

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan tugas akhir ini. Sholawat beriring salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Penelitian Tugas Akhir ini berjudul “Kajian Efek El Niño–Southern Oscillation (ENSO) Terhadap Kenaikan Risiko Banjir Rob di Wilayah Pesisir Utara Kabupaten Brebes” disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Siliwangi.

Selama proses penelitian dan penulisan tugas akhir ini, penulis telah menerima berbagai bentuk bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala hormat penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan seluruh keluarga penulis, atas doa, dukungan, serta kasih sayang yang tiada hentinya, yang menjadi sumber kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan studi hingga tahap akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Aripin, IPU., ASEAN Eng. selaku Dekan serta Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, atas fasilitas dan dukungan akademik yang diberikan.
3. Bapak Ir. Pengki Irawan, S.TP., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Siliwangi.
4. Bapak Andhy Romdani, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh perhatian memberikan masukan, evaluasi, dan arahan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ir. Hendra, S.T., M.Sc., selaku Wali Dosen yang telah memberikan arahan, motivasi, serta bimbingan akademik selama penulis menempuh pendidikan.
6. Seluruh dosen di lingkungan Program Studi Teknik Sipil Universitas Siliwangi, yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan
7. Teman-teman seperjuangan di Jurusan Teknik Sipil yang senantiasa memberikan masukan dan dukungan kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca maupun pihak-pihak lain yang berkepentingan.

Tasikmalaya, 29 Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK BAHASA INDONESIA	iv
ABSTRAK BAHASA INGGRIS	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Dinamika Wilayah Pesisir	7
2.1.1 Hidrodinamika Pesisir.....	8
2.1.2 Perubahan Garis Pantai	13
2.2 Dampak Perubahan Iklim terhadap Wilayah Pesisir	14
2.3 El Niño–Southern Oscillation (ENSO)	15
2.3.1 Perubahan Pola Tekanan Atmosfer Akibat ENSO	17
2.3.2 Respon Dinamika Angin terhadap Fase ENSO.....	19
2.3.3 Climata Data Toolbox	21
2.4 Risiko Banjir Rob dan Faktor Pemicu.....	22
2.4.1 Kenaikan Muka Air Laut (<i>Sea Level Rise</i>).....	22
2.4.2 Penurunan Muka Tanah (<i>Land Subsidence</i>).....	24
2.4.3 Pasang Surut Air Laut	25
2.4.4 Gelombang Laut.....	30
2.5 Prinsip Hidraulika Aliran	34
2.5.1 Keseimbangan Hidrostatik	34
2.5.2 Gradien Hidraulik	35
2.5.3 Profil Muka Air	36

2.5.4 Backwater	36
2.6 Pemodelan Numerik untuk Simulasi Banjir Pesisir	37
2.5.1 MIKE 21 – Pemodelan Hidrodinamika 2D dan Gelombang	38
2.5.2 HEC-RAS – Simulasi Aliran dan Banjir Rob	40
2.5.3 Kalibrasi dan Validasi Model.....	41
2.7 Tinjauan Studi Sebelumnya yang Relevan.....	42
2.8 Bangunan Pengaman Pantai	43
2.8.1 Bangunan Keras (<i>hard structure</i>).....	43
2.8.2 Bangunan Lunak (<i>soft structure</i>)	47
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	49
3.1 Lokasi dan Waktu Studi	49
3.2 Teknik Pengumpulan Data	51
3.3 Alat Penelitian.....	54
3.4 Analisis Data	56
3.5 Teknik Analisis Data	58
3.5.1 Suhu Permukaan Laut (SST) dan Pola Pergerakan Angin	58
3.5.2 Arah dan Kecepatan Angin	58
3.5.3 Analisis Data Pasang Surut.....	58
3.5.4 Analisis Data Gelombang	59
3.5.5 Model Setup.....	59
3.5.6 Model Parameter.....	62
3.6 Domain dan Konfigurasi Model MIKE 21	63
3.7 Konfigurasi Model HEC-RAS dalam Simulasi Banjir Pesisir.....	70
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	74
4.1 Dinamika Interaksi Laut dan Atmosfer pada Fenomena ENSO.....	74
4.1.1 Fase La Niña 2022	74
4.1.2 Fase El Niño 2023.....	77
4.1.3 Fase Netral 2024	79
4.2 Validasi Hasil Simulasi Hidrodinamika MIKE 21	81
4.3 Pengaruh Variabilitas ENSO terhadap Kondisi Hidrodinamika Pesisir	82
4.3.1 Arah dan Kecepatan Arus	83
4.3.2 Fase Bulan dan Fluktuasi Muka Air Laut	87
4.4 Variabilitas Tinggi Gelombang	91
4.4.1 Variabilitas Spasial Tinggi Gelombang Fase La Niña.....	95
4.4.2 Variabilitas Spasial Tinggi Gelombang Fase El Niño	96
4.4.3 Variabilitas Spasial Tinggi Gelombang Fase Netral	98

4.5 Analisis Spasio-Temporal Banjir Pesisir.....	99
4.5.1 Analisis Kejadian Banjir pada Mei 2022 (La Niña).....	101
4.5.2 Analisis Kejadian Banjir pada Juli 2024 (Netral)	103
4.6 Validasi Genangan Banjir.....	106
4.7 Strategi Perlindungan Kawasan Pesisir dari Banjir Rob	109
4.7.1 Morfologi Wilayah dan Tingkat Keparahan Banjir.....	109
4.7.2 Rekomendasi Adaptasi Perlindungan Pesisir	112
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	124
5.1 Kesimpulan	124
5.2 Saran.....	125
DAFTAR PUSTAKA.....	126
LAMPIRAN.....	132

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembobotan SKL Morfologi.	8
Tabel 2.2 Klasifikasi Tipe Gelombang Pecah Berdasarkan Kemiringan Pantai.	33
Tabel 3.1 Ringkasan parameter atmosfer dan oseanografi yang digunakan dalam analisis.	51
Tabel 3.2 Nilai Manning (n) berdasarkan Kelas Penutup Lahan NLCD	53
Tabel 4.1 Perbandingan Kejadian Banjir pada Fase La Niña dan Netral.	106
Tabel 4.2 Kedalaman Banjir Hasil Simulasi dan Observasi Pada Mei 2022 dan Juli 2024.	108
Tabel 4.3 Strategi Perlindungan Ketahanan Pesisir yang Diterapkan di Kabupaten Brebes	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran sungai yang dipengaruhi pasang surut.	10
Gambar 2.2 Distribusi gaya pada fluida.....	11
Gambar 2.3 Kawasan Pesisir.....	13
Gambar 2.4 Model suhu permukaan, angin, dan termoklin (permukaan biru) di Pasifik tropis selama fase Netral, El Niño, dan La Niña.....	17
Gambar 2.5 Lokasi Pengukuran Perbedaan Tekanan Atmosfer di Dua Area Pasifik Tropis Timur (Indonesia) dan Pasifik Barat.	18
Gambar 2.6 Sebaran Tekanan Atmosfer pada Dua Kondisi ENSO.	18
Gambar 2.7 Hubungan antara komponen angin dengan vector arah dan kecepatan.....	20
Gambar 2.8 Proyeksi Kenaikan Permukaan Laut Tahun 2100.	23
Gambar 2.9 Visualisasi land subsidence akibat eksploitasi air tanah di wilayah pesisir..	25
Gambar 2.10 Posisi Bumi, Bulan, dan Matahari saat Spring dan Neap Tide.....	26
Gambar 2.11 Orbit Bulan dan Posisi antara Bumi dan Bulan.....	26
Gambar 2.12 Perubahan pasang surut karena pengaruh gaya tarik Matahari dan Bulan..	27
Gambar 2.13 Tipe Pasang Surut Diurnal Tide.	28
Gambar 2.14 Tipe Pasang Surut Semidiurnal Tide.	28
Gambar 2.15 Tipe Pasang Surut Campuran.	29
Gambar 2.16 Ilustrasi Mekanisme Pembentukan Gelombang Laut.....	30
Gambar 2.17 Klasifikasi Gelombang Perairan Dalam dan Dangkal berdasarkan Kedalaman Dasar Laut dan Panjang Gelombang.....	31
Gambar 2.18 Gradien Hidraulik.....	35
Gambar 2.19 Ilustrasi Backwater.	37
Gambar 2.20 Bangunan Pelindung Pantai Jenis Revetment.	44
Gambar 2.21 Kombinasi Seawall dan Revetment.....	45
Gambar 2.22 Sea dikes dengan Tipe Schardeich dan Vorlanddeich.	46
Gambar 2.23 Pemanfaatan Mangrove sebagai Pelindung Alami Kawasan Pesisir.	47
Gambar 3.1 Lokasi Studi Pesisir Brebes.....	49
Gambar 3.2 Oceanic Nino Index. Lingkaran biru: La Niña (Mei 2022); lingkaran merah: El Niño (Desember 2023); lingkaran hitam: Neutral phase of ENSO (Juli 2024).....	50
Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan.....	56
Gambar 3.4 Alur Pemodelan Kajian Banjir Rob.....	57
Gambar 3.5 Alur Pembuatan Model Domain MIKE 21.	60
Gambar 3.6 Alur Pembuatan Model Domain HEC-RAS.....	61
Gambar 3.7 Citra Landsat 8 Tahun 2023. (a) Band 3, Green; (b) band 5, NIR.	64
Gambar 3.8 Hasil Raster Calculator. (a) Raster Indeks NDWI; (b) Klasifikasi Badan Air dan Daratan.	64
Gambar 3.9 Kontur Batimetri Area Simulasi.	65
Gambar 3.10 Grid dan Mesh Perairan Brebes.	66
Gambar 3.11 Batimetri Perairan Brebes.	67
Gambar 3.12 Grid dan Mesh Lokasi Studi MIKE 21.	68
Gambar 3.13 Mesh dan Batimetri Lokasi Studi MIKE 21.....	69
Gambar 3.14 Model Perimeter 2D dan Mesh Grid pada Pemodelan HEC-RAS.....	71
Gambar 3.15 Detail Computational Points pada Setiap Grid.	71

Gambar 3.16 Sebaran Data Tutupan Lahan di Pesisir Brebes.	72
Gambar 3.17 Model Domain Simulasi HEC-RAS.	73
Gambar 4.1 Sebaran Suhu Permukaan Laut dan Pola Sirkulasi Angin pada Mei 2022....	75
Gambar 4.2 Sebaran Tekanan Atmosfer pada Mei 2022.....	75
Gambar 4.3 (a). Detail Pola Sirkulasi Angin di Perairan Jawa; (b). Wind Rose selama Mei 2022.	76
Gambar 4.4 Sebaran Suhu Permukaan Laut dan Pola Sirkulasi Angin pada Desember 2023.	77
Gambar 4.5 Sebaran Tekanan Atmosfer pada Desember 2023.....	78
Gambar 4.6 Detail Pola Sirkulasi Angin di Perairan Jawa; (b). Wind Rose selama Desember 2023.	78
Gambar 4.7 Sebaran Suhu Permukaan Laut dan Pola Sirkulasi Angin pada Juli 2024. ...	79
Gambar 4.8 Sebaran Tekanan Atmosfer pada Juli 2024.	80
Gambar 4.9 Detail Pola Sirkulasi Angin di Perairan Jawa; (b). Wind Rose selama Juli 2024.	80
Gambar 4.10 Validasi Model Hidrodinamika dengan Data Pengukuran Lapangan.....	81
Gambar 4.11 Sebaran Data Elevasi Muka Air Hasil Simulasi dan Pengukuran.	82
Gambar 4.12 Distribusi Sebaran Arus.....	83
Gambar 4.13 Grafik Kecepatan Arus selama Mei 2022.	84
Gambar 4.14 Distribusi Kecepatan Arus pada Kondisi Maksimum Periode La Niña.	84
Gambar 4.15 Grafik Kecepatan Arus selama Desember 2023.....	85
Gambar 4.16 Distribusi Kecepatan Arus pada Kondisi Maksimum Periode El Niño.	86
Gambar 4.17 Grafik Kecepatan Arus selama Juli 2024.	86
Gambar 4.18 Distribusi Kecepatan Arus pada Kondisi Maksimum Periode Netral.	87
Gambar 4.19 Elevasi Muka Air Laut selama Mei 2022.....	88
Gambar 4.20 Elevasi Muka Air laut selama Desember 2023.	89
Gambar 4.21 Elevasi Muka Air Laut selama Juli 2024.	90
Gambar 4.22 Profil Muka Air Pasang dan Surut di Pesisir Brebes.....	91
Gambar 4.23 Perbandingan Tinggi Gelombang (Hs) pada Setiap Fase ENSO.	92
Gambar 4.24 Pola Distribusi Tinggi Gelombang Hasil Pemodelan.....	93
Gambar 4.25 (a). Sembilan Titik Ekstraksi Data Gelombang. (b) Perbandingan Spasial Tinggi Gelombang Maksimum pada Setiap Fase ENSO (Biru untuk La Niña; Orange untuk El Niño; Abu untuk Netral).....	94
Gambar 4.26 Variasi Tinggi Gelombang pada Mei 2022.....	95
Gambar 4.27 Tinggi Gelombang Maskimum pada Mei 2022 di Sembilan Titik.	96
Gambar 4.28 Variasi Tinggi Gelombang pada Desember 2023.....	97
Gambar 4.29 Tinggi Gelombang Maskimum pada Desember 2023 di Sembilan Titik. ...	97
Gambar 4.30 Variasi Tinggi Gelombang pada Juli 2024.	98
Gambar 4.31 Tinggi Gelombang Maskimum pada Juli 2024 di Sembilan Titik.....	99
Gambar 4.32 Pemetaan Genangan Rob yang menggambarkan luas spasial dan kedalaman Genangan selama Fase ENSO yang berbeda: (a) La Niña; (b) El Niño; dan (c) Netral.	100
Gambar 4.33 Pola Sebaran Genangan Rob pada Mei 2022.	101
Gambar 4.34 (a) Analisis Spasial Kejadian Rob pada Mei 2022 di Kecamatan Losari. (b) Hubungan Tinggi Gelombang dengan Kedalaman Genangan.	102
Gambar 4.35 (a) Analisis Spasial Kejadian Rob pada Mei 2022 di Kecamatan Brebes. (b) Hubungan Tinggi Gelombang dengan Kedalaman Genangan.	103

Gambar 4.36 Pola Sebaran Genangan Rob pada Juli 2024.....	104
Gambar 4.37 (a) Analisis Spasial Kejadian Rob pada Juli 2024 di Kecamatan Losari. (b) Hubungan Tinggi Gelombang dengan Kedalaman Genangan.	104
Gambar 4.38 (a) Analisis Spasial Kejadian Rob pada Juli 2024 di Kecamatan Brebes. (b) Hubungan Tinggi Gelombang dengan Kedalaman Genangan.	105
Gambar 4.39 Lokasi Pengukuran Data Lapangan untuk Validasi Kejadian Banjir.....	107
Gambar 4.40 Sebaran Data Kedalaman Genangan Hasil Simulasi dan Lapangan.	107
Gambar 4.41 Peta Kemiringan Lahan Pesisir Brebes.	110
Gambar 4.42 Klasisifikasi Tingkat Keparahan Genangan dan Segmentasi Area Kajian.	111
Gambar 4.43 Visualisasi Eksposur Gelombang Dominan terhadap Garis Pantai Kecamatan Losari.	112
Gambar 4.44 Layout Perencanaan Strategi Perlindungan Pesisir di Kecamatan Losari (Segmen A).	114
Gambar 4.45 Visualisasi Eksposur Gelombang Dominan terhadap Garis Pantai Kecamatan Brebes.	115
Gambar 4.46 Visualisasi Intrusi Air Laut Melalui Sistem Sungai.	116
Gambar 4.47 Profil Tampang Sungai Kali Babandung dengan Elevasi Muka Air Banjir.	117
Gambar 4.48 Proses Penyurutan Genangan Melalui Sungai.	118
Gambar 4.49 Layout Perencanaan Strategi Perlindungan Pesisir di Kecamatan Brebes (Segmen B).	120
Gambar 4.50 Layout Perencanaan Strategi Perlindungan Pesisir Berbasis Vegetasi Mangrove (Segmen C).	121
Gambar 4.51 Layout Perencanaan Strategi Perlindungan Pesisir Kabupaten Brebes dengan Konsep Hybrid coastal defense.	122

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Fase dan Jarak Bumi-Bulan.....	132
Lampiran 2. Perhitungan Arah dan Kecepatan Angin.....	141
Lampiran 3. Rekapitulasi Variabilitas Spasial Tinggi Gelombang.	144
Lampiran 4. Model Set Up MIKE 21.	146
Lampiran 5. Model Set Up HEC-RAS.....	147
Lampiran 6. Neraca Massa Simulasi 2D Unsteady Flow (HEC-RAS).....	147
Lampiran 7. Stage–Flow Time Series HEC-RAS.....	148