

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PRAKATA.....	v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTISARI.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Penelitian.....	7
1.4 Tujuan Penelitian .....	7
1.5 Keaslian dan Kontribusi Penelitian.....	8
1.6 Manfaat Penelitian .....	12
1.7 Sistematika Penulisan .....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	14
2.1 Tinjauan Pustaka .....	14
2.2 Landasan Teori .....	19
2.2.1 Coastal Vulnerability Index.....	19
2.2.2 Fitur Penyusun Kondisi Wilayah Pesisir.....	21
2.2.2.1 Elevasi Tanah .....	22
2.2.2.2 Kemiringan Lereng .....	22
2.2.2.3 Geomorfologi .....	23
2.2.2.4 Penggunaan dan Tutupan Lahan .....	23
2.2.2.5 Jarak ke Garis Pantai.....	24
2.2.2.6 Laju Perubahan Garis Pantai.....	25
2.2.2.7 Ketinggian Gelombang Signifikan.....	26
2.2.2.8 Kisaran Pasang Surut Rata-Rata .....	27
2.2.2.9 Laju Kenaikan Permukaan Air Laut Relatif.....	28
2.2.3 Pendekatan Pemrosesan Himpunan Data.....	28
2.2.3.1 Rasterisasi dan Himpunan Data Geospasial.....	29
2.2.3.2 Nearest-Neighbor Resampling.....	30

2.2.3.3	Bilinear Resampling.....	31
2.2.3.4	Cubic Convolution Resampling.....	31
2.2.3.5	Sistem Koordinat Geografis.....	32
2.2.3.6	Sistem Koordinat Proyeksi.....	33
2.2.4	Algoritma Pembelajaran Mesin dan Komponennya .....	35
2.2.4.1	Algoritma Random Forest.....	35
2.2.4.2	Algoritma Extreme Gradient Boosting .....	38
2.2.4.3	Algoritma Light Gradient Boosting Machine .....	41
2.2.4.4	Metode RandomizedSearchCV Hyperparameter Tuning.....	44
2.2.5	Explainable Artificial Intelligence (XAI).....	45
2.2.5.1	Konsep Umum Explainable Artificial Intelligence (XAI) ....	45
2.2.5.2	SHapley Additive exPlanations.....	46
2.2.6	Quantum Geographic Information System (QGIS) .....	48
2.2.7	Analisis dan Uji Statistik.....	49
2.2.7.1	Uji Likelihood Ratio dengan Restricted Cubic Splines .....	49
2.2.7.2	Uji Friedman .....	50
2.2.7.3	Uji Iman-Davenport .....	51
2.2.7.4	Sequential Rank Agreement.....	52
2.3	Pertanyaan Penelitian.....	54
2.4	Hipotesis .....	54
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		<b>56</b>
3.1	Fokus Area Penelitian .....	56
3.2	Alat dan Bahan.....	58
3.2.1	Alat.....	58
3.2.2	Bahan.....	60
3.3	Alur Penelitian .....	63
3.3.1	Studi Literatur .....	64
3.3.2	Pemilihan Fitur dan Pengumpulan Himpunan Data.....	64
3.3.3	Penyesuaian Format dan Nilai Fitur Himpunan Data .....	65
3.3.4	Perhitungan Kerentanan Pesisir Model CVI.....	65
3.3.5	Penyesuaian Data untuk Algoritma pembelajaran Mesin .....	66
3.3.6	Pengolahan Data dengan Algoritma Pembelajaran Mesin.....	67
3.3.7	Analisis Kontribusi Fitur dengan SHAP .....	69
3.4	Alur Perancangan dan Pengujian Model.....	70
3.4.1	Pengaturan Wujud Himpunan Data.....	71
3.4.2	Pengolahan Data Kerentanan Pesisir dengan Model CVI.....	73
3.4.2.1	Normalisasi Nilai Fitur.....	73
3.4.2.2	Perhitungan Kerentanan Pesisir dengan Model CVI .....	75
3.4.3	Pengolahan Data Kerentanan Pesisir dengan Algoritma Pembelajaran Mesin.....	75
3.4.3.1	Pengaturan Komposisi Himpunan Data .....	75
3.4.3.2	Uji Nonlinearitas Himpunan Data Kerentanan Pesisir.....	76
3.4.3.3	Pengaturan Hyperparameter Algoritma Pembelajaran Mesin.....	78
3.4.3.4	Proses Klasifikasi dan Prediksi Kerentanan Pesisir .....	80
3.4.3.5	Uji Statistik Performa Model Pembelajaran Mesin .....	81
3.4.4	Penggunaan Metode Interpretasi Pembelajaran Mesin .....	82

3.4.4.1	Analisis Kontribusi Fitur dengan SHapley Additive exPlanations .....	82
3.4.4.2	Analisis Kesepakatan Peringkat Kontribusi Fitur .....	83
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		85
4.1	Persiapan Himpunan Data Penelitian.....	85
4.1.1	Hasil Penyesuaian Format Himpunan Data .....	85
4.2	Perhitungan Kerentanan Pesisir dengan Model CVI Konvensional .....	91
4.2.1	Hasil Normalisasi Nilai Fitur .....	91
4.2.2	Hasil Perhitungan Kerentanan Pesisir dengan Model CVI .....	92
4.3	Pemanfaatan Algoritma Pembelajaran mesin .....	95
4.3.1	Hasil Pengaturan Himpunan Data untuk Pembelajaran Mesin .....	95
4.3.2	Hasil Uji Nonlinearitas.....	96
4.3.3	Hasil Klasifikasi dan Prediksi Algoritma Random Forest .....	98
4.3.4	Hasil Klasifikasi dan Prediksi Algoritma XGBoost.....	101
4.3.5	Hasil Klasifikasi dan Prediksi Algoritma LightGBM .....	104
4.3.6	Hasil Uji Statistik Performa Model Pembelajaran Mesin .....	106
4.4	Analisis Metode SHapley Additive ExPlanation .....	108
4.4.1	Hasil Analisis Kepentingan Fitur dengan SHAP Summary Plot. ....	108
4.4.1.1	Analisis Plot untuk Model Random Forest (RF) .....	108
4.4.1.2	Analisis Plot untuk Model XGBoost .....	109
4.4.1.3	Analisis Plot untuk Model LightGBM.....	110
4.4.2	Hasil Analisis Kontribusi Fitur dengan Beeswarm Plot.....	111
4.4.2.1	Kesepakatan Model dalam Faktor Kerentanan Ekstrem.....	112
4.4.2.2	Logika Model dalam Mendefinisikan Zona Aman .....	114
4.4.2.3	Logika Model dalam Mendefinisikan Zona Transisi .....	117
4.4.3	Hasil Analisis Kesepakatan Peringkat Fitur.....	119
4.4.3.1	Kesepakatan Peringkat Fitur Model Random Forest .....	120
4.4.3.2	Kesepakatan Peringkat Fitur Model XGBoost.....	120
4.4.3.3	Kesepakatan Peringkat Fitur Model LightGBM.....	121
4.4.3.4	Kesepakatan Peringkat Fitur Seluruh Model .....	122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		124
5.1	Kesimpulan .....	124
5.2	Saran .....	125
DAFTAR PUSTAKA .....		127
LAMPIRAN.....		142

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Visualisasi CVI pada penelitian [33] berupa titik koordinat yang menunjukkan kerentanan di sepanjang garis pantai.....	15
Gambar 2.2 Salah satu wujud dari informasi kerentanan pesisir CVI [53] .....	21
Gambar 2.3 Ilustrasi batas sempadan Pantai [67] .....	25
Gambar 2.4 Teknik interpolasi <i>nearest neighbor</i> [84] .....	30
Gambar 2.5 Teknik interpolasi <i>bilinear</i> [84].....	31
Gambar 2.6 Teknik interpolasi konvolusi kubik [84] .....	32
Gambar 2.7 Sistem Koordinat Geografis [88] .....	33
Gambar 2.8 Pembagian zona UTM pada wilayah Indonesia [89] .....	34
Gambar 2.9 Arsitektur algoritma RF yang terdiri dari beberapa kumpulan pohon keputusan [93].....	36
Gambar 2.10 Ilustrasi strategi <i>level-wise growth</i> yang diimplementasikan oleh XGBoost dalam menumbuhkan pohon keputusannya .....	39
Gambar 2.11 Ilustrasi strategi <i>leaf-wise growth</i> yang diimplementasikan oleh LightGBM dalam menumbuhkan pohon keputusannya .....	42
Gambar 3.1 Peta kemiringan lereng DIY, mulai dari datar/elevasi rendah (kuning terang) hingga sangat curam/elevasi tinggi (coklat tua) [139].....	56
Gambar 3.2 Pantai Parangtritis, salah satu objek wisata di wilayah pesisir Bantul yang populer.....	57
Gambar 3.3 Batas cakupan wilayah pesisir yang dijadikan objek penelitian .....	58
Gambar 3.4 Kategori penggunaan dan tutupan lahan pada ESA WorldCover.....	62
Gambar 3.5 Alur penelitian secara umum.....	63
Gambar 3.6 Alur perancangan dan pengujian model penelitian .....	71
Gambar 4.1 Visualisasi fitur penggunaan dan tutupan lahan .....	86
Gambar 4.2 Visualisasi fitur elevasi tanah .....	87
Gambar 4.3 Visualisasi fitur kemiringan lereng.....	87
Gambar 4.4 Visualisasi fitur geomorfologi .....	88
Gambar 4.5 Visualisasi fitur laju perubahan garis pantai.....	89
Gambar 4.6 Visualisasi fitur laju kenaikan permukaan air laut relatif.....	90
Gambar 4.7 Visualisasi fitur kisaran pasang surut. ....	90
Gambar 4.8 Visualisasi fitur ketinggian gelombang signifikan .....	91
Gambar 4.9 Bentuk himpunan data tiap fitur pada beberapa titik spasial sebelum (a) dan sesudah (b) dilakukan normalisasi berdasarkan kelas kerentanan CVI .....	92
Gambar 4.10 Hasil perhitungan kerentanan pesisir dengan fitur yang sudah dinormalisasi yang menghasilkan kelas kerentanan CVI (kolom “Kelas CVI”)..	93
Gambar 4.11 Visualisasi hasil perhitungan kerentanan pesisir dengan metode CVI .....	94
Gambar 4.12 Salah satu area di mana terlihat “lompatan” tingkat kerentanan yang disebabkan oleh batasan pengaruh fitur kelautan.....	94
Gambar 4.13 Distribusi himpunan data untuk data pelatihan dan data uji .....	95
Gambar 4.14 Kurva hubungan antara fitur ketinggian gelombang signifikan dengan kelas kerentanan CVI .....	97

Gambar 4.15 Kurva hubungan antara fitur jarak ke garis pantai dengan kelas kerentanan CVI .....	98
Gambar 4.16 Laporan klasifikasi model Random Forest.....	99
Gambar 4.17 <i>Confusion matrix</i> RF untuk data uji .....	99
Gambar 4.18 Visualisasi prediksi tingkat kerentanan pesisir Bantul yang dihasilkan oleh model RF .....	100
Gambar 4.19 Contoh perbandingan peta kerentanan RF dengan model CVI untuk melihat perbedaan klasifikasi kelas yang dilakukan oleh model RF secara spasial .....	101
Gambar 4.20 Laporan klasifikasi model XGBoost .....	102
Gambar 4.21 <i>Confusion matrix</i> XGBoost untuk data uji.....	103
Gambar 4.22 Visualisasi prediksi tingkat kerentanan pesisir Bantul yang dihasilkan dari proses prediksi model XGBoost .....	103
Gambar 4.23 Laporan klasifikasi model LightGBM .....	105
Gambar 4.24 <i>Confusion matrix</i> LightGBM untuk data uji .....	105
Gambar 4.25 Visualisasi prediksi tingkat kerentanan wilayah pesisir Bantul yang dihasilkan dari proses klasifikasi dengan model LightGBM .....	106
Gambar 4.26 SHAP <i>summary plot</i> untuk model pembelajaran mesin RF.....	109
Gambar 4.27 SHAP <i>summary plot</i> untuk model pembelajaran mesin XGBoost.	110
Gambar 4.28 SHAP <i>summary plot</i> untuk model pembelajaran mesin LightGBM .....	111
Gambar 4.29 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model RF untuk kelas ‘sangat tinggi’ .....	113
Gambar 4.30 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model XGBoost untuk kelas ‘sangat tinggi’ .....	113
Gambar 4.31 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model LightGBM untuk kelas ‘sangat tinggi’ .....	113
Gambar 4.32 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model RF untuk kelas ‘sangat rendah’ .....	115
Gambar 4.33 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model XGBoost untuk kelas ‘sangat rendah’ .....	115
Gambar 4.34 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model LightGBM untuk kelas ‘sangat rendah’ .....	116
Gambar 4.35 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model RF untuk kelas ‘sedang’ .....	117
Gambar 4.36 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model XGBoost untuk kelas ‘sedang’ .....	118
Gambar 4.37 SHAP <i>beeswarm plot</i> Model LightGBM untuk kelas ‘sedang’ .....	118
Gambar 4.38 Kurva SRA(d) untuk ketiga model pembelajaran mesin (RF, XGBoost, dan LightGBM).....	122

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.2 Parameter penting pada algoritma Random Forest (RF).....	37
Tabel 2.3 Parameter penting pada algoritma XGBoost.....	40
Tabel 2.4 Parameter penting pada algoritma LightGBM.....	43
Tabel 3.1 Pustaka Python yang dimanfaatkan di dalam penelitian.....	60
Tabel 3.2 Fitur, sumber data, dan keterangan tambahan dari data yang dimanfaatkan untuk penelitian.....	61
Tabel 3.3 Kategori geomorfologi yang tersedia dari sumber data BIG Inaland, beserta identifikasi nilai numeriknya.....	62
Tabel 3.4 Bentuk konversi nilai setiap fitur untuk perhitungan kerentanan pesisir model CVI di wilayah pesisir Bantul.....	73
Tabel 4.1 Fitur beserta keterangan himpunan datanya.....	85
Tabel 4.2 Komposisi himpunan data pelatihan dan data uji.....	96
Tabel 4.3 Hasil uji nonlinearitas LR dengan RCS.....	96
Tabel 4.4 Nilai <i>f1-score</i> dari hasil validasi silang uji Friedman antar model pembelajaran mesin (nilai yang ditebalkan adalah nilai terbaik).....	106
Tabel 4.5 Nilai SRA(d) untuk setiap peringkat beserta fitur model RF.....	120
Tabel 4.6 Nilai SRA(d) untuk setiap peringkat beserta fitur model XGBoost....	120
Tabel 4.7 Nilai SRA(d) untuk setiap peringkat beserta fitur model LightGBM.	121