

OPTIMASI DESAIN TARGET PRODUKSI NEUTRON BERBASIS SIKLOTRON PROTON MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO UNTUK APLIKASI KARAKTERISASI MATERIAL

ANNIDA FAKHIRA FIRDAUS



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



- 



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Optimasi Desain Target Produksi Neutron Berbasis Siklotron Proton Menggunakan Simulasi Monte Carlo untuk Aplikasi Karakterisasi Material” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Annida Fakhira Firdaus
G7401221014



ABSTRAK

ANNIDA FAKHIRA FIRDAUS. Optimasi Desain Target Produksi Neutron Berbasis Siklotron Proton Menggunakan Simulasi Monte Carlo untuk Aplikasi Karakterisasi Material. Dibimbing oleh SITTI YANI dan ABD DJAMIL HUSIN.

Penggunaan siklotron proton sebagai sumber neutron untuk aplikasi karakterisasi material menjadi alternatif yang menarik. Namun, energi proton yang terbatas pada sebagian besar siklotron menuntut pemilihan material target yang tepat agar produksi neutron dapat dioptimalkan. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik neutron yang dihasilkan dari iradiasi proton pada material murni (Be-9, Li-7, dan C-12) serta material senyawa (BeO, Be₂C, dan LiF) menggunakan energi proton 13 MeV dan 20 MeV. Simulasi dilakukan dengan metode Monte Carlo menggunakan Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS). Ketebalan target divariasikan secara adaptif pada rentang 0,05–1,00 cm berdasarkan distribusi fluks neutron yang dihasilkan pada masing-masing energi proton. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Be-9 menghasilkan fluks neutron tertinggi dengan rasio neutron terhadap foton yang paling baik dibandingkan material lainnya, sehingga berpotensi menjadi target yang paling optimal untuk sumber neutron berbasis siklotron proton. Selain itu, seluruh material yang dikaji menghasilkan neutron yang didominasi oleh neutron cepat dan epitermal, sedangkan kontribusi neutron termal relatif rendah. Oleh karena itu, penggunaan moderator diperlukan untuk memperoleh spektrum neutron yang sesuai bagi aplikasi karakterisasi material. Material Be₂C menunjukkan prospek yang baik sebagai target neutron karena memiliki ketahanan termal yang tinggi, meskipun diperlukan sistem pereduksi radiasi gamma untuk meningkatkan kualitas berkas neutron yang dihasilkan.

Kata kunci: fluks neutron, karakterisasi material, material target, monte carlo, siklotron proton

ABSTRACT

ANNIDA FAKHIRA FIRDAUS. Optimization of a Proton Cyclotron-Based Neutron Production Target Design Using Monte Carlo Simulation for Material Characterization Applications. Supervised by SITTI YANI and ABD DJAMIL HUSIN.

Proton cyclotrons have gained increasing attention as alternative neutron sources for material characterization applications due to their compact size and lower operational requirements compared with nuclear reactors. Nevertheless, the limited proton energies available in most cyclotrons pose a challenge for efficient neutron production, thereby requiring the optimization of target materials. In this study, the neutron characteristics resulting from proton irradiation of pure materials (Be-9, Li-7, and C-12) and compound materials (BeO, Be₂C, and LiF) were investigated using proton energies of 13 MeV and 20 MeV. The simulations were performed using the Monte Carlo method with the Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS). The target thickness was varied adaptively over the range of 0.05–1.00 cm based on the neutron flux distribution produced at each proton energy. The simulation results show that Be-9 produces the highest neutron flux with the best neutron-to-photon ratio compared to other materials, making it a potential optimal target for proton cyclotron-based neutron sources. Furthermore, all materials studied produce neutrons dominated by fast and epithermal neutrons, while the contribution of thermal neutrons is relatively low. Therefore, the use of a moderator is necessary to obtain a neutron spectrum suitable for material characterization applications. Be₂C shows good prospects as a neutron target due to its high thermal resistance, although a gamma-ray reduction system is required to improve the quality of the resulting neutron beam.

Keywords: material characterization, monte carlo, neutron flux, proton cyclotron, target material



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

OPTIMASI DESAIN TARGET PRODUKSI NEUTRON BERBASIS SIKLOTRON PROTON MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO UNTUK APLIKASI KARAKTERISASI MATERIAL

ANNIDA FAKHIRA FIRDAUS

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Faozan, S.Si., M.Si.
2. Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : Optimasi Desain Target Produksi Neutron Berbasis Siklotron Proton Menggunakan Simulasi Monte Carlo untuk Aplikasi Karakterisasi Material

Nama : Annida Fakhira Firdaus
NIM : G7401221014

Disetujui Oleh:

Pembimbing 1:
Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.
NIP. 198606242019032019

Pembimbing 2:
Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si.
NIP. 196904171997021001

Diketahui Oleh:

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001

Tanggal Ujian: 23 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Desain Target Produksi Neutron Berbasis Siklotron Proton Menggunakan Simulasi Monte Carlo untuk Aplikasi Karakterisasi Material”. Penelitian yang dilaksanakan sejak November 2025 hingga Juni 2026 ini tidak luput dari berbagai hambatan sebelum akhirnya penulis berhasil menyelesaikannya menjadi sebuah skripsi. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Sitti Yani, S.Si M.Si., sebagai pembimbing pertama dan Bapak Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si., sebagai pembimbing kedua, yang telah memberikan waktu, bimbingan, dan kesabaran selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Seluruh dosen dan staf Departemen Fisika IPB, khususnya Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si., Ibu Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si., dan Bapak Dr. Faozan, S.Si., M.Si., sebagai dosen penguji, serta Bapak Drs. Mahfuddin Zuhri, M.Si. sebagai dosen penggerak, yang telah memberikan banyak saran, masukan, ilmu, dan pengalaman yang berharga selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Farid Ma'ruf dan Ibu Kholisatur Rohmah selaku orang tua penulis yang telah memberikan banyak dukungan, doa, dan kasih sayang di setiap langkah penulis, termasuk dalam pengerjaan skripsi.
4. Risalawaqti, Nurassyifa, Desri Faujiyyah, Rahma Nadiyah, Sri Astuti, Adinda Nur, Kak Fatiha, dan Kak Lisa selaku sahabat penulis yang telah menemani dan memberikan dukungan kepada penulis.
5. Ayi dan Karmilah selaku rekan satu bimbingan yang telah menemani, membantu, dan memberikan saran selama rangkaian tugas akhir ini.
6. Seluruh anggota 7Dream yang telah memberikan banyak karya yang indah dan kalimat positif yang membentuk mental penulis untuk tidak menyerah dan memberikan yang terbaik dalam menjalani kehidupan.
7. Seluruh mahasiswa Departemen Fisika angkatan 59 yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan, serta semua pihak lainnya yang terlibat yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

Annida Fakhira Firdaus



- 

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Siklotron Proton	4
2.2 Interaksi Proton dengan Materi.....	4
2.3 Neutron.....	7
2.4 Material Target Neutron	8
2.5 Aplikasi Karakterisasi Material.....	9
2.6 Simulasi Monte Carlo	11
2.7 <i>Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS)</i>	11
III METODE	13
3.1 Waktu dan Tempat.....	13
3.2 Alat dan Bahan.....	13
3.3 Prosedur Kerja.....	13
3.4 Analisis Data	15
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Karakteristik Fluks Neutron pada Target Material Murni.....	16
4.2 Karakteristik Neutron dari Material Senyawa.....	20
4.3 Fluks Partikel Sekunder	24
4.4 Deposisi Energi dan Ketahanan Target	26
V SIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Simpulan	29
5.2 Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	33
RIWAYAT HIDUP	37



DAFTAR TABEL

1	Jenis neutron berdasarkan energi	7
2	Parameter fisik material target (Mcconn <i>et al.</i> 2011)	14
3	Persentase fluks neutron epitermal (100 eV – 200 keV) pada target material murni yang diiradiasi proton 13 MeV	19
4	Persentase fluks neutron epitermal (100 eV – 200 keV) pada target material murni yang diiradiasi proton 20 MeV	19
5	Persentase fluks neutron epitermal (100 eV – 200 keV) pada target material senyawa yang diiradiasi proton 13 MeV	23
6	Persentase fluks neutron epitermal (100 eV – 200 keV) pada target material senyawa yang diiradiasi proton 13 MeV	23
7	Deposisi energi dan batas titik leleh material target pada iradiasi proton 13 MeV dan 20 MeV	27

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi interaksi proton dengan materi. (a) Interaksi Coulomb dengan elektron atom, (b) Interaksi Coulomb dengan inti atom, (c) Interaksi nuklir (Newhauser dan Zhang 2015)	5
2	Desain simulasi	14
3	Pengaruh ketebalan material target murni terhadap fluks neutron total pada proton berenergi (a) 13 MeV, (b) 20 MeV	18
4	Pengaruh ketebalan material target senyawa terhadap fluks neutron total pada proton berenergi (a) 13 MeV, (b) 20 MeV	22
5	Perbandingan fluks partikel sekunder pada iradiasi proton berenergi (a) 13 MeV dan (b) 20 MeV	25

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	34
2	Fluks neutron total yang diiradiasi proton 13 MeV	35
3	Fluks neutron total yang diiradiasi proton 20 MeV	35
4	Fluks neutron epitermal yang diiradiasi proton 13 MeV	36
5	Fluks neutron epitermal yang diiradiasi proton 20 MeV	36