

ANALISIS POTENSI TOMOGRAFI MUON SEBAGAI SISTEM DETEKSI DINI TANAH LONGSOR DENGAN SIMULASI MONTE CARLO PHITS

AYI RUSMIATI



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

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- 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.

Perpustakaan IPB University



@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.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Analisis Potensi Tomografi Muon sebagai Sistem Deteksi Dini Tanah Longsor dengan Simulasi Monte Carlo PHITS” 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, April 2026

Ayi Rusmiati
G7401221016



@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.

ABSTRAK

AYI RUSMIATI. Analisis Potensi Tomografi Muon sebagai Sistem Deteksi Dini Tanah Longsor dengan Simulasi Monte Carlo PHITS. Dibimbing oleh SITTI YANI dan TONY IBNU SUMARYADA.

Indonesia rentan terhadap tanah longsor yang dipicu curah hujan tinggi sehingga menyebabkan perubahan densitas dan kandungan air dalam tanah. Oleh karena itu, diperlukan metode deteksi dini non-destruktif. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi tomografi muon menggunakan simulasi Monte Carlo dengan perangkat lunak *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS) pada model tanah inhomogen dan berlapis dengan variasi kandungan air 0%, 10%, 20% dan 30% dengan sumber muon isotropik berenergi 10 MeV – 100 GeV. Hasil menunjukkan muon memiliki penetrasi tinggi namun kurang sensitif terhadap perubahan densitas, sedangkan partikel sekunder terutama neutron, paling responsif terhadap variasi kondisi tanah. Dengan demikian, deteksi dini lebih efektif dilakukan secara tidak langsung melalui analisis partikel sekunder, khususnya neutron.

Kata Kunci: Deteksi dini, Monte Carlo, PHITS, Tanah longsor, Tomografi muon

ABSTRACT

AYI RUSMIATI. Analysis of the Potential of Muon Tomography as an Early Detection System for Landslides Using PHITS Monte Carlo Simulations. Supervised by SITTI YANI and TONY IBNU SUMARYADA.

Indonesia is highly vulnerable to landslides triggered by intense rainfall, which alters soil density and water content. Therefore, a non-destructive early detection method is required. This study aims to analyze the potential of muon tomography using Monte Carlo simulation with the Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) on inhomogeneous and layered soil models with water content variations of 0%, 10%, 20%, and 30%, using an isotropic muon source with energies ranging from 10 MeV to 100 GeV. The results show that muons have high penetration capability but are less sensitive to density changes, while secondary particles, especially neutrons, exhibit the strongest response to variations in soil conditions. Thus, early detection is more effectively performed indirectly through the analysis of secondary particles, particularly neutrons.

Keywords: Early detection, Landslides, Monte Carlo, Muon tomography, PHITS



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.



ANALISIS POTENSI TOMOGRAFI MUON SEBAGAI SISTEM DETEKSI DINI TANAH LONGSOR DENGAN SIMULASI MONTE CARLO PHITS

AYI RUSMIATI

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 Abd Djamil Husin, S.Si., M.Si.
2 Prof. Dr. Akhiruddin, M.Si.



Judul Skripsi : Analisis Potensi Tomografi Muon sebagai Sistem Deteksi Dini Tanah Longsor dengan Simulasi Monte Carlo PHITS

Nama : Ayi Rusmiati
NIM : G7401221016

Disetujui oleh

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

Pembimbing 2:
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada WP, M.Si.
NIP. 197205191997021001

Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001

Tanggal Ujian: 22 Juni 2026

Tanggal Lulus:

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 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.

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 September 2025 sampai bulan Februari 2026 ini ialah Tomografi muon, dengan judul “Analisis Potensi Tomografi Muon sebagai Sistem Deteksi Dini Tanah Longsor dengan Simulasi Monte Carlo PHITS”.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Amin selaku ibu dari penulis, yang telah memberikan dukungan, do'a, dan kasih yang tak pernah henti sehingga penulis bersemangat dalam menyelesaikan penelitian.
2. Ibu Dr. Sitti Yani, M.Si. dan Bapak Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, arahan, bimbingan, dan kesabaran selama proses pelaksanaan penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini
3. Bapak Abd Djamil Husin, S.Si., M.Si. dan Prof. Dr. Akhiruddin, M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan staf Departemen Fisika IPB yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan informasi kepada penulis selama perkuliahan.
5. Rekan-rekan satu bimbingan Siti Karmilah, Annida Fakhira, serta semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
6. Seluruh rekan-rekan Fisika Angkatan 59, khususnya member grup OOS yaitu Destiani Rahmawati, Ira saira, Az-zahra Farhatusakinah dan Monira Polalina sebagai sahabat penulis yang telah menemani masa perkuliahan dan juga menjadi motivasi bagi penulis.
7. Teman-teman SMANJAT IPB 2022, Aditya Lesmana, Asep, Dewa Desta, Loby Alians, Relita anugerah dan Resmatunisa yang memberikan semangat dan motivasi selama penulis menyelesaikan skripsi.
8. Diri sendiri, yang telah berkomitmen, bekerja keras, bertanggung jawab penuh dan tidak menyerah dalam menuntaskan seluruh proses perkuliahan serta penyusunan tugas akhir ini.
9. Seseorang yang telah digariskan takdir dan saat ini masih dalam rahasia-Nya. Terima kasih telah menjadi motivasi secara tidak langsung bagi penulis untuk menyelesaikan studi ini, sebagai wujud kesiapan diri dalam membangun masa depan bersama kelak.

Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026

Ayi Rusmiati



@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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
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
1.6 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Muon	4
2.2 Interaksi Muon dengan Materi	4
2.3 <i>Tomography</i>	6
2.4 <i>Muography</i>	7
2.5 Monte Carlo	7
2.6 <i>Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS)</i>	8
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Prosedur Penelitian	10
3.4 Analisis Data	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Model Dua Lapisan Tanah	14
4.2 Model Tiga Lapisan Tanah	20
V SIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Simpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	29
RIWAYAT HIDUP	39

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.



DAFTAR TABEL

1	Komposisi M_2	12
2	Perbandingan fluks partikel sekunder terhadap variasi material pada model dua lapisan tanah	15
3	Perbandingan fluks Partikel sekunder terhadap variasi kandungan air pada model tiga lapisan	21

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian	9
2	Desain simulasi variasi (a) M_2 , (b) M_2 -variasi air, (c) M_3 -variasi air	11
3	Produksi partikel sekunder (neutron, foton, proton, elektron) pada M_2	14
4	Distribusi fluks partikel muon+ dan muon- pada material (a) M_2 -0%, (b) M_2 -5%, (c) M_2 -10%, (d) M_2 -20%, dan (e) M_2 -30%	17
5	Distribusi fluks partikel neutron pada material (a) M_2 -0%, (b) M_2 -5%, (c) M_2 -10%, (d) M_2 -20%, dan (e) M_2 -30%	18
6	Distribusi fluks partikel foton pada material (a) M_2 -0%, (b) M_2 -5%, (c) M_2 -10%, (d) M_2 -20%, dan (e) M_2 -30%	19
7	Produksi partikel sekunder (neutron, foton, proton, elektron) pada M_3	20
8	Distribusi fluks partikel muon+ dan muon- dalam M_3	22
9	Distribusi fluks partikel neutron pada M_3 dengan kadar air (a) 5%, (b) 10%, (c) 20%, dan (d) 30%	23
10	Distribusi fluks partikel foton pada M_3 dengan tambahan air (a) 5%, (b) 10%, (c) 20%, dan (d) 30%	24

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Perhitungan fraksi massa material dengan variasi kadar air	30
2	Lampiran 2 File Input simulasi PHITS pada material M_2 -0%	33
3	Lampiran 3 File Input simulasi PHITS pada material M_3 -5%	36