



# **SIMULASI PENCITRAAN GUNUNG BERAPI DENGAN METODE *MUOGRAPHY* MENGGUNAKAN GEANT4**

**DADAN HIDAYATULOH**



**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.



## PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian dengan judul “Simulasi Pencitraan Gunung Berapi Dengan Metode *Muography* Menggunakan Geant4” 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 laporan akhir ini.

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

Bogor, 03 Juli 2024



Dadan Hidayatulloh

G7401201057

- 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.

## ABSTRAK

DADAN HIDAYATULOH. Simulasi Pencitraan Gunung Berapi dengan Metode *Muography* Menggunakan Geant4 (Simulation of Volcano Imaging with *Muography* Method Using Geant4). Dibimbing oleh TONY IBNU SUMARYADA dan ZULKAIDA AKBAR.

*Muography* merupakan metode pencitraan menggunakan partikel muon yang mampu mencitrakan struktur internal dari objek berdensitas tinggi. Pencitraan *muography* banyak diterapkan pada berbadai bidang, termasuk pada *volcanology*. Penelitian ini dilakukan dengan membangun simulasi pencitraan gunung berapi menggunakan software Geant4 berbasis Monte Carlo untuk mengevaluasi kemampuan partikel muon untuk mencitrakan struktur internal gunung berapi. Geometri gunung berapi dibangun dengan material *standard rock* yang memiliki densitas  $\rho = 2,00 \text{ g/cm}^3$  serta memiliki saluran magma kosong. Serta dibangun dua lapis detektor sintilator yang berdensitas  $\rho = 1,03 \text{ g/cm}^3$ . Sedangkan *beam* partikel muon ditembakkan menuju detektor dengan energi 1-40 GeV. Hasil simulasi menunjukkan bahwa partikel muon dapat mencitrakan gunung berapi dan dapat membedakan perbedaan densitas pada gunung berapi dan saluran magma.

Kata kunci: *Muography*, Geant4, gunung berapi, citra

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## ABSTRACT

DADAN HIDAYATULOH. Simulation of Volcano Imaging with Muography Method Using Geant4. Supervised by TONY IBNU SUMARYADA and ZULKAIDA AKBAR.

Muography is an imaging method using muon particles that can image the internal structure of high-density objects. Muography imaging is widely applied in various fields, including volcanology. This study was conducted by building a volcano imaging simulation using Monte Carlo-based Geant4 software to evaluate the ability of muon particles to image the internal structure of the volcano. The volcano geometry is built with standard rock material that has a density  $\rho = 2,00 \text{ g/cm}^3$  and has empty magma channels. Two layers of scintillator detectors with a density of  $\rho = 1,03 \text{ g/cm}^3$  were built. Meanwhile, muon particle beams are fired towards the detector with energies of 1-40 GeV. Simulation results show that muon particles can image volcanoes and can distinguish density differences in volcanoes and magma channels.

@hak.cipta.sti@ipb.ac.id



©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.*

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.

# **SIMULASI PENCITRAAN GUNUNG BERAPI DENGAN METODE *MUOGRAPHY* MENGGUNAKAN GEANT4**

**DADAN HIDAYATULOH**

Laporan Akhir

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana pada

Program Studi Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**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. **Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.**
2. **Dr. Siti Nikmatin, S.Si., M.Si.**

Judul : Simulasi Pencitraan Gunung Berapi Dengan Metode *Muography*  
Menggunakan Geant4  
Nama : Dadan Hidayatulloh  
NIM : G7401201057

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:

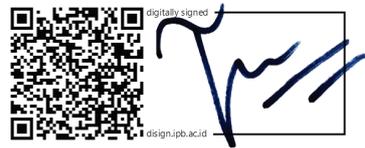
Zulkaida Akbar Ph.D



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, S.Si., M.Si.  
NIP. 19720519 1997021001



Tanggal Ujian: 30 Juli 2024

Tanggal Lulus:



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSrE, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

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 penelitian dengan judul “Simulasi Pencitraan Gunung Berapi Dengan Metode *Muography* Menggunakan Geant4” ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat dalam pelaksanaan tugas akhir dan mendapatkan gelar sarjana di Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, S.Si., M.Si selaku pembimbing pertama yang telah membimbing dari capstone pertama, penulis berterimakasih atas motivasi, ilmu dan sarannya. Penulis berterimakasih kepada Bapak Zulkaida Akbar Ph.D yang telah membimbing selama MBKM dan membimbing penelitian ini, terimakasih untuk motivasi, ilmu dan sarannya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Sitti Yani M.Si yang telah membimbing selama capstone pertama. Penulis juga berterimakasih kepada Mamah dan Bapak, terimakasih atas kerja keras dan cinta kasihnya, beserta keluarga yang selalu *support* selama perjalanan hidup penulis. Tidak lupa kepada Kelompok Riset *High Energy Physic eksperimental* BRIN yang telah memberikan saran dan masukan pada penelitian ini, kepada teman-teman fisika 57, dan kepada sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan semangat untuk mengerjakan penelitian ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, 03 Juli 2024

*Dadan Hidayatuloh*

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 mengumunkan 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.

## 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	3
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 Metode Pencitraan Muon	5
2.4 GEANT4	6
2.5 Detektor Sintilator	7
2.6 Penerapan <i>Muography</i> dalam Bidang Vulkanologi	7
III METODE	9
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Kerja	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	11
4.1 Pencitraan Objek Kecil dengan <i>Muography</i>	11
4.2 Pencitraan Gunung Berapi dengan <i>Muography</i>	16
V SIMPULAN DAN SARAN	21
5.1 Simpulan	21
5.2 Saran	21
DAFTAR PUSTAKA	22
LAMPIRAN	26



## DAFTAR TABEL

1	Data hasil simulasi <i>muography</i> pada balok beruang hampa	11
2	Data hasil simulasi <i>muography</i> pada gunung berapi	17

## DAFTAR GAMBAR

1	Prinsip <i>Muon Scattering Tomography</i> (MST) (Frazão 2018)	6
2	Prinsip <i>Muon absorption radiography</i> (IAEA 2022)	6
3	Ilustrasi <i>muography</i> dalam bidang vulkanologi (IAEA 2022)	8
4	Geometri gunung dan detektor pada Geant4	10
5	Tampilan <i>beam</i> muon pada Geant4	10
6	Geometri balok dengan empat ruang hampa	11
7	Hasil citra balok dengan empat ruang hampa	12
8	Hasil citra dengan <i>gaussian filtering</i>	12
9	Hasil citra balok dengan energi muon 10 GeV dan 3 juta <i>beam</i> muon	13
10	Hasil citra dengan <i>gaussian filtering</i>	13
11	Distribusi fluks muon pada detektor	14
12	fungsi eror dari <i>leading edge</i> data distribusi muon	14
13	fungsi eror dari <i>trailing edge</i> data distribusi muon	15
14	Distribusi fluks muon pada detektor	15
15	fungsi eror dari <i>leading edge</i> distribusi muon	16
16	fungsi eror dari <i>trailing edge</i> distribusi muon	16
17	Hasil citra gunung berapi (fluks muon)	17
18	Distribusi sudut datang muon	18
19	Hasil citra <i>muography</i> dengan sudut datang acak	19
20	Distribusi sudut kedatangan muon	19
21	Geometri gunung tanpa saluran magma	20
22	Hasil citra gunung tanpa saluran magma	20

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alur penelitian	26
---	-------------------------	----

@Hak cipta milik IPB University

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.