

**IDENTIFIKASI DAN PREDIKSI JENIS GEMPA VULKANIK
BERBASIS GELOMBANG SEISMIK MENGGUNAKAN
*MACHINE LEARNING***

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**









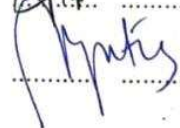
**Bagas Anwar Arif Nur
1306620074**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUANALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

IDENTIFIKASI DAN PREDIKSI JENIS GEMPA VULKANIK BERBASIS GELOMBANG SEISMIK MENGGUNAKAN *MACHINE LEARNING*

Nama : Bagas Anwar Arif Nur
No. Registrasi : 1306620074

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Prof. Dr. Muktiningsih N., M.Si NIP. 196405111989032001		05/8 2024
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 197207281999031002		05/8 2024
Ketua	: Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si NIP. 198205262008121001		23/7 2024
Sekretaris	: Riser Fahdiran, M. Si. NIP. 198307172009121008		22/7 2024
Anggota			
Pembimbing I	: Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M. Si. NIP. 196804011994031002		24/7 2024
Pembimbing II	: Dr. Mohammad Hasib, M. Sc. NIP. 199102072020121005		22/7 2024
Penguji	: Dr. Mutia Delina, M. Si. NIP. 198011192008012007		22/7 2024

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 17 Juli 2024.

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“IDENTIFIKASI DAN PREDIKSI JENIS GEMPA VULKANIK BERBASIS GELOMBANG SEISMİK MENGGUNAKAN *MACHINE LEARNING*”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 17 Juli 2024



Bagas Anwar Arif Nur



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

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 : Bagas Anwar Arif Nur
NIM : 130620074
Fakultas/Prodi : FMIPA / Fisika
Alamat email : Bagasanwararifnur@gmail.com

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

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

yang berjudul :
Identifikasi dan Prediksi Jenis Gempa Vulkanik Berbasis Gelombang
Seismik menggunakan Machine Learning


Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan 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 6 Agustus 2024

Penulis


(Bagas Anwar Arif Nur)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wataala yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya yang dilimpahkan terus-menerus sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan syarat kelulusan program Sarjana di Program Studi Fisika, Universitas Negeri Jakarta dengan judul: **“IDENTIFIKASI DAN PREDIKSI JENIS GEMPA VULKANIK BERBASIS GELOMBANG SEISMIK MENGGUNAKAN *MACHINE LEARNING*”**.

Dalam proses penyelesaian skripsi ini mulai dari persiapan hingga penulisan, penulis merasakan kesulitan dan tantangan. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. rer. nat Bambang Heru Iswanto, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah mengarahkan, dan memberikan saran serta kritik dalam penyusunan skripsi ini,
2. Bapak Dr. Mohammad Hasib, M. Sc, selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan arahan dalam penelitian untuk skripsi ini,
3. Ibu Dr. Umiatin, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Fisika, Universitas Negeri Jakarta yang selalu memberikan motivasi dan arahan kepada mahasiswa untuk dapat segera menyelesaikan skripsi,
4. Ibu Estu Kriswati serta Pihak Badan Riset dan Inovasi Nasional dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana yang telah memberikan kesempatan dan izin kepada penulis untuk menggunakan data dalam penyusunan skripsi ini,
5. Difa Farhani Hakin, Abdullah Muadz Muflih, Huffaz Muhammad Abdurrofi Baith, Arsyah Fadilah, dan Muhammad Rofiid Ramdhan sebagai teman dekat yang senantiasa membantu penulis,
6. Rayhan Firdaus, Yusril Maulana, Izam Bahtiar, dan Dewi Putri yang telah membagikan ilmunya kepada penulis,

7. Michael Setiyanto Silambi, Muhammad Rizki, Muhammad Ridho Pratama, Yusuf Niko Fitranto, Indriani Lutfiyyatunnisa, Delila Septiani Putri, dan Hernanda Khoiriyah Putri sebagai teman satu bimbingan yang bersedia berdiskusi dengan penulis,
8. Serta kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi yang penulis tulis masih penuh kekurangan, Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sedalam-dalamnya atas hal tersebut.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan ke arah yang lebih baik. Kebenaran datangnya dari Allah Subhahanahu Wataala. dan kesalahan datangnya dari diri penulis. Semoga Allah Subhahanahu Wataala senantiasa melimpahkan Rahmat dan Ridho-Nya kepada kita semua.

Jakarta, 17 Juli 2024



Bagas Anwar Arif Nur

ABSTRAK

BAGAS ANWAR ARIF NUR. Identifikasi dan Prediksi Jenis Gempa Vulkanik Berbasis Gelombang Seismik Menggunakan *Machine Learning*. DI Bawah Bimbingan BAMBANG HERU ISWANTO, MOHAMMAD HASIB

Monitoring kegempaan vulkanik memegang peran penting dalam mitigasi kebencanaan gunung api. Pada penelitian ini dikembangkan model *machine learning* dalam tugas prediksi jenis kegempaan vulkanik. Dalam penelitian ini dilakukan analisa *cluster* dan fitur untuk mengetahui kemiripan dan keterpisahan jenis gempa vulkanik serta fitur paling relevannya dalam pengembangan model *Support Vector Machine* dan *K Nearest Neighbour*. Penelitian dilakukan menggunakan data gunung sinabung dengan jenis kegempaan yang dianalisis adalah *Volcano Tectonic*, *Low-frequency*, dan letusan. Untuk tiap data gelombang dilakukan ekstraksi fitur pada domain waktu, frekuensi, dan spektrogramnya. Hasil menunjukkan bahwa keterpisahan antar jenis gempa dan kemiripan antar anggota dalam jenis kegempaan cukup tinggi ditunjukkan pada hasil *silhouette score* mencapai 0.6057, ARI 0.8793, *CH-Index* 934.4445, *DB-Indeks* 0.5205, dan Hasil prediksi memiliki *precision*, *recall*, dan *F1-Score* 97.37%, 100%, dan 98.67% untuk *Volcano-Tectonic*, 100%, 100%, 100% untuk *precision*, *recall*, dan *F1-Score* Low-Frequency, dan 100%, 97.06%, 98.51% untuk letusan dengan akurasi keseluruhan adalah 99.04% pada data test menggunakan enam fitur terpilih. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem prediksi jenis kegempaan vulkanik memiliki potensi signifikan dan dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi praktis.

Kata kunci: Kegempaan vulkanik, Klasifikasi, *Clustering*, *Feature selection*

ABSTRACT

BAGAS ANWAR ARIF NUR. Identification and Prediction of Volcanic Earthquake Types Based on Seismic Waves Using Machine Learning. UNDER THE GUIDANCE OF BAMBANG HERU ISWANTO, MOHAMMAD HASIB

Monitoring volcanic earthquakes plays an essential role in mitigating volcanic disasters. In this research, a machine learning model was developed for predicting volcanic earthquakes types. Furthermore, cluster and feature analysis was carried out to determine the similarity of volcanic earthquakes types and the most relevant features for developing the Support Vector Machine and K Nearest Neighbor models. The research was conducted by processing the data from Mount Sinabung with the types of seismicity being analyzed is Volcano Tectonic, Low-frequency and Explosion. For each wave data, feature extraction was carried out in the time, frequency domain and its spectrogram. The results show that the quality of cluster for each earthquake type was quite high, as shown in the silhouette score results reach 0.6057, ARI 0.8793, CH-Index 934.4445, DB-Indeks 0.5205, and the prediction results have precision, recall, and F1-Score 97.37 %, 100%, and 98.67% for Volcano-Tectonic. The precision, recall, and F1-Score for Low-frequency type reach 100%, 100%, 100%. The explosion reach 100% precision, 97.06% recall, and 98.51% F1-Score. An overall accuracy of 99.04% on data test using six selected features. These results show that the volcanic earthquake type prediction system has significant potential and can be applied for volcanic disasters mitigation.

Keywords: Volcanic seismicity, classification, clustering, feature selection

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Pembatasan masalah.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. Gelombang Seismik	6
1. Gelombang	6
2. Gelombang Seismik	7
3. Domain pada gelombang.....	13
B. Gempa vulkanik.....	15
1. Gempa vulkanik	15
2. <i>Event detection</i>	17
C. Machine Learning.....	18

1. <i>k-means</i>	19
2. <i>Gaussian Mixture Model</i>	19
3. <i>Agglomerative Clustering</i>	20
4. <i>X-means</i>	20
5. <i>k nearest neighbour</i>	20
6. <i>Support vector machine</i>	21
7. Pra-pemrosesan data	23
8. Ekstraksi fitur	23
9. Seleksi Fitur	24
10. Evaluasi model.....	25
D. Penelitian relevan	25
E. Kerangka Berpikir	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
A. Waktu dan Tempat Penelitian	32
B. Alat dan Bahan	33
C. Metode Penelitian.....	33
D. Prosedur Penelitian.....	33
E. Teknik pengumpulan dan analisa data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
A. Hasil.....	41
1. Deskripsi Data.....	41
2. Preparasi Data	42
3. Ekstraksi Fitur.....	47
4. Pra-pemrosesan Data.....	50
5. Analisa fitur.....	52
6. Fitur seleksi	54
7. Analisa <i>Cluster</i>	55
8. Klasifikasi	62
B. Pembahasan.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
A. Kesimpulan.....	73
B. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75

LAMPIRAN	84
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	98



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gelombang dan arah rambatnya.....	7
Gambar 2. 2 Tensor tegangan	8
Gambar 2. 3 Kemungkinan regangan yang terjadi pada suatu material	9
Gambar 2. 4 Gelombang seismik	12
Gambar 2. 5 Gelombang primer, sekunder, dan surface dalam rekaman seismik	13
Gambar 2. 6 Jenis gempa vulkanik, bentuk gelombang dan spektogramnya	16
Gambar 2. 7 STA/LTA	18
Gambar 2. 8 Skema pembelajaran mesin.....	19
Gambar 2. 9 Visualisasi KNN.....	21
Gambar 2. 10 Visualisasi SVM.....	22
Gambar 2. 11. Kerangka berpikir.....	31
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 4. 1 Lokasi Sinabung dan lokasi stasiun 2 Stasiun.....	42
Gambar 4. 2 Contoh tampilan gelombang pada LS-7.....	43
Gambar 4. 3 Kotak dialog pada LS-7	43
Gambar 4. 4 TXT file dari hasil merge	45
Gambar 4. 5 Stream dan Trace.....	46
Gambar 4. 6 STA/LTA	47
Gambar 4. 7 Domain waktu gelombang	48
Gambar 4. 8 Spektrum Frekuensi.....	49
Gambar 4. 9 Spektrogram	50
Gambar 4. 10 Boxplot.....	51
Gambar 4. 11 PCA plot.....	53
Gambar 4. 12 Biplot PCA	53
Gambar 4. 13 F-Scores tiap fitur dari ANOVA	54
Gambar 4. 14 Akurasi tiap penambahan fitur	55
Gambar 4. 15 Silhouette plot k-means.....	57
Gambar 4. 16 Silhouette plot GMM	57
Gambar 4. 17 Silhouette plot AC.....	58

Gambar 4. 18 Hasil clustering X-means	59
Gambar 4. 19 Silhouette plot X-means	59
Gambar 4. 20 Silhouette plot setelah seleksi fitur.....	61
Gambar 4. 21 Learning Curve.....	66
Gambar 4. 22 Learning curve setelah seleksi fitur.....	69



DAFTAR SINGKATAN

VT	: <i>Volcano tectonic</i>
LF	: <i>Low-frequency</i>
STA/LTA	: <i>short-term average/long-term average</i>
GMM	: <i>Gaussian mixture model</i>
AC	: <i>Agglomerative clustering</i>
ARI	: <i>Adjusted Random index</i>
CH-Index	: <i>Calinski–Harabasz index</i>
DB-Index	: <i>Davies-Bouldin indeks</i>
SVM	: <i>Support Vector Machine</i>
KNN	: <i>K-nearest neighbour</i>



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Fitur untuk gelombang seismik.....	24
Tabel 3. 1 Rincian Waktu Pelaksanaan Kegiatan.....	32
Tabel 3. 2 Spesifikas laptop	33
Tabel 3. 3 Confusion matrix	39
Tabel 4. 1 Perhitungan empat metrik cluster.....	60
Tabel 4. 2 Perhitungan empat metrik clustering setelah seleksi fitur	61
Tabel 4. 3 Confusion matrix SVM pada data training	62
Tabel 4. 4 Confusion matrix SVM pada data testing.....	62
Tabel 4. 5 Performa model SVM	63
Tabel 4. 6 Confusion matrix KNN pada data training	64
Tabel 4. 7 Confusion matrix KNN pada data testing.....	64
Tabel 4. 8 Performa model KNN	64
Tabel 4. 9 Confusion matrix SVM pada data training dengan fitur terseleksi.....	66
Tabel 4. 10 Confusion matrix SVM pada data testing dengan fitur terseleksi	67
Tabel 4. 11 Performa model SVM setelah seleksi fitur	67
Tabel 4. 12 Confusion matrix KNN pada data training dengan fitur terseleksi....	68
Tabel 4. 13 Confusion matrix KNN pada data testing dengan fitur terseleksi	68
Tabel 4. 14 Performa model KNN setelah seleksi fitur	69

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Sebagian gelombang dari tiga kelas yang dianalisis	85
LAMPIRAN 2. Surat permohonan melakukan penulisan skripsi.....	97

