

**PENGUNAAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI JENIS GEMPA
VULKANIK GUNUNG SINABUNG**

Skripsi

Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains



Al Gibran Raya Aliefio Santoso

1306622075

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

ABSTRAK

AL GIBRAN RAYA ALIEFIO SANTOSO. PENGGUNAAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI JENIS GEMPA VULKANIK GUNUNG SINABUNG. Di bawah bimbingan Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si. dan Dr. Mohammad Hasib, M.Sc.

Aktivitas vulkanik Gunung Sinabung menghasilkan data seismik dalam jumlah besar sehingga diperlukan metode analisis otomatis yang mampu mengidentifikasi karakteristik sinyal seismik dari berbagai event gempa vulkanik sinyal secara efisien. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik sinyal seismik Gunung Sinabung, mengekstraksi fitur menggunakan CNN *AutoEncoder*, serta mengevaluasi kualitas pengelompokan event gempa menggunakan *K-Means Clustering*. Data penelitian berupa rekaman sinyal seismik yang dipraproses melalui deteksi dan segmentasi event menggunakan metode *Short-Term Average/Long-Term Average* (STA/LTA). Setiap event direpresentasikan dalam empat jenis fitur, yaitu *waveform*, *spectrogram*, *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC), dan *Fast Fourier Transform* (FFT) *spectrum* yang digabungkan menjadi dataset multikanal sebagai masukan CNN *AutoEncoder*. Fitur laten yang dihasilkan kemudian dikelompokkan menggunakan K-Means dan dievaluasi menggunakan *Silhouette Score*, *Davies-Bouldin Index* (DBI), dan *Calinski-Harabasz Index* (CHI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa representasi fitur laten yang dihasilkan CNN *AutoEncoder* mampu menghasilkan kualitas cluster yang lebih baik dibandingkan penggunaan fitur mentah, sehingga lebih efektif dalam membedakan karakteristik berbagai jenis event gempa vulkanik. Pendekatan ini berpotensi mendukung pengembangan sistem pemantauan aktivitas gunung api secara otomatis dan efisien.

Kata kunci: gempa vulkanik, Gunung Sinabung, CNN *AutoEncoder*, K-Means *Clustering*, deep learning, seismik.

ABSTRACT

AL GIBRAN RAYA ALIEFIO SANTOSO. DEEP LEARNING-BASED CLASSIFICATION OF VOLCANIC EARTHQUAKE TYPES AT MOUNT SINABUNG. Supervised by Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si. and Dr. Mohammad Hasib, M.Sc.

The large volume of seismic data generated by volcanic activity at Mount Sinabung requires automated analysis methods to support efficient monitoring. This study aims to analyze the characteristics of seismic signals associated with different volcanic earthquake events, extract latent features using a Convolutional Neural Network (CNN) AutoEncoder, and evaluate the quality of earthquake event clustering using the K-Means algorithm. The seismic data were preprocessed through event detection and segmentation using the Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) method. Each event was represented by four signal features, namely waveform, spectrogram, Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), and Fast Fourier Transform (FFT) spectrum, which were combined into a multi-channel dataset as the input to the CNN AutoEncoder. The extracted latent features were then clustered using K-Means and evaluated using the Silhouette Score, Davies-Bouldin Index (DBI), and Calinski-Harabasz Index (CHI). The results indicate that the latent feature representation learned by the CNN AutoEncoder produces higher-quality clusters than raw features, enabling better discrimination of different volcanic earthquake events. These findings demonstrate that the combination of CNN AutoEncoder and K-Means clustering is an effective approach for automated seismic data analysis and has the potential to support volcano monitoring systems.

Keywords: volcanic earthquakes, Mount Sinabung, CNN AutoEncoder, K-Means clustering, deep learning, seismic dat

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
PENGUNAAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI JENIS
GEMPA VULKANIK GUNUNG SINABUNG

Nama : Al Gibran Raya Aliefio Santoso
 No. Registrasi : 1306622075

	Nama		Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si. NIP. 197909162005011004		04 / 08 2026
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	Dr. Meillasari, S.Pd., M.Sc. NIP. 197905042009122002		04 / 08 2026
Ketua	Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si. NIP. 198205262008121001		28 / 07 2026
Sekretaris	Fachriza Fathan, S.Si., M.Si. NIP. 199203102024061002		28 / 07 2026
Anggota			
Pembimbing I	Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si. NIP. 196804011994031002		24 / 07 2026
Pembimbing II	Dr. Mohammad Hasib, M.Sc. NIP. 199102072020121005		29 / 07 2026
Penguji	Ahanad Zalnika Purwalaksana, S.Si, M.Si. NIP. 199402032023211015		29 / 07 2026

Dinyatakan lulus ujian skripsi pada tanggal 20 Juli 2026

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "*Penggunaan Deep Learning Untuk Klasifikasi Jenis 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



Al Gibran Raya Alieflo Santoso



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 : Al Gibran Raya Aliefio Santoso
NIM : 1306622075
Fakultas/Prodi : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Fisika
Alamat email : gibransantoso033@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 :

PENGUNAAN DEEP LEARNING UNTUK KLASIFIKASI JENIS 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 ijin 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 , 12 Agustus 2026

Penulis

()

Al Gibran Raya Aliefio Santoso

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*Penggunaan Deep Learning Untuk Klasifikasi Jenis Gempa Vulkanik Gunung Sinabung*". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Allah SWT**, atas segala rahmat, karunia, hidayah, kesehatan, kekuatan, dan kemudahan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. **Ibu Adv. Hajjah Nuniek Dimianti, S.Sos., S.H., M.H.**, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, motivasi, serta semangat kepada penulis dalam setiap proses penyelesaian studi.
3. **Bapak Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si.**, selaku dosen pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
4. **Bapak Dr. Mohammad Hasib, M.Sc.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan arahan, saran, dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan skripsi.
5. **Bapak Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si.**, selaku Koordinator Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, atas arahan dan dukungan selama masa studi.
6. **Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)** yang telah memberikan kesempatan, fasilitas, data penelitian, serta pengalaman penelitian yang sangat berharga selama pelaksanaan penelitian skripsi ini.

7. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan selama penulis menempuh pendidikan.
8. Sahabat ML Group, yaitu Najwa dan Putri, yang telah menjadi teman berdiskusi, bertukar ide, serta saling membantu dalam berbagai pekerjaan dan proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas dukungan, motivasi, dan kebersamaan yang telah diberikan.
9. Sahabat Kelas Belajar, yaitu Aulia dan Salwa, yang telah memberikan semangat, keceriaan, serta menjadi tempat berbagi cerita dan melepas penat di tengah proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas dukungan dan kebersamaan yang selalu menguatkan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang fisika, seismologi, dan penerapan kecerdasan buatan dalam analisis data seismik.

Jakarta, 20 Juli 2026



Penulis,
Al Gibran Raya Aliefio Santoso

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
1. Manfaat Teoritis	3
2. Manfaat Praktis	3
E. Pembatasan Masalah.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
A. Gelombang Seismik.....	5
1. Konsep Fisika Gelombang Seismik.....	6
2. Jenis dan Karakteristik Gelombang	7
3. Energi dan Amplitudo Gelombang	10
B. Pemfilteran Sinyal Seismik	13
1. Deteksi <i>Event</i> dengan STA/LTA	14
2. Segmentasi <i>Event</i> Gempa	16
3. Ekstraksi Fitur Fisik <i>Event</i>	17
C. <i>Deep Learning</i>	20
1. <i>Deep Learning</i>	20
2. CNN AutoEncoder	22
D. <i>Clustering</i> dan Reduksi Dimensi	30
1. <i>Unsupervised Learning</i>	30
2. <i>K-Means Clustering</i>	31

3. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	32
E. Evaluasi <i>Clustering</i>	34
1. <i>Silhouette Score</i>	34
2. <i>Davies-Bouldin Index (DBI)</i>	35
3. <i>Calinski-Harabasz Index (CHI)</i>	36
F. Penelitian Relevan.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	39
B. Alat dan Data	39
1. Alat Penelitian.....	40
2. Data Penelitian	41
C. Metode dan Prosedur Penelitian.....	42
1. Metode Penelitian.....	42
2. Prosedur Penelitian.....	43
D. Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	51
1. Sumber Data.....	51
2. Pra-Pemrosesan Data.....	51
3. Deteksi dan Segmentasi <i>Event</i> Gempa	52
4. Ekstraksi Fitur <i>Event</i>	53
5. Pembentukan Dataset Multikanal	55
E. Pemodelan <i>Deep Learning</i>	56
1. Arsitektur <i>CNN AutoEncoder</i>	56
2. Persiapan Input Model.....	57
3. Proses <i>Forward Propagation</i>	57
4. Fungsi <i>Loss</i> dan Optimasi.....	58
5. Regularisasi Model.....	59
6. Ekstraksi Latent Feature	59
7. Ekstraksi Latent Feature	60
F. <i>Clustering</i> dan Reduksi Dimensi.....	61
1. <i>K-Means Clustering</i>	61
2. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	62
G. Evaluasi Hasil <i>Clustering</i>	63
1. <i>Silhouette Score</i>	64
2. <i>Davies-Bouldin Index (DBI)</i>	64

3. <i>Calinski-Harabasz Index</i> (CHI).....	65
H. Evaluasi dan Interpretasi Hasil <i>Clustering</i>	65
I. Analisis Karakteristik Sinyal dan Perbandingan Metode.....	66
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	68
A. Hasil Pengolahan Data.....	68
1. Karakteristik data sebelum <i>Preprocessing</i>	68
B. Hasil <i>Preprocessing</i> Data.....	72
1. Pembacaan Data Seismik	73
2. Normalisasi Amplitudo Sinyal	74
3. Pembentukan <i>Spectrogram</i>	75
4. Penyesuaian Ukuran Citra	76
5. Penyusunan Dataset CNN	77
6. Analisis Hasil <i>Preprocessing</i>	78
C. Hasil <i>Feature Selection</i>	78
1. Ekstraksi Fitur	79
2. Seleksi Fitur	79
3. Analisis Hasil <i>Feature Selection</i>	80
4. Visualisasi Hasil Seleksi Fitur.....	81
D. Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model CNN	83
1. Arsitektur Model CNN.....	83
2. Proses Pelatihan Model	84
3. Analisis <i>Loss Model</i>	85
4. Pembahasan Hasil CNN	86
E. Analisis dan Validasi Hasil <i>Clustering</i>	87
1. Persiapan Data Hasil <i>Clustering</i>	88
2. Distribusi Data pada Setiap <i>Cluster</i>	89
3. Visualisasi <i>Cluster</i> Hasil <i>RAW</i> dan CNN	91
4. Evaluasi Kualitas <i>Cluster</i>	93
F. Integrasi Label Manual.....	95
1. Karakteristik Visual Setiap Jenis <i>Event</i> Seismik.....	95
2. Analisis Komposisi Jenis Gempa pada Setiap <i>Cluster</i>	99
3. Analisis Karakteristik Fisik <i>Cluster</i>	100
4. Analisis Homogenitas <i>Cluster</i>	103
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	107

A. Kesimpulan.....	107
B. Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA.....	110
LAMPIRAN.....	114
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	115

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kegiatan Penelitian.....	39
Tabel 2 Perangkat Lunak.....	40
Tabel 3 Perangkat Keras.....	41
Tabel 4 Data Penelitian	42
Tabel 5 Data <i>RAW</i>	69
Tabel 6 Dataset.....	77
Tabel 7 Pelatihan Model.....	84
Tabel 8 <i>Cluster RAW</i>	89
Tabel 9 <i>Cluster CNN</i>	90
Tabel 10 Perbandingan Metrik Evaluasi <i>Clustering</i>	94
Tabel 11 Komposisi Jenis Gempa pada <i>Cluster RAW</i>	99
Tabel 12 Komposisi Jenis Gempa pada <i>Cluster CNN</i>	100
Tabel 13 Karakteristik Fisik <i>Cluster Metode RAW</i>	101
Tabel 14 Karakteristik Fisik <i>Cluster Metode CNN</i>	102
Tabel 15 Hasil Analisis Homogenitas <i>Cluster Metode RAW</i>	104
Tabel 16 Hasil Analisis Homogenitas <i>Cluster Metode CNN</i>	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Seismometer	5
Gambar 2 <i>Deep Learning</i>	21
Gambar 3 <i>CNN Architecture</i>	23
Gambar 4 <i>Flowchart</i> Pengumpulan dan Pengumpulan Data	43
Gambar 5 Visualisasi <i>RAW</i> Signal	71
Gambar 6 Hasil Normalisasi Sinyal	74
Gambar 7 Contoh <i>Spectrogram</i>	76
Gambar 8 <i>Feature Importance</i>	80
Gambar 9 Visualisasi <i>Feature Selection</i>	82
Gambar 10 Grafik <i>Loss CNN</i>	85
Gambar 11 Visualisasi <i>PCA CNN Latent</i>	86
Gambar 12 Visualisasi <i>Cluster</i> Hasil <i>PCA</i> pada Data <i>RAW</i>	91

Gambar 13 Visualisasi <i>Cluster</i> Hasil CNN <i>Latent Feature</i>	92
Gambar 14 Visualisasi <i>Volcano Tectonic</i> (VT).....	96
Gambar 15 Visualisasi <i>Event Low Frequency</i> (LF)	96
Gambar 16 Visualisasi <i>Event Hybrid</i>	97
Gambar 17 Visualisasi <i>Event Explosion</i>	97
Gambar 18 Visualisasi <i>Event Emission</i>	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data <i>Event</i> Gempa	114
--	-----

