

PREDIKSI PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR
LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BRUUN RULE* DI PESISIR
PANTAI KABUPATEN GRESIK, JAWA TIMUR

SKRIPSI

Oleh:

DWITA MARVAROZA SYAFRIDA AYU

NIM. 155080600111047



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019

PREDIKSI PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR
LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BRUUN RULE* DI PESISIR
PANTAI KABUPATEN GRESIK, JAWA TIMUR

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan di Fakultas
Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh:

DWITA MARVAROZA SYAFRIDA AYU

NIM. 155080600111047



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019

SKRIPSI

PREDIKSI PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR
LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BRUUN RULE* DI PESISIR
PANTAI KABUPATEN GRESIK, JAWA TIMUR

Oleh:

DWITA MARVAROZA SYAFRIDA AYU

NIM. 155080600111047

telah dipertahankan di depan penguji pada tanggal 31 Oktober 2019 dan
dinyatakan memenuhi syarat

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc
NIP. 19801005 200501 1 002

Tanggal: 12 NOV 2019

M. Arif As'adi, S.Kel., M.Sc
NIP. 19821106 200812 1 002

Tanggal: 12 NOV 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan

Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan



Dr. Eng. Abit Bakar Sambah, S.Pi., MT
NIP. 19780717 200502 1 004

Tanggal: 12 NOV 2019

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : **PREDIKSI PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT KENAIKAN
MUKA AIR LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE BRUUN
RULE DI PESISIR PANTAI KABUPATEN GRESIK, JAWA TIMUR**

Nama Mahasiswa : DWITA MARVAROZA S.A.

NIM : 155080600111047

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : M. ARIF ZAINUL FUAD, S.Kel., M.Sc

Pembimbing 2 : M. ARIF AS'ADI, S.Kel., M.Sc

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING

Dosen Penguji 1 : Ir. BAMBANG SEMEDI, M.Sc., Ph.D

Dosen Penguji 2 : RARASRUM DYAH KASITOWATI, S.Kel., M.Sc., M.Si

Tanggal Ujian : 31 Oktober 2019

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Dwita Marvaroza S.A.

NIM : 155080600111047

Prodi : Ilmu Kelautan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam pembuatan laporan skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri yang dibimbing oleh dosen pembimbing skripsi. Sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis, atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, November 2019

Dwita Marvaroza S.A.
NIM. 155080600111047

UCAPAN TERIMAKASIH

Atas terselesaikannya laporan skripsi ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT berkat karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Happy Nursyam, MS. selaku Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.
4. Bapak Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT. selaku Ketua Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.
5. Ibu Defri Yona, S.Pi., M.Sc.Stud., D.Sc selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.
6. Bapak M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu dalam memberikan masukan dan bimbingan dalam proses penyusunan laporan skripsi hingga selesai.
7. Bapak M. Arif As'adi, S.Kel., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi arahan dan masukan dalam proses penulisan laporan skripsi hingga selesai.
8. Alexander Brian, Ari Bimi Surendra, Anindyta Fitria, Aulia Rahmi, Denissa Trista, Dzikrillah Akbar, dan Piria Bramantya yang telah mendukung, memberi semangat, menghibur dan membantu penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi dengan baik.

RINGKASAN

DWITA MARVAROZA S.A. Prediksi Perubahan Garis Pantai Akibat Kenaikan Muka Air Laut dengan Menggunakan Metode Bruun Rule di Pesisir Pantai Kabupaten Gresik, Jawa Timur di bawah bimbingan **Mochamad Arif Zainul Fuad** dan **M. Arif As'adi**.

Kenaikan muka air laut merupakan masalah yang direpresentasikan sebagai indikasi adanya pemuaian thermal akibat pemanasan global, sehingga volume air laut bertambah. Seperti yang telah kita ketahui bahwa Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki 16.056 pulau dengan garis pantai 81.000 km dimana sebagian kota-kota besar di Indonesia berada di kawasan pesisir pantai, salah satunya ialah Kabupaten Gresik. Adanya indikasi kenaikan muka air laut akan memicu beberapa permasalahan pesisir, antara lain menyebabkan tergenangnya air di wilayah daratan dekat pantai, meningkatnya resiko banjir, dan perubahan garis pantai (erosi). Pesisir Kabupaten Gresik memiliki tipe pantai berpasir dengan kemiringan 0-0,1. Wilayah ini rentan mengalami perubahan garis pantai karena berhadapan langsung dengan Laut Jawa, yang merupakan wilayah laut yang dinamis.

Penelitian mengenai prediksi perubahan garis pantai akibat kenaikan muka air laut ini telah dilaksanakan pada tanggal 26 Mei 2019 yang berlokasi di 4 Desa pesisir Kabupaten Gresik, Jawa Timur yaitu Dalegan, Campurejo, Ngembo, dan Banyuurip. Penelitian ini bersifat deskriptif yang mana bertujuan untuk menggambarkan keadaan atau status suatu fenomena. Hasil penelitian ini adalah memberikan gambaran mengenai respon pesisir terhadap kenaikan muka air laut meliputi perubahan garis pantai pada lokasi yang telah ditentukan menggunakan metode perhitungan *Bruun Rule*. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode *systematic sampling* yaitu dengan membagi beberapa titik pengambilan data dengan interval tertentu, meliputi pengukuran garis pantai, *closure depth*, kemiringan pantai, dan ketinggian pantai.

Alur penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya diawali dengan studi literatur lalu dilanjutkan dengan survey lapang untuk dilanjutkan pada proses pengambilan data. Data yang dibutuhkan berupa data primer dan sekunder. Data primer meliputi profil pantai dan pengamatan morfologi pantai, sedangkan data sekunder ialah data kenaikan muka air laut, peta batimetri dan data topografi menggunakan DEM (*Digital Elevation Model*). Setelah data terkumpul maka selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data berupa perhitungan ekuasi *Bruun Rule* dan didapatkan hasil perubahan garis pantai yang terjadi pada wilayah penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan laju perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Gresik mencapai $1,14 \pm 0,15$ m/th di Desa Banyuurip, $1,50 \pm 0,17$ m/th di Desa Ngembo, $1,51 \pm 0,43$ m/th di Desa Campurejo, dan $0,99 \pm 0,32$ m/th di Desa Dalegan. Rata-rata laju erosi pada keempat wilayah tersebut adalah sebesar $1,28 \pm 0,26$ m/th. Prediksi dampak yang ditimbulkan akibat kenaikan muka air laut akan menyebabkan kerusakan pantai sehingga diperlukan pengelolaan wilayah pesisir sesuai dengan Undang-undang Nomor 27 Tahun 2007.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Prediksi Perubahan Garis Pantai Akibat Kenaikan Muka Air Laut dengan Menggunakan Metode *Bruun Rule* di Pesisir Pantai Kabupaten Gresik, Jawa Timur” dengan baik dan tepat waktu.

Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan yang diberikan dalam menyelesaikan studi di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis dalam penulisan laporan ini. Untuk itu segala kritik dan saran penulis harapkan demi tersempurnakannya penulisan laporan di kemudian hari. Dalam penyusunannya penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu menyelesaikan laporan skripsi ini.

Malang, November 2019

Dwita Marvaroza S. A.
NIM. 155080600111047

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
UCAPAN TERIMAKASIH	iii
RINGKASAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pesisir Kabupaten Gresik	5
2.1.1 Morfologi Pesisir Kabupaten Gresik	5
2.1.2 Penggunaan Lahan	6
2.2 <i>Bruun Rule</i>	6
2.2.1 Teori, asumsi, dan modifikasi.....	6
2.2.2 Validasi.....	8
2.2.3 Batasan	10
2.3 <i>Closure Depth</i>	11
2.4 Kenaikan Muka Air Laut.....	12
2.5 Perubahan Garis Pantai	14
III. METODE PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Alur Penelitian	16
3.4 Metode	19
3.4.1 Metode Penelitian	19
3.4.2 Metode Pengumpulan Data	19
3.4.2.1 Data Primer.....	19

3.4.2.2	Data Sekunder	21
3.4.3	Metode Analisa Data	22
3.4.3.1	Analisa Kenaikan Muka Air Laut.....	22
3.4.3.2	Analisa Kemunduran Garis Pantai	23
3.4.3.3	Analisa Prediksi Dampak Genangan.....	25
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1	Hasil	26
4.1.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	26
4.1.1.1	Desa Banyuurip	27
4.1.1.2	Desa Ngemboh	28
4.1.1.3	Desa Campurejo	29
4.1.1.4	Desa Dalegan	30
4.1.2	Kenaikan Muka Air Laut.....	31
4.1.3	<i>Closure Depth</i>	32
4.1.4	Perubahan Garis Pantai.....	33
4.1.4.1	Desa Banyuurip	33
4.1.4.2	Desa Ngemboh	35
4.1.4.3	Desa Campurejo	36
4.1.4.4	Desa Dalegan	37
4.2	Pembahasan	39
4.2.1	Hubungan Kenaikan Muka Air Laut dan Erosi Pantai.....	39
4.2.2	Perubahan Garis Pantai di Pesisir Kabupaten Gresik	39
4.2.2.1	Prediksi Perubahan Garis Pantai	43
4.2.3	Prediksi Dampak Kenaikan Muka Air Laut	46
4.2.4	Alternatif Penanggulangan Dampak Kenaikan Muka Air Laut ...	50
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53	
LAMPIRAN	56	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Variasi estimasi pengaplikasian <i>Bruun Rule</i>	9
Tabel 2. Alat beserta fungsinya.....	16
Tabel 3. Bahan beserta fungsinya	16
Tabel 4. Nilai Kenaikan Muka Air Laut	32
Tabel 5. Tinggi gelombang signifikan (Hs) dan Periode Signifikan (Ts).....	32
Tabel 6. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Banyuurip ..	34
Tabel 7. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Ngemboh ..	35
Tabel 8. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Campurejo	36
Tabel 9. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Dalegan....	37
Tabel 10. Laju Erosi Masing-masing Wilayah	42
Tabel 11. Prediksi Erosi Pantai 25, 50, dan 100 Tahun	44
Tabel 12. Prediksi Kenaikan Muka Air Laut.....	46
Tabel 13. Prediksi luas genangan kenaikan muka air laut.....	46
Tabel 14. Luas dampak kenaikan muka air laut pada beberapa sektor.....	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Shoreline Response to Sea Level Rise</i>	7
Gambar 2. Ilustrasi <i>equilibrium profile</i> berdasarkan <i>Bruun Rule</i>	10
Gambar 3. <i>Depth of Closure</i>	12
Gambar 4. Lokasi Penelitian Skripsi, Pesisir Kabupaten Gresik Jawa Timur	15
Gambar 5. Alur Penelitian.....	18
Gambar 6. Sketsa Erosi Pantai <i>Bruun Rule</i>	24
Gambar 7. Gambaran Umum Pesisir Kabupaten Gresik.....	26
Gambar 8. Peta Lokasi Desa Banyuurip	28
Gambar 9. Peta Lokasi Desa Ngemboh.....	29
Gambar 10. Peta Lokasi Desa Campurejo.....	30
Gambar 11. Peta Lokasi Desa Dalegan.....	31
Gambar 12. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Banyuurip	34
Gambar 13. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Ngemboh.....	36
Gambar 14. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Campurejo	37
Gambar 15. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Dalegan	38
Gambar 16. Model Erosi <i>Bruun Rule</i> pada Zona Aktif.....	40
Gambar 17. Perubahan Garis Pantai Kab. Gresik 25 Tahun Mendatang	44
Gambar 18. Perubahan Garis Pantai Kab. Gresik 50 Tahun Mendatang	45
Gambar 19. Perubahan Garis Pantai Kab. Gresik 100 Tahun Mendatang	45
Gambar 20. Peta Prediksi Ketinggian Air	47
Gambar 21. Peta Penggunaan Lahan Kab. Gresik	48
Gambar 22. Peta intersect penggunaan lahan dan ketinggian air	49

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Bentang Alam Lokasi Penelitian.....	56
Lampiran 2. Tinggi gelombang dan periode signifikan perairan utara Jawa	58
Lampiran 3. Prediksi perubahan garis pantai Desa Banyuurip	62
Lampiran 4. Prediksi perubahan garis pantai Desa Ngemboh	63
Lampiran 5. Prediksi perubahan garis pantai Desa Campurejo.....	64
Lampiran 6. Prediksi perubahan garis pantai Desa Dalegan.....	65



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenaikan muka air laut telah menjadi isu global yang direpresentasikan sebagai indikasi adanya pemuaian thermal akibat pemanasan global sehingga volume air laut bertambah (Wuriatmo, 2011). Secara umum meningkatnya volume air laut selama kurun waktu 50 tahun terakhir diakibatkan oleh naiknya suhu air laut karena fenomena pemanasan global (Dasanto, 2010). Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki 16.056 pulau (data statistik Kementerian Dalam Negeri tahun 2018) dengan garis pantai 81.000 km dimana kota-kota besar di Indonesia berada di kawasan pesisir pantai, salah satunya ialah Kabupaten Gresik sehingga pengaruh kenaikan muka laut dapat menjadi suatu bencana yang dapat mengganggu keberlangsungan wilayah pesisir.

Beberapa survei mengenai kenaikan muka air laut telah dilakukan oleh lembaga-lembaga pengamat perubahan iklim, salah satunya yang dilakukan oleh AVISO dimana secara umum rata-rata kenaikan muka air laut di dunia telah mencapai $\pm 3,36$ mm/th. Pernyataan ini didukung oleh penelitian *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* bahwa pada kurun waktu 100 tahun suhu di bumi akan meningkat sebesar 2,2-4,9°C yang secara langsung akan mengakibatkan masifnya intensitas kenaikan muka laut. Peningkatan suhu permukaan laut berkontribusi dalam mencairnya lapisan es sehingga menyebabkan naiknya kedudukan muka air laut (Marfai *et al.*, 2013).

Susandi *et al.* (2008) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa, terdapat dampak yang menjadi isu utama berkenaan dengan perubahan iklim, yaitu kenaikan muka air laut. Sebagai akibat dari kenaikan muka air laut tersebut, menyebabkan tergenangnya air di wilayah daratan dekat pantai sehingga dapat

berdampak pada terjadinya erosi pantai dan meningkatnya resiko banjir. Erosi dan penggenangan daratan secara langsung akan mempengaruhi dinamika pantai salah satunya ialah perubahan garis pantai itu sendiri.

Perubahan garis pantai terjadi karena kawasan pantai bersifat dinamis, artinya ruang pantai berubah dengan cepat sebagai reaksi terhadap proses alam dan aktivitas manusia (Yulius dan Ramdhani, 2013). Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan perubahan morfologi pesisir, antara lain variasi gelombang, suplai sedimen (*beach nourishment*), *longshore current*, pasang surut (Cooper dan Pilkey, 2004), serta kegiatan-kegiatan manusia yang dapat mempengaruhi garis pantai adalah pembangunan di pesisir pantai, reklamasi, alih fungsi pantai dan pertambangan (Hidayah *et al.*, 2018).

Pesisir Kabupaten Gresik merupakan kawasan yang memiliki nilai keanekaragaman hayati tinggi dari ekosistem dan habitatnya sehingga sangat penting dilindungi untuk kelestarian lingkungan dan kehidupan manusia di masa mendatang. Disamping itu wilayah ini berada dalam tahapan menengah dan dalam proses pembangunan ekonomi lokal sehingga rawan terhadap berbagai gangguan lingkungan (Damar *et al.*, 2017). Hal ini dapat disebabkan karena wilayah pesisir Kabupaten Gresik yang berhadapan dengan Laut Jawa dan Selat Madura, yang mana merupakan wilayah laut yang dinamis sehingga rentan terhadap adanya perubahan (Andrianto dan Suntoyo, 2012).

Menurut data dari Dinas Kelautan dan Perikanan, sekitar ±60% penduduk Indonesia mendiami wilayah pantai dalam radius 50 km. Oleh karena itu, kajian permasalahan pesisir menjadi perhatian yang cukup serius karena mencakup kesejahteraan masyarakat Indonesia. Deteksi perubahan garis pantai akibat kenaikan muka air laut dapat dijelaskan melalui analisis menggunakan metode *Bruun Rule* (Dean dan Houston, 2016).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah prediksi kenaikan muka air laut pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik?
2. Bagaimanakah laju perubahan garis pantai pada pesisir Kabupaten Gresik terkait dengan kenaikan muka air laut berdasarkan metode *Bruun Rule*?
3. Bagaimanakah prediksi dampak genangan banjir akibat kenaikan muka air laut pada pesisir pantai Kabupaten Gresik?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini berkaitan dengan perumusan masalah yang telah diuraikan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui prediksi kenaikan muka air laut pada wilayah pesisir pantai Kabupaten Gresik berdasarkan studi literasi.
2. Mengetahui laju perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh kenaikan muka air laut di pesisir Kabupaten Gresik dengan menggunakan metode *Bruun Rule*.
3. Memprediksi dampak genangan akibat kenaikan muka air laut pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian mengenai prediksi perubahan garis pantai akibat kenaikan muka air laut ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa/peneliti: dapat dijadikan sebagai informasi mengenai hubungan dampak kenaikan muka laut terhadap perubahan garis pantai

dengan metode *Bruun Rule* sehingga dapat dilakukan penelitian lanjutan.

2. Bagi masyarakat umum: penelitian ini dapat digunakan sebagai pemahaman awal mengenai fenomena kenaikan muka air laut dan dampak yang ditimbulkan secara langsung pada wilayah pesisir pantai.
3. Bagi pemangku kepentingan: adanya kajian mengenai kemunduran garis pantai akibat kenaikan muka air laut ini dapat dijadikan referensi dalam penyusunan penataan ruang di wilayah pesisir Kabupaten Gresik.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pesisir Kabupaten Gresik

Wilayah pesisir menurut Wirasatriya (2005) adalah daerah dimana darat dan laut saling bertemu. Ke arah darat wilayah pesisir meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air asin. Sedangkan ke arah laut wilayah pesisir mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses alami yang terjadi di darat seperti sedimentasi, dan aliran air tawar maupun yang disebabkan karena kegiatan manusia di darat seperti penggundulan hutan dan pencemaran.

2.1.1 Morfologi Pesisir Kabupaten Gresik

Perairan Banyuurip merupakan salah satu pantai yang termasuk dalam jajaran Pantai Utara Jawa, terletak di Desa Banyuurip Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik. Tipe pantai di pesisir Kabupaten Gresik sebagian besar merupakan pantai berpasir dengan kemiringan 0-0,1. Perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan pesisir Pantai Utara Jawa (Pantura) cukup tinggi. Terjadi perubahan garis pantai yang cukup signifikan di daerah ini. Pada sepuluh tahun terakhir, yaitu sejak tahun 2006 hingga 2016, terdapat sekitar 177,64 hektar abrasi dan sekitar 411,38 hektar akresi berdasarkan analisis citra Landsat dan verifikasi lapang (Prasetyo dan Santoso, 2017).

Pesisir pantai Kabupaten Gresik, Jawa Timur, banyak mengalami abrasi dan akresi. Wilayah pesisir Kabupaten Gresik yang berhadapan dengan Laut Jawa menyebabkan wilayah tersebut dilalui oleh arus yang mengalir dari arah barat atau timur (tergantung dari arah angin bertiup pada musim Barat dan musim Timur). Arus ini membawa partikel-partikel yang mengendap di sekitar

pesisir tersebut. Selain membawa partikel endapan, arus laut juga menyebabkan terjadinya abrasi di wilayah pesisir (Anggraini *et al.*, 2018).

2.1.2 Penggunaan Lahan

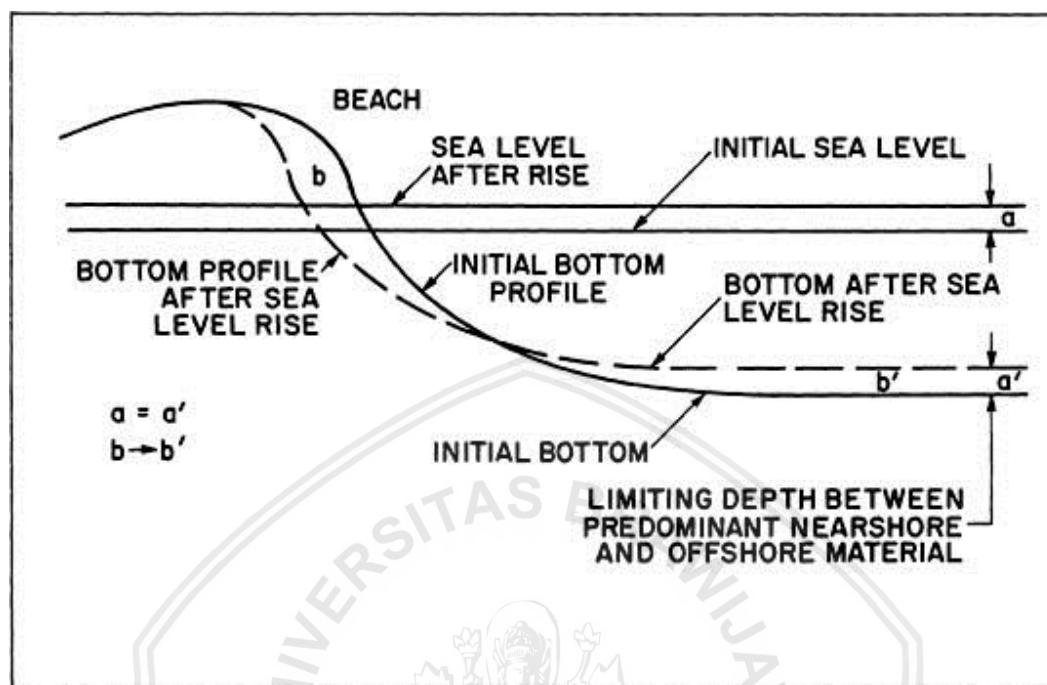
Penggunaan lahan pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik tepatnya pada keempat desa penelitian antara lain Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan secara umum memiliki pemanfaatan wilayah yang berbeda. Menurut data dari Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Timur (2000), wilayah Banyuurip merupakan kawasan restorasi mangrove dengan adanya Banyuurip Mangrove Center karena wilayah ini memiliki tipe pantai berlumpur. Sementara penggunaan lahan pada Desa Ngemboh didominasi oleh tambak dan pemukiman warga. Tidak jauh berbeda dengan Desa Ngemboh, Desa Campurejo juga merupakan wilayah perekonomian dengan dilengkapi tempat pendaratan ikan, pabrik, dan pangkalan perbekalan. Sementara wilayah Desa Dalegan merupakan wilayah pariwisata (Pantai Pasir Putih). Secara umum, keempat wilayah tersebut dilalui oleh lalu-lintas sepanjang jalur Pantai Utara Jawa. Lebih lengkap, wilayah ini merupakan sentra perikanan Kota Gresik. Tak jauh dari badan pantai merupakan wilayah pemukiman warga.

2.2 *Bruun Rule*

2.2.1 Teori, asumsi, dan modifikasi

Bruun Rule merupakan metode yang dikembangkan oleh Bruun (1983), digunakan untuk menjelaskan hubungan abrasi pantai dengan kenaikan muka laut dan badii pada daerah lintang tinggi. *Bruun Rule* secara lanjut ialah eksplanasi mengenai model kesetimbangan pantai. Model kesetimbangan pantai merupakan teori dasar bahwa profil pantai yang dapat mengalami perubahan hanya terbatas sampai pada kedalaman penutupan. Daerah lepas pantai yang melebihi kedalaman penutupan tersebut ialah wilayah yang

setimbang karena transport sedimen sangat kecil sehingga tidak mengalami perubahan kedalaman.



Gambar 1. *Shoreline Response to Sea Level Rise* (Ranasinghe et al., 2007)

Standar *Bruun Rule* pada model dua dimensi memiliki beberapa asumsi seperti yang tertera pada Gambar 1, sebagai berikut:

- Badan pantai akan mengalami erosi saat terjadi kenaikan muka air laut.
- Bagian yang tererosi akan mengalami transport sedimen dan terdeposit pada wilayah *offshore* yang mana volume erosi sebanding dengan volume deposit.
- Kenaikan dasar perairan yang disebabkan oleh deposit sedimen berbanding lurus dengan nilai kenaikan muka air laut.

Menurut Schwartz (1982), kesetimbangan pantai adalah profil jangka panjang dasar samudra yang dibentuk oleh gelombang dan jenis sedimen pantai. Teori ini merupakan penyempurnaan konsep oleh Fenneman (1902), yang menyebutkan bahwa profil keseimbangan akan terbentuk oleh adanya pergerakan air, yang secara terus menerus akan membentuk profil suatu pantai.

Sementara Dean (1983), mendefinisikan profil kesetimbangan pantai sebagai kondisi alam yang terbentuk akibat endapan sedimen yang disebabkan oleh gelombang dengan karakteristik tertentu dalam waktu yang lama. Larson (1991) dalam penelitiannya menggambarkan profil keseimbangan sebagai sebuah pantai dengan ukuran butir sedimen tertentu, yang dipengaruhi beberapa faktor fisika secara konstan, biasanya ialah gelombang dengan periode pendek, yang kemudian akan membentuk profil pantai baru. Dean (1991) mengungkapkan, terdapat empat karakteristik profil pantai yang setimbang: (1) memiliki cekungan, (2) semakin kecil ukuran butir sedimen, memiliki kemiringan yang lebih landai, (3) badan pantai berbentuk planar, dan (4) wilayah dengan gelombang ekstrim memiliki kemiringan yang curam.

Konsep ini berkembang menjadi dasar dalam perencanaan pembangunan pesisir. Contohnya, dalam perencanaan beach nourishment pada wilayah pantai yang mengalami abrasi studi ini diperlukan untuk menentukan ukuran butir sedimen yang akan digunakan dalam pengisian badan pantai, jumlah volume sedimen yang diperlukan, dan pada wilayah mana yang membutuhkan penambahan lebih banyak.

2.2.2 Validasi

Bruun Rule merupakan metode pendekatan sederhana dalam memprediksi perubahan wilayah pesisir akibat kenaikan muka air laut. Metode ini telah banyak digunakan dalam *coastal engineering* dan *coastal management tools* dalam beberapa penelitian disebutkan pendekatan dengan model *Bruun Rule* memiliki nilai keakurasaan tinggi. Namun pada beberapa tempat dimana metode ini tidak aplikatif menunjukkan hasil dengan keakurasaan rendah.

Nilai validasi *Bruun Rule* dipengaruhi oleh tipe pantai itu sendiri. Terdapat hubungan kualitatif lingkungan dengan model standar dua dimensi

yang dikemukakan oleh (Bruun, 1983), secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 1.

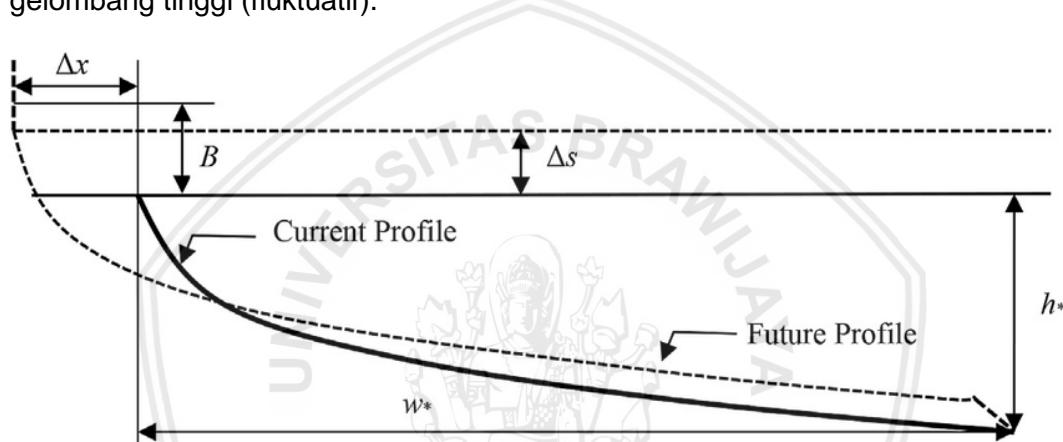
Tabel 1. Variasi estimasi pengaplikasian *Bruun Rule* pada beberapa tipe pantai

Tipe Pantai	Keakuriasan
<i>Too steep / too flat</i>	<i>Under estimation / over estimation</i>
<i>Adjacent to headlands / coastal defence structures / training walls</i>	<i>Updrift – over estimation / Down drift – under estimation</i>
<i>Profile subject to geologic control (eg. nearshore reefs, rock bottoms etc)</i>	<i>Under estimation/over estimation</i>
<i>Adjacent to large ebb deltas/inlets</i>	<i>Under estimation for sinks/over estimation for sources</i>
<i>Coastlines with significant gradients in alongshore transport</i>	<i>Under or over estimation depending on the direction of the alongshore gradient in transport</i>
<i>Low lying areas prone to overwash and/or Aeolian transport and/or offshore sand losses</i>	<i>Under estimation</i>
<i>Beaches with significant cross-shore variation in sediment properties</i>	<i>Under estimation / over estimation</i>

Beberapa peneliti telah menunjukkan bahwa konsep *Bruun Rule* tidak relevan dengan keadaan yang sebenarnya sehingga sudah banyak ditinggalkan. Namun, dalam beberapa penelitian yang menggunakan konsep ini telah dimodifikasi sehingga lebih aplikatif karena model yang ada pada *Bruun Rule* adalah model dasar. Nilai keakuriasan menunjukkan nilai yang berbeda pada tiap wilayah sehingga penggunaan metode ini hanya terbatas pada wilayah yang sesuai dengan model. Pada wilayah yang secara langsung terdampak oleh kenaikan muka air laut secara terus menerus akan mengalami erosi secara periodik.

2.2.3 Batasan

Konsep *shoreline retreat* pada model *Bruun Rule* berdasarkan pada asumsi kesetimbangan. Artinya model ini hanya aplikatif pada wilayah pantai yang memiliki sifat ‘equilibrium’. Equilibrium merupakan wilayah pantai yang mengalami perubahan secara lambat (rata-rata fluktuasi rendah). Metode ini kurang valid apabila diterapkan pada wilayah pantai yang mengalami perubahan secara cepat dan signifikan. Misalnya pada wilayah pantai yang curam, tebing, gelombang tinggi (fluktuatif).



Gambar 2. Ilustrasi *equilibrium profile* berdasarkan *Bruun Rule* (Dean dan Houston, 2016)

Naiknya permukaan air laut menyebabkan *sediment loss* atau erosi akibat perpindahan material pasir kedalam kolom perairan. Menurut Schwartz, (1967), *Bruun* mengemukakan bahwa terdapat beberapa hal yang diabaikan dalam hubungan kuantitatif pada profil pantai yang setimbang, antara lain:

1. Saat sedimen yang tererosi berpindah kedalam kolom perairan dan mengendap di dasar (*shoreward displacement*) tidak ada transport sedimen yang melebihi *depth of closure*.
2. Volume sedimen tererosi sama dengan volume sedimen terdeposit pada *nearshore bottom*, sehingga faktor inlet diabaikan (tidak ada penambahan sedimen pada daerah estuari)

3. Perubahan volume sedimen dasar perairan sama dengan volume kenaikan muka air laut sehingga kedalaman perairan diasumsikan konstan.
4. *Longshore drift* diabaikan.

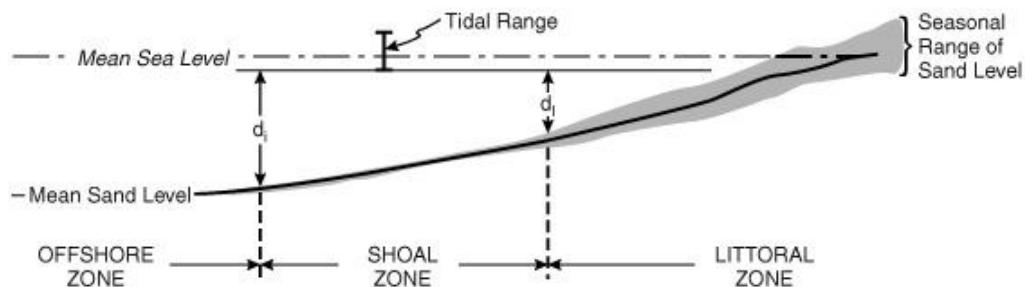
Bruun Rule merupakan metode pendekatan sederhana yang dapat diaplikasikan hanya pada pantai berpasir. Namun metode ini tidak dapat diterapkan pada wilayah pantai yang memiliki sedimentasi kompleks, seperti *nearshore* yang memiliki suplai sedimen spasial dan temporal yang luas. Metode ini lebih digunakan untuk kepentingan *coastal management tool*.

2.3 *Closure Depth*

Profil pantai dipengaruhi oleh ukuran butir sedimen (asumsi konstan) dan kekuatan gelombang pada wilayah itu sendiri. Area dimana pergerakan sedimen dinamis pada kolom perairan disebut dengan *closure depth*. Wilayah ini mempertahankan morfologi pantai dalam jangka waktu yang panjang dari kenaikan muka air laut. *Closure depth* merupakan parameter penting dalam teori *Bruun Rule*, dimana batas kedalaman gerakan sedimen aktif dan signifikan sehingga terjadi kesetimbangan transport sedimen yang hilang dan tertimbun pada sea floor. Pada area ini memisahkan dinamika *landward* dan *seaward motion* (Dean dan Houston, 2016).

Dalam beberapa penelitian mengenai fluktuasi batimetri menunjukkan bahwa semakin dalam suatu perairan maka perubahan dasar perairan semakin rendah atau tidak terjadi perubahan yang signifikan di laut dalam. Penurunan variabilitas kedalaman menunjukkan adanya batas zona aktif (*active profile zone*) pada wilayah pantai. *Closure depth* digunakan dalam *coastal engineering* untuk menentukan batas transport sedimen tegak lurus pantai. Dalam perencanaan wilayah pantai, *closure depth* dapat memprediksi perubahan garis pantai dalam jangka waktu yang lama sehingga kajian mengenai *beach nourishment* dan

estimasi pembangunan dan pengembangan pantai dengan mudah disesuaikan dengan pemodelan numerik (Nicholls *et al.*, 1997).



Gambar 3. *Depth of Closure*

Depth of Closure adalah batas morfodinamik yang memisahkan *landward active zone* dan *seaward less active zone* selama periode tertentu melalui pengamatan profil kedalaman. Batas zona ini ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya musim yang menentukan intensitas dinamika laut. Kedalaman dan letaknya dapat berubah dalam kurun waktu tertentu.

Tiap wilayah memiliki kedalaman yang berbeda-beda. Faktor yang menentukan secara signifikan perbedaan *closure depth* pada masing-masing wilayah adalah gelombang. Gelombang merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam dinamika pantai. Beberapa penelitian menunjukkan perbedaan kedalaman penutupan pada beberapa wilayah sampling dengan mengkaji gelombang ekstrim pada masing-masing wilayah.

Prediksi *closure depth* pada suatu wilayah dapat menggunakan beberapa metode, antara lain hallermeier yang menggunakan data gelombang dan perbandingan batimetri pada kurun waktu yang berbeda.

2.4 Kenaikan Muka Air Laut

Fenomena kenaikan muka air laut merupakan *issue* yang mengemuka seiring dengan terjadinya persoalan pemanasan global (*global warming*). Gunawan (2001) mengemukakan bahwa dampak yang diakibatkannya akan

sangat besar. Pemanasan global yang terjadi akan menyebabkan kenaikan suhu permukaan laut yang kemudian mengakibatkan terjadinya pemuaian air laut. Pemanasan global juga akan menyebabkan mencairnya es abadi di pegunungan serta di daerah Arktik dan Antartik. Pemuaian air laut dan mencairnya salju-salju abadi, pada gilirannya akan menyebabkan naiknya permukaan air laut. Naiknya permukaan air laut ini berikutnya akan menyebabkan tergenangnya daerah-daerah pantai yang tidak berlereng. Kenaikan muka air laut juga akan mempertinggi abrasi pantai, merusak permukiman, tambak, daerah pertanian, dan lain-lain di kawasan pantai. Kenaikan ini juga akan menenggelamkan pulau-pulau kecil.

Perubahan tinggi permukaan air laut dapat dilihat sebagai suatu fenomena alam yang terjadi secara periodik dan terus menerus. Perubahan secara periodik dapat dilihat dari fenomena pasang surut air laut, sedangkan kenaikan air laut yang menerus adalah identifikasi pemanasan global yang berdampak pada mencairnya es di kutub. Dampak lanjutan dari pengaruh pasang surut dan kenaikan permukaan air laut secara permanen antara lain perubahan kondisi ekosistem pantai, meningkatnya erosi, semakin cepatnya kerusakan bangunan dan terganggunya kegiatan penduduk seperti hilangnya permukiman, perindustrian, pertanian dan kegiatan lainnya (Suprijanto, 2003).

Secara umum kondisi atau tingkat kerusakan yang disebabkan akibat kenaikan muka laut bergantung pada tingkat dan jenis pemanfaatan kawasan pesisir. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan mayoritas wilayahnya berada di kawasan pesisir sangat jelas akan mempengaruhi perubahan pola/gangguan terhadap kawasan tepi laut yang salah satunya dapat diakibatkan oleh adanya kenaikan permukaan air laut dapat memberikan pengaruh yang sangat besar bagi perkembangan perekonomian Indonesia (Ismunarti *et al.*, 2014).

2.5 Perubahan Garis Pantai

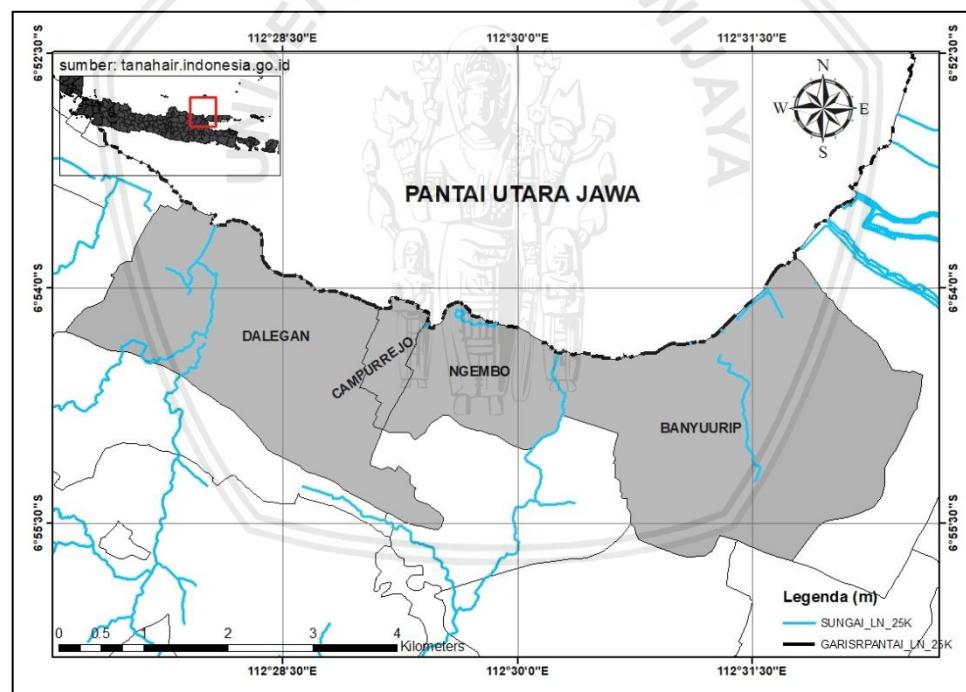
Perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan pantai berupa pengikisan badan pantai (abrsasi) dan penambahan badan pantai (sedimentasi atau akresi). Proses-preses tersebut terjadi sebagai akibat dari pergerakan sedimen, arus, dan gelombang yang berinteraksi dengan kawasan pantai secara langsung. Perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan pesisir Pantai Utara Pulau Jawa (Pantura) cukup tinggi. Salah satu dampak yang ditimbulkan dari pemanasan global mengakibatkan kenaikan muka air laut sebesar 6 – 10 mm per tahun di kawasan pesisir Pantura (Richard dan Sunarto, 2015). Hal ini dapat mengindikasikan bahwa kawasan pesisir Pantura Provinsi Jawa Timur mengalami perubahan garis pantai yang cukup kuat, diantaranya ialah pesisir Kabupaten Gresik.

Pada kenyataannya, garis pantai selalu berubah akibat adanya perubahan garis pantai dengan arah tegak lurus pantai (*cross-shore*), dan adanya pergerakan sedimen yang sejajar (*long-shore*) di wilayah pesisir. Selain itu, sifat dinamis dari tinggi air pada batas wilayah pesisir (gelombang, pasang surut, air tanah, gelombang badai, kenaikan air, dan lain sebagainya. Garis pantai akan mengalami perubahan yang cepat di wilayah pesisir dengan lereng pantai yang landai seperti di daerah yang sering terjadi proses pasang surut/*macrotidal* (Anggraini *et al.*, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada 4 desa di Pesisir Kabupaten Gresik, Jawa Timur antara lain Desa Dalegan, Desa Campurejo, Desa Ngemboh, dan Desa Banyuurip yang terletak di sepanjang muara sungai Bengawan Solo sampai dengan perbatasan Kabupaten Lamongan. Lokasi ini berada di dua kecamatan yaitu Kecamatan Ujung Pangkah dan Kecamatan Panceng. Waktu penelitian dilaksanakan pada tanggal 26 Mei 2019. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 4. Lokasi Penelitian Skripsi, Pesisir Kabupaten Gresik Jawa Timur

3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan yang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Alat beserta fungsinya

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Global Positioning System (GPS)	Garmin	Menentukan koordinat lokasi penelitian
2	Roll Meter	100 m	Mengukur panjang pantai
3	Tongkat Skala	3 m	Mengukur tinggi pantai
4	Kamera	-	Dokumentasi
5	PC	Core i3	Pengolahan data
6	Ms. Excel	2013	Mengolah data berupa angka
7	ArcGIS	10.3	Membuat peta

Tabel 3. Bahan beserta fungsinya

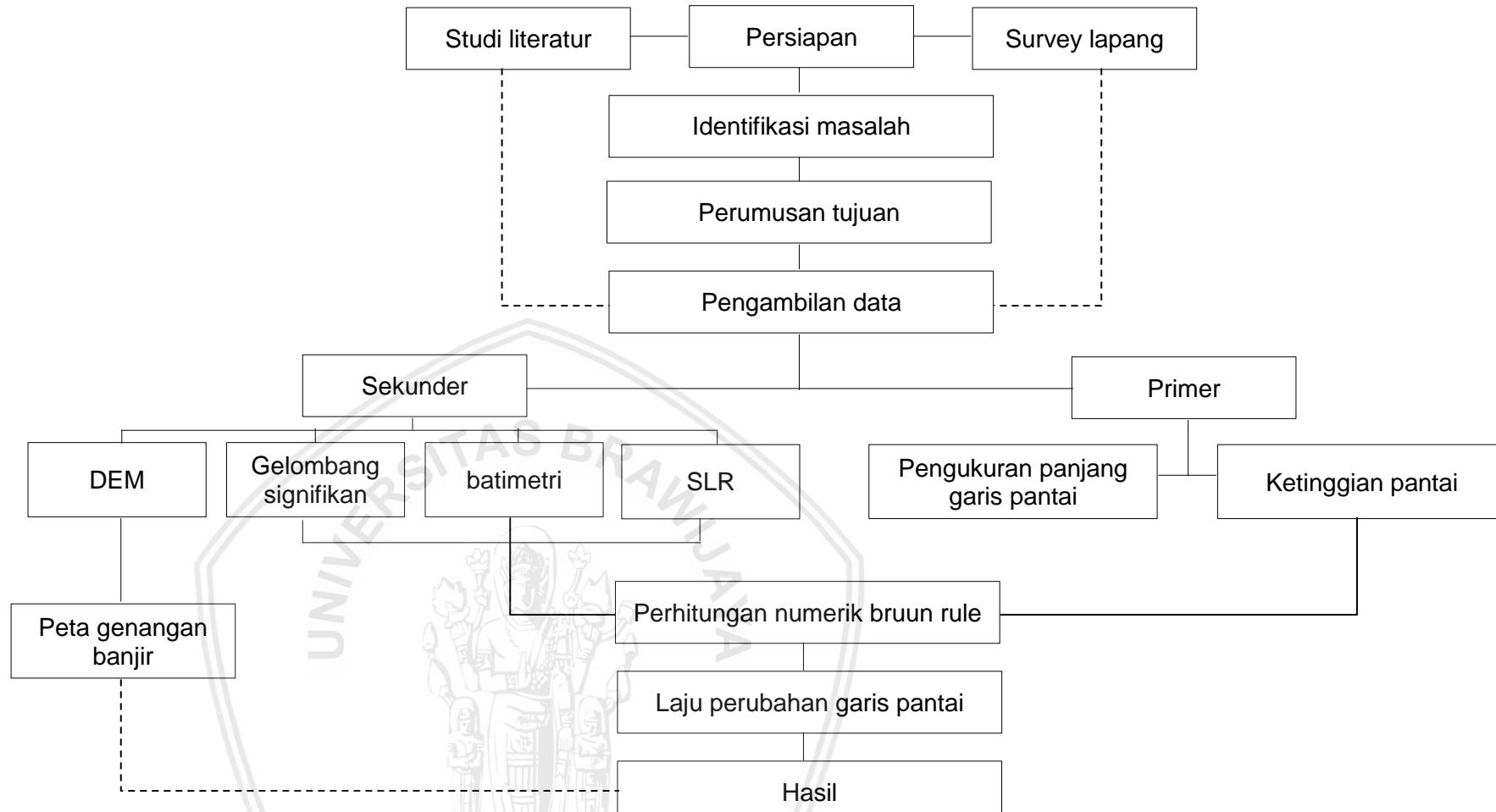
No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Data sea level rise	Menggunakan data pasang surut dalam kurun waktu 20 tahun dengan metode <i>least square</i>	Mengetahui nilai kenaikan muka air laut
2	Data DEM	Resolusi 8,1 x 8,1 m (sumber: tanahair.indonesia.go.id)	Mengetahui luas genangan berdasarkan topografi wilayah
3	Data gelombang	ECMWF 2009-2018 dengan grid 0,125 x 0,125	Menentukan nilai kedalaman <i>closure depth</i>
4	Data Batimetri	MSL BATNAS v1.1 110E-115E 10S-05S	Mengetahui kontur kedalaman laut pada wilayah penelitian

3.3 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya persiapan yang diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk memperdalam pemahaman mengenai perubahan garis pantai dan kenaikan muka air laut sehingga dapat mengidentifikasi permasalahan dan menentukan

tujuan penelitian. Selanjutnya dilakukan survey lapang pada tanggal 1 Mei 2019 untuk mengetahui karakteristik lokasi penelitian agar memperoleh gambaran mengenai tahapan selanjutnya pada proses pengambilan data.

Pengambilan data lapang dilaksanakan pada tanggal 26 Mei 2019. Adapun data-data yang dibutuhkan berupa data primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan melalui pengukuran secara langsung di wilayah penelitian. Dalam penelitian ini data primer yang diukur meliputi panjang profil pantai, data ketinggian pantai dan pengamatan morfologi pantai yang dilakukan dengan *tracking* menyusuri garis pantai sepanjang ±7 km. Pengambilan data dibagi kedalam beberapa titik sampel untuk mendapatkan gambaran umum. Sedangkan data sekunder ialah data yang dikumpulkan dari beberapa sumber, antara lain data kenaikan muka air laut yang didapatkan dari penelitian oleh Andrianto dan Suntoyo (2012), dengan menggunakan analisis pasang surut selama kurun waktu 20 tahun dengan metode *least square*. Kemudian data gelombang diperoleh dari website *ECMWF* dengan spesifikasi data tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan selama 10 tahun untuk perhitungan *closure depth*. Adapun peta batimetri merupakan data model *gridded* hasil survei hidrografi yang dilakukan oleh Pusat Kelautan dan Lingkungan Pantai (PKLP), BIG dengan datum *MSL*. Model prediksi genangan air menggunakan data topografi dengan spesifikasi *DEM (Digital Elevation Model)* Nasional, yang kemudian dioverlaykan dengan peta penggunaan lahan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan akibat genangan. Setelah data didapatkan selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data numerik dengan perhitungan ekuasi *Bruun Rule* dan didapatkan hasil berupa laju erosi pantai, prediksi perubahan garis pantai, peta luas genangan banjir, serta peta *intersect* dampak genangan dengan penggunaan lahan. Secara lebih jelas gambaran mengenai alur penelitian ini disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Alur Penelitian

3.4 Metode

3.4.1 Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan keadaan atau status suatu fenomena. Keadaan yang dimaksud ialah prediksi perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh kenaikan muka air laut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai respon pesisir terhadap kenaikan muka air laut meliputi kemunduran garis pantai atau erosi pada 4 desa di pesisir Kabupaten Gresik, Jawa Timur antara lain Desa Dalegan, Campurejo, Ngemboh, dan Banyuurip dengan menggunakan metode perhitungan *Bruun Rule*. Sedangkan desain penelitian yang digunakan ialah studi kasus yang bertujuan untuk mendalami suatu fenomena yang berlaku pada waktu, tempat dan populasi yang terbatas sehingga memberikan gambaran mengenai situasi dan kondisi lokal dan hasilnya tidak dapat digeneralisasikan pada waktu dan tempat yang berbeda (Sageta *et al.*, 2012).

3.4.2 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode *systematic sampling* yaitu dengan membagi beberapa titik pengambilan data dengan interval tertentu. Pengambilan data dilakukan pada 47 titik dengan jarak antar titik ± 200 meter, sehingga diasumsikan data yang dikumpulkan dapat mewakili keseluruhan kondisi morfologi sepanjang pantai pada lokasi penelitian.

3.4.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan melalui pengukuran secara langsung yang dilakukan di lapangan. Pengambilan data primer meliputi pengukuran garis pantai, lebar profil pantai, dan ketinggian pantai.

1. Pengukuran Panjang Garis Pantai

Pengukuran panjang garis pantai dilakukan dengan *tracking* atau menyusuri garis pantai sepanjang Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan sejauh ±7 km dengan menggunakan *GPS (Global Positioning System)* untuk mengetahui koordinat lokasi pengambilan data. Data hasil pengukuran kemudian dicatat dan diolah ke dalam microsoft excel untuk dilakukan proses pengolahan data selanjutnya.

2. Pengukuran Ketinggian Pantai

Pengambilan data dalam pengukuran ketinggian pantai dilakukan melalui dua metode, yaitu menggunakan *GPS* dan pengukuran menggunakan alat berupa tongkat skala. Di dalam *GPS* juga terdapat parameter berupa altimetri atau posisi ketinggian di atas permukaan air laut. Dalam hal ini altimetri yang dimaksud ialah ketinggian pantai. Pengambilan data ketinggian pantai secara manual diukur melalui pengamatan langsung (*observasi*) dengan menggunakan alat berupa tongkat skala, dimana tongkat skala diletakkan pada titik genangan air terjauh lalu ditarik garis tegak lurus menuju darat pada ketinggian tertentu.

3. Pengukuran Lebar Profil Pantai

Pengambilan data lebar profil pantai dilakukan menggunakan *roll meter* yang sebelumnya telah dilakukan penandaan lokasi pada *google earth* dengan dilengkapi data batimetri untuk menentukan posisi *closure depth*. Untuk memvalidasi pengukuran tersebut, dilakukan konversi data berupa kontur batimetri ke dalam *google earth* lalu ditarik garis tegak lurus menuju daratan sesuai lokasi yang sudah ditandai menggunakan *tools ruler*.

4. Data Pendukung

Adapun data pendukung dalam penelitian ini ialah kondisi bentang alam pada lokasi penelitian. Pada proses pengambilan data juga diperlukan pencatatan mengenai kondisi geomorfologi pantai dan didokumentasikan. Setiap

pantai memiliki kondisi bentang alam yang berbeda. Hal ini dapat mempengaruhi hasil perubahan garis pantai pada tiap wilayah sehingga dapat dilakukan analisis mengenai faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil prediksi perubahan garis pantai yang didapatkan dan gambaran umum lokasi penelitian.

3.4.2.2 Data Sekunder

Data-data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi *closure depth*, nilai kenaikan muka air laut, data *DEM (Digital Elevation Model)*, dan data batimetri.

1. Penentuan *Closure depth*

Parameter ini dihitung dengan menggunakan data gelombang signifikan selama sepuluh tahun dari tahun 2009-2018 yang didapatkan dari website *ECMWF* dengan grid $0,125 \times 0,125$ dengan parameter *mean wave period* dan *significant wave height* untuk mengetahui nilai periode gelombang signifikan dan ketinggian gelombang signifikan.

2. Kenaikan Muka Air Laut

Data kenaikan muka air laut merupakan data yang mengacu pada penelitian oleh Andrianto dan Suntoyo (2012) dengan analisa pasang surut selama 20 tahun pada lokasi pantai Campurejo, Kabupaten Gresik. Prediksi dilakukan dengan menggunakan metode *least square* untuk menganalisa perubahan kedudukan muka air laut rata-rata (*MSL*).

3. Data *DEM (Digital Elevation Model)* dan Batimetri

Data *DEM* merupakan data ketinggian daratan (topografi) dengan resolusi $8,1 \times 8,1$ m dengan datum *EGM2008*. Data batimetri yang digunakan merupakan data model *gridded* batimetri nasional yang mana merupakan survei hidrografi yang dilakukan oleh BIG pada tahun 2002 dengan spesifikasi datum *MSL* dan resolusi 30s. Data *DEM* dan BATNAS dapat diunduh melalui laman

tanahair.indonesia.go.id atau tides.big.go.id/DEMNAS/. Data tersebut digunakan untuk melakukan pemodelan *run-up* kenaikan muka air laut.

3.4.3 Metode Analisa Data

3.4.3.1 Analisa Kenaikan Muka Air Laut

Nilai kenaikan muka air laut yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian Andrianto dan Suntoyo (2012) mengenai prediksi kenaikan muka laut yang terjadi di pesisir pantai Kabupaten Gresik, menggunakan data pasang surut selama kurun waktu 20 tahun melalui pengamatan *MSL* tahunan menggunakan metode *least square*. *Least Square* adalah metode pengolahan data pasang surut dengan menggunakan pendekatan fungsi sinus cosinus yang menghasilkan *output* berupa elevasi muka air laut, komponen bilangan formzahl dan jenis pasang surut (Liyani *et al.*, 2012). Perhitungan nilai kenaikan muka air laut menggunakan nilai perubahan tinggi muka air laut rata-rata dengan menggunakan metode admiralty. Untuk mendapatkan nilai *MSL* (*mean sea level*), digunakan persamaan:

$$MSL = \frac{HWL - LWL}{2}$$

Keterangan:

MSL= tinggi muka air laut rata-rata selama satu siklus pasang surut

HWL= muka air laut tertinggi dalam satu siklus pasang surut

LWL= muka air laut terendah dalam satu siklus pasang surut

Metode admiralty merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengetahui tipe pasang surut harian dan komponen pasang surut meliputi nilai *MSL*, *HHWL*, dan *LLWL*. Setelah diketahui nilai rata-rata tinggi muka air laut bulanan selanjutnya nilai tersebut diplotkan ke dalam grafik untuk dilakukan analisis regresi linier dengan persamaan:

$$Y = ax + b$$

Dimana:

Y = nilai rata-rata ketinggian air (m)

x = Fungsi waktu (bulan)

a,b = nilai parameter

Dari penelitian tersebut didapatkan laju kenaikan muka air laut pada Kabupaten Gresik didapatkan persamaan $y = 0,00072x + 1,5$ atau sebesar 8,6 mm/th dari tahun 1984.

3.4.3.2 Analisa Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai secara umum disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan mengendapkannya di suatu tempat secara kontinyu (Liyani *et al.*, 2012). Analisa perubahan garis pantai pada penelitian ini menggunakan metode *Bruun Rule* dengan rumus:

$$R = S \frac{L}{B + H}$$

Dimana:

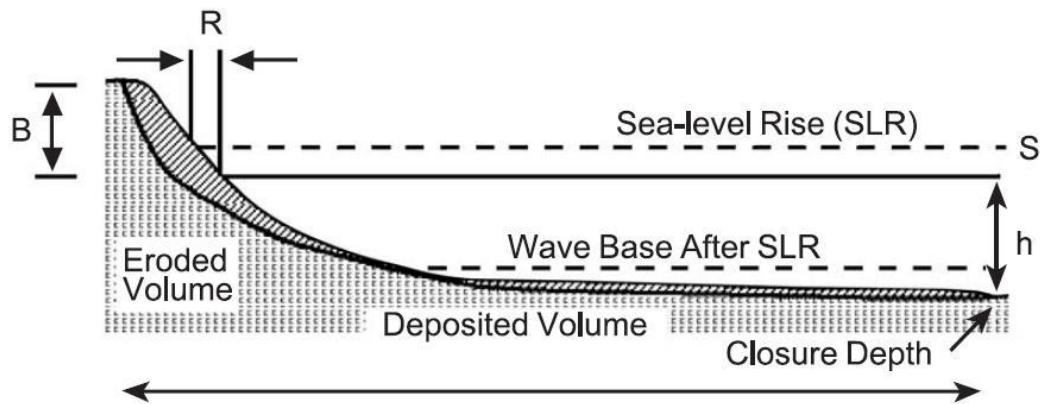
R : laju perubahan garis pantai

S : kenaikan muka laut

L : panjang profil pantai

B : ketinggian pantai

H : *closure depth*



Gambar 6. Sketsa Erosi Pantai *Bruun Rule*

Titik *closure depth* diasumsikan bahwa pada kedalaman tersebut transport sedimen oleh gelombang tidak terjadi atau sedimen yang terdapat pada batas ini sangat kecil. Sehingga pada penelitian ini, titik *closure depth* menggunakan titik dimana kedalaman perairan tidak mengalami perubahan kedalaman atau perubahan kedalaman sangat kecil selama beberapa tahun. Untuk menentukan kedalaman penutupan digunakan persamaan:

$$DoC = 2.28 H_s - 68.5 \frac{H_s^2}{g \cdot T_s^2}$$

Dimana:

DoC : *Depth of Closure*

H_s : tinggi gelombang signifikan

T_s : periode gelombang signifikan

g : gravitasi bumi (9.8m/s^2)

Dalam penggunaan metode *Bruun Rule* terdapat beberapa batasan masalah antara lain:

1. Kenaikan muka air laut yang dihitung merupakan kenaikan muka air laut relatif (tidak mempertimbangkan penurunan muka tanah).
2. Laju kenaikan muka air laut berdasarkan data pasang surut perairan Gresik.

3. Perubahan garis pantai yang dikaji pada penelitian ini terfokus pada respon pesisir terhadap kenaikan muka air laut.
4. Perubahan garis pantai yang dihitung ialah erosi / kemunduran pantai.
Setelah didapatkan laju perubahan garis pantai melalui persamaan *Bruun Rule* yang telah dilakukan, selanjutnya diplotkan kedalam peta prediksi perubahan garis pantai pada 25, 50, dan 100 tahun mendatang.

3.4.3.3 Analisa Prediksi Dampak Genangan

Data DEM (*Digital Elevation Model*) digunakan untuk menganalisa genangan banjir berdasarkan skenario kenaikan muka air laut yang telah terprediksi dengan menggunakan data topografi wilayah. Model genangan dikategorikan berdasarkan nilai ketinggian muka air laut sehingga didapatkan luasan wilayah tergenang. Setelah pemodelan dilakukan, didapatkan peta daerah terdampak kenaikan muka air laut tahunan selama kurun waktu 25, 50 dan 100 tahun mendatang, maka dapat dilihat perubahan wilayah pesisir berupa peta genangan banjir pada ke-4 wilayah penelitian di Kabupaten Gresik yaitu Desa Dalegan, Desa Campurejo, Desa Ngemboh, dan Desa Banyuurip.

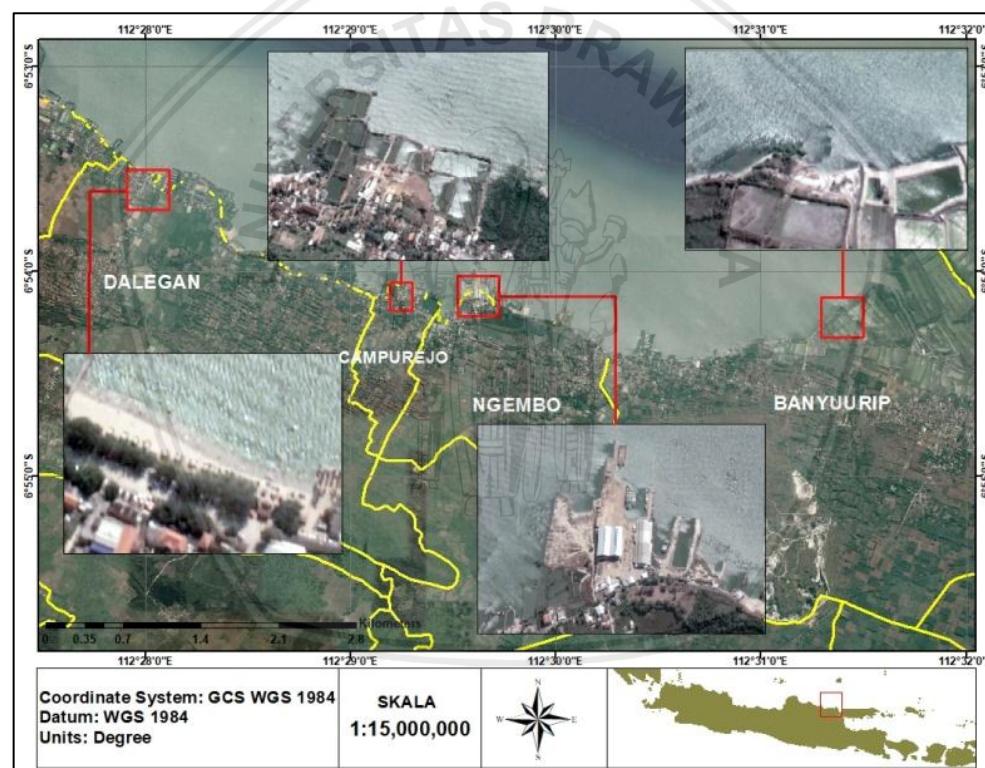
Dampak yang ditimbulkan akibat kenaikan muka air laut dianalisis menggunakan *overlay* peta penggunaan lahan pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik yang diolah dari citra landsat. Selanjutnya dapat dianalisis estimasi kerugian dan wilayah terdampak yang sesuai dengan pemanfaatan lahan pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pesisir Kabupaten Gresik merupakan wilayah yang terletak di jajaran Pantai Utara Jawa yang berhadapan langsung dengan Laut Jawa dan Selat Madura. Wilayah ini memiliki karakteristik pantai yang bervariasi dengan kemiringan pantai yang landai pada keempat wilayah penelitian yaitu Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan (Gambar 7).



Gambar 7. Gambaran Umum Pesisir Kabupaten Gresik

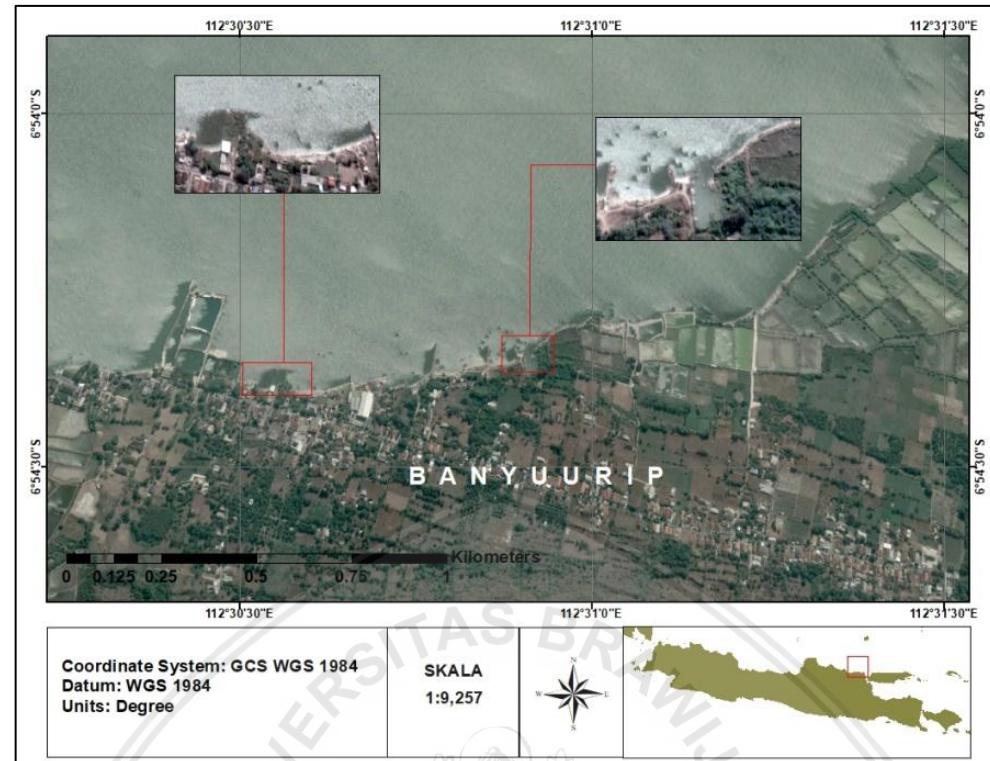
Menurut BAPPEDA Provinsi Jawa Timur (2016), Kabupaten Gresik merupakan dataran rendah dengan ketinggian 2 sampai 12 meter di atas permukaan air laut. Sebagian wilayah Kabupaten Gresik merupakan daerah pesisir pantai dengan panjang pantai 140 km. Wilayah Kabupaten Gresik sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa, Sebelah Timur berbatasan dengan

Selat Madura dan Kota Surabaya, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo, dan Kabupaten Mojokerto, serta sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Lamongan. Mayoritas daratan pada pesisir Kabupaten Gresik berada pada kelerengan 0-2% dengan luas wilayah sebesar 94.613 Ha (80.59%).

Pesisir Kabupaten Gresik memiliki tipe pantai yang bervariasi, didominasi oleh mangrove dengan substrat berupa lumpur dan pantai pasir dengan ukuran butir halus hingga sedang. Penggunaan lahan di pantai utara Kabupaten Gresik adalah tambak ikan atau bandeng serta tambak garam. Kawasan pesisir di wilayah ini memiliki nilai keanekaragaman hayati yang tinggi baik dari segi ekosistem dan habitatnya. Terdapat lahan yang digunakan untuk kegiatan tambak garam namun terjadi konversi lahan untuk kegiatan lainnya seperti untuk pelabuhan, industri dan bangunan lainnya (Damar *et al.*, 2017).

4.1.1.1 Desa Banyuurip

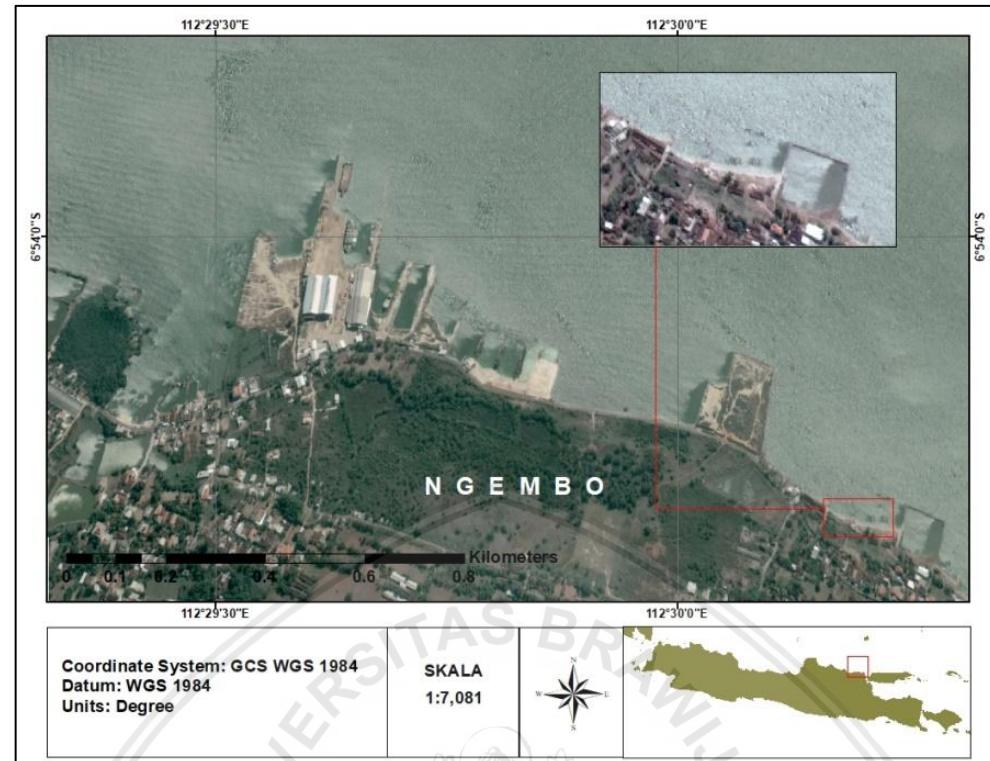
Desa Banyuurip merupakan kawasan restorasi mangrove yang dikelola oleh *Banyuurip Mangrove Center*. Mangrove tumbuh pada substrat berlumpur sebagai hasil sedimentasi dari muara Sungai Begawan Solo di Ujung Pangkah. Banyak pecahan cangkang bivalvia yang ditemukan di daerah ini. Kawasan ini memiliki ketinggian pantai yang mencapai 2 meter. Kecamatan Ujung Pangkah merupakan kecamatan yang memiliki lahan mangrove terluas dengan luas 12,68 ha. Desa Banyuurip merupakan salah satu desa di Kecamatan Ujung Pangkah yang memiliki lahan mangrove sebesar 5,9 ha yang dikelola oleh *Banyuurip Mangrove Center* (Dinas Kelautan Perikanan dan Peternakan, 2000). Selain itu kawasan konservasi ini juga dimanfaatkan sebagai zona ekowisata. Detail mengenai morfologi wilayah Banyuurip dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta Lokasi Desa Banyuurip

4.1.1.2 Desa Ngemboh

Desa Ngemboh merupakan daerah tambak dengan sedimen berupa lumpur dan ketinggian pantai sebesar 3 meter. Wilayah ini memiliki tipe pantai dengan struktur bangunan pantai permanen yang terbuka terhadap dinamika laut. Lumpur di daerah ini merupakan material yang terbawa oleh arus dari muara sungai Bengawan Solo dimana lokasinya terdapat pada satu garis pantai dengan Banyuurip. Terdapat kawasan pelabuhan umum dan pelabuhan perikanan di wilayah ini. Beberapa tegakan pohon mangrove ditemukan pada pesisir Desa Ngemboh namun dalam jumlah yang cenderung sedikit. Hal ini dikarenakan adanya konversi lahan mangrove menjadi beberapa wilayah perikanan dan perindustrian. Wilayah ini berbatasan langsung dengan jalur pantura. Karakteristik wilayah Desa Ngemboh secara jelas disajikan pada Gambar 9.



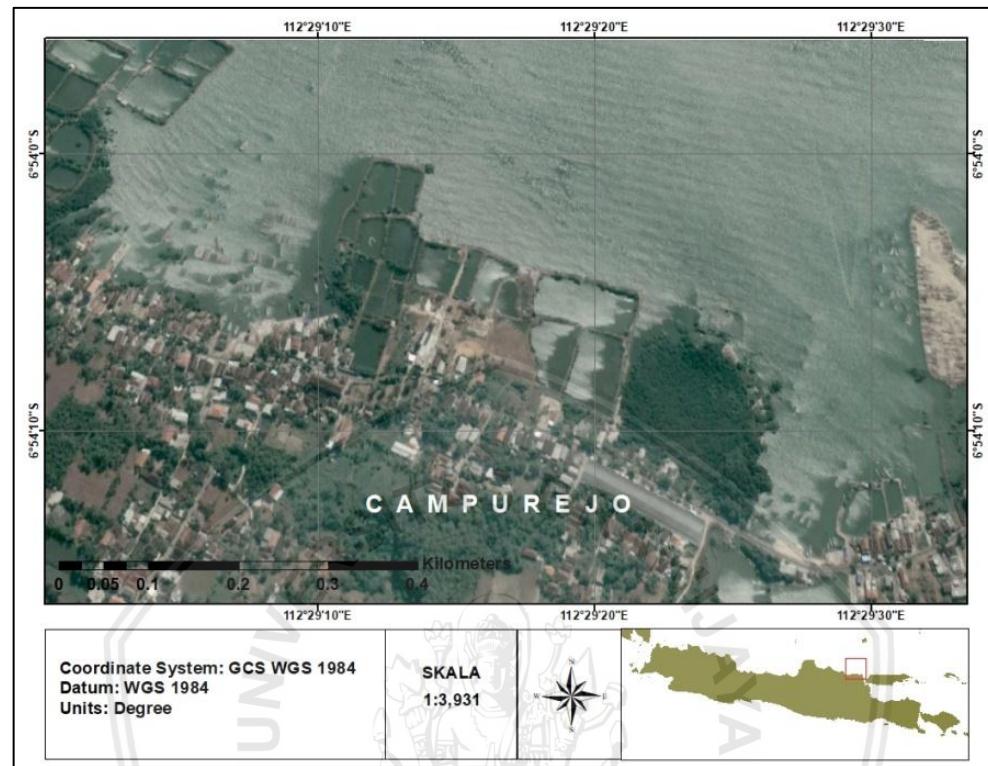
Gambar 9. Peta Lokasi Desa Ngembob

Desa Ngembob, Kecamatan Ujungpangkah merupakan wilayah pesisir utara Kabupaten Gresik yang memiliki potensi perikanan yang cukup tinggi, baik perikanan tambak maupun perikanan laut. Tingginya potensi perikanan di wilayah tersebut menyebabkan masyarakat mengkonversi lahan mangrove menjadi tambak-tambak baru sehingga lahan mangrove terdegradasi (Puspita, 2015). Selain itu terdapat pula tempat pendaratan ikan di wilayah ini.

4.1.1.3 Desa Campurejo

Desa Campurejo terletak di Kecamatan Panceng, Kabupaten Gresik. Wilayah ini merupakan daerah industri dan sentra pendaratan ikan. Morfologi pantai berupa sedimen lumpur dengan sedikit pasir dan ketinggian pantai mencapai 2-3 meter (Gambar 10). Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) yang berada di Desa Campurejo, Kecamatan Panceng merupakan fasilitas yang disediakan oleh Pemerintah Kabupaten Gresik dengan beberapa prasarana

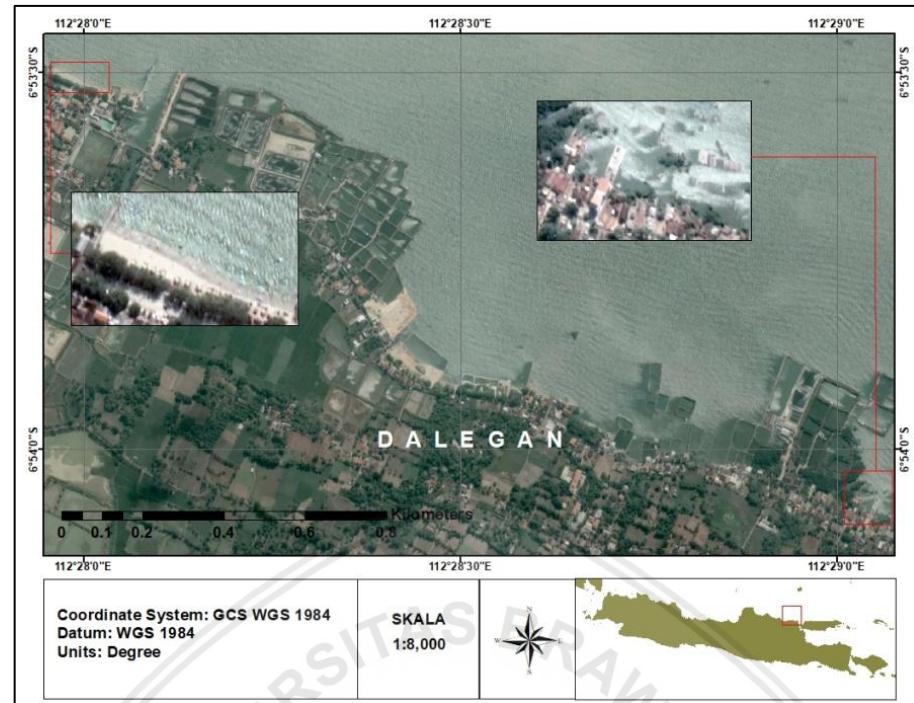
pendukung seperti dermaga, tempat pelelangan ikan (TPI), pabrik es, dan tempat pengisian perbekalan (Wijaya *et al.*, 2017).



Gambar 10. Peta Lokasi Desa Campurejo

4.1.1.4 Desa Dalegan

Sedangkan Desa Dalegan merupakan wilayah yang terletak di Kecamatan Panceng, berbatasan langsung dengan Kabupaten Lamongan. Wilayah ini merupakan kawasan wisata pantai karena memiliki tipe pantai berpasir dengan ukuran butir halus hingga sedang serta dataran landai dengan ketinggian 2 meter. Bahar (2016) dalam penelitiannya mengenai pengembangan kawasan wisata di Desa Dalegan menyatakan bahwa Pantai Pasir Putih di Desa Dalegan merupakan obyek wisata penting bagi Kabupaten Gresik. Gelombang yang tenang di daerah ini juga dimanfaatkan masyarakat untuk membuka lahan pertambakan sehingga menambah nilai dalam sektor perikanan. Gambaran mengenai karakteristik wilayah di pesisir Desa Dalegan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Peta Lokasi Desa Dalegan

4.1.2 Kenaikan Muka Air Laut

Data kenaikan muka air laut yang digunakan dalam penelitian ini ialah prediksi di beberapa wilayah secara global dan regional dari berbagai sumber yang berbeda. Sumber data dibagi menjadi empat klasifikasi yaitu nilai kenaikan muka air laut global yang dikeluarkan oleh AVISO menggunakan pengamatan ketinggian muka air laut melalui satelit JASON ialah sebesar 3,16 mm/th. Kemudian kenaikan muka air laut pada wilayah Indonesia yang dilakukan oleh Sofian dan Nahib pada tahun 2010 menggunakan penginderaan jauh menghasilkan kisaran nilai *SLR* sebesar 2-10 mm/th. Limantara *et al.* (2013) melalui penelitiannya mengenai *SLR* di wilayah Pantai Utara Jawa menghasilkan nilai kenaikan muka air laut sebesar 8,64 mm/th. Nilai kenaikan muka air laut secara spesifik pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik ialah penelitian oleh Andrianto dan Suntoyo (2012) dengan analisa *MSL* tahunan menggunakan metode admiralty memperoleh hasil 8,6 mm/th (Tabel 4).

Nilai kenaikan muka air laut pada pesisir Kabupaten Gresik meliputi 4 Desa yaitu Banyuurip, Ngemboh, Campurejo dan Dalegan mengacu pada penelitian yang dilakukan Andrianto dan Suntoyo menggunakan metode *admiralty* dan analisis *least square* dengan data MSL tahunan selama 20 tahun dihasilkan indeks *SLR* sebesar 8,6 mm/th. Nilai ini digunakan sebagai data acuan dalam perhitungan ekuasi *Bruun Rule*.

Tabel 4. Nilai Kenaikan Muka Air Laut

Sumber	Wilayah	Data	Nilai (mm/th)
AVISO	Global	Sea Level Height (1993 – 2018)	3,16
Sofian dan Nahib, Indonesia 2010		Altimetri Jason-1 (1992 – 2008) & model IPCC	2-10
Limantara <i>et al.</i> , 2013	Pantai Utara Jawa	Altimetri Jason-2 (2008 – 2012)	8,64
Andrianto dan Suntoyo, 2012	Gresik	MSL 20 tahun (1984 – 2004)	8,6

4.1.3 Closure Depth

Closure Depth atau kedalaman penutupan merupakan parameter yang penting dalam pengukuran perubahan garis pantai menggunakan metode *Bruun Rule*. Dalam menentukan nilai kedalaman *closure depth* digunakan data gelombang selama kurun waktu 10 tahun untuk mengetahui nilai tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan pada wilayah penelitian pesisir Kabupaten Gresik.

Tabel 5. Tinggi gelombang signifikan (Hs) dan Periode Signifikan (Ts) tahunan 2009-2018

Tahun	Hs (m)	Ts (s)
2009	1,07	4,72
2010	0,95	4,64
2011	1,15	4,90
2012	1,12	4,79
2013	1,19	4,90

Tahun	Hs (m)	Ts (s)
2014	1,23	4,94
2015	1,24	4,99
2016	0,91	4,50
2017	1,12	4,80
2018	0,86	4,45
\bar{x}	1,10	4,79

Ket: Hs (tinggi gelombang signifikan) dalam meter (m); dan Ts (periode signifikan) dalam detik (s).

Dimana nilai Hs (tinggi gelombang signifikan) rata-rata dalam 10 tahun adalah sebesar 1,102 m dan Ts (periode gelombang signifikan) rata-rata dalam 10 tahun adalah sebesar 4,790 s. Maka dengan ekuasi:

$$Doc = 2.28 Hs - 68.5 \frac{Hs^2}{g \cdot Ts^2}$$

didapatkan nilai kedalaman penutupan pada area penelitian sebesar 2,14 m. Area ini merupakan batas kedalaman dimana pergerakan sedimen aktif.

Closure depth merupakan konsep yang telah lama digunakan secara luas dalam *coastal engineering*. Nicholls *et al.* (1997), menyatakan bahwa kedalaman penutupan dapat ditentukan menggunakan data berupa gelombang ekstrim dimana parameter ini berperan dalam proses erosi pada suatu wilayah pantai. Kedalaman perairan relatif tidak mengalami perubahan pada area ini karena merupakan area pemisah antara *seaward motion* dan *landward motion*.

4.1.4 Perubahan Garis Pantai

4.1.4.1 Desa Banyuurip

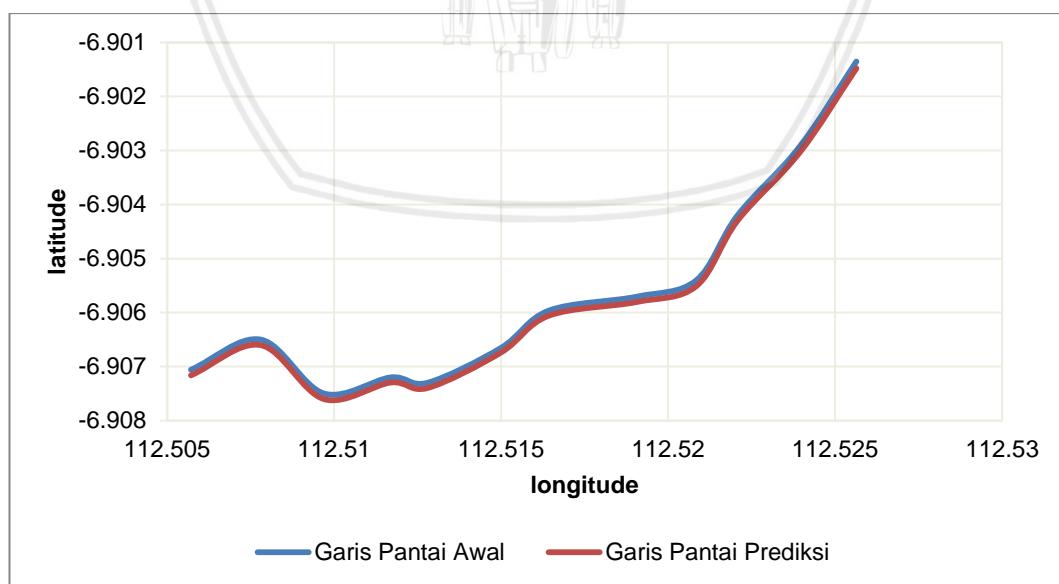
Banyuurip merupakan wilayah sentral hutan mangrove (*Banyuurip Mangrove Center*) dengan substrat berlumpur. Pengambilan data pada wilayah ini dibagi menjadi 12 transek dengan jarak antar transek ± 200 m. Perubahan garis pantai dihitung menggunakan ekuasi *Bruun Rule* sehingga didapatkan hasil yang tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Banyuurip menggunakan skema *Bruun Rule*

TRANSEK	x	y	S (m)	H (m)	L (m)	B (m)	R (m/th)
1	112,5256	-6,90135	0,0086	2,14	679	2	1,410483
2	112,5240	-6,90292	0,0086	2,14	584	2	1,213140
3	112,5221	-6,90420	0,0086	2,14	522	2	1,084348
4	112,5208	-6,90540	0,0086	2,14	582	2	1,208986
5	112,5191	-6,90571	0,0086	2,14	527	2	1,094734
6	112,5164	-6,90597	0,0086	2,14	502	2	1,042802
7	112,5150	-6,90666	0,0086	2,14	454	2	0,943092
8	112,5128	-6,90730	0,0086	2,14	520	2	1,080193
9	112,5117	-6,90720	0,0086	2,14	511	2	1,061498
10	112,5097	-6,90750	0,0086	2,14	554	2	1,150821
11	112,5078	-6,90650	0,0086	2,14	467	2	0,970097
12	112,5057	-6,90706	0,0086	2,14	686	2	1,425024
				\bar{x}	1,14		

Ket: x (longitude); y (latitude); S (nilai kenaikan muka air laut) dalam meter; H (closure depth) dalam meter; L (panjang profil pantai); B (ketinggian pantai) dalam meter; dan R (laju kemunduran garis pantai) dalam m/th.

Berdasarkan perhitungan numerik pada Tabel 6, perubahan garis pantai pada wilayah pesisir Banyuurip dengan menggunakan skema *Bruun Rule* memiliki rata-rata laju erosi sebesar $1,14 \pm 0,15$ m/th. Grafik kemunduran garis pantai pada Desa Dalegan diilustrasikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Banyuurip

4.1.4.2 Desa Ngemboh

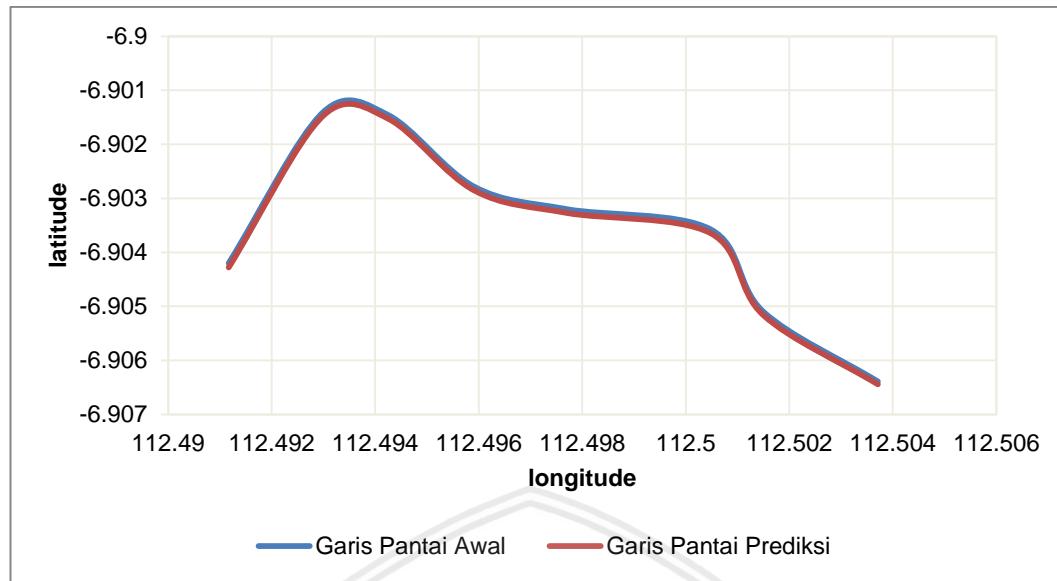
Pesisir Desa Ngemboh merupakan wilayah yang dimanfaatkan sebagai tambak bandeng dan udang karena memiliki tipe pantai berbatu dimana masih terdapat sedikit vegetasi mangrove dan substrat lumpur. Pengambilan data dibagi ke dalam 8 transek dengan jarak antar transek ± 200 m dan ketinggian pantai ± 3 m. Adapun hasil perhitungan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Ngemboh menggunakan skema *Bruun Rule*

TRANSEK	x	y	S (m)	H (m)	L (m)	B (m)	R (m/th)
1	112,5037	-6,90639	0,0086	2,14	691	3	1,156148
2	112,5015	-6,90510	0,0086	2,14	848	3	1,418833
3	112,5005	-6,90357	0,0086	2,14	944	3	1,579455
4	112,4977	-6,90320	0,0086	2,14	930,5	3	1,556868
5	112,4959	-6,90278	0,0086	2,14	917	3	1,534280
6	112,4943	-6,90146	0,0086	2,14	903,5	3	1,511693
7	112,4930	-6,90140	0,0086	2,14	890	3	1,489105
8	112,4912	-6,90420	0,0086	2,14	1056	3	1,766848
							\bar{x} 1,50

Ket: x (longitude); y (latitude); S (nilai kenaikan muka air laut) dalam meter; H (closure depth) dalam meter; L (panjang profil pantai); B (ketinggian pantai) dalam meter; dan R (laju kemunduran garis pantai) dalam m/th.

Berdasarkan skema perhitungan numerik menggunakan ekuasi *Bruun Rule* (Tabel 7), perubahan garis pantai pada wilayah pantai Desa Ngemboh memiliki rata-rata laju erosi sebesar $1,50 \pm 0,17$ m/th. Grafik perubahan garis pantai pada Desa Ngemboh disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Ngembob

4.1.4.3 Desa Campurejo

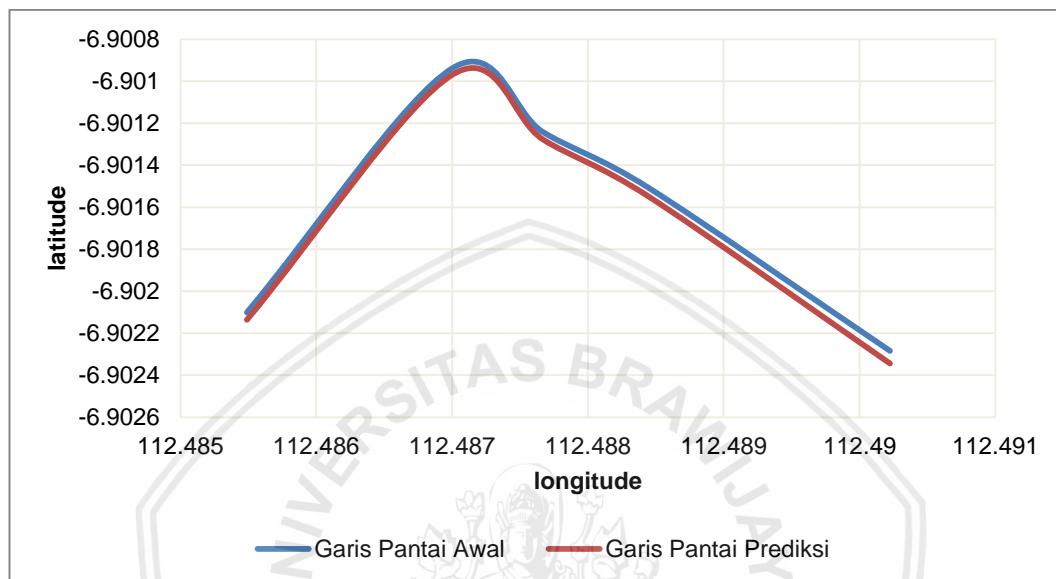
Wilayah pantai pada Desa Campurejo merupakan daerah tambak karena berada dalam satu garis pantai dengan Desa Ngembob, sehingga kedua wilayah memiliki kesamaan dalam pemanfaatannya, namun banyak terdapat bangunan pantai serta pemukiman warga. Pada daerah ini substrat didominasi oleh lumpur dan pasir. Transek dibagi kedalam 5 titik pengambilan data dengan jarak antar transek ± 200 m dan ketinggian pantai ± 2 m. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Campurejo menggunakan skema Bruun Rule

TRANSEK	x	y	S (m)	H (m)	L (m)	B (m)	R (m/th)
1	112,4902	-6,90228	0,0086	2,14	1071	2	2,224783
2	112,4884	-6,90151	0,0086	2,14	742	2	1,541353
3	112,4877	-6,90124	0,0086	2,14	636	2	1,321159
4	112,4870	-6,90094	0,0086	2,14	549	2	1,140435
5	112,4855	-6,90210	0,0086	2,14	628	2	1,304541
							\bar{x} 1,51

Ket: x (longitude); y (latitude); S (nilai kenaikan muka air laut) dalam meter; H (closure depth) dalam meter; L (panjang profil pantai); B (ketinggian pantai) dalam meter; dan R (laju kemunduran garis pantai) dalam m/th.

Rata-rata laju perubahan garis pantai pada wilayah pesisir Campurejo berdasarkan skema *Bruun Rule* yang tersaji pada Tabel 8 adalah sebesar $1,51 \pm 0,43$ m/th. Gambar 14 menunjukkan grafik rata-rata perubahan garis pantai pada Desa Campurejo dengan nilai kecepatan erosi 1,51 m/th.



Gambar 14. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Campurejo

4.1.4.4 Desa Dalegan

Pesisir Dalegan merupakan wilayah pantai berpasir dan dimanfaatkan sebagai sarana pariwisata (Pantai Pasir Putih). Pengambilan data dibagi ke dalam 22 transek dengan jarak antar transek ±200 m dan ketinggian pantai bervariasi antara 1-3 m. Perubahan garis pantai dihitung menggunakan ekuasi *Bruun Rule* sehingga didapatkan hasil yang tersaji pada Tabel 9.

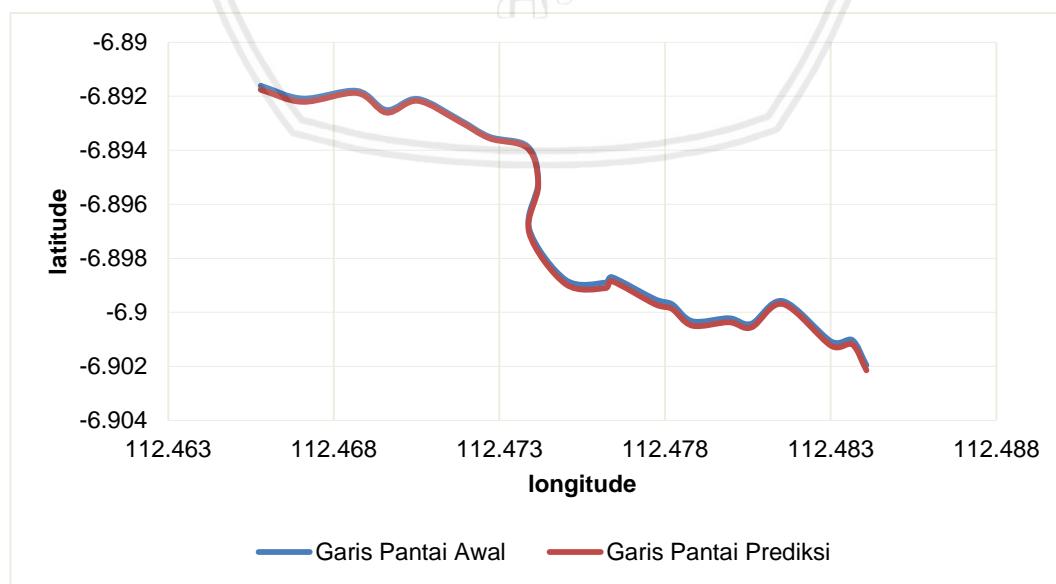
Tabel 9. Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai pada Desa Dalegan menggunakan skema *Bruun Rule*

TRANSEK	x	y	S (m)	H (m)	L (m)	B (m)	R (m/th)
1	112,4841	-6,90196	0,0086	2,14	668	2	1,387633
2	112,4836	-6,90103	0,0086	2,14	575	2	1,194444
3	112,4830	-6,90108	0,0086	2,14	578	2	1,200676
4	112,4816	-6,89959	0,0086	2,14	393	2	0,816377
5	112,4806	-6,90042	0,0086	2,14	494	2	1,026184
6	112,4799	-6,90022	0,0086	2,14	471	1.5	1,112802
7	112,4788	-6,90033	0,0086	2,14	516	1.5	1,219121

TRANSEK	x	y	S (m)	H (m)	L (m)	B (m)	R (m/th)
8	112,4782	-6,89970	0,0086	2,14	472	1	1,292739
9	112,4777	-6,89952	0,0086	2,14	508	1	1,391338
10	112,4764	-6,89870	0,0086	2,14	531	2	1,103043
11	112,4762	-6,89890	0,0086	2,14	557	1	1,525541
12	112,4750	-6,89880	0,0086	2,14	555	2	1,152899
13	112,4739	-6,89692	0,0086	2,14	533	2	1,107198
14	112,4742	-6,89517	0,0086	2,14	419	2	0,870386
15	112,4739	-6,89386	0,0086	2,14	261	2	0,542174
16	112,4727	-6,89350	0,0086	2,14	260	3	0,435019
17	112,4718	-6,89287	0,0086	2,14	301	3	0,503619
18	112,4705	-6,89210	0,0086	2,14	323	3	0,540428
19	112,4696	-6,89251	0,0086	2,14	438	3	0,732840
20	112,4687	-6,89180	0,0086	2,14	363	3	0,607354
21	112,4671	-6,89208	0,0086	2,14	442	2	0,918164
22	112,4658	-6,89161	0,0086	2'14	531	2	1,103043
					x		0,99

Ket: x (longitude); y (latitude); S (nilai kenaikan muka air laut) dalam meter; H (closure depth) dalam meter; L (panjang profil pantai); B (ketinggian pantai) dalam meter; dan R (laju kemunduran garis pantai) dalam m/th.

Berdasarkan Tabel 9, perubahan garis pantai pada wilayah pesisir Dalegan memiliki rata-rata laju erosi sebesar $0,99 \pm 0,32$ m/th, dengan metode perhitungan numerik menggunakan skema *Bruun Rule*. Grafik perubahan garis pantai pada Desa Dalegan disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Perubahan Garis Pantai Area Dalegan

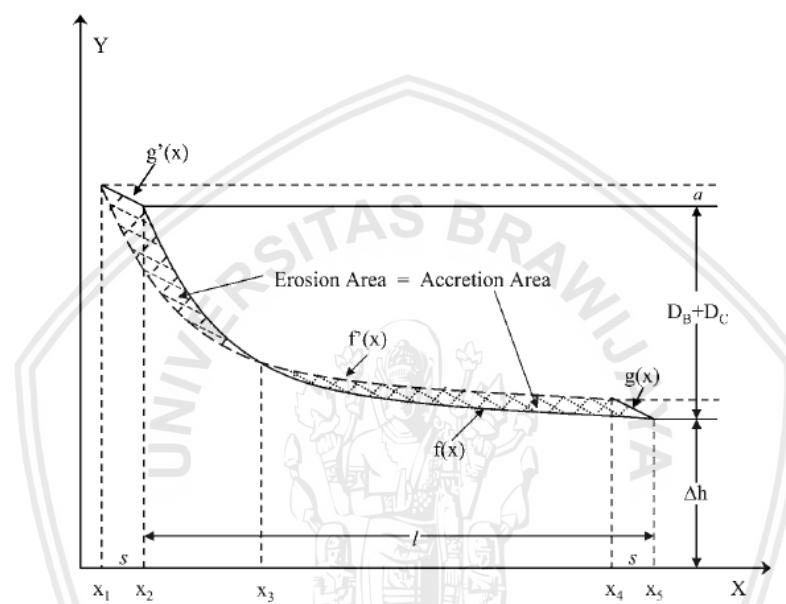
4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Kenaikan Muka Air Laut dan Erosi Pantai

Model kenaikan muka air laut yang digunakan dalam penelitian ini diasumsikan memiliki nilai yang sama dalam satu garis pantai sepanjang Desa Banyuurip, Ngemboh, Campurejo, dan Dalegan. Tiap pantai memiliki panjang profil yang berbeda serta ketinggian yang berbeda pula. Persamaan dalam ekuasi Bruun Rule menunjukkan bahwa ketinggian pantai berbanding lurus dengan perubahan garis yang terjadi. Hal ini dikarenakan ketinggian pantai mempengaruhi nilai kemiringan sehingga hasil yang ditunjukkan akan lebih besar pada daerah yang memiliki kemiringan cukup curam. Hasil yang disajikan pada Tabel 10 membuktikan bahwa pada daerah Campurejo yang mana memiliki nilai ketinggian pantai tertinggi, menunjukkan laju erosi yang paling tinggi pula. Demikian pula pada daerah Dalegan dimana pada ketinggian pantai yang rendah menghasilkan laju erosi yang rendah pula. Menurut Zhang *et al.* (2004), terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab perubahan garis pantai, namun dalam metode *Bruun Rule* faktor yang diperhitungkan hanyalah kenaikan muka air laut. Saat air laut mengalami penambahan volume, genangan air akan naik menuju daratan sesuai dengan kemiringan pantai dimana akan menyebabkan erosi dari pengikisan sedimen.

Bruun rule merupakan metode pemodelan dua dimensi tegak lurus pantai (*cross-shore*) yang digunakan dalam mengevaluasi erosi pantai pada profil zona yang aktif terhadap kenaikan muka air laut. Model didasarkan pada konsep profil pantai yang setimbang (*equilibrium*), yang merepresentasikan keseimbangan zona konstraktif dan destruktif yang berlaku pada suatu wilayah pantai oleh turbulensi yang disebabkan oleh gelembang pecah (Bruun, 1988). Energi gelombang berbanding lurus dengan kenaikan muka air laut, yang mana keduanya berkontribusi dalam persebaran sedimen baik menuju pantai

(*landward*) maupun menjauhi pantai (*off shore*) (Leatherman *et al.*, 2000). Bruun (1962) mengungkapkan, zona aktif yang dibatasi pada kedalaman penutupan (*closure depth*) merupakan area dimana transport sedimen yang disebabkan oleh gelombang tidak signifikan atau sama dengan nol. Volume sedimen yang tererosi pada bagian permukaan (bibir pantai) terdeposit pada area *offshore* untuk mempertahankan morfologi dasar perairan.



Gambar 16. Model Erosi *Bruun Rule* pada Zona Aktif

Prinsip *Bruun Rule* merupakan model *cross-shore* sehingga parameter-parameter lain tidak dipertimbangkan seperti *longshore transport*, struktur pantai (*sea wall, jetty, revetment* dll), dan *inlet* (Passer *et al.*, 2014). Wilayah pesisir Gresik merupakan wilayah tanjung dan dermaga dimana karakteristik oseanografi pada daerah ini memiliki tipe gelombang menengah (transisi) (Barcelona *et al.*, 2015). Pantai berpasir memiliki dinamika yang kompleks dimana pergerakan sedimen cenderung aktif. Distribusi sedimen menuju lepas pantai dipengaruhi oleh gelombang dan pasang surut (Pilkey *et al.*, 1993). Saat muka air laut rerata meningkat, maka daerah yang rendah akan tergenang dan sedimen terbawa ombak menuju lepas pantai dan terdeposit (peningkatan

volume pada area penutupan). Hal ini menunjukkan bahwa permukaan air laut memiliki peranan penting dalam distribusi sedimen. Model pendekatan yang dikemukakan oleh (Bruun, 1983) didasari oleh beberapa asumsi:

1. Area aktif cenderung bersifat setimbang pada zona tegak lurus pantai sampai dengan kedalaman penutupan yang selanjutnya disebut *Closure depth*, merupakan area dimana tidak terjadi angkutan sedimen secara signifikan atau batas antara *landward* dan *seaward motion*. Area ini memegang peranan penting dalam pembentukan profil pantai.
2. Dalam mencapai kesetimbangan dimana profil pantai tidak berubah dan muka air laut mengalami kenaikan akan diikuti oleh perubahan garis pantai akibat genangan (erosi).
3. Volume sedimen tererosi pada pantai sama dengan volume sedimen terdeposit pada dasar laut. Wilayah deposit sedimen dibatasi oleh lebar profil pantai (L) atau batas antara *closure depth* dan garis pantai.
4. Kedalaman perairan (batimetri) pada area aktif akan mengalami pendangkalan akibat deposit sedimen yang ekuivalen dengan kenaikan muka air laut.

Model yang dikembangkan Bruun tidak tergantung pada bentuk profil pantai, karakteristik oseanografi wilayah, dan kemiringan pantai. Sehingga model ini dapat digunakan secara luas karena bersifat umum. Lebih lanjut (Pilkey *et al.*, 1993) menyatakan dengan minimnya variabel kontrol, model Bruun tidak dapat menjelaskan adanya kesetimbangan profil pada area yang mengalami akresi.

4.2.2 Perubahan Garis Pantai di Pesisir Kabupaten Gresik

Laju erosi pada keempat wilayah penelitian masing-masing sebesar $1,14 \pm 0,15$ m/th di Desa Banyuurip, $1,50 \pm 0,17$ m/th di Desa Ngemboh, $1,51 \pm 0,43$ m/th di Desa Campurejo, dan $0,99 \pm 0,32$ m/th di Desa Dalegan. Rata-rata

laju erosi pada keempat wilayah tersebut adalah sebesar $1,28 \pm 0,26$ m/th (Tabel 10). Dengan menggunakan skenario yang sama menunjukkan nilai yang berbeda pada masing-masing wilayah. Desa Campurejo memiliki laju erosi tertinggi yaitu sebesar $1,51 \pm 0,43$ m/th sedangkan laju erosi terendah sebesar $0,99 \pm 0,32$ m/th berada di Desa Dalegan. Dalam ekuasi *Bruun Rule*, erosi pantai disebabkan oleh 4 faktor antara lain lebar zona aktif, kedalaman penutupan, ketinggian pantai, dan kenaikan muka air laut itu sendiri. Dari keempat faktor tersebut hal yang membedakan karakteristik antara satu tempat dengan yang lain adalah ketinggian pantai dan lebar zona aktif (profil pantai), dimana keempat desa memiliki ketinggian pantai yang berbeda-beda. Lebar zona aktif merupakan jarak antara bibir pantai dengan kedalaman penutupan (*closure depth*) atau biasa disebut dengan panjang profil pantai. Dalam penelitian ini lebar zona aktif ditentukan berdasarkan data batimetri, sehingga jarak antara satu titik dengan titik yang lain mengikuti kontur kedalaman yang tegak lurus garis pantai pada masing-masing transek.

Tabel 10. Laju Erosi Masing-masing Wilayah

Wilayah	Laju Erosi (m/th)
Banyuurip	$1,14 \pm 0,15$
Ngemboh	$1,50 \pm 0,17$
Campurejo	$1,51 \pm 0,43$
Dalegan	$0,99 \pm 0,32$
Rata-rata	$1,28 \pm 0,26$

Dengan menggunakan metode yang sama, Andrianto dan Suntoyo (2012) melakukan penelitian mengenai perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh kenaikan muka air laut di Desa Campurejo, Gresik. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil kemunduran garis pantai di wilayah pesisir Gresik sebesar 2,17 m/th. Lebih lanjut, Andrianto dan Suntoyo (2012) menyatakan bahwa dari hasil validasi data diketahui nilai RMSe sebesar 8,026 atau dapat dikatakan kurang valid yang disebabkan oleh beberapa batasan/kendala.

Pada sebagian kondisi pantai tertentu metode *Bruun* tidak dapat digunakan. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa batasan antara lain:

1. Asumsi yang terdapat pada model sangat terbatas dan minim variabel kontrol (jenis sedimen, longshore current, adanya sumber masukan sedimen).
2. Formula yang digunakan sangat sederhana sehingga prediksi yang dihasilkan kurang akurat. Model yang diterapkan merupakan *one model fits all* sehingga tidak ada perbedaan penggunaan metode pada pantai dengan morfologi yang berbeda.
3. Metode yang digunakan termasuk sangat lama dan tidak relevan sehingga sering kali keadaan lapangan bertolak belakang dengan teori pada model.

Dalam beberapa kasus, model *Bruun Rule* menunjukkan hasil dengan tingkat keakurasiannya yang tinggi seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Leatherman *et al.* (2000) yang berlokasi di New Jersey. Ia menyatakan metode *Bruun Rule* yang digunakan menghasilkan prediksi perubahan garis pantai yang valid. Model ini juga digunakan secara luas bagi kepentingan manajemen pantai. Selain itu *Bruun Rule* merupakan teori dasar mengenai respon pesisir terhadap adanya fenomena kenaikan muka air laut. Meskipun terdapat beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa metode ini perlu dimodifikasi namun belum ada teori lain yang dapat menjelaskan dampak kenaikan muka air laut secara langsung terhadap perubahan garis pantai.

4.2.2.1 Prediksi Erosi Pantai 25, 50, dan 100 Tahun

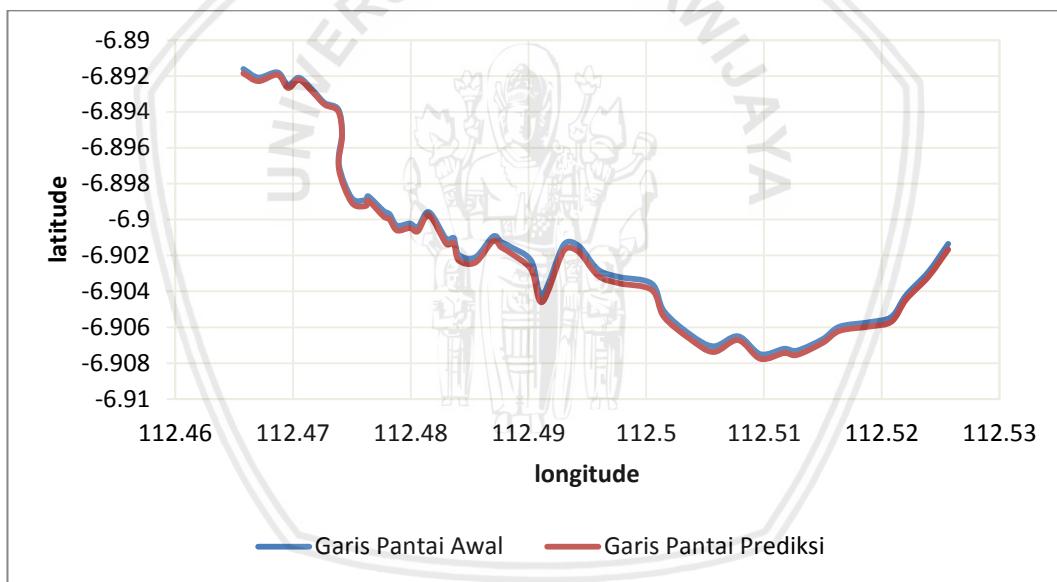
Rata-rata laju erosi pada pesisir Kabupaten Gresik ialah sebesar 1,28 m/th. Dengan menggunakan nilai tersebut maka dapat dilakukan prediksi

perubahan garis pantai dalam kurun waktu 25, 50, dan 100 tahun mendatang yang disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Prediksi Erosi Pantai 25, 50, dan 100 Tahun

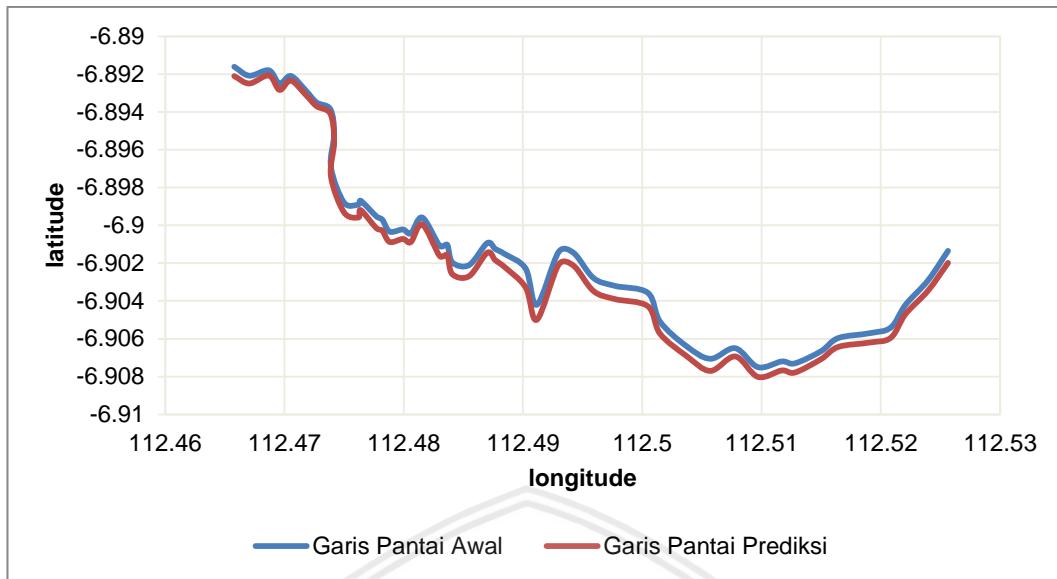
No.	Tahun	Erosi Pantai (m)	St. Dev
1	25	29,26	8,63
2	50	58,53	17,27
3	100	117,05	34,53

Prediksi erosi pada pesisir pantai Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan dalam kurun waktu 25 tahun mendatang disajikan pada grafik yang terdapat dalam Gambar 17. Rata-rata erosi pantai pada keempat wilayah adalah sebesar $29,26 \pm 8,63$ m.

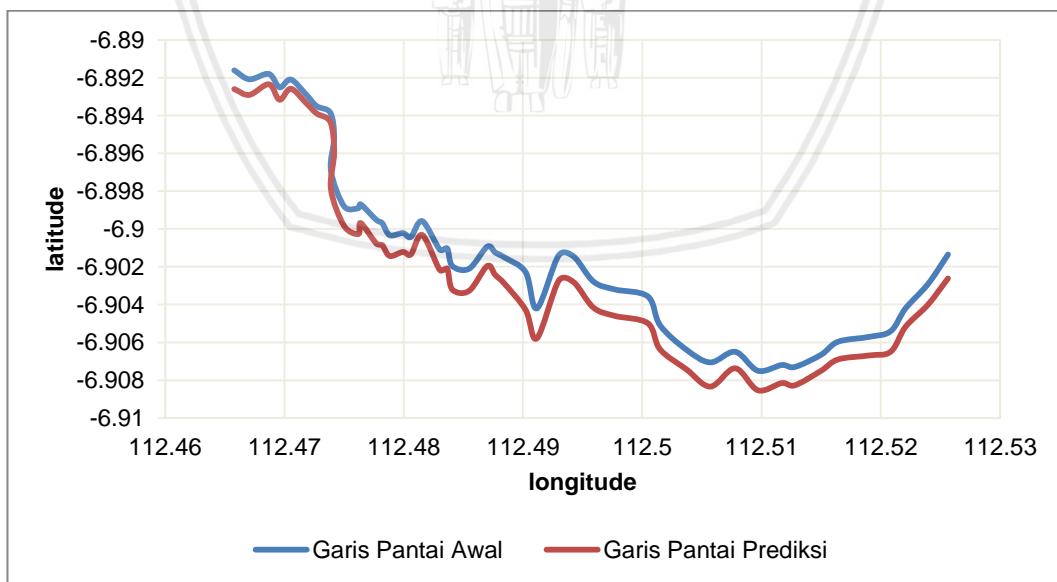


Gambar 17. Grafik Perubahan Garis Pantai Kab. Gresik 25 Tahun Mendatang

Dalam kurun waktu 50 tahun mendatang, garis pantai pada wilayah pesisir Kabupaten Gresik akan tererosi sebesar $58,53 \pm 17,27$ m. Grafik perubahan garis pantai pada wilayah Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan pada 50 tahun kedepan berdasarkan perhitungan numerik *Bruun Rule* disajikan pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Perubahan Garis Pantai Kab. Gresik 50 Tahun Mendatang
Prediksi laju perubahan garis pantai pada keempat area penelitian
(Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan) dalam
kurun waktu 100 tahun yang akan datang mencapai rata-rata $117,05 \pm 34,53$ m.
Gambar 19 menunjukkan grafik ilustrasi perubahan garis pantai ke arah darat
(erosi).



Gambar 19. Grafik Perubahan Garis Pantai Kab. Gresik 100 Tahun Mendatang

4.2.3 Prediksi Dampak Kenaikan Muka Air Laut

Prediksi kenaikan muka air laut mengikuti skenario penelitian Andrianto dan Suntoyo (2012) secara rinci disajikan dalam Tabel 12.

Tabel 12. Prediksi Kenaikan Muka Air Laut menggunakan Data Pasang Surut Sekunder (Andrianto dan Suntoyo, 2012)

Tahun	Sea Level Rise (cm)
1985	0,86
2000	12,9
2010	21,5
2020	30,1
2050	47,3
2100	98,9

Dampak yang ditimbulkan akibat genangan banjir disajikan pada Gambar 20. Kenaikan muka laut dapat mencapai daratan dengan adanya sungai. Seperti yang disajikan pada Gambar 20, wilayah genangan terletak pada area sekitar aliran sungai dimana merupakan jalur intrusi air laut.

Tabel 13. Prediksi luas genangan kenaikan muka air laut yang mencapai daratan

No.	Tahun	Ketinggian Air (m)	Luas Genangan (ha)
1.	2020	0,301	132,442
2.	2050	0,473	147,715
3.	2100	0,989	189,492
4.	-	Daerah tidak terdampak <5	319,484
5.	-	Daerah tidak terdampak >5	1362,738

Prediksi luas genangan sebagai akibat dari kenaikan muka air laut disajikan pada Tabel 13. Berdasarkan ketinggian topografi pada keempat wilayah penelitian yaitu Desa Banyuurip, Desa Ngemboh, Desa Campurejo, dan Desa Dalegan pada tahun 2050 mendatang ketinggian air mencapai 47,3 cm maka seluas 147,7148 ha daratan akan tergenang. Sedangkan pada tahun 2100 mendatang kenaikan muka air laut mencapai 98,9 cm maka akan berdampak terhadap tergenangnya seluas 189,492 ha daratan. Daerah tidak terdampak berada pada ketinggian <5 m seluas 319,484 ha dan >5 m seluas 1362,738 ha. Dapat dilihat pada peta penggunaan lahan wilayah pesisir Kabupaten Gresik

(Gambar 21), secara umum lahan yang tergenang paling banyak ialah daerah pemukiman, persawahan, dan tambak. Secara lebih jelas, dampak yang ditimbulkan akibat kenaikan muka air laut pada beberapa sektor disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Luas dampak kenaikan muka air laut pada beberapa sektor berdasarkan penggunaan lahan

No.	Ketinggian Air (m)	Penggunaan Lahan	Luas (ha)
1.	0,301	pemukiman	4,537
		tambak	72,012
		hutan mangrove	7,967
		vegetasi pohon	0,004
		vegetasi sawah dan ladang	45,545
2.	0,473	pemukiman	5,061
		tambak	81,666
		hutan mangrove	9,656
		vegetasi pohon	0,004
		vegetasi sawah dan ladang	48,714
3.	0,989	pemukiman	7,155
		tambak	105,721
		hutan mangrove	14,318
		vegetasi pohon	0,004
		vegetasi sawah dan ladang	59,198

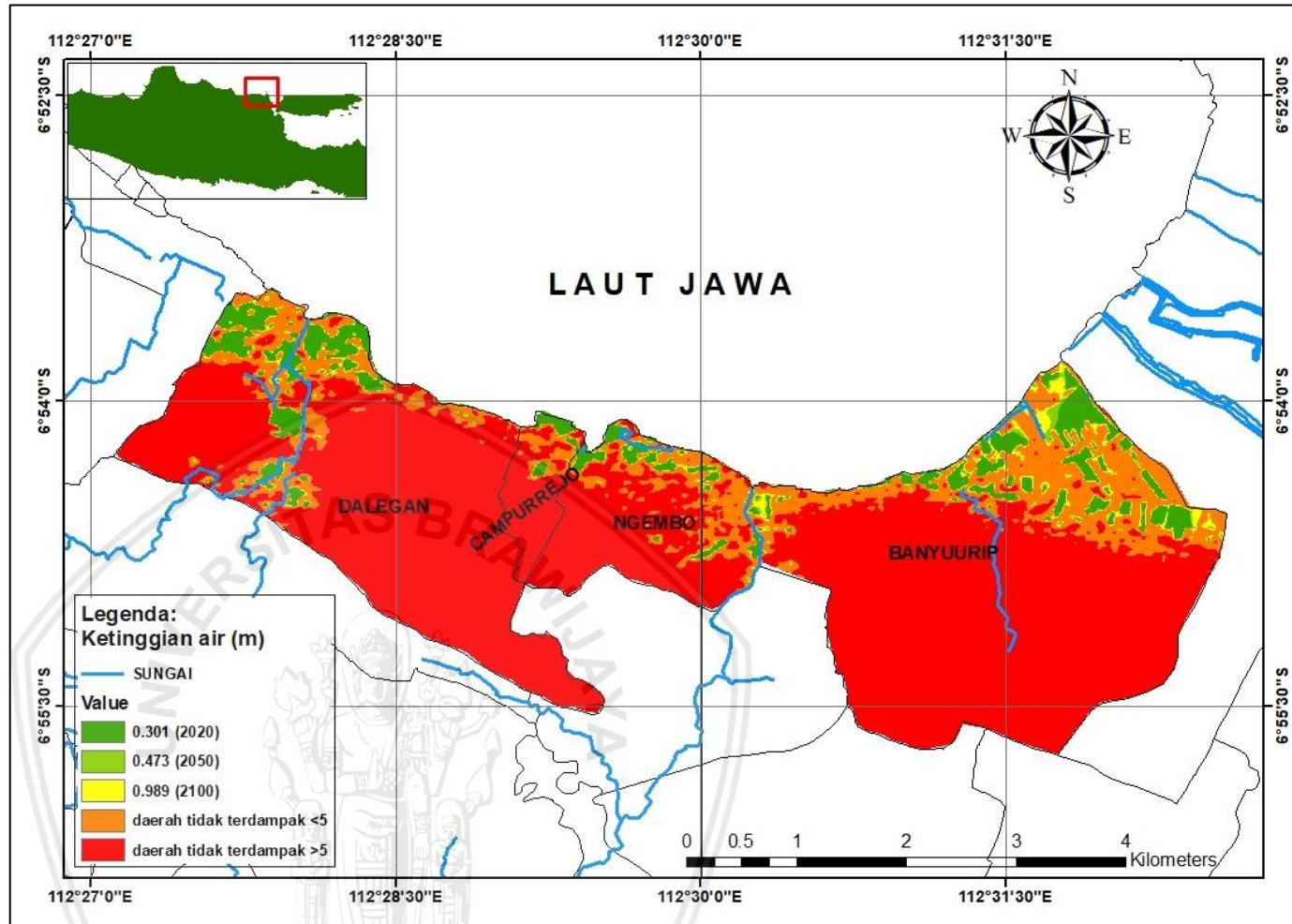
Menurut data dari Dinas Kelautan dan Perikanan, sekitar 140 juta ($\pm 60\%$) penduduk Indonesia mendiami wilayah pantai dalam radius 50 km. Hal ini akan berdampak pada beberapa sektor yaitu:

1. Pertanian, perkebunan, perhutanan: menurunkan produktivitas lingkungan.
2. Kerusakan pada struktur binaan pantai seperti drainase, sistem perangkutan, tenaga listrik dan intrusi air laut.
3. Ancaman banjir dan longsor di beberapa kawasan.

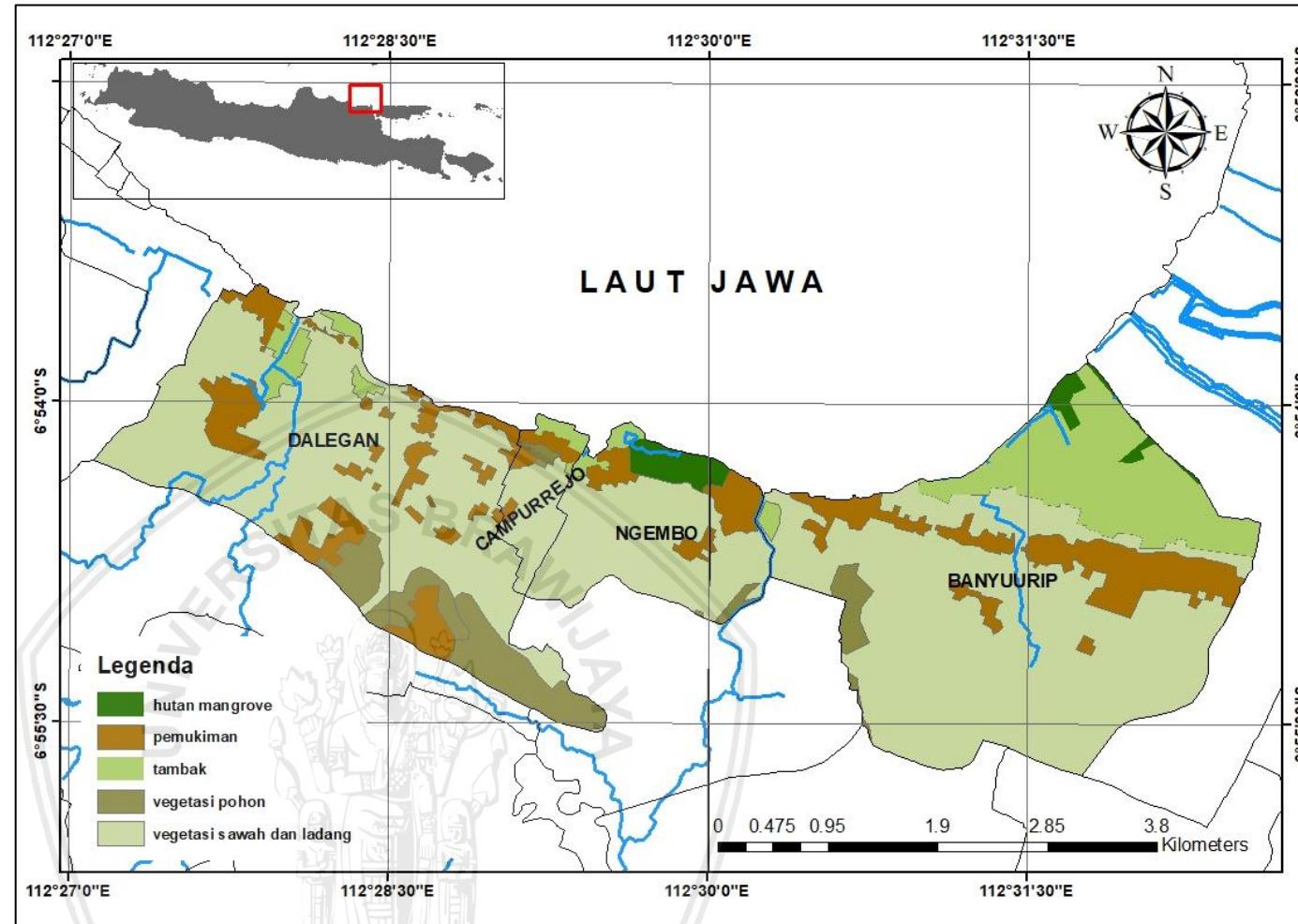
Beberapa daerah genangan akan membawa dan mengendapkan sampah sehingga memicu permasalahan kesehatan. Berbagai polutan yang

berkontak langsung dengan masyarakat akan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat.

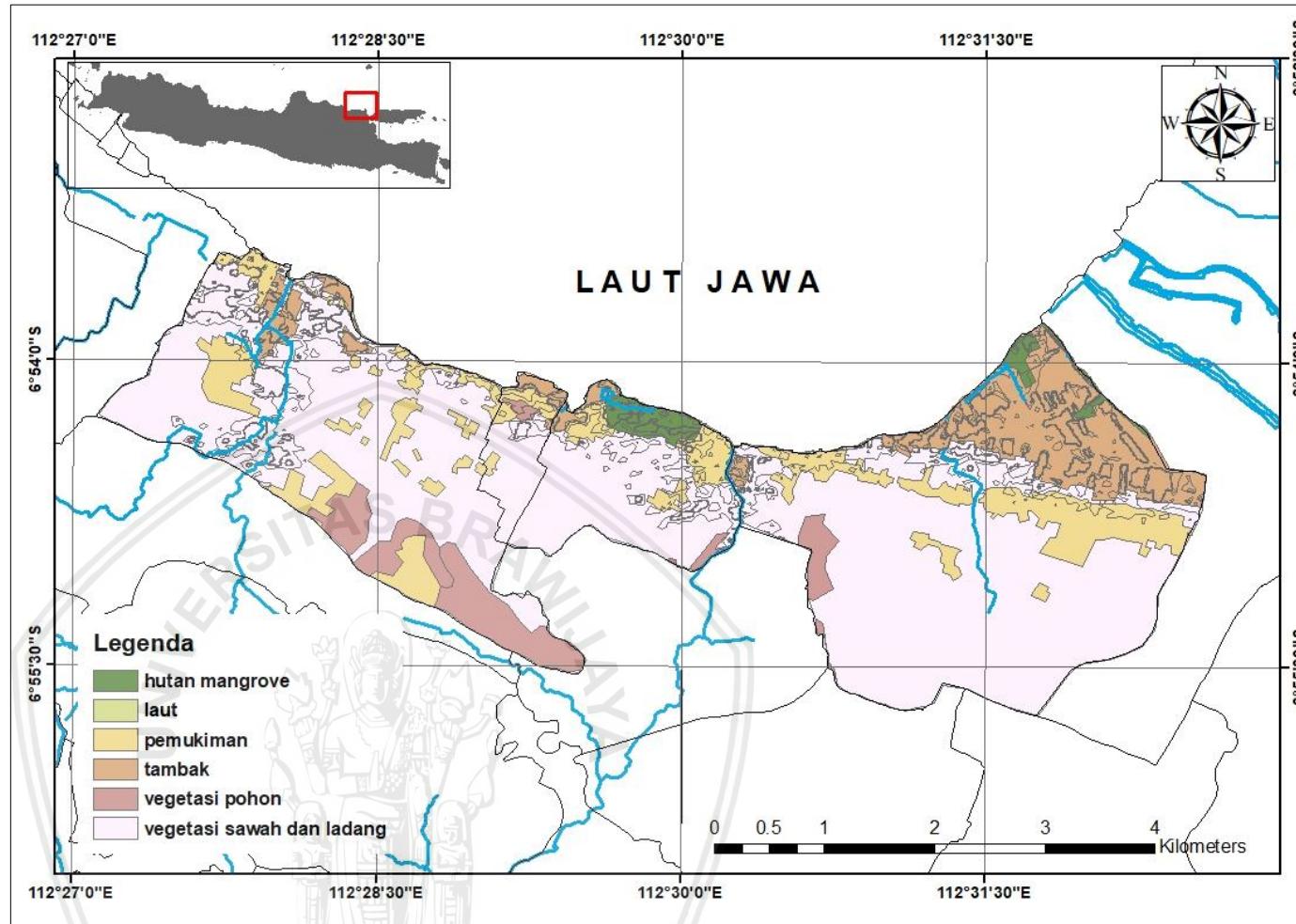




Gambar 20. Peta Prediksi Ketinggian Air



Gambar 21. Peta Penggunaan Lahan Kab. Gresik



Gambar 22. Peta intersect penggunaan lahan dan ketinggian air

4.2.4 Alternatif Penanggulangan Dampak Kenaikan Muka Air Laut

Perubahan iklim bumi secara langsung akan menimbulkan berbagai dampak terhadap lingkungan. Dalam hal ini dampak yang sangat signifikan ialah kerusakan wilayah pesisir yang diakibatkan oleh kenaikan muka air laut. Beberapa dampak geologi akibat kenaikan muka air laut di wilayah pesisir menurut Sampurno (2001) adalah sebagai berikut:

1. Berkurangnya luas daratan akibat abrasi pantai.
2. Tenggelamnya terumbu karang.
3. Intrusi air laut ke arah daratan.
4. Gejala longsoran sepanjang tebing pantai.

Dampak kenaikan permukaan air laut secara sosial ekonomi akan mengakibatkan terjadinya perubahan lingkungan yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap masyarakat yang bertempat tinggal di wilayah pesisir. Dalam kerangka konsep adaptasi, secara teoritis dapat dikemukakan bahwa masyarakat akan selalu merespon perubahan-perubahan lingkungan yang terjadi sebagai perwujudan adaptasinya terhadap lingkungan (Gunawan, 2001).

Dengan laju kemunduran garis pantai yang sangat besar yaitu sebesar 1,28 m/th, maka dapat mengakibatkan lahan pemukiman warga di dekat pantai menjadi tergenang. Beberapa antisipasi yang dapat dilakukan untuk meminimalisir kerusakan pantai adalah dengan melakukan batasan pengembangan wilayah pesisir khusunya lahan pemukiman dan industri harus berjarak sekurang-kurangnya 200 m dari garis pantai (Andriyanto dan Suntoyo, 2012), selain itu juga dapat dilakukan pencegahan dengan penanaman mangrove sebagai perangkap sedimen di daerah pantai, serta pembuatan zonasi lahan untuk pengembangan pemukiman dan industri (Wuriyatmo, 2011). Pembuatan bangunan pelindung pantai seperti sea wall, jetty, dan revetment,

dan *beach nourishment* pada wilayah pariwisata dapat dilakukan sesuai dengan pengembangan wilayah pesisir yang berlaku menurut Undang-undang Nomor 27 tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil.

Perencanaan zonasi wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yaitu Undang-undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Dalam undang-undang tersebut disebutkan bahwa pemerintah daerah wajib menyusun Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil (RZWP-3-K) sesuai dengan kewenangan masing-masing. Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil (RZWP-3-K) merupakan rencana yang menentukan arah penggunaan sumber daya tiap-tiap satuan perencanaan disertai dengan penetapan struktur dan pola ruang pada kawasan perencanaan yang memuat kegiatan yang boleh dan tidak boleh dilakukan serta kegiatan yang hanya dapat dilakukan setelah memperoleh izin. RZWP-3-K disusun melalui pendekatan keterpaduan yang mengintegrasikan berbagai perencanaan yang telah dan akan disusun oleh masing-masing sektor dan daerah sehingga terjadi keharmonisan dalam pemakaian sumberdaya pesisir dan pulau-pulau kecil.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai dampak kenaikan muka air laut terhadap perubahan garis pantai di wilayah Pesisir Gresik adalah sebagai berikut:

1. Nilai kenaikan muka air laut pada wilayah Pesisir Gresik ialah sebesar 8,6 mm/th. Prediksi kenaikan muka air laut pada tahun 2050 dan 2100 adalah sebesar 47,3 cm dan 98,9 cm terhitung mulai 1985.
2. Laju erosi pada keempat wilayah penelitian masing-masing sebesar $1,14 \pm 0,15$ m/th di Desa Banyuurip, $1,50 \pm 0,17$ m/th di Desa Ngemboh, $1,51 \pm 0,43$ m/th di Desa Campurejo, dan $0,99 \pm 0,32$ m/th di Desa Dalegan. Rata-rata laju erosi pada keempat wilayah tersebut adalah sebesar $1,28 \pm 0,26$ m/th.
3. Prediksi luasan dampak genangan sebagai akibat dari kenaikan muka air laut secara keseluruhan mencapai 189,492 ha pada tahun 2100. Secara umum lahan yang tergenang paling banyak ialah daerah pemukiman, persawahan, dan tambak.

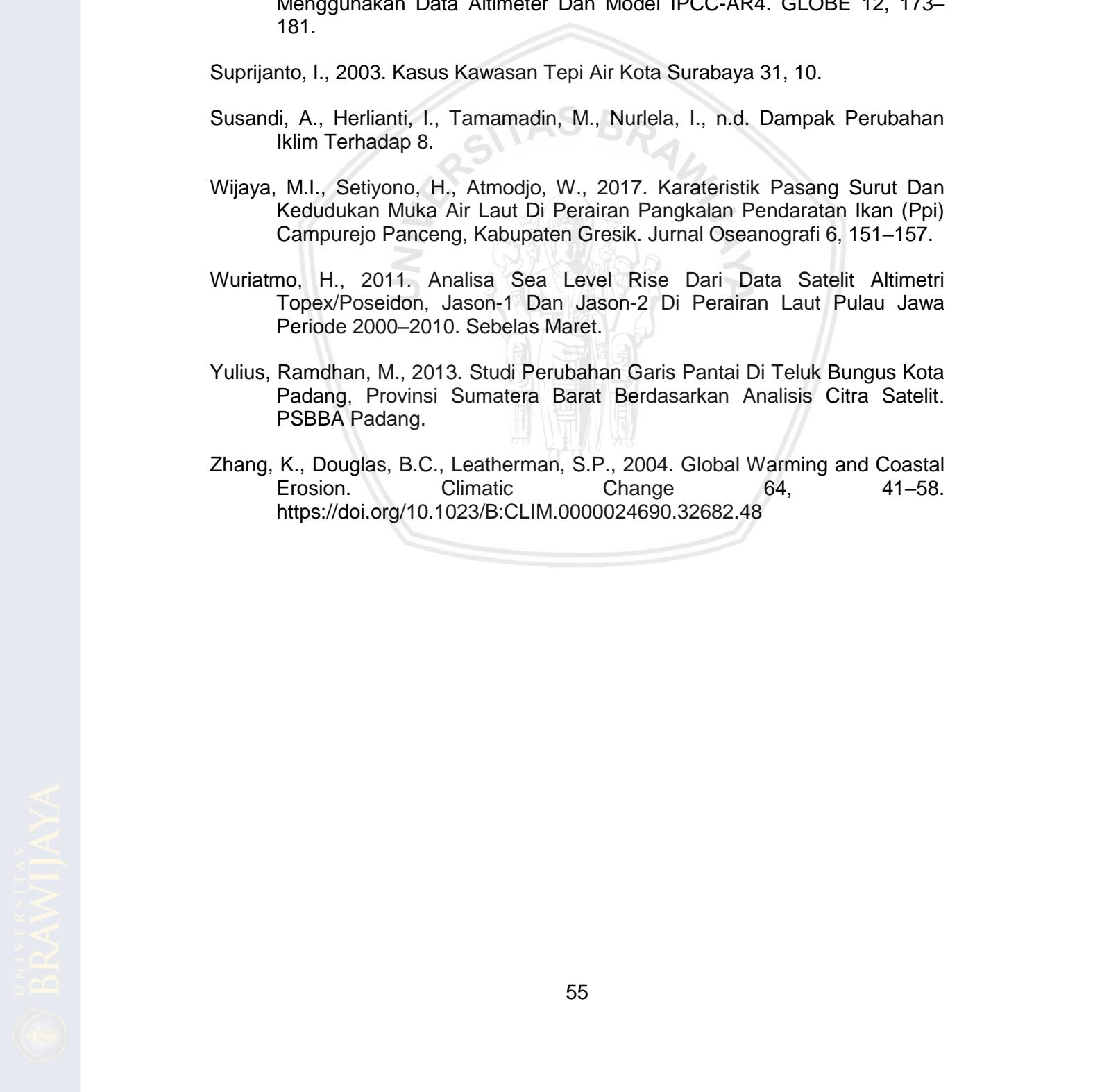
5.2 Saran

Untuk menyempurnakan penelitian lanjutan dengan topik yang sama mengenai perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh kenaikan muka air laut, penulis menyarankan kepada pembaca agar penggunaan metode *Bruun Rule* sebaiknya dimodifikasi dengan lebih mempertimbangkan beberapa variabel kontrol agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Dapat dilakukan eksplorasi dalam beberapa pantai dengan tipe yang berbeda untuk menimbang kesesuaian antara model dengan keadaan di lapangan yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, P., Suntoyo, 2012. Analisa Perubahan Garis Pantai di Kawasan Pesisir Pantai Gresik Akibat Kenaikan Muka Air Laut 1, 4.
- Anggraini, N., Marpaung, S., Hartuti, M., 2018. Analisis Perubahan Garis Pantai Ujung Pangkah Dengan Menggunakan Metode Edge Detection Dan Normalized Difference Water Index (Ujung Pangkah Shoreline Change Analysis Using Edge Detection Method And Normalized Difference Water Index). Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital 14. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.1017.v14.a2545>
- Bahar, W.S., 2016. Pengembangan Kawasan Wisata Alam Berbasis Partisipasi Masyarakat Di Kecamatan Panceng Kabupaten Gresik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- BAPPEDA, Provinsi Jawa Timur, 2016. RPJMD Kabupaten Gresik Tahun 2016-2021 (RPJMD). BAPPEDA JATIM PROV., Gresik.
- Barcelona, A.E., Sugianto, D.N., Rifai, A., 2015. Kajian Refraksi Gelombang Di Perairan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Jurnal Oseanografi 4, 434–441.
- Bruun, P., 1988. The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large-Scale Two- and Three-Dimensional Usages. Journal of Coastal Research 4, 22.
- Bruun, P., 1983. Review of conditions for uses of the Bruun rule of erosion. Coastal Engineering 7, 77–89. [https://doi.org/10.1016/0378-3839\(83\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0378-3839(83)90028-5)
- Cooper, J.A.G., Pilkey, O.H., 2004. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. Global and Planetary Change 43, 157–171. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.07.001>
- Damar, A., Rustandi, Y., Afandy, A., Rakasiwi, G., Hamdani, A., Rikardi, N., 2017. Studi Indeks Kepekaan Lingkungan Di Wilayah Pantai Utara Dan Timur Kab. Gresik, Dan Pantai Barat Dan Utara Kabupaten Bangkalan 48.
- Dasanto, B.D., 2010. Penilaian Dampak Kenaikan Muka Air Laut Pada Wilayah Pantai: Studi Kasus Kabupaten Indramayu 5, 11.
- Dean, R.G., Houston, J.R., 2016. Determining shoreline response to sea level rise. Coastal Engineering 114, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.009>
- Dinas Kelautan Perikanan dan Peternakan, 2000. Profil Sumberdaya Wilayah Pesisir Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Tidak Diterbitkan, Gresik.

- Gunawan, B., 2001. Kenaikan Muka Laut dan Adaptasi Masyarakat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Indonesia dan Building Research Institute Jepang.
- Hidayah, R.T.N., Putra, R.D., Jaya, Y.V., Suhana, M.P., 2018. Pola Perubahan Garis Pantai di Pulau Dompak Periode 2005-2015 7, 5.
- Ismunarti, D.H., Satriadi, A., Rifai, A., 2014. Pemodelan Arima Untuk Prakiraan Kenaikan Muka Air Laut Dan Dampaknya Terhadap Luas Sebaran Rob Tahun 2020 Di Semarang 2, 9.
- Leatherman, S.P., Zhang, K., Douglas, B.C., 2000. Sea level rise shown to drive coastal erosion. Eos, Transactions American Geophysical Union 81, 55. <https://doi.org/10.1029/00EO00034>
- Limantara, Y., Sudarsono, I.B., Sasmito, B., 2013. Analisis Sea Level Rise Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode 2008-1012 (Studi Kasus: Laut Utara Jawa dan Laut Selatan Jawa) 2, 12.
- Liyani, Sembodho, K., Suntoyo, 2012. Analisa Perubahan Garis Pantai Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Kawasan Pesisir Kabupaten Tuban. TEKNIK POMITS 1, 5.
- Marfai, M.A., Mardiatno, D., Nucifera, F., Cahyadi, A., 2013. Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Rob Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim Dan Dampaknya Di Pesisir Pekalongan. Jurnal Bumi Lestari 13, 244–256. <https://doi.org/10.31227/osf.io/wzter>
- Nicholls, R.J., Birkemeier, W.A., Hallermeier, R.J., 1997. Application of the Depth of Closure Concept, in: Coastal Engineering 1996. Presented at the 25th International Conference on Coastal Engineering, American Society of Civil Engineers, Orlando, Florida, United States, pp. 3874–3887. <https://doi.org/10.1061/9780784402429.299>
- Passer, D.L., Hagent, S.C., Irish, J.L., 2014. Comparison of Shoreline Change Rates along the South Atlantic Bight and Northern Gulf of Mexico Coasts for Better Evaluation of Future Shoreline Positions under Sea Level Rise. Journal of Coastal Research 68, 20–26. <https://doi.org/10.2112/SI68-003.1>
- Pilkey, O.H., Young, R.S., Riggs, S.R., Smith, A.W.S., Wu, H., Pilkey, W.D., 1993. The Concept of Shoreface Profile of Equilibrium: A Critical Review. Journal of Coastal Research 9, 255–278.
- Puspita, C., 2015. Model Hubungan Karakteristik Vegetasi Mangrove Terhadap Atenuasi Gelombang (Studi Kasus Di Wilayah Pantai Ujung Pangkah). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ranasinghe, R., Watson, P., Lord, D., Hanslow, D., Cowell, P., 2007. Sea Level Rise, Coastal Recession and the Bruun Rule 7.



- Richard, Sunarto, 2015. PERUBAHAN GARIS PANTAI DAN KERUSAKAN PANTAI DI KAWASAN KEPESISIRAN KABUPATEN TUBAN BAGIAN BARAT. *Jurnal Bumi Indonesia* 4, 1–10.
- Sageta, Y.F., Widada, S., Setiyono, H., 2012. Analisa Data Pasang Dan Satelit Altimetri Sebagai Kajian Fluktuasi Muka Air Laut Di Pesisir Kota Surabaya Periode 2000-2009 1, 9.
- Schwartz, M.L., 1967. The Bruun Theory of Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *The Journal of Geology* 75, 76–92.
<https://doi.org/10.1086/627232>
- Sofian, I., Nahib, I., 2010. Proyeksi Kenaikan Tinggi Muka Laut Dengan Menggunakan Data Altimeter Dan Model IPCC-AR4. *GLOBE* 12, 173–181.
- Suprijanto, I., 2003. Kasus Kawasan Tepi Air Kota Surabaya 31, 10.
- Susandi, A., Herlanti, I., Tamamadin, M., Nurlela, I., n.d. Dampak Perubahan Iklim Terhadap 8.
- Wijaya, M.I., Setiyono, H., Atmodjo, W., 2017. Karakteristik Pasang Surut Dan Kedudukan Muka Air Laut Di Perairan Pangkalan Pendaratan Ikan (Ppi) Campurejo Panceng, Kabupaten Gresik. *Jurnal Oseanografi* 6, 151–157.
- Wuriatmo, H., 2011. Analisa Sea Level Rise Dari Data Satelit Altimetri Topex/Poseidon, Jason-1 Dan Jason-2 Di Perairan Laut Pulau Jawa Periode 2000–2010. Sebelas Maret.
- Yulius, Ramdhan, M., 2013. Studi Perubahan Garis Pantai Di Teluk Bungus Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat Berdasarkan Analisis Citra Satelit. PSBBA Padang.
- Zhang, K., Douglas, B.C., Leatherman, S.P., 2004. Global Warming and Coastal Erosion. *Climatic Change* 64, 41–58.
<https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024690.32682.48>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Bentang Alam Lokasi Penelitian



(a)



(b)



(c)



(d)

Ket: (a) bentang alam Banyuurip, (b) bentang alam Ngemboh, (c) bentang alam Campurejo, (d) bentang alam Dalegan



Lampiran 2. Tinggi gelombang dan periode signifikan perairan utara Jawa

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,54	5,48
Februari	1,77	5,73
Maret	0,46	3,99
April	0,68	4,17
Mei	0,64	4,02
Juni	0,99	4,65
Juli	1,04	4,73
Agustus	1,07	4,72
September	0,96	4,48
Oktober	0,91	4,45
November	0,90	4,46
Desember	0,53	4,31
\bar{x}	1,07	4,72

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2009

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,74	5,71
Februari	0,63	4,18
Maret	0,45	3,95
April	0,46	3,60
Mei	0,82	4,35
Juni	0,98	4,84
Juli	1,00	4,89
Agustus	0,92	4,56
September	0,74	4,23
Oktober	0,71	4,41
November	0,48	3,94
Desember	1,28	5,14
\bar{x}	0,95	4,64

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2010

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,80	5,89
Februari	1,52	5,45
Maret	1,01	4,78
April	0,60	4,08
Mei	0,81	4,33
Juni	1,06	4,69
Juli	1,07	4,76
Agustus	1,15	4,99
September	1,15	4,90
Oktober	0,80	4,12
November	0,49	3,76

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Desember	1,01	5,00
\bar{x}	1,15	4,90

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2011

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,84	5,96
Februari	0,66	4,15
Maret	1,53	5,45
April	0,72	3,95
Mei	0,95	4,48
Juni	1,15	4,80
Juli	1,07	4,71
Agustus	1,11	4,79
September	0,95	4,45
Oktober	0,86	4,23
November	0,52	3,84
Desember	0,54	3,80
\bar{x}	1,12	4,79

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2012

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,84	5,80
Februari	1,52	5,47
Maret	0,82	4,30
April	0,78	4,15
Mei	0,75	4,20
Juni	0,63	4,19
Juli	1,19	4,92
Agustus	1,34	5,13
September	1,13	4,82
Oktober	0,77	4,09
November	0,77	4,17
Desember	1,39	5,40
\bar{x}	1,19	4,90

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2013

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	2,03	6,13
Februari	1,19	4,89
Maret	0,70	4,20
April	0,53	3,85
Mei	0,92	4,38
Juni	1,11	4,73
Juli	1,25	5,03

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Agustus	1,40	5,27
September	1,27	4,94
Oktober	1,06	4,57
November	0,60	3,81
Desember	0,90	4,51
\bar{x}	1,23	4,94

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2014

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,40	5,29
Februari	1,07	4,84
Maret	1,11	4,75
April	0,64	4,10
Mei	1,05	4,67
Juni	1,18	4,90
Juli	1,40	5,26
Agustus	1,34	5,17
September	1,29	5,00
Oktober	1,27	5,00
November	0,60	3,67
Desember	1,29	5,17
\bar{x}	1,24	4,99

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2015

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	0,66	4,17
Februari	1,10	4,87
Maret	0,64	4,19
April	0,69	3,92
Mei	0,84	4,29
Juni	0,84	4,38
Juli	1,05	4,74
Agustus	1,01	4,62
September	0,83	4,32
Oktober	0,65	3,93
November	0,45	3,75
Desember	1,33	5,20
\bar{x}	0,91	4,50

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2016

Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,31	5,09
Februari	1,96	6,03
Maret	0,71	4,14

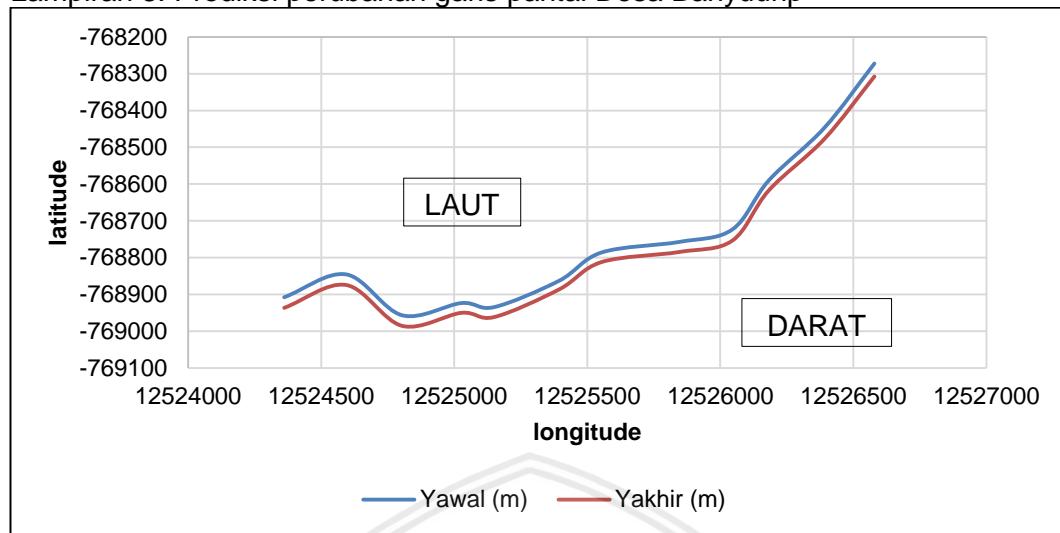
Bulan	Hs (m)	Ts (s)
April	0,53	3,80
Mei	0,89	4,37
Juni	0,92	4,39
Juli	1,10	4,70
Agustus	1,23	4,98
September	1,10	4,71
Oktober	0,62	3,79
November	0,68	4,47
Desember	1,26	5,13
\bar{x}	1,12	4,80

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2017

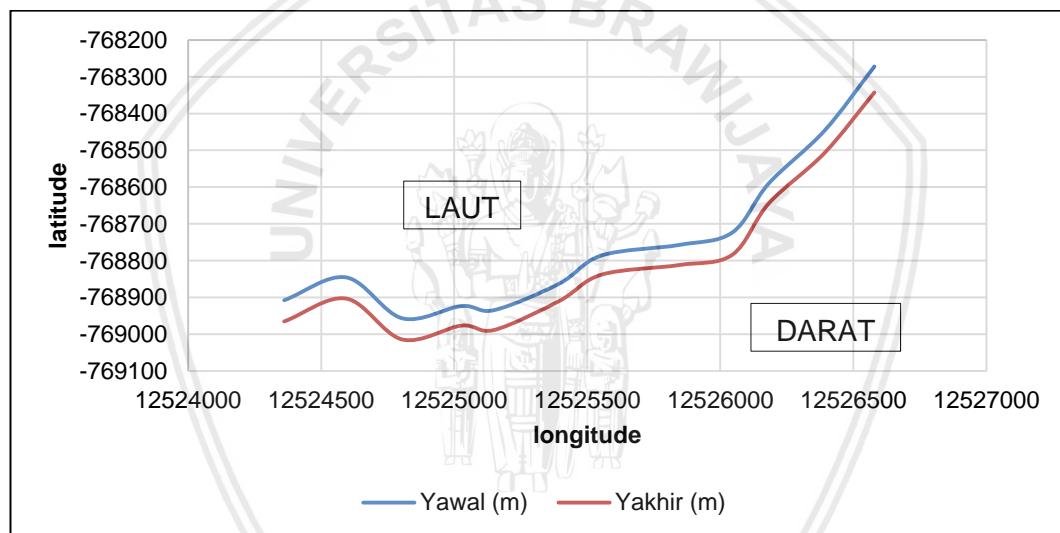
Bulan	Hs (m)	Ts (s)
Januari	1,27	5,40
Februari	1,08	5,01
Maret	0,57	4,40
April	0,52	3,60
Mei	0,82	4,28
Juni	0,85	4,35
Juli	0,79	4,21
Agustus	0,72	4,04
September	0,82	4,12
Oktober	0,75	4,08
November	0,42	3,79
Desember	0,66	4,56
\bar{x}	0,86	4,45

Ket: (Hs) tinggi gelombang signifikan dan (Ts) periode signifikan tahun 2018

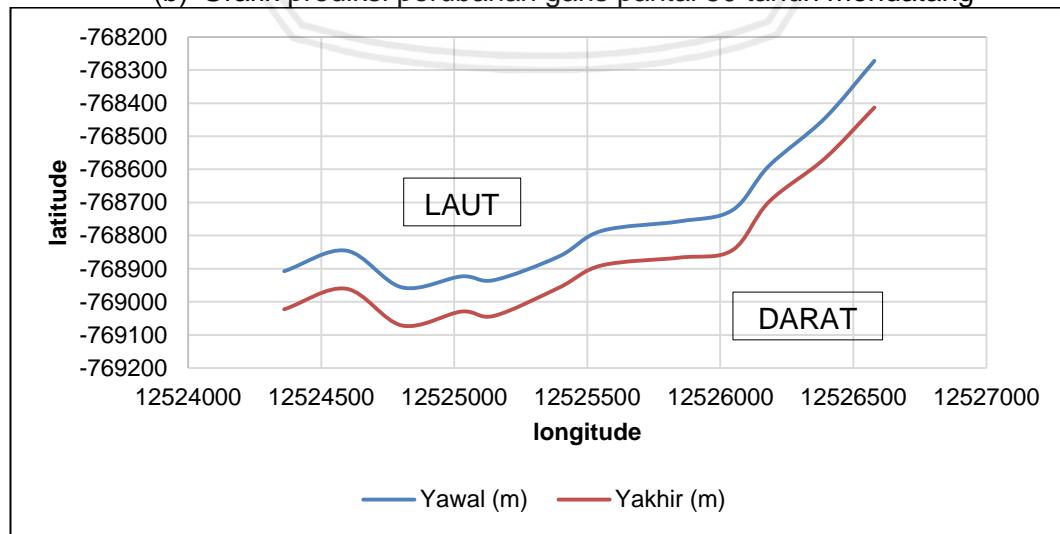
Lampiran 3. Prediksi perubahan garis pantai Desa Banyuurip



(a) Grafik presksi perubahan garis pantai 25 tahun mendatang

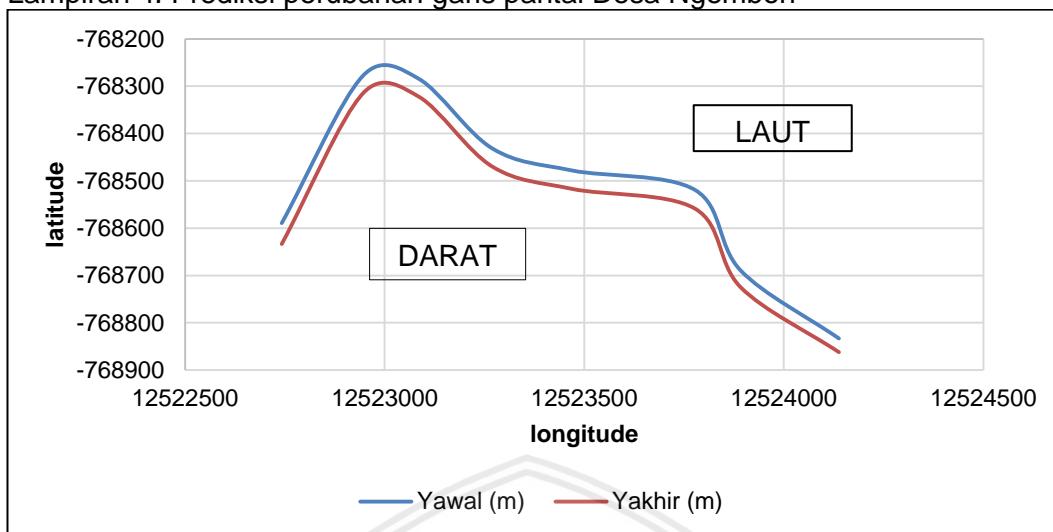


(b) Grafik prediksi perubahan garis pantai 50 tahun mendatang

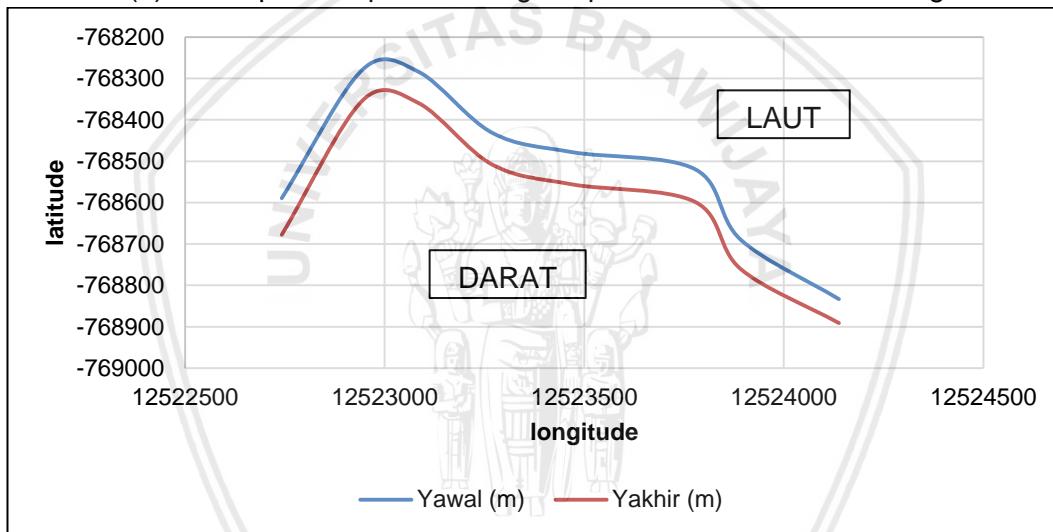


(c) Grafik perubahan garis pantai 100 tahun mendatang

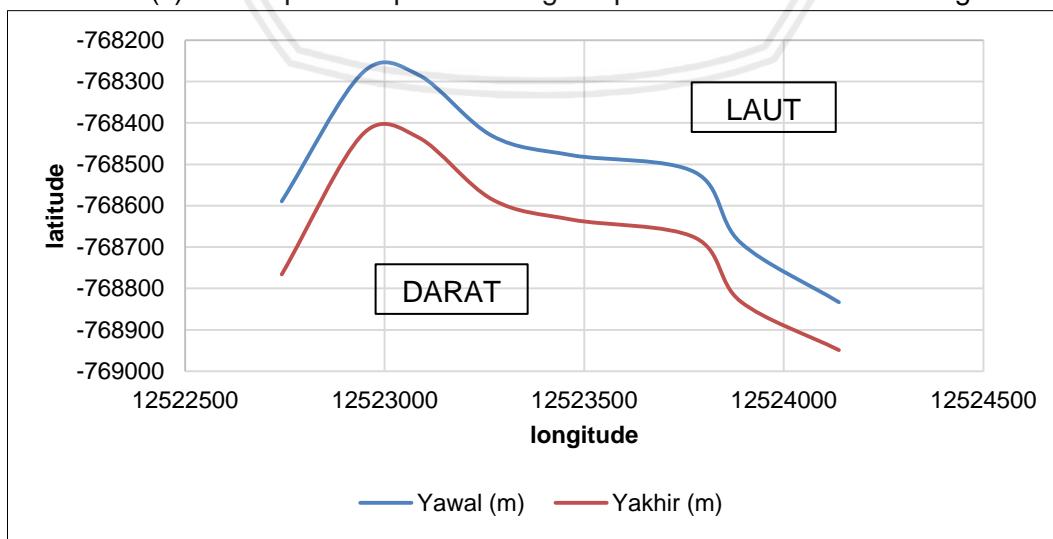
Lampiran 4. Prediksi perubahan garis pantai Desa Ngemboh



(a) Grafik prediksi perubahan garis pantai 25 tahun mendatang

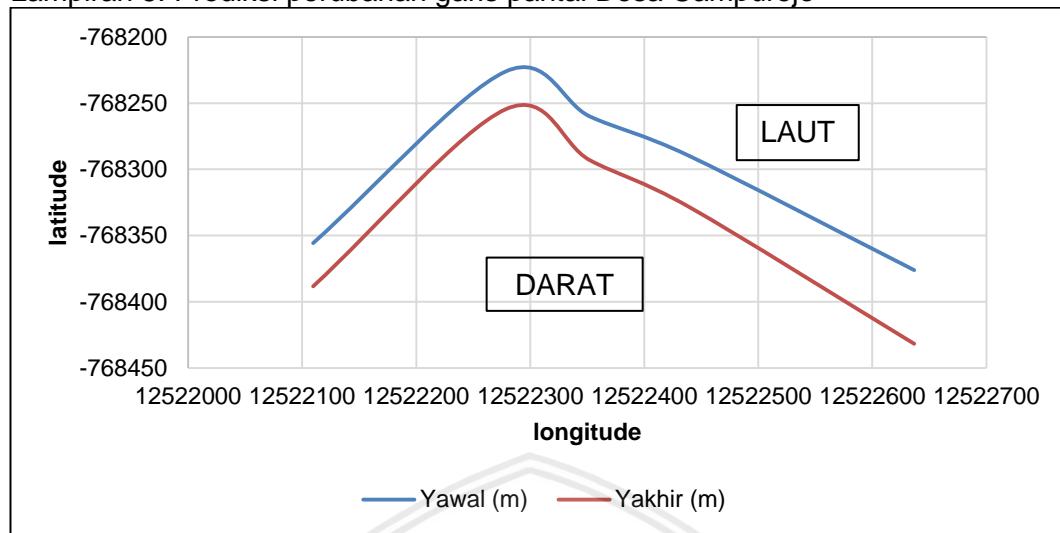


(c) Grafik prediksi perubahan garis pantai 50 tahun mendatang

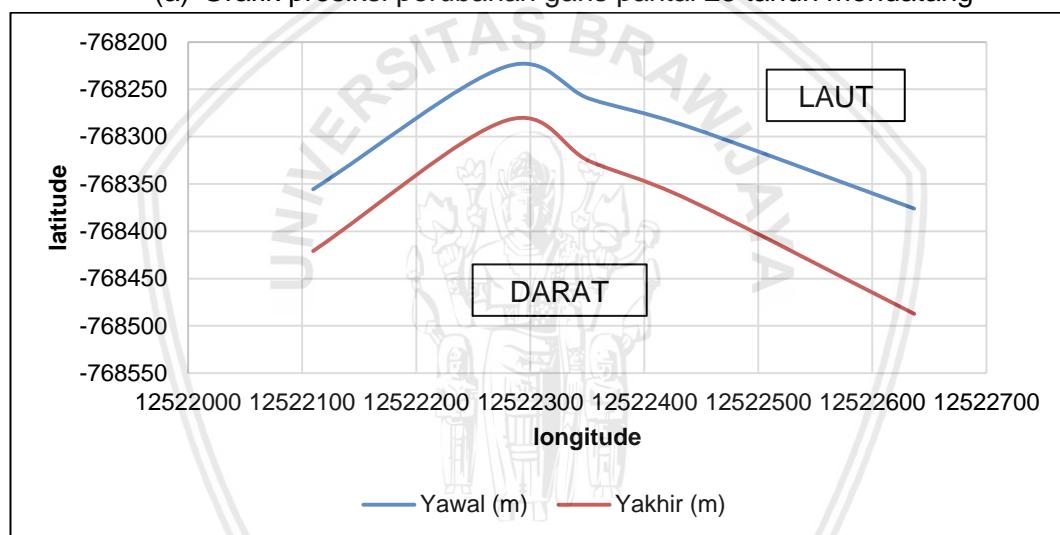


(c) Grafik perubahan garis pantai 100 tahun mendatang.

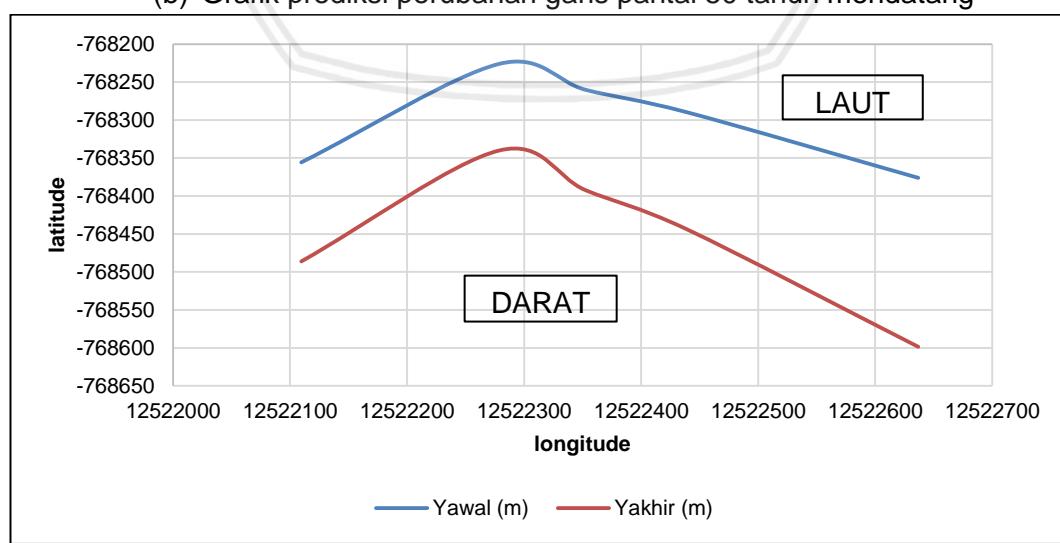
Lampiran 5. Prediksi perubahan garis pantai Desa Campurejo



(a) Grafik presksi perubahan garis pantai 25 tahun mendatang

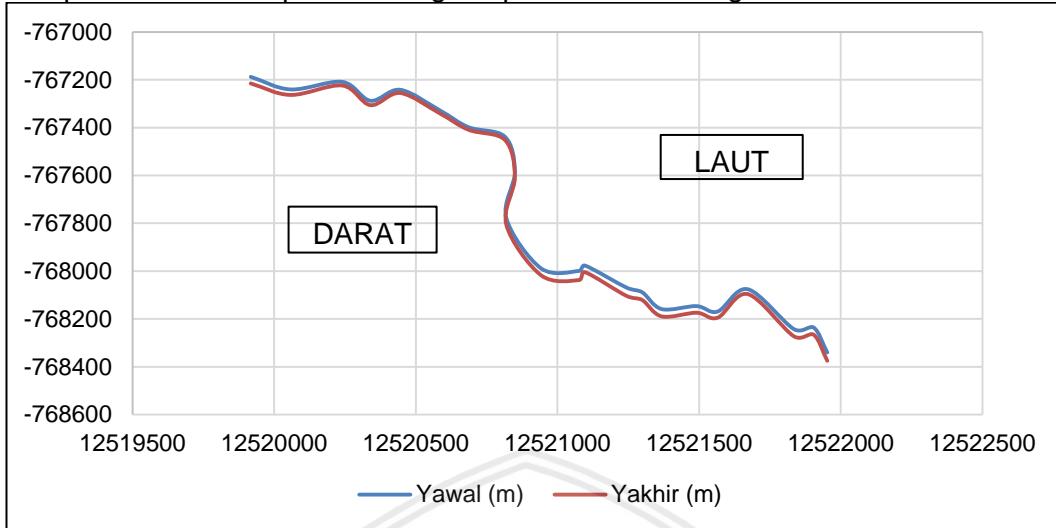


(b) Grafik prediksi perubahan garis pantai 50 tahun mendatang

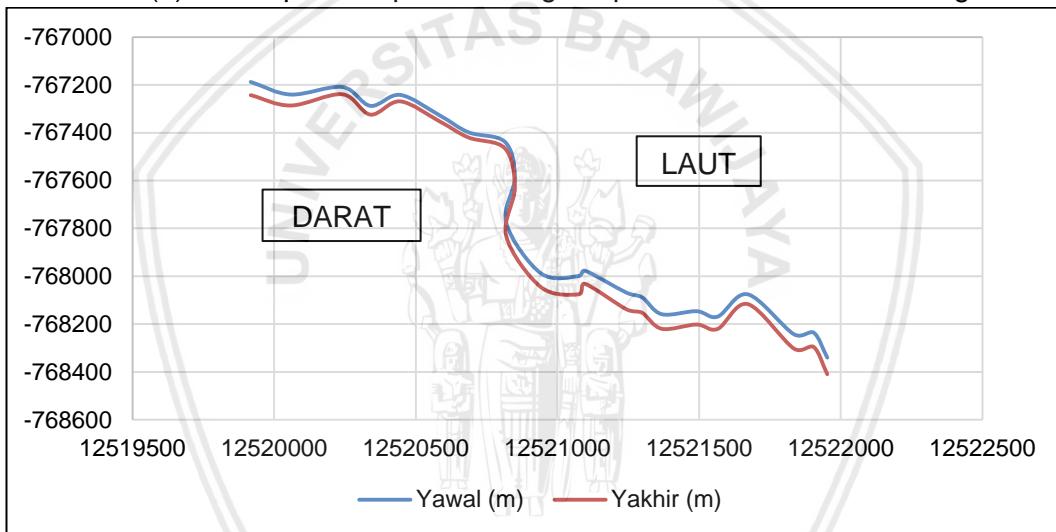


(c) Grafik prediksi perubahan garis pantai 100 tahun mendatang

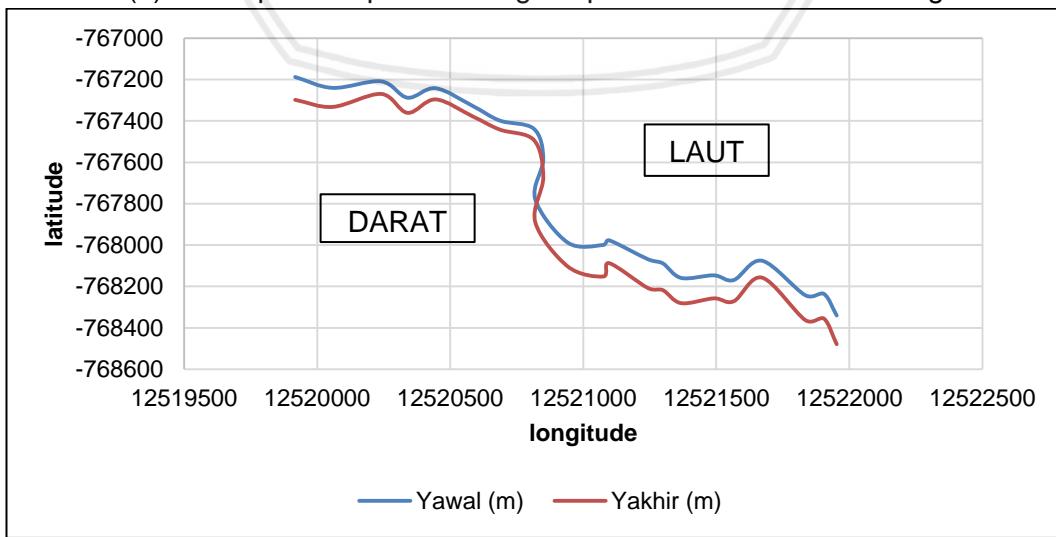
Lampiran 6. Prediksi perubahan garis pantai Desa Dalegan



(a) Grafik prediksi perubahan garis pantai 25 tahun mendatang



(b) Grafik prediksi perubahan garis pantai 50 tahun mendatang



(c) Grafik prediksi perubahan garis pantai 100 tahun mendatang