

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	xiv
INTISARI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan	6
1.5. Manfaat	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Prediksi Tsunami.....	7
2.1.1. Pemodelan Numerik	7
2.1.2. Data Driven Modeling.....	8
2.2. Morfologi Dasar Laut.....	11
2.3. Heteroginitas Spasial.....	13
2.4. Regresi Spasial	14
2.5. Multi-Target Regression	14
2.6. Jaringan Syaraf Tiruan	15
BAB III LANDASAN TEORI.....	21
3.1. <i>Machine learning</i>	21
3.2. Tsunami.....	24
3.3. Prediksi Tsunami.....	27
3.4. <i>Multi Target Regression</i>	30
3.5. Spatial Regression.....	32
3.6. Analytical Hierarchy Process	36
3.7. Rekayasa fitur spasial.....	37

3.8.	<i>Spatial Fixed Effect</i>	39
3.9.	Normalisasi	41
3.10.	Validasi Model	43
3.11.	Evaluasi Model	45
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		47
4.1.	Usulan Metode	47
4.2.	Alat & Bahan.....	50
4.2.1.	Alat	50
4.2.2.	Bahan.....	50
4.3.	Dataset.....	50
4.4.	Ekstraksi fitur Spasial	54
4.5.	Skala Bencana	56
4.6.	Model Spatial Regression	59
4.7.	Spatial Feature Engineering	61
4.7.1.	Proximity Variables.....	62
4.7.3.	<i>Spatial Fixed Effect</i>	65
4.8.	<i>Min Max Normalization</i>	66
4.9.	Model <i>Multi Layer Perceptron Neural Network</i>	66
4.10.	<i>Hyper Parameter Tunning</i>	69
4.11.	Validation Model.....	72
4.12.	Pengujian dan Evaluasi	73
BAB V IMPLEMENTASI.....		76
5.1.	Ekstraksi Data	76
5.1.1.	Hexagon Area	76
5.1.2.	Interpolasi Raster to Region	77
5.1.3.	Interpolasi Dip to Region	78
5.1.4.	Interpolasi Strike to region	78
5.1.5.	Interpolasi Bathimetri to Region	79
5.1.6.	Interpolasi Strike to Region.....	79
5.1.7.	Polygon to Point Interpolation	80

5.1.8.	Interpolasi Zona Palung Pada Gempa	81
5.1.9.	Jarak Titik Gempa dengan Daratan	82
5.1.10.	Jarak Gempa dengan Palung	84
5.1.11.	Perhitungan Luas Patahan	85
5.2.	Generate Skor Bencana	86
5.3.	Pembuatan Model Spatial Regression	89
5.4.	Spatial Fixed Effect	91
5.5.	Pembuatan Model ANN	93
5.6.	Hyper Parameter Tunning	97
5.7.	Evaluation	100
5.8.	Permutation Feature Importance	102
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN		104
6.1.	Hasil Feature Engineering	104
6.1.1.	Interpolasi Area ke Polygon dan Polygon ke Point	104
6.1.2.	Klasifikasi Zona Palung	107
6.1.3.	Perkiraan Jarak	109
6.2.	Hasil AHP dan Sebaran Skor Bencana	111
6.3.	Hasil Pemodelan Spasial	115
6.3.1.	Hasil Pemodelan <i>Spatial Regression</i>	115
6.3.2.	Hasil Pemodelan <i>Spatial Fixed Effect</i>	121
6.4.	Hasil Hyperparameter Tunning	124
6.5.	Hasil Pemodelan ANN	128
6.6.	Feature Importance	132
6.7.	Analisis Hasil Pemodelan Pada Titik Observasi	135
6.8.	Analisis Pada Titik Gempa	138
6.9.	Anomali Pada Prediksi	142
6.9.1.	Anomali Pada Titik Pemantauan	142
6.9.2.	Lokasi Jauh Dari Palung Mendapat Hasil Anomali	143
6.9.3.	Anomali Pada Lokasi Gempa	144
BAB VII PENUTUP		146

7.1. Kesimpulan	146
7.2. Saran.....	146
DAFTAR PUSTAKA	148

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Jenis <i>machine learning</i>	21
Gambar 3. 2 Arsitektur <i>multilayer perceptron neural network</i> dengan 2 <i>hidden layer</i> (Da Silva et al., 2017)	22
Gambar 3. 3 Detail neuron pada <i>artificial neural network</i> (Abdolrasol et al., 2021)	23
Gambar 3. 4 Gambaran umum pembangkitan dan penjalaran tsunami (Mori et al., 2022).....	25
Gambar 3. 5 Penjalaran tsunami dilihat dari a) waktu tempuh tsunami, b) ketinggian gelombang tsunami.....	26
Gambar 3. 6 Penggunaan <i>Machine learning</i> dalam mitigasi bencana Tsunami(Satish et al., 2025)	28
Gambar 3. 7 perbandingan <i>single target neural network</i> dan <i>Multi target neural network</i> (Akinosho et al., 2023).....	31
Gambar 3. 8 proses <i>feature extraction</i> pada fitur skor bencana dengan <i>spatial linear regression</i>	33
Gambar 3. 9 Diagram hierarki AHP	37
Gambar 3. 10 <i>Clustering</i> pada data raster menjadi data tabulasi.....	39
Gambar 3. 11 Alur proses Spatial fixed effect.....	40
Gambar 3. 12 Dampak normalisasi terhadap sebaran data	42
Gambar 3. 13 K-fold cross validation(Nti et al., 2021)	44
Gambar 4. 1 Alur proses perancangan model prediksi tsunami.....	49
Gambar 4. 2 Proses ekstraksi data dari data spasial	51
Gambar 4. 3 Perambatan gelombang Tsunami a) pada menit ke 12, b) pada menit ke 20	52
Gambar 4. 4 Pembagian region dan titik observasi pemodelan tsunami(Wibowo et al., 2023).....	54
Gambar 4. 5 Alur proses pembuatan skala bencana dan <i>spatial regression</i>	58
Gambar 4. 6 Alur proses <i>feature Engineering</i>	61
Gambar 4. 7 Perhitungan jarak point to polygon dengan distance measure	62
Gambar 4. 8 Interpolasi area ke poligon	64
Gambar 4. 9 Alur proses pembuatan <i>spatial fixed effect</i>	65
Gambar 4. 10 Pembagian region spatial fixed effect	66
Gambar 4. 11 Alur proses perancangan model prediksi multi target regression ..	67
Gambar 4. 12 Rancangan multi layer perceptron.....	68
Gambar 4. 13 Alur proses prediksi tsunami.....	69
Gambar 4. 14 Rancangan k-fold cross validation	73

Gambar 5. 1 Region area.....	76
Gambar 5. 2 Kode program interpolasi raster ke polygon	77
Gambar 5. 3 Kode program interpolasi DIP to region	78
Gambar 5. 4 Kode Program Strike to region.....	78
Gambar 5. 5 Kode program interpolasi batimetri ke region	79
Gambar 5. 6 Kode program interpolasi Strike to region	80
Gambar 5. 7 Kode Program region to point interpolation	81
Gambar 5. 8 Zona palung dan zona luar palung	82
Gambar 5. 9 Kode program Interpolasi Area Palung.....	82
Gambar 5. 10 Lokasi gempa berbanding dengan daratan terdekat	83
Gambar 5. 11 Kode Program perhitungan jarak daratan.....	84
Gambar 5. 12 Perbandingan titik gempa terhadap garis palung	84
Gambar 5. 13 Kode program perhitungan jarak palung.....	85
Gambar 5. 14 Kode program perhitungan luas patahan.....	86
Gambar 5. 15 Kode program perhitungan sshmax.....	87
Gambar 5. 16 Kode Program perhitungan standart deviation.....	87
Gambar 5. 17 Kode Program perhitungan lokasi terdampak tsunami	88
Gambar 5. 18 kode program normalisasi nilai ketinggian tsunami	88
Gambar 5. 19 Kode program perhitungan nilai skor bencana	89
Gambar 5. 20 Kode Program tuning hyperparameter	91
Gambar 5. 21 Kode Program Spatial Regression	92
Gambar 5. 22 Kode Program Spatial Fixed Effect	93
Gambar 5. 23 Kode Program data splitting.....	94
Gambar 5. 24 Kode Program perancangan Model Neural Network.....	96
Gambar 5. 25 Kode program evaluasi model.....	97
Gambar 5. 26 Kode Program hyperparameter Tuning Neural Network.....	98
Gambar 5. 27 Kode program implementasi hyperparameter tuning.....	100
Gambar 5. 28 Kode program evaluasi titik observasi gempa	101
Gambar 5. 29 Kode program evaluasi epichentrum gempa	102
Gambar 5. 30 Kode Program feature importance	103

Gambar 6. 1 Hasil interpolasi raster to poligon pada, a) batimetri, b) <i>depth</i> , c) <i>dip</i> , dan d) <i>strike</i>	105
Gambar 6. 2 Zona dalam palung dan zona luar palung.....	107
Gambar 6. 3 Sebaran gempa terhadap zona palung	108
Gambar 6. 4 Distribusi zona palung.....	108
Gambar 6. 5 Garis palung dan garis daratan di area studi	109
Gambar 6. 6 Perkiraan jarak, a) jarak gempa dengan garis pantai, b) jarak gempa dengan garis palung.....	110
Gambar 6. 7 Sebaran skor bencana berdasar pada magnitudo	114
Gambar 6. 8 Sebaran skor bencana berdasar pada lokasi gempa dan magnitudo	114
Gambar 6. 9 Hyperparameter tuning spatial regression.....	115
Gambar 6. 10 Sebaran KNN <i>weight</i>	116
Gambar 6. 11 Sebaran residual pada <i>spatial regression</i>	118
Gambar 6. 12 Perbedaan hasil pemodelan <i>spatial regression</i> dan <i>linear regression</i>	119
Gambar 6. 13 Perbandingan <i>residual linear regression</i> dan <i>spatial regression</i> pada lokasi gempa.....	120
Gambar 6. 14 Sebaran pengaruh regional dengan <i>spatial fixed effect</i> terhadap skor bencana.....	123
Gambar 6. 15 Pengaruh <i>hidden layer</i> terhadap nilai akurasi	125
Gambar 6. 16 Selisih akurasi dengan <i>feature engginering</i> dan tanpa <i>feature</i> <i>engginering</i> pada titik gempa.....	131
Gambar 6. 17 <i>Feature importance</i> pada data tsunami	132
Gambar 6. 18 Sebaran nilai R-SQUARE di sepanjang titik pengamatan	135
Gambar 6. 19 Perbedaan penggunaan spatial regression dan tanpa spatial regression pada akurasi model di titik observasi	136
Gambar 6. 20 Perbandingan nilai MBE antara penggunaan <i>feature engineering</i> dan tanpa <i>feature engginering</i> pada titik observasi	138
Gambar 6. 21 Sebaran rerata nilai a) MBE dan b) R-SQUARE Score berdasar sumber gempa	138
Gambar 6. 22 Grafik akurasi berdasar pada magnitudo gempa	140

Gambar 6. 23 Perbandingan nilai MBE berdasar pada magnitudo gempa	141
Gambar 6. 24 Nilai MBE sepanjang titik observasi.....	142
Gambar 6. 25 Sebaran akurasi model berdasar pada jarak daratan dan garis palung	143
Gambar 6. 26 sebaran akurasi pada titik gempa bumi	144

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka	16
Tabel 4. 1 Contoh hasil ekstraksi 9 parameter	47
Tabel 4. 2 Spesifikasi Dataset Pemodelan Numerik Tsunami	51
Tabel 4. 3 Sembilan Parameter Gempa	52
Tabel 4. 4 Nilai maksimum dan minimum waktu tiba dan ketinggian gelombang tsunami	59
Tabel 4. 5 Tabel pengujian	74
Tabel 4. 6 Tabel pengujian	75
Tabel 6. 1 Hasil interpolasi polygon to point	107
Tabel 6. 2 Perhitungan pairwise comparison dan Certainty ration	112
Tabel 6. 3 perhitungan bobot	113
Tabel 6. 4 Hasil pemodelan	116
Tabel 6. 5 Hasil pemodelan	117
Tabel 6. 6 Hasil pemodelan spatial fixed effect	122
Tabel 6. 7 Sepuluh hasil hyperparameter terbaik dan terburuk	124
Tabel 6. 8 Hasil Pengujian ANN	128