

# **MODIFIKASI KOLOM TERMAL PADA REAKTOR KARTINI MENGUNAKAN BRIKET DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK BNCT: SIMULASI MONTE CARLO**

**SUKMA TRI ADINDA SUDIRO**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**



## PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Modifikasi Kolom Termal pada Reaktor Kartini Menggunakan Briket dan Tempurung Kelapa untuk BNCT: Simulasi Monte Carlo” 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, November 2024

Sukma Tri Adinda Sudiro  
G7401201066



## ABSTRAK

SUKMA TRI ADINDA SUDIRO. Modifikasi Kolom Termal pada Reaktor Kartini Menggunakan Briket dan Tempurung Kelapa untuk BNCT: Simulasi Monte Carlo. Dibimbing oleh ABDUL DJAMIL HUSIN dan SITTI YANI.

Penelitian ini menganalisis distribusi fluks neutron termal dan laju dosis sinar gamma pada kolom termal yang dimodifikasi dengan mengganti material grafit menggunakan briket dan serbuk tempurung kelapa sebagai material yang mampu memoderasi neutron. Simulasi dilakukan menggunakan *software* PHITS dengan neutron sebagai sumber partikel yang digunakan, pada dua desain kolom termal, serta menggunakan 3 variasi energi, yaitu 3 MeV, 4MeV, dan 5 MeV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari empat modifikasi, hanya desain 2 modifikasi kolom termal dengan briket pada energi 3 MeV yang memenuhi standar IAEA untuk *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT). Modifikasi kedua tidak memenuhi kriteria, namun modifikasi dengan serbuk tempurung kelapa tidak memenuhi standar IAEA. Ini menunjukkan bahwa briket tempurung kelapa lebih efektif dalam memoderasi neutron cepat dibandingkan serbuk tempurung kelapa karena briket memiliki karakteristik densitas lebih besar yang nilainya hampir sama dengan densitas grafit.

Kata kunci: *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT), briket, kolom termal, PHITS, tempurung kelapa

## ABSTRACT

SUKMA TRI ADINDA SUDIRO. Modification of the Thermal Column on the Kartini Reactor Using Briquettes and Coconut Shells for BNCT: A Monte Carlo Simulation. Supervised by DJAMIL HUSIN dan SITTI YANI.

This study analyzes the distribution of thermal neutron flux and gamma dose rates in a modified thermal column, where graphite material was replaced with briquettes and coconut shell powder as materials capable of moderating neutrons. Simulations were conducted using PHITS software with neutrons as the particle source, applied to two thermal column designs and utilizing three energy variations: 3 MeV, 4 MeV, and 5 MeV. The results indicate that among the four modifications, only the second design of the thermal column modified with briquettes at 3 MeV energy met the IAEA standards for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). The second modification almost met the criteria, whereas the modifications using coconut shell powder did not match with IAEA standards. This suggests that coconut shell briquettes are more effective in moderating fast neutrons compared to coconut shell powder due to their higher density, which closely resembles the density of graphite.

**Keywords:** *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT), briquettes, coconut shell, PHITS, thermal column*



@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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024  
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.*

# **MODIFIKASI KOLOM TERMAL PADA REAKTOR KARTINI MENGUNAKAN BRIKET DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK BNCT: SIMULASI MONTE CARLO**

**SUKMA TRI ADINDA SUDIRO**

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  
2024**



## @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 Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, M.Si.
- 2 Dr. Agus Kartono, M.Si.



Judul Skripsi : Modifikasi Kolom Termal pada Reaktor Kartini Menggunakan Briket dan Tempurung Kelapa untuk BNCT: Simulasi Monte Carlo

Nama : Sukma Tri Adinda Sudiro

NIM : G7401201066

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

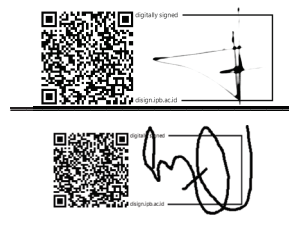
Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si.

NIP. 196904171997021001

Pembimbing 2:

Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.

NIP. 198606242019032019

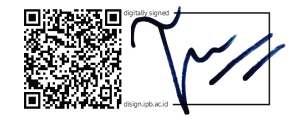


Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, M.Si.

NIP. 197205191997021001



Tanggal Ujian: 9 Desember 2024

Tanggal Lulus:



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari sampai bulan Agustus 2024 ini ialah divisi teori, dengan judul “Modifikasi Kolom Termal pada Reaktor Kartini Menggunakan Briket dan Tempurung Kelapa untuk BNCT: Simulasi Monte Carlo”.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.

1. Ibu Sati tercinta dan Bapak Sudiro selaku orang tua penulis karena telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi yang sangat besar untuk Penulis.
2. Kakak-kakak tercinta Otmilda Hapsari Sudiro dan Nanda Rizkia yang telah memberikan saran dan membantu penulis dalam banyak hal di perkuliahan.
3. Bapak Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama dan Ibu Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua atas bimbingan, arahan, motivasi, dan masukan yang berharga.
4. Bapak Prof. Dr. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, M.Si. selaku dosen penguji pertama dan Bapak Dr. Agus Kartono, M.Si. selaku dosen penguji kedua atas masukan dan saran yang sangat berharga
5. Sahabat tercinta, Fafah, Diva, Nina, Nashwa, dan teman-teman Skuyliving yang memberikan saya semangat menjalankan penugasan saya hingga selesai.
6. Teman-teman Fisika 57 IPB yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas kebersamaannya.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan kritik dan saran membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Bogor, November 2024

*Sukma Tri Adinda Sudiro*

## DAFTAR ISI

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| DAFTAR ISI                                                      | 1  |
| DAFTAR TABEL                                                    | 1  |
| DAFTAR GAMBAR                                                   | 1  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                                 | 2  |
| I PENDAHULUAN                                                   | 1  |
| 1.1 Latar Belakang                                              | 1  |
| 1.2 Rumusan Masalah                                             | 2  |
| 1.3 Tujuan                                                      | 2  |
| 1.4 Manfaat                                                     | 2  |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                             | 3  |
| 2.1 Interaksi Radiasi Neutron dengan Materi                     | 3  |
| 2.2 Interaksi Radiasi Gamma dengan Materi                       | 5  |
| 2.3 <i>Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)</i>                 | 6  |
| 2.4 Reaktor Kartini                                             | 8  |
| 2.5 Briket Tempurung Kelapa                                     | 10 |
| 2.6 Serbuk Tempurung Kelapa                                     | 10 |
| 2.7 Monte Carlo                                                 | 11 |
| 2.8 <i>Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS)</i> | 11 |
| III METODE                                                      | 12 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian                                 | 12 |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian                                   | 12 |
| 3.3 Prosedur Penelitian                                         | 12 |
| 3.4 Analisis Data                                               | 18 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                         | 20 |
| 4.1 Perhitungan Faktor Multiplikasi                             | 20 |
| 4.2 Distribusi Fluks Neutron                                    | 21 |
| 4.3 Komponen Laju Dosis Sinar Gamma                             | 25 |
| 4.4 Parameter Standar IAEA                                      | 27 |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                            | 29 |
| 5.1 Simpulan                                                    | 29 |
| 5.2 Saran                                                       | 29 |
| DAFTAR PUSTAKA                                                  | 30 |
| LAMPIRAN                                                        | 33 |
| RIWAYAT HIDUP                                                   | 41 |

## DAFTAR TABEL

|    |                                                                                                                                                          |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Parameter berkas neutron standar IAEA                                                                                                                    | 8  |
| 2  | Fraksi massa briket tempurung kelapa                                                                                                                     | 13 |
| 3  | Fraksi massa serbuk tempurung kelapa                                                                                                                     | 13 |
| 4  | Parameter blok pada modifikasi kolom termal briket tempurung kelapa                                                                                      | 14 |
| 5  | Parameter blok pada modifikasi kolom termal serbuk tempurung kelapa                                                                                      | 15 |
| 6  | $D_{\gamma}/\dot{\Phi}_{epi}$ terhadap ketebalan pada desain 1 dan 2 modifikasi kolom termal menggunakan briket tempurung kelapa dengan 3 variasi energi | 26 |
| 7  | $D_{\gamma}/\dot{\Phi}_{epi}$ terhadap ketebalan pada desain 1 dan 2 modifikasi kolom termal menggunakan serbuk tempurung kelapa dengan 3 variasi energi | 26 |
| 8  | Hasil akhir parameter simulasi briket tempurung kelapa                                                                                                   | 27 |
| 9  | Hasil akhir parameter simulasi serbuk tempurung kelapa                                                                                                   | 28 |
| 10 | Hasil keluaran kolom termal acuan dengan kolom termal penelitian                                                                                         | 28 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                                        |    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Reaksi fisi pada $^{235}\text{U}$ dipicu oleh penyerapan neutron (Tsoulfanidis 1983)                                   | 4  |
| 2  | Efek fotolistrik (Tsoulfanidis 1983)                                                                                   | 5  |
| 3  | Hamburan Compton (Tsoulfanidis 1983)                                                                                   | 6  |
| 4  | Produksi pasangan (Tsoulfanidis 1983)                                                                                  | 6  |
| 5  | Reaksi $^{10}\text{B} (n,\alpha) ^7\text{Li}$ dalam sel                                                                | 7  |
| 6  | Reaktor Kartini (Wahyuningsih 2014)                                                                                    | 8  |
| 7  | Kolom termal reaktor Kartini (Fauziah 2013)                                                                            | 9  |
| 8  | Input material (a) briket tempurung kelapa (b) serbuk tempurung kelapa                                                 | 16 |
| 9  | Desain kolom termal acuan (Yani <i>et al.</i> 2022)                                                                    | 17 |
| 10 | Desain 1 kolom termal (a) briket tempurung kelapa dan (b) serbuk tempurung kelapa setelah modifikasi tampak dalam (2D) | 17 |
| 11 | Desain 1 kolom termal (a) briket tempurung kelapa dan (b) serbuk tempurung kelapa setelah modifikasi tampak luar (3D)  | 17 |
| 12 | Desain 2 kolom termal (a) briket tempurung kelapa dan (b) serbuk tempurung kelapa setelah modifikasi tampak dalam (2D) | 18 |
| 13 | Desain 2 kolom termal (a) briket tempurung kelapa dan (b) serbuk tempurung kelapa setelah modifikasi tampak luar (3D)  | 18 |
| 14 | Simulasi berhasil pada desain 2 modifikasi kolom termal briket energi 3 MeV                                            | 21 |
| 15 | Simulasi tidak berhasil pada desain 2 modifikasi kolom termal briket energi 3 MeV                                      | 21 |

|    |                                                                                                                                                  |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 16 | Grafik perbandingan komponen neutron cepat pada desain 1 modifikasi kolom termal menggunakan briket tempurung kelapa dan serbuk tempurung kelapa | 24 |
| 17 | Grafik perbandingan komponen neutron cepat pada desain 2 modifikasi kolom termal menggunakan briket tempurung kelapa dan serbuk tempurung kelapa | 24 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                   |    |
|---|---------------------------------------------------|----|
| 1 | Diagram alir penelitian                           | 33 |
| 2 | Perhitungan fraksi massa briket tempurung kelapa  | 34 |
| 3 | Perhitungan densitas briket tempurung kelapa      | 36 |
| 4 | Perhitungan fraksi massa serbuk tempurung kelapa  | 37 |
| 5 | Perhitungan densitas serbuk tempurung kelapa      | 38 |
| 6 | Faktor multiplikasi                               | 39 |
| 7 | Perhitungan keluaran simulasi sesuai standar IAEA | 40 |