

**ANALISIS DOSIS BORON PADA TERAPI KANKER
PANKREAS BERBASIS *BORON NEUTRON CAPTURE
THERAPY* (BNCT) MENGGUNAKAN
PHITS VERSI 3.30**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat Sarjana S1
Program Studi Fisika



Diajukan oleh :

Nanda Aisyah Putri

20106020002

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI FISIKA

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2024



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1128/Un.02/DST/PP.00.9/07/2024

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Dosis Boron pada Terapi Kanker Pankreas Berbasis Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) menggunakan PHITS Versi 3.30

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NANDA AISYAH PUTRI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020002
Telah diujikan pada : Jumat, 28 Juni 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
SIGNED

Valid ID: 668f7b0e6dc59



Penguji I
Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 668b5b53a1f59



Penguji II
Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 668b5e4b55b2b



Yogyakarta, 28 Juni 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6695e1acd9f3f

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nanda Aisyah Putri

NIM : 20106020002

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis Dosis Boron pada Terapi Kanker Pankreas Berbasis *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) menggunakan PHITS Versi 3.30” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 10 Juni 2024

Penulis



Nanda Aisyah Putri
NIM. 20106020002



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : NANDA AISYAH PUTRI
NIM : 20106020002
Judul Skripsi : Analisis Dosis Boron Pada Terapi Kanker Pankreas Berbasis *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)* Menggunakan PHITS Versi 3.30.

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 11 Juni 2024

Pembimbing II

Fajar Arianto, M.Si
NIP. 19860801 202104 1 001

Pembimbing I

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
NIP. 19820126 200801 2 008

MOTTO

“Hidup yang tidak dipertaruhkan tidak akan pernah dimenangkan, dan untuk memulai hal yang baru mencoba sesuatu yang lain memang terkadang kita harus mempertaruhkan apa yang kita punya”.

(Najwa Shihab)

“Jangan takut jatuh, karena yang tidak pernah memanjatlah yang tidak pernah jatuh. Dan jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak pernah melangkah. Dan jangan takut salah, karena dengan kesalahan yang pertama kita dapat menambah pengetahuan untuk mencari jalan yang benar pada langkah kedua”.

(Buya Hamka)

“Suatu hari aku akan duduk dan memberi selamat kepada diriku sendiri, tersenyum dan berkata; itu sulit, tapi aku berhasil. Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, yang selalu memberikan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisis Dosis Boron pada Terapi Kanker Pankreas Berbasis *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) Menggunakan PHITS Versi 3.30”**. Penulis menyampaikan banyak terima kasih yang setulus-tulusnya atas bimbingan, dukungan serta moral, arahan dan semangat yang telah diberikan selama penyusunan laporan tugas akhir kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Phill. Al Makin, S.Ag., M.A selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D, selaku Kepala Program Studi Fisika yang selalu memberikan bantuan selama perkuliahan berlangsung.
4. Ibu Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir atas segala bimbingan, arahan, saran dan dorongan yang selalu diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Fajar Arianto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir atas segala bimbingan, arahan, saran hingga semangat yang selalu diberikan kepada

penulis baik secara *daring* hingga *luring*, sehingga tugas akhir dapat terselesaikan dengan baik.

6. Teman-teman Fisika 2020 dan *study club* Biofisika dan Fisika medis 2020 yang membantu serta memberikan dukungan di setiap proses penulis.
7. Bapak Amulat dan Ibu Siyah Riyanti, selaku kedua orang tua penulis yang selalu mendukung untuk terus semangat dan bangkit dari kata menyerah. Alhamdulillah, kini penulis telah sampai ditahap ini, menyelesaikan karya tulis sederhana sebagai bukti bahwa Bapak dan Ibu telah sukses mendidik kedua anaknya hingga mendapatkan gelar sarjana. Terima kasih atas segala doa, kepercayaan, rasa cinta, kasih sayang, penguat dan pengingat paling hebat. Sehat selalu dan hiduplah lebih lama lagi, Bapak dan Ibu harus selalu ada di setiap perjalanan dan pencapaian hidup penulis.
8. Asep Nugroho, S.M. selaku kakak penulis. Terima kasih banyak atas kasih sayang, pengalaman dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan penuh keyakinan.
9. Intan, Anya, Nahda, Namira, Anjaly, dan Mentari selaku teman seperjuangan penulis. Terima kasih selalu meluangkan waktu dalam berbagi tangis hingga tawa dan selalu menjadi rumah kedua penulis untuk pulang.
10. Asih Titin Rahayu selaku sahabat penulis. Terima kasih selalu mendukung dan menyempatkan untuk mendengar setiap cerita dan keluh kesah di tengah kesibukan.

11. Terakhir untuk diri sendiri, Nanda Aisyah Putri. Terima kasih telah kuat sampai akhir, mengesampingkan ego dan memilih untuk kembali bangkit dan menyelesaikan semua ini. Terima kasih telah mengendalikan diri dari berbagai tekanan di luar keadaan dan tak pernah mau memutuskan untuk menyerah. Semoga tetap rendah hati, karena ini baru awal dari segalanya. Kamu hebat, Nanda!

Demikian kata pengantar yang disampaikan. Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir jauh dari kata sempurna oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan. Terimakasih

Wassalamu'alaikum. Wr.Wb.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ANALISIS DOSIS BORON PADA TERAPI KANKER PANKREAS
BERBASIS *BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY* (BNCT)
MENGGUNAKAN PHITS VERSI 3.30

Nanda Aisyah Putri
20106020002

INTISARI

Salah satu metode pengobatan kanker yang berbasis radioterapi adalah *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT). BNCT dilakukan dengan menginjeksikan senyawa Boron ke dalam tubuh kemudian diiradiasi dengan neutron yang berasal dari siklotron. Implementasi BNCT untuk kanker pankreas masih dalam tahap uji pra klinis. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan simulasi terapi kanker pankreas berbasis BNCT dan menganalisis pengaruh konsentrasi Boron terhadap laju dosis total, waktu iradiasi, dan dosis yang diterima oleh *Organ At Risk*. Simulasi pada penelitian ini menggunakan program *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS) versi 3.30. Variasi konsentrasi Boron yang digunakan sebesar 100, 110, 120, 130, 140, dan 150 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker dengan arah penyinaran depan (*Anterior Posterior – AP*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi Boron mempengaruhi besarnya laju dosis total dan waktu iradiasi. Konsentrasi Boron optimal untuk pengobatan kanker pankreas yaitu 150 $\mu\text{g/g}$, dengan nilai laju dosis sebesar $2,15\text{E-}02$ Gy/s dan waktu iradiasi 38 menit 46 detik. OAR pada penelitian ini yaitu hati, lambung, rusuk, limpa dan kulit menerima dosis sebesar 0,44 Gy, 0,85 Gy, 0,98 Gy, 1,68 Gy dan 2,81 Gy. Dosis yang diterima oleh *Organ At Risk* (OAR) masih di bawah batas aman dosis menurut BAPETEN No 6. Tahun 2010.

KATA KUNCI : *Kanker Pankreas, BNCT, Laju Dosis, Konsentrasi Boron, PHITS.*

**ANALYSIS OF BORON DOSAGE IN PANCREATIC CANCER BASED ON
BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT) USING PHITS**

VERSION 3.30

Nanda Aisyah Putri
20106020002

ABSTRACT

One of the radiotherapy-based cancer treatment methods is Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). BNCT is performed by injecting Boron compounds into the body and then irradiated with neutrons from a cyclotron. The implementation of BNCT for pancreatic cancer is still in the pre-clinical trial stage. The purpose of this study is to simulate BNCT-based pancreatic cancer therapy and analyze the effect of Boron concentration on the total dose rate, irradiation time, and dose received by the Organ At Risk. The simulation in this study used the Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) program version 3.30. Boron concentration variations used were 100, 110, 120, 130, 140, and 150 $\mu\text{g/g}$ cancer tissue with anterior posterior (AP) irradiation direction. The results showed that the variation of Boron concentration affected the total dose rate and irradiation time. The optimal Boron concentration for pancreatic cancer treatment is 150 $\mu\text{g/g}$, with a dose rate value of $2.15\text{E-}02$ Gy/s and an irradiation time of 38 minutes 46 seconds. The OAR in this study, namely liver, stomach, ribs, spleen and skin, received doses of 0.44 Gy, 0.85 Gy, 0.98 Gy, 1.68 Gy and 2.81 Gy. The dose received by the Organ At Risk (OAR) is still below the safe dose limit according to BAPETEN No. 6. Year 2010.

KEYWORDS: *Pancreatic Cancer, BNCT, Dose Rate, Boron Concentration, PHITS.*

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR.....	vi
INTISARI	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	15
2.2.1 Pankreas.....	15
2.3 Senyawa Boron	21
2.4 Boron Neutron Capture Therapy (BNCT).....	21
2.4.1 Konsep Dasar.....	21
2.4.2 Prinsip Kerja.....	22

2.4.3 Agen Pembawa Boron	24
2.4.4 Sumber Neutron.....	27
2.5 Interaksi Neutron dengan Materi.....	29
2.6 Siklotron	31
2.7 Dosimetri.....	34
2.7.1 Laju Dosis Total.....	36
2.7.2 Waktu Iradiasi	37
2.7.3 Dosis yang Diterima <i>Organ At Risk</i> (H).....	38
2.8 Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS).....	38
2.8.1 Proses Instalasi	39
2.8.2 <i>Section</i> dalam PHITS.....	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	42
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	42
3.2.1 Perangkat Keras	42
3.2.2 Perangkat Lunak	43
3.2.3 Bahan	43
3.3 Tahapan Penelitian.....	44
3.3.1 Studi Pustaka	46
3.3.2 Pengumpulan Data.....	46
3.3.3 Pemodelan Geometri dan BSA.....	47
3.3.4 Pembuatan <i>File Input Final</i> PHITS.....	47
3.3.5 Running PHITS	48
3.3.6 Output PHITS	48
3.3.7 Analisis Hasil Output.....	48
3.3.8 Metode Analisis Data.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Hasil Penelitian	50
4.1.1 Geometri Organ dan <i>Beam Shaping Assembly</i>	50

4.1.2 Laju Dosis Total.....	52
4.1.3 Waktu Iradiasi	54
4.1.4 Dosis yang Diterima oleh Jaringan Kanker dan Organ <i>At Risk</i> (OAR)	56
4.2 Pembahasan.....	57
4.2.1 Geometri Organ dan <i>Beam Shaping Assembly</i>	58
4.2.2 Laju Dosis Total.....	61
4.2.3 Waktu Iradiasi	63
4.2.4 Dosis yang Diterima Jaringan kanker dan <i>Organ At Risk</i> (OAR)	65
4.3 Integrasi-Interkoneksi.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kasus baru dan kematian akibat kanker di dunia pada tahun 2020.....	2
Tabel 1.2 Kasus baru dan kematian akibat kanker di Indonesia pada tahun 2020 .	2
Tabel 2.1 Referensi penelitian terdahulu	14
Tabel 2.2 Stadium kanker pankreas berdasarkan TNM edisi kedelapan.....	19
Tabel 2.3 Rekomendasi berkas neutron oleh IAEA.	29
Tabel 2.4 Faktor bobot radiasi	37
Tabel 3.1 Jadwal penelitian.	42
Tabel 3.2 Spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam penelitian.	43
Tabel 3.3 Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian.	43
Tabel 3.4 Bahan yang digunakan dalam penelitian.	43
Tabel 4.1 Grafik waktu iradiasi tiap konsentrasi Boron.	55
Tabel 4.2 Batas dosis dan efek deterministik yang ditimbulkan.	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Letak pankreas di dalam tubuh manusia (Mahadevan, 2019)	15
Gambar 2.2 Bagian-bagian pankreas (Rad, 2023).....	16
Gambar 2.3 Hasil pencitraan Computed-Tomography Scan; (a) Tomography Scan; (a) Organ pankreas sehat (Raghuwanshi dkk., 2016); (b) Kanker pankreas (Hopkins, 2023).....	17
Gambar 2.4 Konsep volume dalam radioterapi oleh ICRU No. 50 dan 62 (Podgorsak, 2005).....	20
Gambar 2.5 Mekanisme perusakan sel kanker secara selektif oleh BNCT (Lamba dkk, 2021).....	22
Gambar 2.6 Prinsip kerja BNCT (Bae dkk, 2022).	24
Gambar 2.7 Agen BPA dan BSH dengan isotop Boron-10 (Messner dkk, 2022).	25
Gambar 2.8 Struktur senyawa (a) BPA (b) ^{18}F -BPA (Fukumitsu & Matsumoto, 2021).....	26
Gambar 2.9 Tampilan skema sistem BNCT berbasis akselerator (Suzuki, 2020).	28
Gambar 2.10 Pergerakan partikel pada siklotron (Britannica, 2014).....	31
Gambar 2.11 Siklotron medis yang terletak di University Hospital Ulm/Solbach (Zippel dkk, 2022).....	32
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	44
Gambar 3.2 (lanjutan).....	45
Gambar 4.1 Hasil pemodelan geometri ; (a) secara 3D, (b) secara 2D.	51
Gambar 4.2 Hasil pemodelan geometri kanker pankreas; (a) secara 3D, (b) secara 2D.	51
Gambar 4.3 Hasil pemodelan BSA dan	52
Gambar 4.4 Grafik laju dosis toral tiap konsentrasi Boron untuk area kanker pankreas (GTV, CTV, dan PTV).....	53

Gambar 4.5 Grafik laju dosis total tiap konsentrasi Boron pada area OAR.....	54
Gambar 4.6 Grafik distribusi fluks neutron tiap kedalaman <i>phantom</i>	54
Gambar 4.7 Grafik waktu iradiasi tiap konsentrasi Boron.	55
Gambar 4.8 Grafik dosis ekuivalen tiap konsentrasi Boron pada area kanker pankreas (GTV, CTV dan PTV).	56
Gambar 4.9 Grafik dosis ekuivalen tiap konsentrasi Boron pada area OAR.	57
Gambar 4.10 Hasil MRI pasien kanker pankreas yang ditunjukkan pada anak panah berwarna merah (Stefanova dkk., 2023).	58
Gambar 4.11 Grafik perbandingan distribusi fluks untuk neutron termal dan epitermal pada tiap kedalaman (IAEA, 2001).	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. Material Penyusun Geometri	78
Lampiran II. Laju Dosis Total.....	78
Lampiran III. Waktu Iradiasi dan Dosis Ekuivalen	80
Lampiran IV. Kode Input PHITS	81



DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

AB-BNCT	: <i>Accelerator-Based BNCT</i>
AJCC	: <i>American Joint Committee on Cancer</i>
AP	: <i>Anterior-Posterior</i>
BNCT	: <i>Boron Neutron Capture Therapy</i>
BPA	: <i>Boronphenylalanine</i>
BSA	: <i>Beam Shaping Assembly</i>
BSH	: <i>Bercaptoundecahydrododecaborate</i>
CTV	: <i>Clinical Target Volume</i>
DNA	: <i>Deoxyribonucleic Acid</i>
GTV	: <i>Gross Tumour Volume</i>
IAEA	: <i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRP	: <i>International Commission on Radiological Protection</i>
ICRU	: <i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
ITV	: <i>Internal Target Volume</i>
LET	: <i>Linear Energy Transfer</i>
MCNP	: <i>Monte Carlo N-Particle Transport Code</i>
MIRD	: <i>Medical Internal Radiation Dose</i>
PTV	: <i>Planning Target Volume</i>
TNM	: <i>Tumour Nodule Metasis</i>
WHO	: <i>World Health Organization</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker merupakan salah satu penyakit mematikan yang hingga saat ini masih menjadi penyebab kematian utama di seluruh dunia. Kanker adalah penyakit yang merusak sel dalam tubuh. Mutasi DNA mengganggu proses metabolisme pembelahan sel sehingga sel terus membelah dan tidak terkendali (Matthews dkk, 2022). Akibatnya akan timbul benjolan yang disebut tumor. Selain kemampuannya untuk tumbuh besar dan menyerang jaringan di sekitarnya, tumor primer juga dapat mengirimkan sel kanker ke area lain di dalam tubuh dan bermetastasis (Iman, 2018). Metastasis kanker adalah penyebaran sel tumor dari tumor primer ke area lain di dalam tubuh melalui darah dan pembuluh limfatik (Guan, 2015).

Menurut World Health Organization (WHO) pada tahun 2020 jumlah kasus kematian akibat kanker mencapai angka 9.958.133 kasus dan jumlah kasus baru akibat kanker mencapai 19.292.789 kasus. Tabel 1.1 menyajikan data jumlah kasus baru dan kematian akibat kanker di seluruh dunia pada tahun 2020. Kanker pankreas menduduki peringkat ke-14 dengan jumlah 495.773 untuk kasus baru dan peringkat ke-7 dengan jumlah 446.003 untuk kasus kematian. Tabel 1.2 menyajikan data jumlah kasus baru dan kematian akibat kanker di Indonesia pada tahun 2020. Kanker pankreas menduduki peringkat ke-16 dengan jumlah 5.781 untuk kasus baru dan peringkat ke-11 dengan jumlah 5.690 untuk kasus kematian.

Tabel 1.1 Kasus baru dan kematian akibat kanker di dunia pada tahun 2020

Nama Kanker	Kasus Baru		Kematian	
	Jumlah	Peringkat	Jumlah	Peringkat
Payudara	2.261.419	1	684.996	4
Paru-paru	2.206.771	2	1.796.144	1
Prostat	1.414.259	3	375.340	8
Non-melanoma kulit	1.198.073	4	63.731	13
Usus besar	1.148.515	5	576.858	5
Perut	1.089.103	6	768.793	3
Hati	905.677	7	830.180	2
Rektum	732.210	8	339.022	10
Serviks	604.127	9	341.831	9
Kerongkongan	604.100	10	544.076	6
Tiroid	586.202	11	43.646	14
Kandung kemih	573.278	12	212.536	12
Non-hodgkin limfoma	544.352	13	259.793	11
Pankreas	495.773	14	446.003	7

Sumber : Sung dkk, 2021

Tabel 1.2 Kasus baru dan kematian akibat kanker di Indonesia pada tahun 2020

Nama Kanker	Kasus Baru		Kematian	
	Jumlah	Peringkat	Jumlah	Peringkat
Payudara	65.858	1	22.430	2
Leher rahim	36.633	2	21.003	3
Paru-paru	34.783	3	30.843	1
Hati	21.392	4	20.920	4
Nasofaring	19.943	5	13.399	5
Usus Besar	17.368	6	9.444	8
Limfoma non-Hodgkin	16.125	7	9.024	9
Rektum	16.059	8	8.342	10
Leukimia	14.979	9	11.530	6
Ovarium	14.896	10	9.581	7
Prostat	13.563	11	4.863	13
Tiroid	13.114	12	2.224	19
Kandung kemih	7.828	13	3.885	14
Korpus uterus	7.773	14	2.626	18
Otak	5.964	15	5.298	12
Pankreas	5.781	16	5.690	11

Sumber : Globocan, 2022

Penyebab kanker pankreas hingga saat ini masih belum diketahui. Beberapa penelitian mengenai kanker jenis ini menjelaskan bahwa penyebab kanker pankreas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti genetik, kebiasaan merokok, konsumsi alkohol berlebih, obesitas, diet, dan sebagainya. Rata-rata kasus baru kanker pankreas terdiagnosis antara usia 65-74 tahun, dengan rata-rata usia terdiagnosis

adalah 70 tahun. Berdasarkan data-data tersebut diperlukan skrining atau deteksi dini kanker pankreas pada populasi di atas usia tertentu agar faktor risiko parah dapat dihindari lebih awal (Hu dkk, 2021). Upaya skrining terhadap tubuh merupakan salah satu upaya untuk menjaga kesehatan.

Manusia dianjurkan untuk senantiasa menjaga kesehatan. Salah satunya dengan dilakukannya skrining rutin. Mencegah lebih baik daripada mengobati. Mencari pengobatan dari segala penyakit, termasuk kanker merupakan salah satu bentuk ikhtiar. Islam mendorong umatnya untuk menggunakan pengetahuan dan sumber daya yang ada dalam mencari solusi medis yang efektif (Khasanah, 2021). Sebagaimana dalam hadis di bawah ini.

مَا أَنْزَلَ اللَّهُ دَاءً إِلَّا أَنْزَلَ لَهُ شِفَاءً

Artinya; *“Tidaklah Allah menurunkan penyakit kecuali Dia juga menurunkan penawarnya”* (H.R. Imam Bukhari, Nomor 5246).

Berdasarkan hadis tersebut, kita tahu bahwa setiap penyakit yang terjadi pada makhluk hidup termasuk manusia pasti ada obat atau penawarnya. Hal tersebut berlaku juga dengan kanker yang pasti ada penawarnya. Penawar dapat ditemukan oleh manusia yang terus berusaha mencari dan meneliti. Dengan demikian manusia dianjurkan untuk melakukan segala usaha yang mungkin dalam mencari pengobatan yang efektif, seperti berkonsultasi dengan dokter, menjalani terapi medis, dan sebagainya.

Ada tiga modalitas untuk pengobatan terapi kanker pankreas yaitu pembedahan, kemoterapi dan radioterapi. Jenis pembedahan tergantung pada lokasi

dan ukuran tumor. Beberapa jenis operasi yang umum dilakukan adalah pankreatikoduodenektomi (prosedur *whipple*), pankrektomi distal, dan pankrektomi total. Pankrektomi total merupakan pengobatan yang paling efektif, namun hanya dapat dilakukan pada 10-20% kasus dengan tingkat keberlangsungan hidup hanya 10-15% dengan median 11-18 bulan. Kemoterapi dan radioterapi dapat diberikan sebelum atau sesudah operasi. Namun hasil yang diperoleh masih sangat terbatas dan diperlukan penelitian lebih lanjut karena dapat menyebabkan efek samping seperti mual, rambut rontok, muntah, dan yang terparah bisa merusak sel sehat (Probosari, 2018; Hu dkk, 2021).

Setiap modalitas pengobatan kanker tentu terdapat kelemahan dan keunggulan. Penggabungan dari berbagai modalitas pengobatan akan mengurangi efek samping yang timbul dan meningkatkan efisiensi hasil yang lebih baik. Metode *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) merupakan solusi dari permasalahan tersebut dengan menggabungkan antara modalitas kemoterapi dan radioterapi (Pramusinta dkk, 2019). BNCT adalah reaksi fisi berdasarkan penangkapan neutron oleh inti Boron untuk pengobatan kanker (He dkk, 2021). Boron adalah komponen cukup penting dalam terapi BNCT. Boron bertugas menyerap neutron. Banyaknya Boron yang masuk ke dalam tubuh pasien akan berpengaruh terhadap lamanya waktu iradiasi (Jalut dkk, 2020).

Area tumor diiradiasi dengan berkas neutron epitermal dengan intensitas dan energi yang sesuai. Ketika neutron epitermal bergerak melalui berbagai jaringan dan menjadi neutron termal, energinya turun. Partikel lithium dan alfa melepaskan

Linear Energy Transfer (LET) sebesar $\sim 150 \text{ keV}/\mu\text{m}$ dan $\sim 175 \text{ keV}/\mu\text{m}$ dalam jangkauan rendah ($<10 \mu\text{m}$) atau kira-kira seukuran sel. Satu sel berukuran sekitar $<10 \mu\text{m}$, sehingga reaksi BNCT hanya terjadi dalam satu sel saja. Akibatnya BNCT sering disebut dengan metode *cell targeting* karena tidak mempengaruhi sel sehat di sekitarnya (Sajad dkk, 2022; Mechetin & Zharkov, 2023).

Keberhasilan BNCT dalam terapi kanker sangat dipengaruhi oleh empat hal, yaitu sumber neutron, agen pembawa Boron, *Boron imaging* dan *treatment planning system* (Wang dkk, 2022; Bilalodin, 2022). Sumber neutron untuk BNCT dapat menggunakan reaktor nuklir dan akselerator. *Boron Imaging* berfungsi untuk memastikan Boron telah terdistribusi secara merata sebelum terapi BNCT dilakukan (Bilalodin, 2022). *Treatment planning system* (TPS) merupakan prosedur pra-terapi seperti penentuan posisi pasien, perencanaan dosis radiasi yang tepat dan sebagainya. Hal ini bertujuan untuk memastikan pengobatan tepat sasaran dan mengurangi kerusakan jaringan sehat (Baltas & Zamboglou, 2006; Kumada & Takada, 2018).

Dalam pemantauan distribusi dosis pada pasien, komponen yang harus diperhatikan dalam penyerapan dosis BNCT yaitu dosis gamma (D_γ), dosis neutron (D_n), dosis proton (D_p), dan dosis Boron (D_b) (Li dkk, 2021). Sebelum diterapkan pada pasien, BNCT memerlukan serangkaian proses perencanaan pengobatan dengan metode Monte Carlo untuk memperkirakan dosis (Lee & Lee, 2022). Metode Monte Carlo dapat digunakan dalam bidang radiologi diagnostik, fisika

radiasi maupun dosimetri. Salah satu *software* yang berbasis metode Monte Carlo adalah *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS). PHITS telah digunakan dalam berbagai bidang penelitian dan pengembangan seperti teknologi nuklir, desain akselerator, fisika medis, dan sebagainya (Sato dkk, 2015). Penelitian telah banyak dilakukan terkait dengan analisis dosis kanker berbasis *software* (Iman, 2018; Harish dkk, 2018; Jalut dkk, 2020; Agestha, 2023; Fithraturrahma, 2023). Penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa menentukan dosis terapi dalam jaringan tiruan dapat dilakukan dengan baik.

Beberapa penelitian terkait analisis dosis terapi BNCT pada kanker pankreas diantaranya dilakukan oleh Iman (2018) dan Nurjanah (2021). Penelitian Iman (2018) berupa analisis dosis BNCT pada kanker pankreas stadium IB yang belum bermetastasis. Sementara penelitian Nurjanah (2021) membandingkan hasil analisis dosis antara modalitas proton terapi dan BNCT pada kanker pankreas stadium IB yang belum bermetastasis. Kedua penelitian menunjukkan hasil yang sama bahwa konsentrasi Boron paling efektif untuk merusak sel kanker dengan cepat sebesar $150 \mu\text{g/g}$ jaringan kanker.

Penelitian yang dilakukan oleh Iman (2018) dan Nurjanah (2021) masih menggunakan sumber neutron yang berasal dari keluaran kolimator *beam port* tembus radial Reaktor Kartini. Sedangkan sumber neutron yang berasal dari reaktor nuklir saat ini mulai ditinggalkan. Hal tersebut dikarenakan mahal biaya dan dibutuhkan tempat yang luas. Alternatif yang dapat digunakan sebagai sumber neutron adalah akselerator yang berupa siklotron. Keunggulan dari siklotron

dibandingkan reaktor nuklir yaitu perawatan dan instalasi cenderung lebih murah, tidak membutuhkan tempat yang luas sehingga dapat di pasang di rumah sakit, dan dapat dimatikan apabila tidak sedang digunakan (He dkk, 2021). Merujuk pada permasalahan tersebut, maka akan dilakukan penelitian untuk menganalisis dosis Boron BNCT pada kanker pankreas dengan sumber neutron berasal dari siklotron menggunakan *software* PHITS versi 3.30.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka penelitian ini memiliki rumusan masalah di antaranya :

1. Bagaimana desain geometri kanker pankreas dan *Organ At Risk* (OAR) serta *Beam Shaping Assembly* (BSA) menggunakan *software* PHITS versi 3.30?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi Boron terhadap laju dosis total yang diterima oleh kanker pankreas dan *Organ At Risk* (OAR)?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi Boron terhadap lamanya waktu iradiasi?
4. Bagaimana mekanisme penentuan dosis ekuivalen yang diterima oleh kanker pankreas dan *Organ At Risk* (OAR)?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan di antaranya :

1. Melakukan pemodelan desain geometri kanker pankreas dan *Organ At Risk* (OAR) serta *Beam Shaping Assembly* (BSA) dengan *software* PHITS versi 3.30.

2. Menganalisis pengaruh konsentrasi Boron terhadap laju dosis total yang diterima kanker pankreas dan *Organ At Risk* (OAR).
3. Menganalisis waktu iradiasi efektif pada terapi kanker pankreas dengan menggunakan modalitas BNCT.
4. Menganalisis mekanisme penentuan dosis ekuivalen yang diterima kanker pankreas dan *Organ At Risk* (OAR).

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan masalah di antaranya :

1. Jenis kanker yang diteliti adalah kanker pankreas jenis *Solid Pseudopapillary Tumour* (SPT) terletak pada ekor pankreas dengan stadium IIB dan belum bermetastasis.
2. Sumber neutron yang digunakan berasal dari siklotron 30 MeV.
3. Ukuran serta bentuk geometri organ manusia mengikuti *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL), sementara komposisi penyusun organ mengikuti *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) 145.
4. *Organ At Risk* (OAR) yang terletak pada pankreas adalah hati, lambung, rusuk, limpa dan kulit

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai acuan dalam dosimetri BNCT dalam terapi kanker pankreas stadium IIB menggunakan ORNL

2. Sebagai acuan penentuan konsentrasi Boron optimal untuk BNCT pada kasus kanker pankreas stadium IIB.
3. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya terkait terapi kanker dengan metode BNCT berbasis siklotron.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan serta analisis hasil yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa.

1. Simulasi terapi kanker pankreas stadium IIB pada ekor pankreas dengan metode BNCT berbasis software PHITS versi 3.30 telah berhasil dilakukan. Simulasi dilakukan dengan arah depan (*Anterior Posterior – AP*). Hasil simulasi menunjukkan geometri dengan *Organ At Risk* (OAR) seperti rusuk, hati, lambung, kulit dan limpa serta *Beam Shaping Assembly* (BSA).
2. Konsentrasi Boron mempengaruhi nilai laju dosis total. Semakin tinggi konsentrasi Boron, maka semakin besar nilai laju dosis total. Nilai laju dosis total tertinggi terdapat di konsentrasi 150 $\mu\text{g/g}$ pada organ GTV yaitu 2,15E-02 Gy/s, sedangkan untuk organ CTV sebesar 1,23E-02 Gy/s dan organ PTV sebesar 1,44E-03 Gy/s.
3. Waktu iradiasi dipengaruhi oleh besarnya laju dosis total. Waktu iradiasi efektif untuk terapi kanker pankreas dengan BNCT adalah 38 menit 46 detik dengan konsentrasi Boron 150 $\mu\text{g/g}$. Semakin tinggi konsentrasi Boron, maka waktu iradiasi akan semakin singkat.
4. Dosis ekuivalen ditentukan dengan mengkalikan laju dosis total dan waktu iradiasinya. OAR pada penelitian ini yaitu hati, lambung, rusuk, limpa dan kulit

menerima dosis secara berurutan sebesar 0,44 Gy, 0,85 Gy, 0,98 Gy, 1,68 Gy dan 2,81 Gy pada konsentrasi Boron 150 $\mu\text{g/g}$. Dosis ekuivalen tertinggi terdapat pada jaringan kulit sedangkan dosis ekuivalen terendah terdapat pada organ hati. Dosis ekuivalen yang diterima oleh OAR masih dibawah batas aman menurut peraturan BAPETEN No 6. Tahun 2010.

5.2 Saran

Penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan yang dapat disempurnakan oleh peneliti selanjutnya. Beberapa saran yang dapat dilakukan di antaranya.

1. Penelitian menggunakan lebih dari 125 juta partikel bertujuan untuk meningkatkan banyaknya kebolehjadian reaksi antara partikel dengan jaringan yang dapat mempengaruhi dosis.
2. Penelitian menggunakan komputer dengan spesifikasi minimal prosesor intel core-7 generasi ke-7 dengan RAM 8 GB supaya mempercepat waktu *running*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agestha, M. 2023. *Perhitungan Dosis Pada Terapi Kanker Serviks Dengan Metode Boron Neutron Capture Therapy (Bnct) Melalui Pemanfaatan PHITS 3.26.* (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ariyanti, A.A. 2023. *Penentuan Distribusi Dosis dalam Terapi Kanker Kolorektum dengan Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Berbasis PHITS 3.30.* (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Bae, Y. soon, Kim, D. S., Seo, H. J., Han, J. U., Yoon, H. J., Hwang, J. J., Kim, J. J., Woo, B. H., Kim, H. J., Jang, Y. S., Han, S. C., Kim, W. H., Kang, D. G., Seo, H. J., Lee, S. Y., Jeon, S. J., Yi, J., Lee, J., Seo, I. H., Park, S. S. 2022. *Advances of LINAC-based Boron neutron capture therapy in Korea. AAPPS Bulletin. Vol.32 No.1.* <https://doi.org/10.1007/s43673-022-00063-2>.
- Barth, R. F., & Grecula, J. C. 2020. *Boron neutron capture therapy at the crossroads - Where do we go from here? Applied Radiation and Isotopes, 160.* <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.109029>.
- Barth, R. F., Mi, P., & Yang, W. (2018). *Boron delivery agents for neutron capture therapy of cancer. Cancer Communications, Vol.38 No.1 : 1–15.* <https://doi.org/10.1186/s40880-018-0299-7>.
- Bilalodin. 2022. *Tinjauan Umum Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) sebagai Metode Terapi Kanker.* Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto. <https://www.researchgate.net/publication/368922218>
- Chen, J., Teng, Y. C., Zhong, W. B., Yang, H. B., Hong, Q., & Liu, Y. H. 2022. *Development of Monte Carlo based treatment planning system for BNCT. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 2313 No.1.* <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2313/1/012012>

- Darmawan, R. S., Santosa, S., 2011. *Perancangan Komponen Dee Siklotron Proton 13 MEV*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN. Yogyakarta.
- Dyah Rahayuningsih, O., & Sardjono, Y. 2019. *Neutron Chareacterization of BNCT Water Based on 30 MeV Cyclotron Using PHITS Computational Code*. *Indonesian Journal of Physics and Nuclear Application* **Vol.4, No.1**.
- Fithraturrahma, H. 2023. *Analisis Dosis Radiasi Boron Neutron Capture Therapy (Bnct) Pada Terapi Kanker Paru-Paru Menggunakan Aplikasi Phits Versi 3.20*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Fukumitsu, N., & Matsumoto, Y. 2021. *Development Of An Imaging Technique For Boron Neutron Capture Therapy*. *Cells*, **10(8)**. <https://doi.org/10.3390/cells10082135>.
- Furuta, T., & Sato, T. 2021. *Medical application of particle and heavy ion transport code system PHITS*. *Radiological Physics and Technology*. **Vol. 14, No.3** : 215–225. <https://doi.org/10.1007/s12194-021-00628-0>.
- Guan, X. (2015). *Cancer metastases: Challenges and opportunities*. *Acta Pharmaceutica Sinica B*. **Vol. 5, No. 5** : 402–418. Chinese Academy of Medical Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2015.07.005>.
- Guo, D., Chen, C., Lv, S., Wu, G., Shi, W., Li, H., & Hu, H. 2021. *Management of Primary Squamous Cell Carcinoma of the Pancreas: A Case Report*. *Frontiers in Surgery*. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.700229>.
- Guo, D., Chen, C., Lv, S., Wu, G., Shi, W., Li, H., & Hu, H. 2021. *Management of Primary Squamous Cell Carcinoma of the Pancreas: A Case Report*. *Frontiers in Surgery*. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.700229>.

- Harish, A. F. 2018. *Analisis Dosis pada Penyembuhan Penyakit Kanker Paru-Paru dengan Metode Pengobatan Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Menggunakan Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS)*. (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Harish, A. F., Warsono, & Sardjono, Y. 2020. Dose Analysis of Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Treatment for Lung Cancer Based on Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS). *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, **Vol.35 No.3** : 187–194. <https://doi.org/10.29037/ajstd.545>
- He, H., Li, J., Jiang, P., Tian, S., Wang, H., Fan, R., Liu, J., Yang, Y., Liu, Z., & Wang, J. 2021. *The basis and advances in clinical application of Boron neutron capture therapy*. *Radiation Oncology*, **Vol. 16, No. 1**. <https://doi.org/10.1186/s13014-021-01939-7>.
- Hu Jian-Xiong, Zhao Cheng-Fei, Chen Wen-Biao, Liu Qi-Cai, Li Qu-Wen, Li Yan-Ya, & Gao Feng. 2021. *Pancreatic cancer: A review of epidemiology, trend, and risk factors*. *World J Gastroenterol*. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i27.4298>.
- Hu, N., Tanaka, H., Takata, T., Endo, S., Masunaga, S., Suzuki, M., & Sakurai, Y. 2020. *Evaluation of PHITS for microdosimetry in BNCT to support radiobiological research*. *Applied Radiation and Isotopes*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109148>.
- Iman, A. Z. 2018. *Analisis Dosis Pengobatan Kanker Pankreas Dengan Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Menggunakan Program Particle And Heavy Ion Transport Code (PHITS)*. (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ishiwata, K. 2019. *4-Borono-2-18 F-fluoro-l-phenylalanine PET for Boron neutron capture therapy-oriented diagnosis: overview of a quarter century of research*.

Annals of Nuclear Medicine **Vol. 33, No. 4** : 223–236. Tokyo.
<https://doi.org/10.1007/s12149-019-01347-8>.

Khasanah, W. 2021. *Kewajiban Menuntut Ilmu dalam Islam. Jurnal Riset Agama*,
 1(2), 296–307. <https://doi.org/10.15575/jra.v1i2.14568>.

Krstić, D., Nikezić, D. R., Živković, M. P., & Jeremić, M. 2021. *Dose Assessment With MCNP5/X Code For Boron Neutron Capture Therapy Of Pancreas Cancer. Nuclear Technology and Radiation Protection*, **Vol. 36, No. 3** : 294–298. <https://doi.org/10.2298/NTRP2103294K>.

Kumada, H., & Takada, K. 2018. Treatment planning system and patient positioning for Boron neutron capture therapy. *Therapeutic Radiology and Oncology*. **Vol. 2** : 50–50. <https://doi.org/10.21037/tro.2018.10.12>.

Lamba, M., Goswami, A., & Bandyopadhyay, A. 2021. *A periodic development of BPA and BSH based derivatives in Boron neutron capture therapy (BNCT). Chemical Communications*, **Vol. 57, No. 7** : 827–839. <https://doi.org/10.1039/d0cc06557a>

Laudensia Senlly Jalut, L., Nyoman Rupiasih, N., & Sardjono, Y. 2020. *Analisis Dosis Boron pada Teknik BNCT dengan Metode Simulasi Menggunakan Program PHITS (Particle and Heavy Ion Transport Code System) Analysis of Boron Dose on BNCT Technique with Simulation Methods Using the PHITS (Particle and Heavy Ion Transport Code System) Program*. **Vol. 21, No. 1**. <http://dx.doi.org/10.24843/BF.2020.v21.i01.p01>.

Lee, C. M., & Lee, H. S. 2022. *Development of a dose estimation code for BNCT with GPU accelerated Monte Carlo and collapsed cone Convolution method. Nuclear Engineering and Technology*, **Vol. 54, No. 5** : 1769–1780. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.11.010>.

- Li, G., Jiang, W., Zhang, L., Chen, W., & Li, Q. 2021. *Design of Beam Shaping Assemblies for Accelerator-Based BNCT With Multi-Terminals*. *Frontiers in Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.642561>
- Mahadevan, V. 2019. *Anatomy of the pancreas and spleen*. *Surgery*. **Vol. 37, No. 6** : 297-301. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2019.04.008>.
- Matthews, H. K., Bertoli, C., & de Bruin, R. A. M. 2022. *Cell cycle control in cancer*. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. **Vol. 23, No. 1** :74–88. <https://doi.org/10.1038/s41580-021-00404-3>
- Mechetin, G. V., & Zharkov, D. O. 2023. *DNA Damage Response and Repair in Boron Neutron Capture Therapy*. *Genes*. **Vol. 14, No. 1**. <https://doi.org/10.3390/genes14010127>
- Messner, K., Vuong, B., & Tranmer, G. K. 2022. *The Boron Advantage: The Evolution and Diversification of Boron's Applications in Medicinal Chemistry*. *Pharmaceuticals*. **Vol. 15, No. 3**. <https://doi.org/10.3390/ph15030264>
- Nurjanah, A. 2021. *Analisis Dosis Terapi Kanker Pankreas Berbasis Proton Therapy dan Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) menggunakan Monte Carlo Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS)*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, Universitas Gajah Mada.
- Podgorsak, E. B. 2005. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. International Atomic Energy Agency. Vienna. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1196_web.pdf.
- Podgoršak, E. B. 2014. Interaction of Neutrons with Matter. In *Compendium to Radiation Physics for Medical Physicists*. Hal. 581–635. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20186-8_9.

- Pramusinta, R., Zailani, R., & Sardjono, Y. 2019. *Dose Analysis in Boron Neutron-capture Cancer Therapy (BNCT) Neutron Generator Based for Breast Cancer. Indonesian Journal of Physics and Nuclear Application. Vol. 4, No. 1.* <http://dx.doi.org/10.24246/ijpna.v4i1.8-11>.
- Probosari, E. 2018. *Penatalaksanaan Gizi Pada Pasien Dengan Cancer Pancreas. Journal of Nutrition and Health. Vol. 6, No.1.* Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro.
- Purwandhani Ayu Setyo. (2007). *Metode Aanc (Analisis Aktivasi Fast neutron) Untuk Penentuan Distribusi Logam Pada Cuplikan Air Di Sungai Kaligarang.* (Tugas Akhir). Jurusan Fisika. Universitas Semarang.
- Rad, A. 2023. *Pancreas.* KenHub. <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-pancreas>.
- Raghuwanshi, S., Gupta, R., Vyas, M. M., & Sharma, R. 2016. *CT evaluation of acute pancreatitis and its prognostic correlation with CT severity index. Journal of Clinical and Diagnostic Research, Vol. 10, No. 6.* <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/19849.7934>.
- Ranganath, R., & Chu, Q. 2021. *Global trends in pancreas cancer among Asia-Pacific population. Journal of Gastrointestinal Oncology. Vol. 12.* AME Publishing Company. <https://doi.org/10.21037/JGO-20-118>.
- Rawla, P., Sunkara, T., & Gaduputi, V. 2019. *Epidemiology of Pancreatic Cancer: Global Trends, Etiology and Risk Factors. World Journal of Oncology, Vol. 10, No. 1 : 10–27.* <https://doi.org/10.14740/wjon1166>.
- Sajad, K., Elnaz, E., Dariush, S., Sepideh Yazdani, D., & Marzieh, K. 2022. *Boron neutron capture therapy for the treatment of lung cancer and assessment of dose received by organs at risk. Archives of Pathology and Clinical Research, Vol. 6, No. 1 : 27–31.* <https://doi.org/10.29328/journal.apcr.1001032>.

- Santosa, S., Taufik, D., Sains, P., Akselerator, T., & Kotak, J. B. 2015. *Desain Konseptual Sistem Magnet Siklotron 30 Mev Untuk Sumber Neutron Epitermal Bnct Desain Konseptual Sistem Magnet Siklotron 30 Mev Untuk Sumber Neutron Epitermal BNCT*. BATAN.
- Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., Abe, S. ichiro, Kai, T., Tsai, P. E., Matsuda, N., Iwase, H., Shigyo, N., Sihver, L., & Niita, K. 2018. *Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02*. *Journal of Nuclear Science and Technology*, **Vol. 55, No. 6** : 684–690. <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1419890>
- Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., Abe, S., Kai, T., Matsuya, Y., Matsuda, N., Hirata, Y., Yao, L., Tsai, P.-E., Ratliff, H., Iwase, H., Sakaki, Y., Shigyo, N., Sihver, L., & Niita, K. 2022. *PHITS: General Introduction*. JAEA.
- Sato, T., Niita, K., Matsuda, N., Hashimoto, S., Iwamoto, Y., Furuta, T., Noda, S., Ogawa, T., Iwase, H., Nakashima, H., Fukahori, T., Okumura, K., Kai, T., Chiba, S., & Sihver, L. 2015. *Overview of particle and heavy ion transport code system PHITS*. *Annals of Nuclear Energy*, **Vol. 82** : 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.08.023>.
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. 2021. *Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries*. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **Vol. 71, No. 3** : 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
- Tamanai, F. 2019. *Recent excitements in the study of the CAM assay*. *Enzymes*. Academic Press. **Vol. 46** : 1–9. <https://doi.org/10.1016/bs.enz.2019.10.002>.

Van Roessel, S., Kasumova, G. G., Verheij, J., Najarian, R. M., Maggino, L., De Pastena, M., Malleo, G., Marchegiani, G., Salvia, R., Ng, S. C., De Geus, S. W., Lof, S., Giovanazzo, F., Van Dam, J. L., Kent, T. S., Busch, O. R., Van Eijck, C. H., Koerkamp, B. G., Abu Hilal, M., Besselink, M. G. 2018. *International Validation of the Eighth Edition of the American Joint Committee on Cancer (AJCC) TNM Staging System in Patients with Resected Pancreatic Cancer. JAMA Surgery, Vol. 153, No. 12.* <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2018.3617>.

Wang, S., Zhang, Z., Miao, L., & Li, Y. 2022. *Boron Neutron Capture Therapy: Current Status and Challenges. Frontiers in Oncology. Vol. 12.* <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.7887>

LAMPIRAN

Lampiran I. Material Penyusun Geometri

Nama Organ	Presentase berdasarkan massa												
	H	C	N	O	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca	Fe	I
Pankreas	10.5	15.8	2.4	70.4	0.2		0.2	0.1	0.2	0.2			
Paru-Paru	10.2	10.8	3.2	74.8	0.1		0.1	0.2	0.3	0.2		0.1	
Hati	10.2	10.8	3.2	74.8	0.1		0.1	0.2	0.3	0.2		0.1	
Ginjal	10.3	12.6	3.1	72.9	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.1		
Kulit	10.0	19.9	4.2	65.0	0.2		0.1	0.2	0.3	0.1			
Otot	10.2	14.2	3.4	71.1	0.1		0.2	0.3	0.1	0.4			
Panggul	9.4	40.9	2.6	40.0	0.1	0.1	2.0	0.2	0.1	0.1	4.5		
Lambung	10.5	11.4	2.5	75	0.1		0.1	0.1	0.2	0.1			
Dinding Perut	10.5	11.4	2.5	75.0	0.1		0.1	0.1	0.2	0.2			
Usus kecil	10.5	11.4	2.5	75.0	0.1		0.1	0.1	0.2	0.2			
Usus besar	10.5	11.4	2.5	75.0	0.1		0.1	0.1	0.2	0.2			
Kandung kemih	10.5	9.6	2.6	76.1	0.2		0.2	0.2					

Sumber : (Kim dkk., 2020)

Nama Komponen	Material
Target Berilium	Be
Perisai Gamma	Pb
Filter Gamma	Bi
Delimiter	Lithiated Polyethylene
Apartur	Ni 95%
Reflektor	PbF ₂
Moderator	Al
Filter Fast neutron	LiF
Filter Neutron Termal	Boron Carbide (B ₄ C)
Perisai Neutron	Borated Paraffin Wax 45%

Sumber : (Ardana dkk., 2015)

Lampiran II. Laju Dosis Total

a. Nilai laju dosis total untuk konsentrasi Boron 100 µg/g jaringan kanker

Organ	Laju Dosis Boron (Gy/s)	Laju Dosis Proton (Gy/s)	Laju Dosis Neutron (Gy/s)	Laju Dosis Gamma (Gy/s)	Laju Dosis Total (Gy/s)
GTV	3.74E-03	1.34E-04	1.70E-04	2.41E-05	1.52E-02
CTV	2.14E-03	1.53E-04	1.06E-04	2.76E-05	8.99E-03
PTV	4.52E-04	8.94E-05	8.76E-05	3.07E-05	1.18E-03
Rusuk	6.95E-05	4.02E-05	5.00E-05	4.90E-07	3.79E-04
Hati	8.97E-05	5.19E-06	2.71E-06	4.89E-07	1.42E-04

Lambung	7.45E-05	4.31E-05	2.60E-05	1.19E-05	3.30E-04
Kulit	2.99E-04	1.92E-04	7.11E-06	3.68E-06	1.03E-03
Limpa	1.28E-04	7.41E-05	7.34E-05	2.48E-05	6.63E-04

a. Nilai laju dosis total untuk konsentrasi Boron 110 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker

Jaringan	Laju Dosis Boron (Gy/s)	Laju Dosis Proton (Gy/s)	Laju Dosis Neutron (Gy/s)	Laju Dosis Gamma (Gy/s)	Laju Dosis Total (Gy/s)
GTV	4.10E-03	1.33E-04	1.68E-04	2.40E-05	1.66E-02
CTV	2.27E-03	1.48E-04	1.05E-04	2.66E-05	9.46E-03
PTV	4.92E-04	8.92E-05	8.73E-05	3.07E-05	1.24E-03
Rusuk	7.62E-05	4.01E-05	4.98E-05	4.88E-07	3.87E-04
Hati	9.81E-05	5.16E-06	2.65E-06	4.86E-07	1.53E-04
Lambung	8.01E-05	4.22E-05	2.60E-05	1.16E-05	3.34E-04
Kulit	3.26E-04	1.91E-04	7.10E-06	3.65E-06	1.06E-03
Limpa	1.40E-04	7.37E-05	7.32E-05	2.46E-05	6.77E-04

b. Nilai laju dosis total untuk konsentrasi Boron 120 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker

Jaringan	Laju Dosis Boron (Gy/s)	Laju Dosis Proton (Gy/s)	Laju Dosis Neutron (Gy/s)	Laju Dosis Gamma (Gy/s)	Laju Dosis Total (Gy/s)
GTV	4.42E-03	1.32E-04	1.66E-04	2.38E-05	1.78E-02
CTV	2.47E-03	1.47E-04	1.05E-04	2.65E-05	1.02E-02
PTV	5.37E-04	8.85E-05	8.69E-05	3.04E-05	1.29E-03
Rusuk	8.31E-05	4.01E-05	4.95E-05	4.88E-07	3.95E-04
Hati	1.06E-04	5.10E-06	2.63E-06	4.81E-07	1.63E-04
Lambung	8.67E-05	4.18E-05	2.58E-05	1.15E-05	3.41E-04
Kulit	3.56E-04	1.91E-04	7.08E-06	3.65E-06	1.10E-03
Limpa	1.51E-04	7.30E-05	7.28E-05	2.44E-05	6.87E-04

c. Nilai laju dosis total untuk konsentrasi Boron 130 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker

Jaringan	Laju Dosis Boron (Gy/s)	Laju Dosis Proton (Gy/s)	Laju Dosis Neutron (Gy/s)	Laju Dosis Gamma (Gy/s)	Laju Dosis Total (Gy/s)
GTV	4.76E-03	1.31E-04	1.64E-04	2.36E-05	1.91E-02
CTV	2.66E-03	1.47E-04	1.04E-04	2.64E-05	1.09E-02
PTV	5.77E-04	8.79E-05	8.64E-05	3.02E-05	1.34E-03
Rusuk	9.00E-05	4.01E-05	4.93E-05	4.88E-07	4.04E-04
Hati	1.14E-04	5.08E-06	2.59E-06	4.78E-07	1.73E-04
Lambung	9.34E-05	4.16E-05	2.57E-05	1.15E-05	3.48E-04
Kulit	3.85E-04	1.91E-04	7.05E-06	3.65E-06	1.14E-03
Limpa	1.63E-04	7.25E-05	7.24E-05	2.42E-05	7.00E-04

d. Nilai laju dosis total untuk konsentrasi Boron 140 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker

Jaringan	Laju Dosis Boron (Gy/s)	Laju Dosis Proton (Gy/s)	Laju Dosis Neutron (Gy/s)	Laju Dosis Gamma (Gy/s)	Laju Dosis Total (Gy/s)
GTV	5.08E-03	1.30E-04	1.62E-04	2.34E-05	2.03E-02
CTV	2.86E-03	1.46E-04	1.03E-04	2.63E-05	1.17E-02
PTV	6.20E-04	8.76E-05	8.60E-05	3.01E-05	1.39E-03
Rusuk	9.69E-05	4.01E-05	4.90E-05	4.88E-07	4.12E-04
Hati	1.18E-04	5.08E-06	2.59E-06	4.78E-07	1.78E-04
Lambung	9.98E-05	4.12E-05	2.55E-05	1.14E-05	3.55E-04
Kulit	4.15E-04	1.91E-04	7.02E-06	3.65E-06	1.18E-03
Limpa	1.74E-04	7.19E-05	7.21E-05	2.40E-05	7.11E-04

e. Nilai laju dosis total untuk konsentrasi Boron 150 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker

Jaringan	Laju Dosis Boron (Gy/s)	Laju Dosis Proton (Gy/s)	Laju Dosis Neutron (Gy/s)	Laju Dosis Gamma (Gy/s)	Laju Dosis Total (Gy/s)
GTV	5.41E-03	1.29E-04	1.61E-04	2.32E-05	2.15E-02
CTV	3.04E-03	1.45E-04	1.02E-04	2.62E-05	1.24E-02
PTV	6.62E-04	8.73E-05	8.55E-05	3.00E-05	1.44E-03
Rusuk	1.04E-04	4.00E-05	4.88E-05	4.88E-07	4.20E-04
Hati	1.26E-04	4.88E-06	2.57E-06	4.59E-07	1.88E-04
Lambung	1.07E-04	4.13E-05	2.55E-05	1.14E-05	3.64E-04
Kulit	4.43E-04	1.90E-04	7.00E-06	3.63E-06	1.21E-03
Limpa	1.85E-04	7.14E-05	7.17E-05	2.39E-05	7.22E-04

Lampiran III. Waktu Iradiasi dan Dosis Ekuivalen

a. Waktu Iradiasi

Konsentrasi Boron	Waktu iradiasi (s)
100	3289.473
110	3012.048
120	2808.988
130	2617.801
140	2463.054
150	2325.581

b. Dosis ekuivalen

Jaringan	Konsentrasi Boron					
	100	110	120	130	140	150
CTV	29.57	28.49	28.65	28.53	28.82	28.84
PTV	3.88	3.73	3.62	3.51	3.42	3.35
Rusuk	1.25	1.17	1.11	1.06	1.01	0.98
Hati	0.47	0.46	0.46	0.45	0.44	0.44
Lambung	1.09	1.01	0.96	0.91	0.87	0.85
Kulit	3.39	3.19	3.09	2.98	2.91	2.81

Limpa	2.18	2.04	1.93	1.83	1.75	1.68
-------	------	------	------	------	------	------

Lampiran IV. Kode Input PHITS

[Title]

Analisis Dosis Boron pada Terapi Kanker Pankreas Berbasis *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) Menggunakan PHITS Versi 3.30.

[Parameters]

```
icntl = 0          # (D=0) 3:ECH 5:NOR 6:SRC 7,8:GSH 11:DSH 12:DUMP
maxcas = 250000   # number of particles per one batch $awal ; 100k
maxbch = 500      # number of batches, awal : 500
file(1) = c:/phits # (D=c:/phits) PHITS install folder name
file(6) = phits.out # (D=phits.out) general output file name
file(7) = c:/phits/data/xsdir.jnd # (D=c:/phits/data/xsdir.jnd) nuclear data
input
e-mode = 0
$panjang aperture 8 cm : nilai rata2 fluks epi 2,5e+9
```

[Source]

```
s-type = 1 # mono-energetic axial source
totfact = 6.25E+15 # source arus 1 uA atau fluks proton
proj = proton # kind of incident particle
dir = 1.0 # z-direction of beam [cosine]
r0 = 3.0 # radius [cm]
z0 = -75 # minimum position of z-axis [cm]
z1 = -75 # maximum position of z-axis [cm]
e0 = 30. # energy of beam [MeV/u]
```

[Material]

```
mat[1] H -0.098985152
        C -0.268959656
        N -0.044993251
        O -0.568914663
        P -0.0179973 $GTV
        B -1.50E-04 $B
mat[2] H -0.098992576
        C -0.268979827
        N -0.044996625
        O -0.568957328
        P -0.01799865 $CTV
```

mat[3]	B	-7.50E-05	\$B
	H	-0.1050	
	C	-0.1140	
	N	-0.0250	
	O	-0.7500	
	Na	-0.0010	
	P	-0.0010	
	S	-0.0010	
	Cl	-0.0020	
	K	-0.0010	\$PTV
	mat[4]	B	-1.50E-05
H		-0.1020	
C		-0.1300	
N		-0.0310	
O		-0.7250	
Na		-0.0020	
P		-0.0020	
S		-0.0030	
Cl		-0.0020	
K		-0.0030	\$Hati
mat[5]		B	-1.50E-05
	H	-0.1000	
	C	-0.1990	
	N	-0.0420	
	O	-0.6500	
	Na	-0.0020	
	P	-0.0010	
	S	-0.0020	
	Cl	-0.0030	
	K	-0.0010	\$Kulit
	mat[6]	B	-1.50E-05
H		-0.1030	
C		-0.1070	
N		-0.0320	
O		-0.7460	
Na		-0.0020	
P		-0.0020	
S		-0.0030	
Cl		-0.0030	
K		-0.0020	\$Paru
mat[7]		B	-1.50E-05
	H	-0.1020	
	C	-0.1420	

	N	-0.0340	
	O	-0.7110	
	Na	-0.0010	
	P	-0.0020	
	S	-0.0030	
	Cl	-0.0010	
	K	-0.0040	\$MUSCLE
	B	-1.50E-05	\$B
mat[8]	H	-0.0940	\$Panggul
	C	-0.409	
	N	-0.026	
	O	-0.400	
	Na	-0.001	
	Mg	-0.001	
	P	-0.020	
	S	-0.002	
	Cl	-0.001	
	K	-0.001	
	Ca	-0.045	
	B	-1.50E-05	\$B
mat[9]	H	-0.1030	
	C	-0.1240	
	N	-0.0310	
	O	-0.7310	
	Na	-0.0020	
	P	-0.0020	
	S	-0.0020	
	Cl	-0.0020	
	K	-0.0020	
	Ca	-0.0010	\$Ginjal
	B	-1.50E-05	\$B
mat[10]	H	-0.0990	
	C	-0.3760	
	N	-0.0270	
	O	-0.4590	
	Na	-0.0010	
	P	-0.0120	
	S	-0.0020	
	Cl	-0.0020	
	K	-0.0010	
	Ca	-0.0200	
	Fe	-0.0010	\$Tulang
	B	-1.50E-05	\$B

mat[11]	H	-0.1050		
	C	-0.1140		
	N	-0.0250		
	O	-0.7500		
	Na	-0.0010		
	P	-0.0010		
	S	-0.0010		
	Cl	-0.0020		
	K	-0.0010	\$Usus besar	
	B	-1.50E-05	\$B	
	mat[12]	H	-0.1050	
		C	-0.1140	
		N	-0.0250	
		O	-0.7500	
Na		-0.0010		
P		-0.0010		
S		-0.0010		
Cl		-0.0020		
K		-0.0010	\$Ususkecil	
B		-1.50E-05	\$B	
mat[13]		H	-0.1050	\$Pankreas
		C	-0.158	
		N	-0.024	
		O	-0.704	
	Na	-0.002		
	P	-0.002		
	S	-0.001		
	Cl	-0.002		
	K	-0.002		
	B	-1.50E-05	\$B	
	mat[14]	H	-0.1050	\$Lambung
		C	-0.114	
		N	-0.025	
		O	-0.750	
Na		-0.001		
P		-0.001		
S		-0.001		
Cl		-0.002		
K		-0.001		
B		-1.50E-05	\$B	
mat[15]		H	-0.1050	\$Kandung kemih
		C	-0.096	
		N	-0.026	

```

O -0.761
Na -0.002
P -0.002
S -0.002
Cl -0.003
K -0.003
B -1.50E-05 $B
mat[16] H -0.1000
C -0.2220
N -0.0022
O -0.6440
Na -0.0010
P -0.0020
S -0.0030
Cl -0.0010
K -0.0040
Ca -0.0010 $Isi pencernaan
B -1.50E-05 $B
mat[17] H -0.1120
C -0.5170
N -0.0011
O -0.7430
Na -0.0010
P -0.0010
S -0.0020
Cl -0.0010 $Jaringan lunak
B -1.50E-05 $B
$-----BSA-----
mat[20] #Be -1 $Target
04009 -1
mat[21] #Pb -11.34 $Gamma Shield
82206 -0.244
82207 -0.224
82208 -0.532
mat[22] #Bi -9.78 $Gamma Filter
83209 -1
mat[23] #Lithiated Polyethylene $Delimiter
1001 -0.5262
6000 -0.2969
8016 -0.1007
3006 -0.0724
3007 -0.0038
mat[24] #Nikel 95% -8.86 $Aparture

```

```

28000 -0.95
25055 -0.015
26000 -0.01
14000 -0.005
29000 -0.01
6012 -0.005
22000 -0.005
mat[25] #PbF2 $Reflector
82000 -0.333
9019 -0.667
mat[26] #Al $Moderator
13027 -1
mat[27] #LiF 2.653 $Filter Fast
3007 -0.26785
9019 -0.732415
mat[28] #Boron Carbide 2.520 $Filter Termal
5010 -0.782610
6012 -0.217390
mat[29] #Boroted Paraffin Wax $Neutron Shield
1001 -0.081
6012 -0.469
5010 -0.450
mat[30] #udara
6012 -0.000124 $Karbon
7014 -0.755267 $Nitrogen
8016 -0.231781 $Oksigen
18040 -0.012827 $Argon
mat[2001] H 1.0 $H
mat[2002] N 1.0 $N
mat[2003] 10B 1.0 $B

```

[Mat Name Color]

	mat name	color
1	GTV	darkred
2	CTV	violet
3	PTV	pink
4	Hati	orange
5	Kulit	pastelyellow
6	Paru-paru	camel
7	Otot	pastelpink
8	Rusuk	pastelgreen
11	Ususbesar	pastelviolet
12	Ususkecil	pastelmagenta

13	Pankreas	green
20	TargetBe	red
21	GammaShield	camel
22	GammaFilter	pastelpink
23	Delimeter	pastelpurple
24	Apperture	brown
25	Reflector	pastelblue
26	Moderator	pastelgreen
27	FilterFast	blue
28	FilterTermal	yellow
29	NeutronShield	darkgreen
30	Udara	pastelcyan

[Surface]

\$-----KANKER-----

500 s 13 -0.3 38 0.8 \$GTV

501 s 13 -0.3 38 0.9 \$CTV

502 s 13 -0.3 38 1.3 \$PTV

\$-----ORNL-----

1 s 0 -100 91.45 1

2 pz -300.0

4 pz -80.0

5 pz 0.0

6 pz 70.0

7 px -1000.0

8 px 1000.0

9 py -1000.0

10 py 1000.0

11 sq 100 400 0 0 0 0 -40000 0 0 0 \$strunk-kulit

12 pz 91.45

13 gq 1 1 0 0 0 -0.2 -20 0 0.04 3.96 \$kakikiri

213 gq 1 1 0 0 0 0.2 20 0 0.04 3.96 \$kakikanaan

313 gq 1 1 0 0 0 -0.2 -20 0 0 0 \$skulitkakikiri

413 gq 1 1 0 0 0 0.2 20 0 0 0 \$skulitkakikanaan

14 sq 100 64 0 0 0 0 -6400 0 0 0 \$skulitkepala

15 pz 200.0

16 sq 96.04 392.04 0 0 0 0 -37651.521 0 0 0 \$strunk

18 sq 96.04 60.84 0 0 0 0 -5843.0736 0 0 0 \$kepala1

19 pz 69.80

20 pz -79.8

21 cz 5.4 \$skulitleher

22 pz 78.40

322 pz 78.6

23 cz 5.20 \$kulit
 24 sq 5112.25 3271.84 6400 0 0 0 -327184 0 0 91.45 \$kepala2
 524 sq 4638.172 2938.72 5843.074 0 0 0 -282235.1 0 0 91.45 \$kepala2
 25 sq 32400 14400 1406.25 0 0 0 -810000 -8.50 0 43.50 \$parukanan
 26 sq 32400 14400 1406.25 0 0 0 -810000 8.50 0 43.5 \$parukiri
 27 pz 46
 28 pz 54
 29 px -5.4
 30 py 1.5 \$parukanan-selesai
 31 pz 43.5
 32 pz 55
 33 px 8.0
 34 py 1.0 \$parukiri-selesai
 35 sq 64 272.25 0 0 0 0 -17424 0 0 0 \$hati
 36 pz 27
 37 pz 43
 38 p 0.028571 0.022222 -0.023256 -1 \$shatiselesai
 39 sq 576 896 144 0 0 0 -9216 8 -4 35 \$lambung
 40 sq 310.914543 625.988841 65.363490 0 0 0 -3566.739812 8 -4 35 \$sisiperut
 41 sq 142.988120 293.942933 293.942933 0 0 0 -3514.900218 0 -4.50 8
 \$dindingkandungkemih
 42 sq 105.646247 227.630725 227.630725 0 0 0 -2339.687839 0 -4.50 8
 \$sisikandungkemih
 43 sq 11.9025 8.9401 3.8025 0 0 0 -20.115225 -1.30 -8 -2.30 \$stestiskiri
 44 sq 11.9025 8.9401 3.8025 0 0 0 -20.115225 1.30 -8 -2.30 \$stestiskan
 45 sq 2445.3025 1440.2025 3221.6976 0 0 0 -106517.3769 0 0 91.45 \$otak
 47 pz 75.0
 49 sq 6.25 6.25 0 0 0 0 -39.0625 -8.50 -2.36 0
 50 sq 3.20947225 3.20947225 0 0 0 0 -10.300712135 -8.5 -2.36 0
 51 pz 14.45
 52 pz 24.0
 53 sq 0 2.25 6.25 0 0 0 -14.0625 0 -2.36 25.50
 54 sq 0 0.946729 3.892729 0 0 0 -3.68539433441 0 -2.36 25.50
 55 px 10.50
 56 px -10.50
 57 gq 0.282933 0.220415 0.00663757 0 0.0721253 -0.0288859 -4.541008 -
 0.628932 0.128904 17.669146
 58 gq 0.556917 0.395554 0.0120398 0 0.129435 -0.056858 -8.938371 -1.128675
 0.271613 35.669768
 59 pz 8.72
 c 52 pz 24.0
 61 ty 3.0 0 8.72 5.72 1.57 1.57
 62 ty 3.0 0 8.72 5.72 0.91 0.91

63 ty 3.0 0 0 3.0 1.57 1.57
 64 ty 3.0 0 0 3.0 0.91 0.91
 65 px 3.0
 66 gq 1 1 0.00906872 0 0 -0.200501 -20 0 1.78571 87.75 \$tulangkakikiri
 67 gq 1 1 0.00906872 0 0 0.200501 20 0 1.78571 87.75 \$tulangkakikanan
 68 gq 0.510204 0.137174 0 0 0 0.010352 -19.4898 0 -0.204969 185.878
 \$tulanglengankiri
 69 gq 0.510204 0.137174 0 0 0 0.010352 18.0612 0 0.175983 159.592
 \$tulanglenganakan
 70 pz 69
 75 sq 94.09 289 0 0 0 0 -27192.01 0 0 0 \$scapulae
 79 pz 67.3
 82 sq 127.69 127.69 0 0 0 0 -16304.7361 0 -3.8 0 \$pelvis
 83 sq 144 144 0 0 0 0 -20736 0 -3 0
 84 pz 22
 85 pz 14
 86 py 5
 87 py -3
 89 sq 86.49 272.25 0 0 0 0 -23546.9025 0 0 0
 90 pz 35.1
 91 pz 36.5
 92 pz 37.9
 93 pz 39.3
 94 pz 40.7
 95 pz 42.1
 c 31 pz 43.5
 96 pz 44.9
 97 pz 46.3
 98 pz 47.7
 99 pz 49.1
 100 pz 50.5
 101 pz 51.9
 102 pz 53.3
 103 pz 54.7
 104 pz 56.1
 105 pz 57.5
 106 pz 58.9
 107 pz 60.3
 108 pz 61.7
 109 pz 63.1
 110 pz 64.5
 111 pz 65.9
 c 79 pz 67.3

112 sq 6.25 4 0 0 0 0 -25 0 5.50 0 \$ spine-mid, lower
 113 pz 84.8
 114 sq 6.25 4 0 0 0 0 -25 0 1.45 0 \$ spine-upper
 116 sq 3991.080625 2487.515625 5076.5625 0 0 0 -224498.28515625 0 0 91.45
 \$skull-cranium
 117 sq 81 49 0 0 0 0 -3969 0 0 0 \$ facial skeleton
 118 sq 57.76 31.36 0 0 0 0 -1811.3536 0 0 0 \$facial skeleton
 119 py 0.0
 120 pz 82.4
 121 pz 93.13
 135 sq 68.0625 612.5625 45.5625 0 0 0 -1378.265625 6.0 6.0 32.50 \$ginjalkiri
 136 sq 68.0625 612.5625 45.5625 0 0 0 -1378.265625 -6.0 6.0 32.50 \$ginjalkanan
 137 px -3
 138 sq 15.6816 2787.84 368.64 0 0 0 -4014.4896 -1.0 0 37 \$pankreas
 139 px -1
 140 pz 37
 141 sq 144 441 49 0 0 0 -1764 11 3 37 \$spleen
 143 1 sq 6.25 56.25 0.5625 0 0 0 -14.0625 0 0 0 \$ left adrenal
 144 2 sq 6.25 56.25 0.5625 0 0 0 -14.0625 0 0 0 \$ right adrenal
 145 1 pz 0
 146 3 so 2.12 \$ gall bladder
 147 3 so 2.0 \$ gall bladder
 148 3 pz 0
 348 3 pz 8
 149 3 sq 1 1 -0.05175625 0 0 0.4823 -4.4944 0 0 0 \$ gall bladder
 150 3 sq 1 1 -0.05175625 0 0 0.455 -4 0 0 0 \$ gall bladder
 164 py -4.86
 165 py 2.20
 166 pz 17
 171 pz -4.8 \$male genitalia
 172 p 1 0 0.1 -10 \$xz plane
 170 p 1 0 -0.1 10
 169 p 0 1 0.1 -10 \$yz plane

\$---BSA---

201 1 px 322.1
 20181 1 px 252
 202 1 px 242
 203 1 px 205
 20100 1 px 204.5 \$edited
 204 1 cx 57
 205 1 cx 28
 207 1 cx 67.01

20171 1 cx 80 \$awal = 137, diubah gk ngaruh ke hasil
 208 1 cx 25
 209 1 cx 15
 20101 1 cx 5
 2010 1 px 166
 2012 1 px 153
 20121 1 px 143
 20122 1 px 129.3
 2031 1 px 146 \$start *fast* filter
 2034 1 px 145.899 \$start gamma n filter termal awal 145.791
 2035 1 px 129.3
 20135 1 px 138.4
 2037 1 kx 133 2
 2038 1 kx 125 0.6
 2039 1 kx 105.9 0.9
 20139 1 kx 106 0.9
 2043 1 cx 9.5 \$diameter aperture
 2044 1 px 260
 2045 1 kx 135 0.65 \$perbaiki agar r tidak 24,993
 2046 1 px 145.29 \$start aperture
 2047 1 px 145.79
 2048 1 px 145.299 \$start gamma awal: 145.291
 2049 1 px 154
 2050 1 px 153 \$finish *fast*, awal 153.995
 2053 1 px 145.999 \$finish termal
 2054 1 px 144
 2055 1 px 137.29 \$finish aperture awal : 138.301, 136.29
 2056 1 cx 5.5 \$edited awal=5.5
 206 1 cx 6 \$edited, awal= 6 \$radi gamma & finish rad aperture
 2057 1 py 4.2
 2058 1 py -4.2
 2067 1 px 98.3
 2068 1 cx 0 \$tambahan
 3001 1 px 126.3 \$edited
 3002 1 px 121.3 \$edited
 3003 1 cx 4 \$tambahan untuk lubang gamma shield
 \$-----outer void-----
 600 so 1000
 [C e 11]
 \$--geometrikanker----
 308 1 -1.1 -500 trcl=4 \$gtv
 309 2 -1.1 -501 #308 trcl=4 \$gtv
 310 3 -1.037 -502 #308 #309 trcl=4 \$ptv

\$-----phantomORNL-----

7 5 -1.089 (-11 16 5 -19) : (-11 19 -6 21) trcl=4 \$skin
 8 6 -0.415 (-27:28:-29:30) -25 31 trcl=4 \$right lung
 9 6 -0.415 (33:34:32) -26 31 trcl=4 \$ left lung
 10 4 -1.060 -35 36 -37 -38 trcl=4 \$hati
 11 14 -1.037 -39 40 #47 trcl=4 \$stomach
 12 16 -1.040 -40 trcl=4 \$ contents
 13 15 -1.040 -41 42 trcl=4 \$ urinary bladder
 14 15 -1.040 -42 trcl=4 \$ contents
 15 17 -0.939 (-43):(-44) trcl=4 \$ testes
 19 11 -1.037 ((-49 50 51 -52):(-53 54 -55 56):(-57 58 59 -52):(-61 62 -59 65):(-63 64 -65 5)) #308 #309 #310 trcl=4 \$colon:ascending, transverse, descending and sigmoid
 20 16 -1.040 ((-50 51 -52):(-54 -55 56):(-58 59 -52):(-62 -59 65):(-64 -65 5)) #308 #309 #310 trcl=4 \$contents-colon
 28 8 -1.121 ((-83 82 -86 87 5 -85):(82 -83 87 85 -84)) trcl=4 \$pelvis
 29 8 -1.121 ((-75 89 90 -91):(-75 89 92 -93):(-75 89 94 -95):(-75 89 31 -96):(-75 89 97 -98):(-75 89 99 -100):(-75 89 101 -102):(-75 89 103 -104):(-75 89 105 -106):(-75 89 107 -108):(-75 89 109 -110):(-75 89 111 -79)) #10 trcl=4 \$rib cage
 41 10 -1.049 (-112 84 -90):(-112 90 -19) trcl=4 \$spine
 45 9 -1.053 (-135 65):(-136 -137) trcl=4 \$ kidneys
 47 13 -1.044 (-138 139 -65):(-138 65 140) trcl=4 \$pancreas
 48 9 -1.053 -141 trcl=4 \$spleen
 52 9 -1.053 (-146 147 -148):(-149 150 148 -348) trcl=4 \$gall bladder
 53 9 -1.053 (-147 -148):(-150 148 -348) trcl=4 \$gall bladder-contents
 62 12 -1.037 ((-82 164 -165 52 -36):(-82 49 164 -165 166 -52)) #19 #20 #308 #309 #310 trcl=4 \$small intestine
 63 7 -1.05 ((-16 5 -19):(19 -6 -21 114)) #8 #9 #10 #11 #12 #13 #14 #19 #20 #28 #29 #41 #45 #47 #48 #52 #53 #62 #308 #309 #310 trcl=4 \$trunk
 64 5 -1.089 ((171 -5)(172 -170)(-119 169)(313 413)) 43 44 trcl=4 \$ male genitalia
 \$--bsa--
 91 23 -0.9843 (209 -20181 202 -204):(-20171 -201 204 2012):(-20171 -2012 2035 20139) \$awal
 (-20171 -2012 20122 20139) \$delimiter
 92 25 -8.45 (-20139 2038 -2012 2035 206) : (2035 -2054 206 -20139) \$kerucut reflector
 93 21 -11.35 -204 205 -202 2012 \$reflector
 94 21 -11.35 (-2012 2054 2045 -2038 206) : (206 -2038 2054 -2034)
 95 21 -11.35 (209 -202 203 -205) : (-202 208 -205 2010) : (2045 -205 2012 -2010)
 96 26 -2.7 -2010 2049 -2045 \$moderator_sekondary
 97 26 -2.7 (2010 -208 -203 2043) : (2010 -208 -20100) \$moderator_main
 98 28 -2.520 -2045 -2053 2034 \$filter_ternal

```

99 27 -2.653 -2049 -2045 2031 $filter_fast $-2050 -2045 2031
100 0 2046 -2048 -206 $void
101 0 203 -20101 -2044 $void_protonbeam
102 20 -1.850 20100 -203 -2043 $berilium_target
103 22 -9.8 -2044 203 20101 -209
104 22 -9.8 2048 -2034 -206 $gamma_filter
106 0 -2045 2053 -2031
107 0 -206 -2055 2068 2035 $awal:-206 -2055 2056 2035
108 24 -8.86 2055 -2046 2056 -206 $apperture
109 0 -2056 -2046 2068 2055 $void dalam aperture
110 0 20181 -201 -204 209 $void
111 0 20171 -207 -201 20121 $void
113 0 20139 -2039 2035 -20121 #91 $void
114 29 -0.930 2056 -20171 -2035 3001 $edited awal 2056 $neutron_shield
115 22 -9.8 3003 -20171 -3001 3002 $editedawal 2056 $gamma_shield
116 30 -0.0012 -600 #91 #92 #93 #94 #95 #96 #97 #98 #99 #100 #101 #102 #103
#104 #106 #107 #108 #109 #110 #111 #113 #114 #115#7 #8 #9 #10 #11 #12 #13
#14 #15 #19 #20 #28 #29 #41 #45 #47 #48#52 #53 #62 #63 #64 #308 #309 #310
$outside phantom
117 -1 600 $UDARA
[ Transform ]
tr1 24.8 3.8 138.5 0 0 -1 0 1 0 1 0 0 1 $ default z=138.3 #surface
tr2 -3.5 5 38 0.616 -0.788 0 0.788 0.616 0 0 0 1
tr3 -4.5 -3.2 30 0.9615 0 -0.2748 -0.0574 0.9779 -0.2008 0.2687 0.2090 0.9403
$ Transform phantom
set: c81[-270] $ angle of around Z (degree)
set: c82[90] $ angle of around Y (degree) 0:posisi di atas, 90: sejajar sb. z
set: c83[0] $ angle of around X (degree)
set: c84[28] $ displacement of Z (cm)
set: c85[-9] $ displacement of Y (cm)
set: c86[-13] $ displacement of X (cm)
tr4 c86 c85 c84
cos(c81/180*pi)*cos(c82/180*pi)
sin(c81/180*pi)*cos(c83/180*pi)+cos(c81/180*pi)*sin(c82/180*pi)*sin(c83/180*
pi) sin(c81/180*pi)*sin(c83/180*pi)-
cos(c81/180*pi)*sin(c82/180*pi)*cos(c83/180*pi)
-sin(c81/180*pi)*cos(c82/180*pi)
cos(c81/180*pi)*cos(c83/180*pi)-
sin(c81/180*pi)*sin(c82/180*pi)*sin(c83/180*pi)
cos(c81/180*pi)*sin(c83/180*pi)+sin(c81/180*pi)*sin(c82/180*pi)*cos(c83/180*
pi) sin(c82/180*pi)-cos(c82/180*pi)*sin(c83/180*pi)
cos(c82/180*pi)*cos(c83/180*pi)

```

[VOLUME]

reg	vol
308	4.6632E+00
309	1.0092E+00
310	2.1435E+00
7	1.0517E+03
10	2.2642E+03
11	1.2974E+02
12	1.6757E+02
8	3.0163E+03
9	1.6804E+03
12	2.4977E+02
13	4.6269E+01
15	3.6883E+01
19	9.2856E+02
20	9.3012E+02
28	4.9996E+02
29	6.6205E+02
41	7.5496E+02
45	6.0018E+02
47	9.1332E+01
48	2.5854E+02
52	1.0005E+01
62	1.0395E+03
63	2.7455E+04
64	2.5434E+02

[T - gshow]

```

mesh = xyz
y-type = 2
  ny = 200
  ymin = -60
  ymax = 60
x-type = 1
  nx = 1
  -2 2.0
z-type = 2
  nz = 200
  zmin = -60.
  zmax = 60.
axis = yz
output = 2

```



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

```
file = BSA.out
epsout = 1
```

```
[ T - C r o s s ]
```

```
title = Distribusi Fluks Neutron Termal dalam Phantom dan Kolimator
mesh = r-z # mesh type is r-z mesh
x0 = 0.0
y0 = 0.0
r-type = 1 # r-mesh is given by rmin, rmax and nr
nr = 1 # number of r-mesh points
0 5
z-type = 2 # z-mesh is given by the below data
nz = 50 # number of z-mesh points
zmin = 0
zmax = 50
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
0 5E-7
axis = z # axis of output
x-txt = Kedalaman (cm)
y-txt = Fluks (n.cm^-2.s^-1/source)
output = flux # surface crossing flux
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
file = Flux_Neutron_termal.out # file name of output for the above axis
part = neutron
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
```

```
[ T - C r o s s ]
```

```
title = Distribusi Fluks Neutron Epitermal dalam Phantom dan Kolimator
mesh = r-z # mesh type is r-z mesh
x0 = 0.0
y0 = 0.0
r-type = 1 # r-mesh is given by rmin, rmax and nr
nr = 1 # number of r-mesh points
0 5
z-type = 2 # z-mesh is given by the below data
nz = 50 # number of z-mesh points
zmin = 0
zmax = 50
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
5E-7 4E-2 #distribusi
axis = z # axis of output
```

```

x-txt = Kedalaman (cm)
y-txt = Fluks (n.cm-2.s-1/source)
output = flux # surface crossing flux
unit = 1 # unit is [1/cm2/source]
file = flux_neutron_epitermal.out # file name of output for the above axis
part = neutron
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL

```

[T - C r o s s]

```

title = Fluks Fast Neutron
mesh = r-z # mesh type is r-z mesh
x0 = 0.0
y0 = 0.0
r-type = 1 # r-mesh is given by rmin, rmax and nr
nr = 1 # number of r-mesh points
0 5
z-type = 2 # z-mesh is given by the below data
nz = 50 # number of z-mesh points
zmin = 0
zmax = 50
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
4E-2 28
axis = z # axis of output
x-txt = Kedalaman (cm)
y-txt = Fluks (n.cm-2.s-1/source)
output = flux # surface crossing flux
unit = 1 # unit is [1/cm2/source]
file = fluxfast4.out # file name of output for the above axis
part = neutron
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL

```

[T - C r o s s]

```

title = Distribusi Arus Neutron Epitermal dalam Phantom
mesh = r-z # mesh type is r-z mesh
x0 = 0.0
y0 = 0.0
r-type = 1 # r-mesh is given by rmin, rmax and nr
nr = 1 # number of r-mesh points
0 5
z-type = 2 # z-mesh is given by the below data
nz = 50 # number of z-mesh points
zmin = 0 $ukur dari ujung bsa sampe ke kulit phantom

```



```

zmax = 50
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
  ne = 1 # number of e-mesh points $sebelumnya100
      5E-7 4E-2 #distribusi
      trcl = 3
axis = z # axis of output
x-txt = kedalaman (cm)
y-txt = current (n.cm^-2.s^-1/source)
output = current # surface crossing flux
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
file = current.out # file name of output for the above axis
part = neutron
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL

[ T - C r o s s ] $ SPEKTRUM FLUKS
title = Spektrum Fluks
mesh = r-z # mesh type is r-z mesh
r-type = 2 # r-mesh is given by rmin, rmax and nr
  nr = 1 # number of r-mesh points
  rmin = 0 # minimum value of y-mesh points
  rmax = 5
z-type = 2 # z-mesh is given by the below data
  nz = 1 # number of z-mesh points
  zmin = 17
  zmax = 35
e-type = 3 # e-mesh is given by the below data
  ne = 100 # number of e-mesh points
  emin = 1E-12 # minimum value of z-mesh points
  emax = 1E-2 # maximum value of z-mesh points
part = alpha 7Li neutron photon proton
axis = eng # axis of output
output = flux # surface crossing flux
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
file = SPECTRUM.OUT # file name of output for the above axis
part = neutron
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
angel = xlog

$-----DOSIS-----
[ T - T r a c k ] #DOSIS FASTNEUTRON PERJARINGAN
title = Neutron Absorbed Dose Rate in Organ (Gy/s/source)
mesh = reg

```

```

reg = 308 309 310 7 10 11 29 45 47 48
e-type = 1 # e-mesh is given by rmin, rmax and nr
ne = 1 # number of r-mesh points
0.01 28
unit = 1
material = all
part = neutron
axis = reg
t-type = 1
nt = 1
0 1.0E9
file = Dosisrate_Neutron.out
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
gshow = 1 # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
y-txt = Dose Rate (Gy/s/source)
multiplier = 9
part = neutron
emax = 28

```

	mat	mset1		
1	(9.42593E-12	2001	1	-4)
2	(9.42725E-12	2001	1	-4)
3	(9.99987E-12	2001	1	-4)
4	(9.71429E-12	2001	1	-4)
5	(9.71429E-12	2001	1	-4)
8	(8.95238E-12	2001	1	-4)
9	(9.80952E-12	2001	1	-4)
13	(1E-11	2001	1	-4)
14	(1E-11	2001	1	-4)

```

[ T - Track ] #DOSIS PHOTON PERJARINGAN
title = Gamma Absorbed Dose Rate in Organ (Gy/s/source)
mesh = reg #mesh type is region wise
reg = 308 309 310 7 10 11 29 45 47 48
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
0 2.23
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
material = all # D=all) number of specific material
part = photon # tallied particle are neutron
axis = reg # axis of output
t-type = 1
nt = 1
0 1.0e9

```

```

file = Doserate_PHOTON.out # file name of output for the above axis
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
gshow = 1 # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
y-txt = Dose Rate (Gy/s/source)
multiplier = 9
part = photon
    emax = 20
    mat      mset1
1      (1.52982E-11 1      -5      -6)
2      (1.53053E-11 2      -5      -6)
3      (1.55827E-11 3      -5      -6)
4      (1.53162E-11 4      -5      -6)
5      (1.54931E-11 5      -5      -6)
8      (1.47999E-11 8      -5      -6)
9      (1.53995E-11 9      -5      -6)
13     (1.56517E-11 13     -5      -6)
14     (1.55829E-11 14     -5      -6)

```

```

[ T - Track ] #DOSIS PROTON PERJARINGAN
title = Laju Dosis Proton dalam Organ (Gy/s/source)
mesh = reg #mesh type is region wise
reg = 308 309 310 7 10 11 29 45 47 48
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
0 5e-7
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
material = all # D=all number of specific material
part = neutron # tallied particle are neutron
axis = reg # axis of output
t-type = 1
nt = 1
0 1.0e9
file = Doserate_PROTON.out # file name of output for the above axis
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
gshow = 1 # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
y-txt = Dose Rate (Gy/s/source)
$angel = ymin(1e-10) ymax(1e-2)
$ angel = ymin(1e-10) ymax(1e-2)
multiplier = 9
part = neutron
    emax = 20
    mat      mset1

```

1	(3.08331E-13	2002	1	-4)
2	(3.08374E-13	2002	1	-4)
3	(1.71341E-13	2002	1	-4)
4	(2.12465E-13	2002	1	-4)
5	(2.87856E-13	2002	1	-4)
8	(1.78197E-13	2002	1	-4)
9	(2.12465E-13	2002	1	-4)
13	(1.64489E-13	2002	1	-4)
14	(1.71343E-13	2002	1	-4)

```
[ T - Track ] #DOSIS BORON PERJARINGAN
title = Laju Dosis Boron pada Organ (Gy/s/source)
mesh = reg #mesh type is region wise
reg = 308 309 310 7 10 11 29 45 47 48
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
0 5e-7
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
material = all # D=all) number of specific material
part = neutron # tallied particle are neutron
axis = reg # axis of output
t-type = 1
nt = 1
0 1.0e9
file = Doserate_BORON.out # file name of output for the above axis
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
gshow = 1 # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
y-txt = Dose Rate (Gy/s/source)
multiplier = 9
part = neutron
      emax = 20
      mat   mset1
1     (1.42854E-15 2003 1 -4)
2     (7.18106E-16 2003 1 -4)
3     (1.42854E-16 2003 1 -4)
4     (1.42854E-16 2003 1 -4)
5     (1.42854E-16 2003 1 -4)
8     (1.42854E-16 2003 1 -4)
9     (1.42854E-16 2003 1 -4)
13    (1.42854E-16 2003 1 -4)
14    (1.42854E-16 2003 1 -4)
$-----dosis selesai-----
```

[T - Deposit]

title = Dosis pada Tiap Organ
 mesh = reg # mesh type is region-wise
 reg = 308 309 310 7 10 11 29 45 47 48
 unit = 0 # unit is [Gy/source]
 output = dose # total deposit energy
 axis = reg # axis of output
 x-txt = Nomor Region Organ
 y-txt = Dosis (Gy/source)
 file = dose.out # file name of output for the above axis
 part = 4He 7Li \$neutron photon proton
 angel = ymin(1.0e-18) ymax(1.0e-14)
 epsout = 1

\$-----

[T - T r a c k]

mesh = xyz # mesh type is xyz scoring mesh
 x-type = 2 # z-mesh is linear given by zmin,zmax and nz
 nx = 120 # number of z-mesh points
 xmin = -40. # minimum value of z-mesh points
 xmax = 100. # maximum value of z-mesh points
 z-type = 2 # x-mesh is linear given by xmin,xmax and nx
 nz = 120 # number of x-mesh points
 zmin = -90. # minimum value of x-mesh points
 zmax = 70. # maximum value of x-mesh points
 y-type = 2 # y-mesh is given by the below data
 ny = 1 # number of y-mesh points
 ymin = -100
 ymax = 100
 part = neutron
 e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
 ne = 1 # number of e-mesh points
 0 1000
 unit = 1 # unit is [1/cm²/source]
 axis = xz # axis of output
 file = trackaneu41509_xz.out # file name of output for the above axis
 title = Track All Neutron
 gshow = 1 # 0: no 1: bnd, 2: bnd+mat, 3: bnd+reg 4: bnd+lat
 epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL

[T - T r a c k]

mesh = xyz # mesh type is xyz scoring mesh

```
x-type = 2 # z-mesh is linear given by zmin,zmax and nz
nx = 120 # number of z-mesh points
xmin = -40. # minimum value of z-mesh points
xmax = 100. # maximum value of z-mesh points
z-type = 2 # x-mesh is linear given by xmin,xmax and nx
nz = 120 # number of x-mesh points
zmin = -100. # minimum value of x-mesh points
zmax = 100. # maximum value of x-mesh points
y-type = 2 # y-mesh is given by the below data
ny = 1 # number of y-mesh points
ymin = -100
ymax = 100
part = photon
e-type = 1 # e-mesh is given by the below data
ne = 1 # number of e-mesh points
    0 1000
unit = 1 # unit is [1/cm^2/source]
axis = xz # axis of output
file = trackphoton_xz9.out # file name of output for the above axis
title = Track All Neutron
gshow = 3 # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
epsout = 1 # (D=0) generate eps file by ANGEL
```

[E n d]

CURRICULUM CITAE**Data Pribadi**

Nama Lengkap : Nanda Aisyah Putri
 Tempat, Tanggal Lahir : Gunungkidul, 16 Juli 2001
 Alamat Domisili : Munggi Pasar, Semanu, Semanu, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta
 Fakultas : Sains dan Teknologi
 Program Studi : Fisika
 Nomor Telepon : 088980897067
 Alamat Email : nandaaisyah2@gmail.com

Riwayat Pendidikan

SDN Nitikan (2008 – 2014)
 SMPN 1 Semanu (2014 – 2017)
 SMAN 1 Karangmojo (2017 – 2020)
 UIN Sunan Kalijaga (2020 – 2024)

Pengalaman Organisasi

Bendahara, *Study Club* Biofisika dan Fisika Medis (2021 – 2023)
 Ketua Umum, *Physics Cup* 2022 (2022)
 Ketua Divisi Perlengkapan, *Fisika Festival* 2022 (2022)
 Kepala Departemen Minat dan Bakat, HM-PS Fisika UIN Sunan Kalijaga (2022 – 2023)
 Sekretaris, Webinar Nasional IHAMAFI Wilayah III (2021 – 2022)
 Anggota Departemen Kewirausahaan, HM-PS Fisika UIN Sunan Kalijaga (2021 – 2022)
 Anggota Departemen Kewirausahaan, IHAMAFI Wilayah III (2020 – 2022)

Pengalaman Bekerja

Kerja Praktik di PRTKMMN-BRIN Yogyakarta (2023)
 Asisten Praktikum Fisika Dasar I (2023)
 Asisten Praktikum Fisika Modern (2022)