

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	iii
KARYA ASLI TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
BAB I	8
PENDAHULUAN	8
1.1 Latar Belakang Masalah	8
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Batasan Masalah	9
1.4 Tujuan Penelitian	10
1.5 Manfaat Penelitian	10
1.6 Tahapan Penelitan	10
1.7 Sistematika Penulisan	11
BAB II	12
TINJAUAN LITERATUR	12
2.1 Aktivitas Vulkanisme	12
2.2 Data Seismik.....	12
2.2.1 Karakteristik Sinyal Seimik.....	12
2.2.2 Representasi Data Seismik	14
2.3 Pengolahan Sinyal	15
2.3.1 <i>Detrend</i>	16
2.3.2 <i>Band-pass Filtering</i>	16
2.3.3 <i>Trimming dan Padding</i>	17
2.3.4 Normalisasi.....	18
2.3.5 Ekstraksi Fitur pada Sinyal Seismik.....	18
2.3.6 Domain Waktu dan frekuensi	19
2.4 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	21
2.5 <i>Convolutional Autoencoder (CAE)</i>	21
2.5.1 <i>Convolutional Layer</i>	23
2.5.2 <i>Pooling Layer</i>	23
2.5.3 <i>Flatten Layer</i>	24
2.5.4 <i>Dense Layer</i>	24
2.5.5 <i>Rectified Linear Unit (ReLU)</i>	24
2.5.6 <i>Loss Function Mean Squared Error (MSE)</i>	25

2.5.7	<i>Loss Function Short Time Fourier Transform (STFT)</i>	25
2.5.8	<i>Total Loss Function</i>	26
2.5.9	<i>Decoder</i>	26
2.6	<i>Optimizer</i>	27
2.7	Model Klasifikasi XGBoost	28
2.7.1	Fungsi Objektif dan Pembaruan Model XGBoost.....	29
2.7.2	Parameter XGBoost	30
2.8	Model Hibrida Autoencoder dan XGBoost	30
2.9	Matriks Evaluasi	30
2.10	State of the Art.....	32
BAB III		34
METODOLOGI PENELITIAN		34
3.1	Tahapan Penelitian.....	34
3.2	Pengumpulan data	35
3.3	Prapemrosesan Data	35
3.3.1	Baca file Mseed	36
3.3.2	Validasi Data Berdasarkan Buletin.....	37
3.3.3	Detrend	38
3.3.4	Band-pass filter.....	40
3.3.5	Padding dan Trimming	41
3.3.6	Splitting Dataset	43
3.3.7	Normalisasi Gelombang untuk CAE	43
3.3.8	Ekstraksi Fitur Manual	45
3.3.9	<i>Scalling</i> Fitur Manual	46
3.4	Pengembangan Model	46
3.4.1	Rancangan Model Baseline dan Usulan	46
3.4.2	Arsitektur CAE-XGBoost	48
3.4.3	Model <i>Compiling</i> dengan Adam dan Multi-Domain Loss	53
3.4.4	<i>Training</i> Model CAE	55
3.4.5	<i>Feature Extraction</i> Model CAE	55
3.4.6	Konfigurasi XGBoost.....	55
3.4.7	Training Model XGBoost.....	56
3.5	Evaluasi dan pengujian model.....	57
3.5.1	Evaluasi <i>Baseline</i> XGBoost	57
3.5.2	Evaluasi CAE	58
3.5.3	Perancangan kombinasi <i>hyperparameter</i>	58
3.5.4	Studi Ablasi	58

3.5.5	Evaluasi performa model.....	59
3.6	Pengembangan Sistem.....	59
3.6.1	<i>Planning</i> Sistem.....	60
3.6.2	Desain Sistem	60
3.6.3	<i>Testing</i> sistem dengan masukan data	63
BAB IV		64
HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN		64
4.1	Implementasi	64
4.1.1	Persiapan <i>environment</i>	64
4.1.2	Prapemrosesan data	64
4.1.3	Pembuatan Model Baseline XGBoost (input fitur manual).....	69
4.1.4	Pembuatan model usulan CAE-XGBoost.....	71
4.1.5	Pengujian dan evaluasi model	74
4.1.6	Antarmuka Sistem Klasifikasi.....	75
4.2	Hasil.....	76
4.2.1	Hasil pengujian <i>hyperparameter</i> model	76
4.2.2	Uji klasifikasi untuk validasi performa model	77
4.2.3	Uji sensitivitas model terhadap <i>shifting</i>	78
4.2.4	Hasil evaluasi performa antar model	79
4.2.5	Hasil evaluasi <i>confusion matrix</i>	80
4.2.6	Hasil evaluasi <i>classification report</i>	81
4.2.7	Hasil evaluasi visualisasi t-SNE	82
4.2.8	Hasil evaluasi model usulan dengan dataset 2022	83
4.3	Pembahasan	87
BAB V		88
KESIMPULAN DAN SARAN		88
5.1	Kesimpulan.....	88
5.2	Saran	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter XGBoost	30
Tabel 2. 2 Tabel Confusion Matrix	31
Tabel 2.3 State of The Art	32
Tabel 3.1 Metadata File mseed	37
Tabel 3.2 Perhitungan detrend pada 10 sampel.....	39
Tabel 3.3 Hasil Pembagian Dataset.....	43
Tabel 3.4 Konfigurasi Parameter XGBoost yang digunakan.....	56
Tabel 3.5 Penjelasan Parameter XGBoost	57
Tabel 3.6 Penjelasan Parameter CAE	58
Tabel 3.7 Kombinasi Pengujian	58
Tabel 3.8 Rancangan Studi Ablasi	59
Tabel 3.9 Tabel Confusion Matrix	59
Tabel 3.10 Spesifikasi Hardware	60
Tabel 3.11 Spesifikasi Software	60
Tabel 3.12 Skenario Pengujian.....	63
Tabel 4.1 Spesifikasi Environment Penelitian	64
Tabel 4.2 Hasil pembagian data	67
Tabel 4.3 Hasil ekstraksi data berdasarkan fitur yang ditentukan.....	69
Tabel 4.4 Hasil scalling data fitur menggunakan fit scaler	69
Tabel 4.5 Inisialisasi parameter XGBoost.....	70
Tabel 4.6 Inisialisasi parameter CAE.....	72
Tabel 4.7 Kombinasi hyperparameter CAE-XGBoost.....	76
Tabel 4.8 Hasil pengujian kombinasi pada CAE-XGBoost.....	76
Tabel 4.9 Pengujian model XGBoost.....	77
Tabel 4.10 Pengujian model CAE XGBoost.....	78
Tabel 4.11 Tabel hasil keseluruhan pengujian.....	78
Tabel 4.12 Hasil uji sensitivitas model terhadap Shifting.....	79
Tabel 4.13 Performa dari tiap konfigurasi model	80
Tabel 4.14 Perbandingan evaluasi Confusion matrix tiap model.....	80
Tabel 4.15 Perbandingan evaluasi classification report tiap model	81
Tabel 4.16 Confusion matrix data 2022 dengan lima kelas.	83
Tabel 4.17 Classification report data 2022 dengan lima kelas.....	83
Tabel 4.18 Confusion matrix dengan data 2022	84
Tabel 4.19 Classification report dengan data 2022	85
Tabel 4.20 Pengujian pada dataset 2022 dengan 3 tipe.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan sinyal seismik (a) sinyal VTA, (b) VTB, (c) MP, (d) LF (Budi-Santoso et al., 2013)	13
Gambar 2.2 Tiga Jenis Representasi Sinyal (Budi-Santoso et al., 2013).....	15
Gambar 2.3 (a) Sebelum proses Detrending dan (b) setelah proses detrending (Obspy Documentation, 2025)	16
Gambar 2.4 Proses Band-pass Filtering (Obspy Documentation, 2025)	17
Gambar 2.5 Ilustrasi Penggunaan CAE (Yin et al., 2017)	21
Gambar 2.6 Arsitektur CAE (Chien et al., 2023).....	22
Gambar 2.7 Ilustrasi Convolutional Layer 1D (Shenfield & Howarth, 2020).....	23
Gambar 2.8 MaxPooling Layer (Khursheed et al., 2021).....	24
Gambar 2.9 Proses Perubahan STFT	25
Gambar 2.10 Contoh Representasi STFT pada Gempa (Ahn et al., 2022).....	26
Gambar 2.11 Arsitektur XGBoost (Khan et al., 2022).....	28
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	34
Gambar 3.2 Mseed dan Buletin Milik BPPTKG	35
Gambar 3.3 Alur Pre Processing Data	36
Gambar 3.4 Visualisasi Gelombang Seismik Selama 1 Hari	36
Gambar 3.5 Visual dari gempa bertipe (a) MP , (b) Rockfall, dan (c) VTB	38
Gambar 3.6 Plot Perbandingan detrend pada data simulasi.....	39
Gambar 3.7 (a) sebelum detrend dan (b) setelah detrend	39
Gambar 3.8 Plot (a) sebelum dan (b) setelah proses bandpass filter	41
Gambar 3.9 Plot Perbandingan Sebelum dan Setelah Proses Trimming	41
Gambar 3.10 Plot (a) sebelum dan (b) setelah padding	42
Gambar 3.11 Plot (a) sebelum dan (b) setelah proses normalisasi.....	44
Gambar 3.12 Plot (a) sebelum dan (b) setelah proses normalisasi pada dataset....	44
Gambar 3.13 Pengembangan Model Baseline	47
Gambar 3.14 Perancangan Model Usulan.....	48
Gambar 3.15 Arsitektur Hibrida model CAE+XGBoost	49
Gambar 3.16 Ilustrasi Max Pooling	51
Gambar 3.17 Ilustrasi Proses Upsampling1D	52
Gambar 3.18 Activity Diagram	61
Gambar 3.19 User Interface	62
Gambar 4.1 (a) sinyal mentah dengan durasi penuh, dan (b) sinyal hasil pembesaran data.	65
Gambar 4.2 (a) Data setelah proses <i>detrend</i> dan <i>bandpass</i> . (b) hasil pembesaran sinyal.....	66
Gambar 4.3 (a) Sebelum <i>padding</i> , dan (b) setelah <i>padding</i>	67
Gambar 4.4 (a) Sebelum normalisasi, dan (b) setelah normalisasi.	68

Gambar 4.5	Grafik Learning curve model baseline	71
Gambar 4.6	Perbandingan training loss dan validation loss model baseline	71
Gambar 4.7	Learning curve CAE	73
Gambar 4.8	Perbandingan training loss dan validation loss CAE	73
Gambar 4.9	User Interface dari aplikasi yang dikembangkan	76
Gambar 4.10	Contoh sinyal seismik sebelum (a,c,e) dan setelah (b,d,f)I shifting dengan detail a dan b adalah Rockfall, c dan d adalah MP, e dan f adalah VTB	79
Gambar 4.11	Perbandingan evaluasi t-SNE tiap model (a) ekstraksi manual, (b) CAE dengan mse loss, dan (c) CAE Multi-domain loss.	82
Gambar 4.12	Visualisasi persebaran data 2022 dengan 5 tipe	84
Gambar 4.13	Visualisasi persebaran data 2022 berdasarkan model usulan.....	85

DAFTAR ALGORITMA

Algoritma 4.1 Baca dan Validasi data	65
Algoritma 4.2 Detrend dan Bandpass filter.....	66
Algoritma 4.3 Padding atau Trimming.....	66
Algoritma 4.4 Splitting data	67
Algoritma 4.5 Normalisasi Gelombang.....	68
Algoritma 4.6 Ekstraksi Fitur Manual.....	69
Algoritma 4.7 Proses Scalling Fitur	69
Algoritma 4.8 Memuat data fitur.....	70
Algoritma 4.9 Encode label.....	70
Algoritma 4.10 Inisialisasi model XGBoost	70
Algoritma 4.11 Pelatihan XGBoost.....	71
Algoritma 4.12 Memuat Data Gelombang	72
Algoritma 4.13 Inisialisasi model CAE.....	72
Algoritma 4.14 Proses Pelatihan Model CAE.....	73
Algoritma 4.15 Ekstraksi fitur menggunakan encoder.....	74
Algoritma 4.16 Confusion matrix.....	74
Algoritma 4.17 Classification report	74
Algoritma 4.18 Algoritma visualisasi T-SNE	75
Algoritma 4.19 Antarmuka sistem.....	76