

**PENGEMBANGAN MODEL KECEPATAN GELOMBANG
SEISMIK BERBASIS *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*
(ANN) BERDASARKAN DATA GEMPA VULKANIK
GUNUNG SINABUNG**

SKRIPSI

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains



Najwa Kaila Nur Alif

1306622047

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2026

ABSTRAK

NAJWA KAILA NUR ALIF. Pengembangan Model Kecepatan Gelombang Seismik Berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) Berdasarkan Data Gempa Vulkanik Gunung Sinabung. Dibawah bimbingan Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si dan Dr. Mohammad Hasib, M.Sc

Model kecepatan gelombang seismik merupakan salah satu parameter penting dalam analisis lokasi hiposenter serta interpretasi struktur bawah permukaan gunung api. Ketelitian model kecepatan sangat dipengaruhi oleh kualitas data seismik dan metode pemodelan yang digunakan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi waktu tiba gelombang P dan S sebagai data masukan, mengembangkan model kecepatan gelombang seismik berbasis *Artificial Neural Network* (ANN), serta mengevaluasi performa model yang dihasilkan. Data yang digunakan berupa rekaman aktivitas seismik Gunung Sinabung periode Januari 2017 yang diperoleh dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Tahapan penelitian meliputi preparasi data, deteksi event menggunakan metode *Short Term Average/Long Term Average* (STA/LTA), *phase picking* menggunakan SeisGram2K80, estimasi hiposenter awal menggunakan metode *Geiger Adaptive Damping* (GAD), evaluasi kualitas picking menggunakan Diagram Wadati, penyusunan dataset, normalisasi data, serta pelatihan model ANN. Hasil Diagram Wadati menunjukkan rasio V_p/V_s sebesar 1,718 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,797, yang menunjukkan konsistensi hasil picking. Evaluasi model ANN pada dua skenario model kecepatan awal menunjukkan bahwa Model 2 memberikan performa terbaik dengan nilai MSE sebesar 0,01333, RMSE sebesar 0,11544 km/s, MAE sebesar 0,09040 km/s, MAPE sebesar 3,203%, dan R^2 sebesar 0,793, sedangkan Model 1 menghasilkan MSE sebesar 0,01616, RMSE sebesar 0,12712 km/s, MAE sebesar 0,10396 km/s, MAPE sebesar 3,836%, dan R^2 sebesar 0,749. Model kecepatan hasil ANN menunjukkan pola peningkatan nilai V_p terhadap kedalaman yang masih konsisten dengan karakteristik geologi bawah permukaan Gunung Sinabung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ANN mampu memodelkan hubungan nonlinier antara parameter seismik dan kecepatan gelombang P sehingga berpotensi menjadi alternatif dalam pengembangan model kecepatan awal pada studi seismik gunung api.

Kata kunci: *Artificial Neural Network*, Gunung Sinabung, Diagram Wadati, *Geiger Adaptive Damping*, Model Kecepatan, Gelombang Seismik.

ABSTRACT

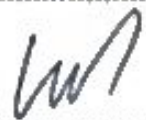
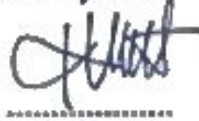
NAJWA KAILA NUR ALIF. Development of a Seismic Velocity Model Based on Artificial Neural Network Using Seismic Activity Data from Mount Sinabung. Dibawah bimbingan Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si dan Dr. Mohammad Hasib, M.Sc

Seismic velocity models play an important role in hypocenter analysis and subsurface structural interpretation in volcanic areas. The accuracy of a velocity model depends on the quality of seismic data and the modeling approach employed. This study aims to identify P-wave and S-wave arrival times as input data, develop a seismic velocity model using an Artificial Neural Network (ANN), and evaluate the performance of the proposed model. The dataset consists of Mount Sinabung seismic records acquired during January 2017 from the National Research and Innovation Agency (BRIN) and the Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation (PVMBG). The methodology includes seismic data preparation, event detection using the Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) method, phase picking using SeisGram2K80, initial hypocenter estimation using the Geiger Adaptive Damping (GAD) method, picking quality assessment through Wadati analysis, dataset construction, data normalization, and ANN model training. The Wadati diagram produced a V_p/V_s ratio of 1.718 with a coefficient of determination (R^2) of 0.797, indicating consistent phase picking results. Performance evaluation using two initial velocity model scenarios showed that Model 2 achieved the best performance with an MSE of 0.01333, RMSE of 0.11544 km/s, MAE of 0.09040 km/s, MAPE of 3.203%, and R^2 of 0.793, while Model 1 yielded an MSE of 0.01616, RMSE of 0.12712 km/s, MAE of 0.10396 km/s, MAPE of 3.836%, and R^2 of 0.749. The ANN-derived velocity model exhibits an increasing P-wave velocity with depth, which is consistent with the geological characteristics of Mount Sinabung's subsurface. These results demonstrate that ANN can effectively model the nonlinear relationship between seismic parameters and P-wave velocity, providing a promising alternative approach for developing initial velocity models in volcanic seismic studies.

Keywords: *Artificial Neural Network, Mount Sinabung, Wadati Diagram, Geiger Adaptive Damping, Seismic Velocity Model, Seismic Waves.*

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
PENGEMBANGAN MODEL KECEPATAN GELOMBANG SEISMIK BERBASIS
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN) BERDASARKAN DATA GEMPA
VULKANIK GUNUNG SINABUNG

Nama : Najwa Kaila Nur Alif
 No. Registrasi : 1306622047

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab		
Dekan Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si. NIP. 197909162005011004		09/08 2026
Wakil Penanggung Jawab		
Wakil Dekan I Dr. Meillasari, S.Pd., M.Sc. NIP. 197905042009122002		09/08 2026
Ketua Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si. NIP. 198205262008121001		28/7 2026
Sekretaris Fachriza Fathan, S.Si., M.Si. NIP. 199203102024061002		28/7 2026
Anggota		
Pembimbing I Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si. NIP. 196804011994031002		29/7 2026
Pembimbing II Dr. Mohammad Hasib, M.Sc. NIP. 199102072020121005		29/7 2026
Penguji Haris Suhendar, M.Sc NIP. 199404282022031006		29/7 2026

Dinyatakan lulus ujian skripsi pada tanggal 20 Juli 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "Pengembangan Model Kecepatan Gelombang Seismik Berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) Berdasarkan Data Gempa Vulkanik Gunung Sinabung" yang disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta adalah benar merupakan karya ilmiah saya sendiri yang disusun di bawah arahan dosen pembimbing. Seluruh 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 sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Apabila di kemudian hari ditemukan bahwa sebagian atau seluruh isi skripsi ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik yang telah saya peroleh serta sanksi lainnya sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 20 Juli 2026



METER
TEMPEL
L3F42A0X093358701

Najwa Kaila Nur Alif



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Najwa Kaila Nur Alif
NIM : 1306622047
Fakultas/Prodi : Fisika
Alamat email : najwakaila12@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PENGEMBANGAN MODEL KECEPATAN GELOMBANG SEISMİK BERBASIS

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN) BERDASARKAN DATA GEMPA VULKANIK

GUNUNG SINABUNG

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta 11 Agustus 2026

Penulis

(Najwa Kaila Nur Alif)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat kelulusan program Sarjana di Program Studi Fisika, Universitas Negeri Jakarta dengan judul “Pengembangan Model Kecepatan Gelombang Seismik Berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) Berdasarkan Data Gempa Vulkanik Gunung Sinabung”

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains di bidang Fisika. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si. selaku dosen pembimbing I, yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dari awal hingga akhir penulisan skripsi.
2. Bapak Dr. Mohammad Hasib, M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan serta masukan dalam kegiatan penelitian maupun penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Teguh Budi Prayitno, M. Si. selaku Koordinator Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta atas bimbingan dan arahan selama masa studi.
4. Ayah dan Ibu yang senantiasa mendoakan kelancaran penelitian dan penulisan skripsi penulis serta senantiasa selalu memberikan dukungan lahir dan batin.
5. Sahabat sekaligus rekan satu bimbingan, Putri dan Gibran, yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, serta menjadi teman berdiskusi dan saling membantu selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.

6. Sahabat penulis, Aulia, Salwa, Amara, dan Revi, yang selalu memberikan dukungan, motivasi, serta kebersamaan selama menjalani perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
7. Teman-teman Prodi Fisika 2022 Kelas B yang telah banyak membantu dalam memotivasi untuk proses penelitian serta penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi yang penulis tulis masih banyak kekurangan, Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sedalam-dalamnya atas hal tersebut dan dengan senang hati menerima kritik serta saran yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan ke arah yang lebih baik dalam ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang fisika.

Jakarta, 11 Juli 2026

Penulis,



Najwa Kaila Nur Alif

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Manfaat Penelitian.....	6
1. Manfaat Teoretis	6
2. Manfaat Praktis	6
E. Pembatasan Masalah.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	8
A. Gelombang Seismik	8
1. Gelombang	8
2. Gelombang Seismik	9
B. Gempa Vulkanik.....	13
1. Gempa Vulkanik	13
2. <i>Event Detection</i>	15
3. Model Kecepatan	17
4. Hiposenter	18
C. <i>Machine learning</i>	21
1. Konsep Dasar	21
2. <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	24

F. Penelitian Relevan	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
A. Tempat dan Waktu Penelitian	32
B. Peralatan Penelitian	32
1. Perangkat Keras	32
2. Perangkat Lunak.....	33
C. Metode dan Prosedur Penelitian.....	34
1. Metode Penelitian.....	34
2. Prosedur Penelitian.....	34
D. Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	37
1. Pengumpulan Data	38
2. Preparasi Data	38
3. Penentuan Fase Gelombang P dan S (Phase Picking).....	39
6. Pra pemrosesan Data	42
5. Analisis Data	46
E. Pemodelan <i>Machine Learning</i>	47
F. Evaluasi.....	50
BAB IV	53
A. Hasil	53
1. Deskripsi Data.....	53
2. Preparasi Data	55
3. Penentuan Fase Gelombang P dan S (Phase Picking).....	60
5. Diagram Wadati	66
7. Model ANN.....	73
8. Evaluasi Model.....	78
B. Pembahasan.....	87
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN.....	108
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	109

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	32
Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop Penelitian.....	33
Tabel 3.3. Perangkat Lunak yang Digunakan pada Penelitian	33
Tabel 3.5 Struktur dataset akhir	44
Tabel 3.6 Pembagian dataset penelitian	45
Tabel 3.7 Arsitektur ANN.....	49
Tabel 4.1 Kode <i>channel</i> setiap stasiun seismik.....	53
Tabel 4.2 Koordinat setiap stasiun seismik.....	54
Tabel 4.3 Struktur dataset yang digunakan sebagai masukan model Artificial Neural Network (ANN).	71
Tabel 4.4 Model kecepatan awal (<i>Initial Model 1</i> dan <i>Initial Model 2</i>) yang digunakan sebagai dasar pembentukan target V_p	72
Tabel 4.5 Model kecepatan hasil ANN	76
Tabel 4.6 Evaluasi numerik model kecepatan hasil ANN terhadap model referensi pada setiap lapisan kedalaman untuk (a) Model 1 dan (b) Model 2.	79
Tabel 4.7 Ringkasan statistik hasil evaluasi model kecepatan hasil ANN terhadap model referensi.....	80
Tabel 4.8 Hasil evaluasi model ANN.	82
Tabel 4.9 Statistik perubahan koordinat hiposenter hasil inversi menggunakan model kecepatan awal dan model kecepatan ANN.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis-jenis gelombang seismik	11
Gambar 2.2 Gelombang primer dan sekunder dalam rekaman seismik (Sumber: Sahara et al., 2021).	11
Gambar 2. 3 Jenis gempa vulkanik, bentuk gelombang dan spektogramnya. A). <i>Volcanic Tectonic</i> (VT), B). <i>Hybrid</i> , C). <i>Long-Period</i> , D). <i>Volcanic Tremor</i> , E). <i>Deep Long-Period</i> , F). <i>Very long-period</i> , G). <i>Explosion</i> , H). <i>Rockfall</i> . (Sumber: McNutt & Roman, 2015).	15
Gambar 2.4. Ilustrasi proses deteksi kejadian seismik menggunakan metode Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA).	17
Gambar 2. 5 Skema pembelajaran mesin (Sumber: Zan et al., 2024).	23
Gambar 2.6 Arsitektur <i>Artificial Neural Network</i> (Sumber: Bre et al., 2018).....	25
Gambar 4. 1 Lokasi Sinabung dan lokasi 6 Stasiun.....	55
Gambar 4.2 Contoh tampilan gelombang pada LS-7.....	56
Gambar 4.3 Kotak dialog pada perangkat lunak LS-7: (a) tampilan untuk mengonversi data dari format hexadecimal ke raw dan (b) tampilan untuk menyimpan data hasil merging dan konversi.....	56
Gambar 4.4 a)Contoh tampilan data tipe hexadecimal di LS_7 b) Contoh tampilan data yang sudah dikonversi kedalam bentuk raw.....	57
Gambar 4.5 TXT <i>file</i> dari hasil <i>merge</i>	57
Gambar 4.6 Contoh waveform hasil konversi data ke format SAC berupa rekaman selama satu hari pada stasiun SKN tanggal 1 Januari 2017.....	59
Gambar 4.7 Salah satu contoh <i>event</i> hasil deteksi <i>event</i> menggunakan STA/LTA.	59
Gambar 4.8 Tampilan waveform pada SeisGram2K80 sebelum proses picking..	61
Gambar 4.9 Penentuan arrival time fase P dan S menggunakan SeisGram2K80.	62
Gambar 4.10 Contoh isi file hasil picking (.pick).....	62
Gambar 4.11 Isi file <i>station.dat</i> yang digunakan sebagai data koordinat stasiun pada program GAD.....	63
Gambar 4.12 Isi file <i>velocity.dat</i> yang digunakan sebagai model kecepatan awal pada program GAD.....	63

Gambar 4.13 Contoh isi file <i>arrival.dat</i> yang digunakan sebagai data waktu tiba gelombang pada program GAD.	64
Gambar 4.14 Contoh hasil keluaran program GAD.....	65
Gambar 4.15 Diagram Wadati untuk salah satu event hasil picking.	67
Gambar 4.16 Hasil Diagram Wadati seluruh event	68
Gambar 4.17 Profil kecepatan hasil ANN dengan Initial Velocity Model pada (a) Model 1 dan (b) Model 2	75
Gambar 4.18 Hasil perbandingan antara Initial Velocity Model dan ANN Velocity Model pada (a) Model 1 dan (b) Model 2	77
Gambar 4.19 Grafik training loss dan validation loss pada (a) Model 1 dan (b) Model 2	81
Gambar 4.20. Perbandingan distribusi hiposenter menggunakan model kecepatan initial (merah) dan model kecepatan hasil ANN (hijau).	86



DAFTAR SINGKATAN

ANN : Artificial Neural Network
BRIN : Badan Riset dan Inovasi Nasional
GAD : Geiger's Adaptive Damping
GMT : Generic Mapping Tools
LTA : Long Term Average
MAE : Mean Absolute Error
MAPE : Mean Absolute Percentage Error
ML : Machine Learning
MSE : Mean Squared Error
PVMBG : Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi
PyGMT : Python Interface for Generic Mapping Tools
RMSE : Root Mean Square Error
RMS : Root Mean Square
STA : Short Term Average
STA/LTA : Short Term Average / Long Term Average
UTC : Coordinated Universal Time
VT : Volcano-Tectonic (Gempa Vulkanik Dalam)
Vp : Kecepatan Gelombang Primer (Primary Wave Velocity)
Vp/Vs : Rasio Kecepatan Gelombang P terhadap Gelombang S
Vs : Kecepatan Gelombang Sekunder (Secondary Wave Velocity)