan normal dan tumor diacu dari ICRP dan PNNL. Energi proton sebesar 59 – 89 MeV dipilih untuk disesuaikan dengan lokasi *spread out bragg peak* (SOBP) untuk mencakup kedalaman volume tumor. Diasumsikan bahwa di dalam jaringan tumor terkandung konsentrasi ^{11}B sebesar 50 dan 100 ppm. Hasil perhitungan distribusi dosis menunjukkan bahwa konsentrasi ^{11}B tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kenaikan dosis tumor. Dosis maksimum pada GTV diperoleh pada energi proton di sekitar 77 MeV. Pada energi tersebut juga diperoleh waktu iradiasi tersingkat untuk mencapai dosis tertentu. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa teknik BPCT belum realistis untuk diterapkan.

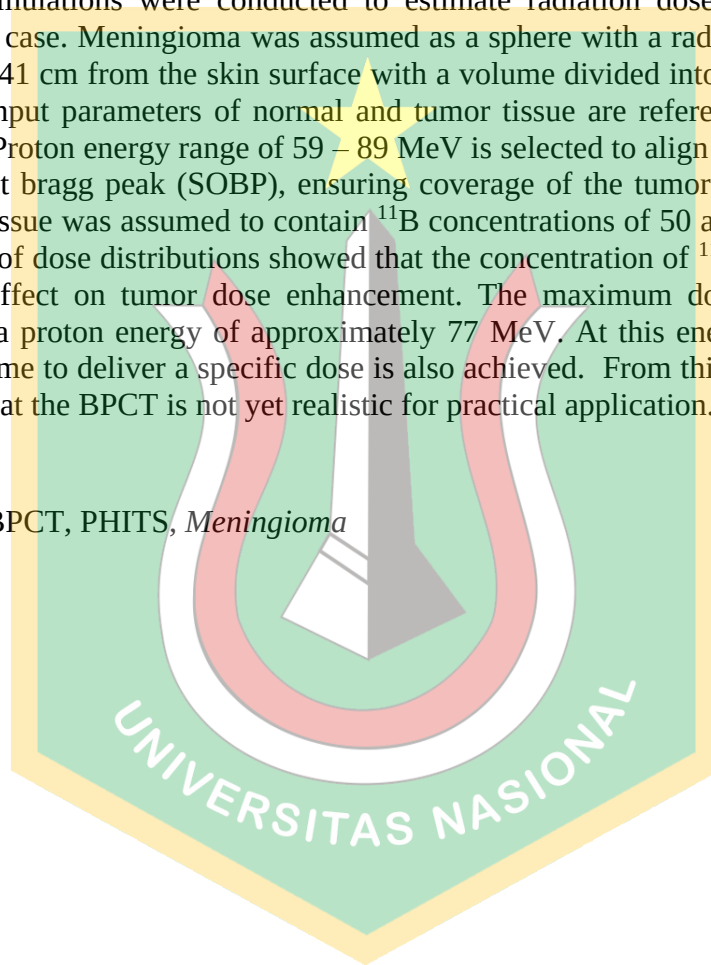
Kata kunci: BPCT, PHITS, Meningioma

ABSTRACT

Astamar, Muhammad Rafi, 2025. Analysis of Radiation Dose Distribution in Boron-Proton Capture Therapy for Meningioma Case by Using PHITS. Supervised by: Febria Anita, S.Si., M.Sc. and Dr. Susilo Widodo, M.Eng.

Various methods for enhancing the effectiveness of proton therapy have been studied, one of them is boron-proton capture therapy (BPCT). In BPCT, theoretically, protons irradiated into ^{11}B accumulated cells will induce the $p+^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha$ reactions. The purpose of this study is to analyze the effectiveness of BPCT through Monte Carlo simulation calculations using the particle and heavy ions transfer code system (PHITS). Simulations were conducted to estimate radiation dose distribution for meningioma case. Meningioma was assumed as a sphere with a radius of 1.85 cm at a depth of 1.41 cm from the skin surface with a volume divided into PTV, CTV, and GTV. The input parameters of normal and tumor tissue are referenced from ICRP and PNNL. Proton energy range of 59 – 89 MeV is selected to align with the location of spread out bragg peak (SOBP), ensuring coverage of the tumor volume's depth. The tumor tissue was assumed to contain ^{11}B concentrations of 50 and 100 ppm. The calculations of dose distributions showed that the concentration of ^{11}B did not have a significant effect on tumor dose enhancement. The maximum dose in GTV was achieved at a proton energy of approximately 77 MeV. At this energy, the shortest irradiation time to deliver a specific dose is also achieved. From this study, it can be concluded that the BPCT is not yet realistic for practical application.

Keywords: BPCT, PHITS, *Meningioma*



DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PRAKTIK PLAGIARISME	i
PERNYATAAN PELIMPAHAN HAK PUBLIKASI SKRIPSI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Interaksi Proton dengan Materi.....	5
2.1.2 Interaksi Proton dalam <i>Proton Beam Therapy</i>	7
2.1.3 Interaksi Proton dalam <i>Boron-Proton Capture Therapy</i> (BPCT)	9
2.1.4 Meningioma	11
2.1.5 Dosimetri	14
2.1.6 <i>Particle and Heavy Ions Transport code System</i> (PHITS)	16
2.2 Hasil Penelitian Terkini	19

BAB III	22
3.1 Desain Penelitian	22
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.4 Metode Penelitian	24
3.4.1 Variabel Penelitian.....	24
3.4.2 Metode Pengumpulan Data.....	24
3.4.2.1 Simulasi dengan Program PHITS	24
3.4.2.2 Pemodelan <i>Phantom</i>	30
3.4.2.3 Pemodelan Sumber	33
3.4.2.4 Perencanaan Terapi.....	35
3.5 Metode Analisis Data.....	36
3.6 Langkah Kerja Penelitian.....	39
BAB IV	43
4.1 Hasil Penelitian.....	43
4.1.1 Hasil Penentuan Energi Berkas Proton pada Teknik PBT.....	43
4.1.2 Hasil Penerapan Teknik BPCT	44
4.1.3 Karakteristik Hasil Perhitungan Distribusi Dosis Teknik PBT dan BPCT.....	47
4.2 Pembahasan	53
BAB V	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Interaksi proton dengan materi [32].....	5
Gambar 2.2 Kurva <i>Bragg</i> (laju pengurangan energi kinetik proton di dalam medium) dibandingkan dengan kurva yang didapat dari terapi foton [34].	8
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>proton-boron fusion reaction</i> dan interaksi antara partikel alfa dan DNA [24].	10
Gambar 2.4 Ilustrasi lokasi meningioma intrakranial [39].	11
Gambar 2.5 Institusi-institusi yang berkontribusi dalam pengembangan program PHITS. Garis biru menandakan kontrak antar institusi [53].	16
Gambar 2.6 Peta model fisika dan data library yang direkomendasikan untuk digunakan pada PHITS 3.33 untuk mensimulasikan interaksi antara berkas partikel dan inti atom dan/atau atom [30].	17
Gambar 3.1 Diagram berkas proton menuju <i>phantom</i>	22
Gambar 3.2 Tampilan potongan <i>sagittal</i> hasil pemodelan <i>phantom</i> kepala dengan meningioma.	32
Gambar 3.3 <i>Beam shaper</i> , kombinasi Kolimator dan Kompensator.	34
Gambar 3.4 Tampak samping berkas proton yang ditembakkan ke target setelah melewati <i>beam shaper</i>	35
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.	41
Gambar 3.6 Diagram alir simulasi dengan PHITS.	42
Gambar 4.1 Kurva Kedalaman-Dosis hasil perhitungan PHITS (89 MeV).	44
Gambar 4.2 Kurva Kedalaman-Dosis setiap energi (53 – 89 MeV).	44
Gambar 4.3 Kurva kedalaman-dosis PBT energi 59 MeV – 89 MeV.	45
Gambar 4.4 Kurva kedalaman-dosis BPCT energi 59 MeV – 89 MeV untuk konsentrasi ^{11}B sebesar 50 ppm.	45
Gambar 4.5 Kurva kedalaman-dosis BPCT energi 59 MeV – 89 MeV untuk konsentrasi ^{11}B sebesar 100 ppm.	46
Gambar 4.6 Kurva kedalaman-dosis BPCT energi 59 MeV – 89 MeV untuk konsentrasi ^{11}B sebesar 0 ppm, 50 ppm, dan 100 ppm.	46
Gambar 4.7 Kurva kedalaman-dosis BPCT energi 89 MeV untuk konsentrasi ^{11}B sebesar 0 ppm, 50 ppm, dan 100 ppm.	47
Gambar 4.8 Kurva hubungan antara laju dosis serap pada GTV untuk variasi energi proton.	48
Gambar 4.9 Kurva hubungan antara waktu iradiasi pada GTV untuk variasi energi proton.	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interaksi proton dengan materi [32].	6
Tabel 2.2 Klasifikasi meningioma oleh WHO [43].	12
Tabel 2.3 Daftar <i>section</i> yang digunakan [54].	18
Tabel 3.1 <i>Section</i> yang digunakan [54].	25
Tabel 3.2 Parameter yang digunakan dalam [parameters] [54].	25
Tabel 3.3. Informasi yang diberikan pada [source] [54].	26
Tabel 3.4 Keterangan pada <i>section</i> [surface] [54].	27
Tabel 3.5 Keterangan mengenai <i>surface symbol</i> dan <i>surface definition</i> pada <i>section</i> [surface] yang digunakan dalam penelitian ini [54].	28
Tabel 3.6 Keterangan pada <i>section</i> [cell] [54].	29
Tabel 3.7 Keterangan pada <i>section</i> [transformasi] [54].	30
Tabel 3.8 Keterangan pada <i>section</i> [tally] [54].	30
Tabel 3.9 Fraksi massa unsur penyusun jaringan normal.	31
Tabel 3.10 Fraksi massa unsur penyusun meningioma.	31
Tabel 3.11 Material penyusun kolimator dan kompensator [63].	33
Tabel 3.12 Nilai RBE setiap jenis radiasi [47–49].	38
Tabel 4.1 Laju dosis untuk setiap energi dan setiap konsentrasi ^{11}B pada GTV.	48
Tabel 4.2 Laju dosis dari kontribusi partikel alfa pada GTV untuk setiap energi dan setiap konsentrasi ^{11}B .	49
Tabel 4.3 Laju dosis ekuivalen total (proton, foton, neutron, dan alfa) untuk variasi energi (antara 59 MeV dan 89 MeV) dan konsentrasi ^{11}B pada GTV.	49
Tabel 4.4 Waktu iradiasi hingga GTV mendapatkan dosis 1,8 GyE.	50
Tabel 4.5 Waktu iradiasi total untuk setiap konsentrasi ^{11}B .	51
Tabel 4.6 Dosis ekuivalen jaringan tumor.	51
Tabel 4.7 Dosis ekuivalen untuk beberapa jaringan normal di sekitar tumor.	51
Tabel 4.8 Dosis ekuivalen alfa untuk variasi konsentrasi ^{11}B pada GTV.	52