

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT
LANDSAT DENGAN METODE *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM*
(DSAS) DI PERAIRAN PULAU TONDUK, KABUPATEN SUMENEP**

SKRIPSI

Oleh:

**PERDANA NEOARDO PANDIANGAN
NIM. 155080600111027**



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

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT
LANDSAT DENGAN METODE *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM*
(DSAS) DI PERAIRAN PULAU TONDUK, KABUPATEN SUMENEP**

SKRIPSI

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

Oleh:

**PERDANA NEOARDO PANDIANGAN
NIM. 155080600111027**



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

SKRIPSI

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT
LANDSAT DENGAN METODE *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM*
(DSAS) DI PERAIRAN PULAU TONDUK, KABUPATEN SUMENEP

Oleh:

PERDANA NEOARDO PANDIANGAN
NIM. 155080600111027

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 26 September 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing I

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II



Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D
NIP. 19621220 198803 1 004

Rarasrum Dyah K., S.Kel., M.Sc., M.Si.
NIP. 2013048609152001

Tanggal : 18 OCT 2019

Tanggal : 18 OCT 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan



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

Tanggal : 18 OCT 2019



IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : **Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Landsat Dengan Metode Digital *Shoreline Analysis System* (DSAS) Di Perairan Pulau Tondok, Kabupaten Sumenep**

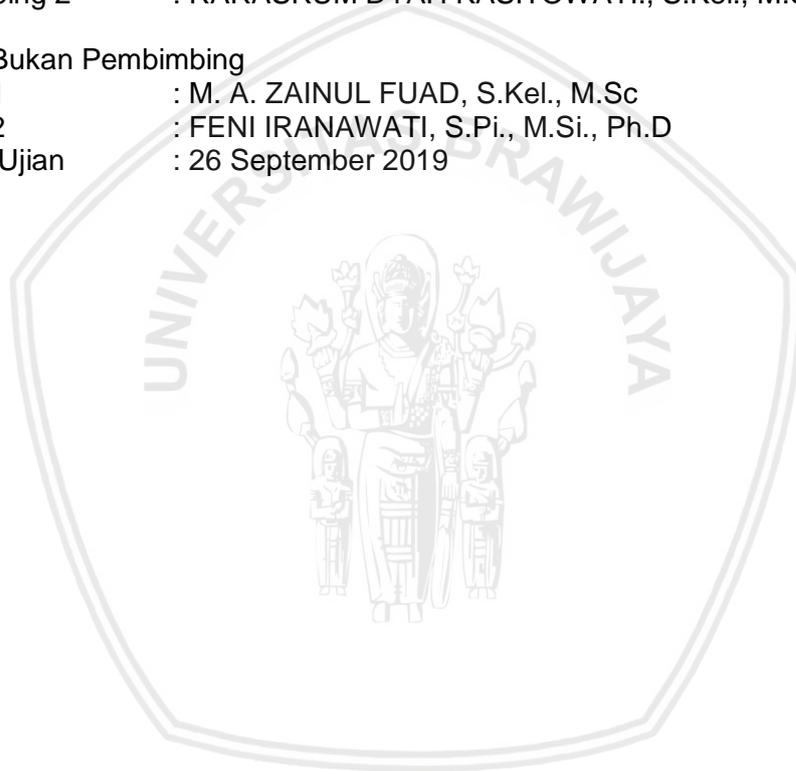
Nama Mahasiswa : PERDANA NEOARDO PANDIANGAN
NIM : 155080600111027
Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : IR. BAMBANG SEMEDI, M.Sc., Ph.D.
Pembimbing 2 : RARASRUM DYAH KASITOWATI., S.Kel., M.Sc., M.Si.

Penguji Bukan Pembimbing

Penguji 1 : M. A. ZAINUL FUAD, S.Kel., M.Sc
Penguji 2 : FENI IRANAWATI, S.Pi., M.Si., Ph.D
Tanggal Ujian : 26 September 2019



UCAPAN TERIMAKASIH

Atas selesainya penulisan skripsi, Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan YME yang telah memberikan kesehatan dan berkat-Nya kepada penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Kedua orang tua penulis, Nesar Pandiangan selaku Bapak dan Ibu Tetty Sijabat selaku Mama tersayang yang memberi kepercayaan, semangat, dan doa kepada penulis. Serta kepada adik ku tercinta Felicia Sagita Pandiangan dan Michael Perdinatal Pandiangan memberikan doa, tempat beristirahat dan melepas penat.
3. Bapak Ir. Bambang Semedi M.Sc., Ph.D. dan Ibu Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Sc., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan saran, motivasi serta bimbingan sehingga skripsi ini berjalan dengan baik.
4. Ibu Hj. Sri Hajati Ahyari selaku Kepala Desa Pulau Tonduk yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan sarana prasarana selama melakukan penelitian.
5. Jessica Elona Beno Tikulla selaku partner penulis atas setiap kebaikan, waktu, dan selalu memberikan dukungan serta semangat dalam menemani penulis menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi.
6. Agustina Panjaitan, Pitaloka Pandiangan, dan Kurnianto Saragih selaku sepupu dan sahabat terbaik yang selalu memberikan doa, dukungan, nasihat, dan canda tawa kepada penulis.
7. Supriadi Sihotang, Yuli Andriyanto, Martina Ketaraen, Axioma Muhammad Iqbal, Rofiandanoza Pratama dan Ariq Rahman Paizar yang telah membantu dalam penelitian ini.

8. Octorio, Wisnu Arditya Maulana, dan Ega Hendra Nugroho selaku sahabat *Greenland* yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatiannya.
9. Teman – teman Ilmu Kelautan Angkatan 2015 yang memberikan motivasi dan kerja sama dalam mengerjakan laporan skripsi.



RINGKASAN

PERDANA NEOARDO PANDIANGAN. Skripsi tentang Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM* (DSAS) di Perairan Pulau Tonduk, KABUPATEN SUMENEP (dibawah bimbingan: **Ir. Bambang Semedi M.Sc., Ph.D** dan **Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Sc., M.Si**).

Garis pantai merupakan garis daratan dan air bertemu dengan posisinya yang berubah-ubah. Pantai mendapatkan interaksi langsung dengan gelombang dan arus laut yang mempengaruhi kondisi fisik pantai yaitu perubahan garis pantai. Lingkungan pantai dapat mengalami perubahan dalam rentang waktu yang berbeda baik secara lambat hingga cepat. Perubahan garis pantai diakibatkan oleh faktor hidrooseanografi, dan aktivitas antropogenik menyebabkan perubahan garis pantai berubah semakin maju (akresi) dan mengalami kemunduran (abrasi). Pemantauan perubahan garis pantai untuk mengetahui proses dinamika pantai dan kondisi lingkungan yang mempengaruhinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi hidrooseanografi, perubahan garis pantai yang terjadi, dan prediksi perubahan garis pantai yang akan mendatang.

Penelitian ini dilaksanakan di perairan Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep Jawa Timur. Penelitian dilakukan pada bulan Februari hingga Juni 2019. Pemantauan perubahan garis pantai dilakukan menggunakan aplikasi yaitu *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan metode perhitungan *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). Pengamatan perubahan garis pantai dilakukan dengan rentang waktu 40 tahun menggunakan data tahun 1978, 1989, 1997, 2008, dan 2018. Pengambilan data primer dilakukan pada tanggal Mei 2019 yaitu pengambilan sampel sedimen, pengukuran gelombang dan kemiringan pantai.

Perubahan garis pantai di perairan Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep Jawa Timur pada tahun 1978-2018 cenderung mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan NSM dan EPR, wilayah Pulau Tonduk dibagi menjadi empat area yang cenderung mengalami abrasi dan akresi. Akresi pada area D (garis pantai bagian selatan) yaitu pesisir Pulau Tonduk bagian selatan dengan jarak rata-rata 562.65 meter dan laju akresi rata-rata sebesar 14.03 meter/tahun. Abrasi pada area A (garis pantai bagian utara) yaitu pesisir Pulau Tonduk bagian utara dengan jarak rata-rata -1042.24 meter dan laju abrasi rata-rata sebesar -26.44 meter/tahun. Kecepatan arus yang terjadi sekitar 0.3514–0.3826 m/s dengan sedimen yang mendominasi adalah tipe pasir kasar. Berdasarkan hasil prediksi perubahan garis pantai untuk 5, 10, dan 25 tahun mendatang akan terjadi akresi terbesar di area D (garis pantai bagian selatan) yaitu pesisir Pulau Tonduk bagian sebesar 0.007 meter/tahun. Perubahan yang terjadi diakibatkan oleh kondisi hidrooseanografi dan aktivitas antropogenik yaitu penambangan pasir.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas segalanya berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Landsat Dengan Metode *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* Di Perairan Pulau Tondok, Kabupaten Sumenep**” sebagai salah satu syarat meraih gelar sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya dibawah bimbingan:

1. Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D
2. Rarasrum Dyah K., S.Kel., M.Sc., M.Si.

Skripsi ini diharapkan dapat menjadi pegangan dalam penelitian sekaligus menambah wawasan dan informasi mengenai perubahan garis pantai menggunakan citra satelit *Landsat* dengan metode DSAS. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis dalam penulisan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna pembuatan tulisan-tulisan yang akan datang.

Malang, Februari 2019
Penulis,

Perdana Neardo Pandiangan
NIM. 155080600111027

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perubahan Garis Pantai.....	5
2.2 Akresi dan Abrasi	6
2.3 Sedimen	7
2.4 Faktor Pengaruh Perubahan Garis Pantai	8
2.4.1 Arus	8
2.4.2 Gelombang.....	9
2.4.3 Pasang Surut.....	9
2.5 Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai.....	10
2.6 Kriteria Kerusakan Garis Pantai	12
2.7 Data Citra Satelit	12
2.7.1 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	13
2.7.2 DSAS (Digital Shoreline Analysis System).....	15
BAB III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat dan Bahan Lapangan	21
3.2.2 Alat dan Bahan Laboratorium	22
3.2.1 Alat dan Bahan Pengolahan Data	23
3.3 Pengambilan Data.....	23
3.3.1 Data Citra Satelit <i>Landsat</i>	24
3.3.2 <i>Tracking</i> Garis Pantai	24
3.3.3 Gelombang.....	25
3.3.4 Kemiringan Pantai.....	25
3.3.5 Pasang Surut.....	25
3.3.6 Arus	26
3.3.7 Sedimen	26
3.3.8 Peta Rupa Bumi Indonesia	27
3.4 Analisis Sedimen.....	27
3.4.1 Pengeringan Sampel dan Pengayakan.....	27
3.4.2 Uji Berat Jenis	27

3.5	Pengolahan Data	28
3.5.1	Pengolahan Data Citra Satelit	28
3.5.2	Pengolahan Data Perubahan Garis Pantai (DSAS).....	29
3.5.3	Pengolahan Data Arus.....	30
3.5.4	Perhitungan Numerik Analisis Perubahan Garis Pantai	30
3.6	Analisis Data Perubahan Garis Pantai	32
3.7	Alur Penelitian	33
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Kondisi Hidrooseanografi.....	35
4.1.1	Arus	35
4.1.2	Pasang Surut.....	38
4.1.3	Gelombang.....	39
4.1.4	Kemiringan Pantai.....	40
4.1.5	Sedimen	41
4.1.5.1	Ukuran Butir Sedimen.....	41
4.1.5.2	Massa Jenis Sedimen.....	43
4.1.6	Kondisi Hidrooseanografi Mempengaruhi Perubahan Garis Pantai	45
4.2	Perubahan Garis Pantai.....	46
4.2.1	Tahun 1978-2018.....	46
4.2.2	Tahun 1978-1989.....	50
4.2.3	Tahun 1989-1997.....	51
4.2.4	Tahun 1997-2008.....	52
4.2.5	Tahun 2008-2018.....	54
4.3	Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Rumus Manohar	55
4.3.1	Area A.....	55
4.3.2	Area B.....	57
4.3.3	Area C	59
4.3.4	Area D	61
BAB V. KESIMPULAN		64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN		69



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kriteria Nilai Erosi	12
2. Titik Stasiun Lokasi Penelitian	19
3. Alat dan Bahan Lapangan	22
4. Alat dan Bahan Laboratorium	22
5. Alat dan Bahan Pengolahan Data	23
6. Data Citra Satelit	24
7. Prediksi Pasang Surut Data Citra Landsat	39
8. Hasil Pengukuran Data Gelombang Lapangan	39
9. Data Hasil Perhitungan Kemiringan Pantai	41
10. Persentase Ukuran Butir Sedimen	42
11. Massa Jenis Sedimen	43
12. Perhitungan DSAS (NSM dan EPR)	49
13. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area A	55
14. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area B	57
15. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area C	59
16. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area D	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Shoreline Change Envelope</i> (SCE).....	15
2. <i>Net Shoreline Movement</i> (NSM).....	16
3. <i>End Point Rate</i> (EPR).....	16
4. <i>Linear Regression Rate</i> (LRR).....	17
5. Titik Sampling Gelombang, Kemiringan Pantai, dan Sedimen.....	18
6. Alur Penelitian Analisis Perubahan Garis Pantai.....	34
7. Peta Kecepatan dan Arah Arus Rata-Rata Tahun 2018 Perairan Pulau Tonduk, Madura, Jawa Timur.....	35
8. Peta Kecepatan dan Arah Arus Bulan Mei 2018 (Musim Peralihan I) Perairan Pulau Tonduk, Madura, Jawa Timur.....	36
9. Peta Kecepatan dan Arah Arus Berdasarkan Musim Perairan Pulau Tonduk, Madura, Jawa Timur.....	36
10. Sebaran Arus Permukaan Selat Madura.....	37
11. Presentase Ukuran Butir Sedimen.....	44
12. Perubahan Garis Pantai Tahun 1978 – 2018 (a) Akresi di Area D (b) Abrasi di Area A.....	47
13. Peta Perubahan Garis Pantai 1978-2018.....	48
14. Perubahan Garis Pantai Tahun 1978-1989 (a) Akresi di Area C (b) Abrasi di Area B.....	51
15. Perubahan Garis Pantai Tahun 1989-1997 (a) Akresi di Area D.....	52
16. Perubahan Garis Pantai Tahun 1997-2008 (a) Abrasi di Area D.....	53
17. Perubahan Garis Pantai Tahun 2008-2018 (a) Abrasi di Area A.....	54
18. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area A.....	56
19. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area B.....	58
20. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area C.....	60
21. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area D.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Persentase Ukuran Butir.....	69
2. Hasil Uji Massa Jenis.....	72
3. Data Perubahan Garis Pantai DSAS.....	75
4. Dokumentasi Stasiun Penelitian.....	83
5. Dokumentasi Pengambilan Data Lapangan.....	85
6. Dokumentasi Uji Laboratorium.....	86



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Garis pantai merupakan garis daratan dan air bertemu dengan posisinya yang berubah-ubah. Faktor penyebab perubahan garis pantai yaitu kenaikan muka air laut, gelombang, arus, dan modifikasi oleh aktivitas manusia (Surya, 2017). Dampak dari perubahan garis pantai akan merubah penggunaan lahan seperti pelabuhan, pemukiman, dan industri. Perubahan garis pantai yang terjadi berupa pengikisan badan pantai (abrasi) dan penambahan badan pantai (akresi) disepanjang pantai (Arief *et al.*, 2011).

Akresi merupakan garis pantai yang berubah menjadi semakin maju. Sedimen yang bertambah disebabkan oleh pergerakan arus, dan membawa sejumlah sedimen. Arus mampu membawa partikel sedimen yang berukuran kecil hingga besar. Arus mampu mengangkat partikel dekat permukaan dan mengangkut sedimen di sepanjang garis pantai. Selain itu gelombang laut mampu menyebabkan akresi berdasarkan arah datang gelombang dan tinggi gelombang. Nuari *et.al* (2014) menyatakan proses akresi disebabkan oleh faktor tinggi gelombang laut dan panjang gelombang laut yang tinggi dan panjang.

Abrasi merupakan garis pantai yang berubah menjadi semakin mundur. Pengikisan pantai disebabkan oleh tenaga gelombang laut dan arus yang bersifat merusak. Gelombang yang langsung menuju pantai mampu mengikis dan merusak pantai. Tidak ada sungai atau muara yang membawa suplai sedimen akan menyebabkan pantai mengalami abrasi (Hariyoni *et al.*, 2013). Faktor non alami menyebabkan terjadinya abrasi yaitu penambangan pasir. Penambangan pasir dengan mengeruk pasir di pantai atau laut dalam intensitas yang cukup tinggi (Rahmi *et al.*, 2014).

Kabupaten Sumenep melakukan pengembangan sektor pariwisata bahari. Pengembangan tersebut karena banyak pulau-pulau kecil, salah satu yang terdapat pada kabupaten Sumenep adalah Pulau Tonduk. Kegiatan industrialisasi wilayah pesisir dan lautan Kabupaten Sumenep termasuk prioritas pusat pengembangan pariwisata, dan pelabuhan (Sukandar *et al.*, 2016). Pantai Tonduk bagian utara merupakan salah satu wilayah yang berbatasan langsung dengan laut dan mendapatkan pengaruh langsung kenaikan muka air laut.

Penelitian perubahan garis pantai dilaksanakan di Pulau Tonduk Kabupaten Sumenep, perlu dilakukan dengan menggunakan citra satelit Landsat dan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Penelitian dengan menggunakan aplikasi DSAS menganalisis perubahan garis pantai di Pulau Tonduk Kabupaten Sumenep bagian utara dan selatan. Analisis DSAS, dengan menggunakan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk mengetahui jarak perubahan garis pantai, *End Point Rate* (EPR) untuk mengetahui laju perubahan garis pantai (Istiqomah *et al.*, 2016). Karena kegiatan aktivitas dan jumlah penduduk lebih banyak ditemukan pada pulau bagian utara. Selain itu nilai perubahan garis pantai berdasarkan hasil pengolahan data dengan aplikasi DSAS lebih besar terjadi pada pulau bagian utara. Nilai dari *Net Shoreline Movement* (NSM) yang didapat pada garis pantai bagian utara lebih besar dibandingkan garis pantai bagian selatan. Analisis dari gelombang dan sedimen yang terdapat pada pulau tonduk bagian utara menjadi nilai dukung untuk melihat pengaruh terhadap perubahan garis pantai. Hal tersebut membuat kajian perubahan garis pantai ini perlu untuk dilakukan, dan menjadi bahan informasi untuk warga Pulau Tonduk Kabupaten Sumenep, Madura.

Oleh karena itu, perubahan garis pantai yang terjadi membutuhkan kajian dan solusi yang lebih efektif sehingga dapat dilakukan tindakan penanganan dan

pencegahan dengan mengurangi dampak yang menyebabkan kerugian, khususnya di daerah pesisir. Salah satu metode yang dapat dilakukan dengan menggunakan dan menerapkan ilmu penginderaan jauh menggunakan data citra satelit melalui metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Dengan metode DSAS dapat dilakukan analisis perubahan garis pantai dalam rentang waktu yang lama sekalipun.



1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi dasar dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi hidrooseanografi Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur ?
2. bagaimana perubahan garis pantai yang terjadi di Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur berdasarkan analisis satelit ?
3. bagaimana prediksi perubahan garis pantai yang terjadi di Pulau Tonduk Kabupaten Sumenep beberapa tahun mendatang ?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini:

1. Menganalisis kondisi hidrooseanografi Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur
2. menganalisis perubahan garis pantai yang terjadi di Pulau Tonduk Kabupaten Sumenep, Jawa Timur berdasarkan analisis satelit
3. melakukan prediksi perubahan garis pantai selama 5, 10, dan 25 tahun yang akan datang di Pulau Tonduk Kabupaten Sumenep, Jawa Timur.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Garis Pantai

Lingkungan pantai dapat mengalami perubahan dalam rentan waktu yang berbeda baik secara lambat hingga cepat. Selain dipengaruhi waktu perubahan lingkungan pantai antara lain garis pantai dipengaruhi faktor-faktor alami dan lainnya. Tidak hanya dipengaruhi faktor tunggal melainkan sejumlah faktor beserta interaksinya dari hasil gabungan proses alam dan aktivitas manusia (Halim *et al.*, 2016). Faktor alami yang dijelaskan berasal dari proses hidrooseanografi laut yaitu hempasan gelombang, perubahan pola arus, variasi pasang surut, dan perubahan iklim. Faktor berikutnya yang disebabkan kegiatan manusia atau antropogenik yaitu penggunaan fungsi lahan yang tidak tepat, konversi sarana pembangunan dikawasan pesisir yang tidak sesuai, penambangan pasir liar dan lainnya. (Muryani, 2010), menambahkan pantai menjadi area geografis dari faktor-faktor darat dengan laut yang bercampur membentuk bentang lahan dan ekosistem yang unik.

Pantai mendapatkan interaksi langsung dengan gelombang dan arus laut yang mempengaruhi kondisi fisik pantai yaitu perubahan garis pantai. Interaksi terhadap kondisi pantai mengakibatkan terjadinya angkutan sedimen di wilayah pantai. Sedimen tersebut akan membentuk beberapa pola berupa angkutan sedimen sejajar pantai dan angkutan sedimen tegak lurus pantai. Pola tersebut akan menyebabkan penambahan (akresi) dan kemunduran (erosi) garis pantai (Pahala dan Heni, 2007). Perubahan garis pantai merupakan proses dinamis dan akan berlanjut. Perubahan tersebut dapat mengganggu kegiatan dari aktivitas di sekitar pantai.

2.2 Akresi dan Abrasi

Akresi dan abrasi merupakan proses yang menyebabkan perubahan garis pantai. Garis pantai berubah semakin maju (akresi) dan mengalami kemunduran (abrasi) berdasarkan tahun pemantauan. Proses abrasi menyebabkan kerugian bagi lingkungan pesisir seperti lahan yang hilang, kerusakan pemukiman, dan kerusakan tambak (Dianawati and Santosa, 2016). Meningkatnya permukaan air laut yang diikuti pergerakan gelombang oleh angin menuju daratan menjadi salah satu faktor terjadinya abrasi. (Hariyoni *et al.* 2013) menambahkan kegiatan pembangunan industri yaitu pengangkutan sedimen mengakibatkan kemunduran garis pantai. Pengangkutan sedimen sejajar pantai mengakibatkan daratan yang tidak terlindungi oleh bangunan sekitarnya menyebabkan abrasi.

Topografi pantai dengan karakteristik rendah dan landai menjadi daerah terjadinya akresi maupun abrasi. Topografi daerah yang stabil memiliki karakteristik batuan dan bertebing. Pergerakan sedimen juga mampu menyebabkan kawasan pantai mengalami perubahan luasan. Penanggulangan terhadap masalah akresi dan abrasi diperlukan kegiatan peninjauan pada sepanjang garis pantai (Hernawan and Budiono, 2008). Perubahan daratan pantai dapat disebabkan tumpukan sedimen yang terbawa oleh gelombang maupun sedimen pantai yang terkikis dan terbawa oleh gelombang atau arus laut. Sedangkan proses tergerusnya pantai diikuti dengan material masif seperti tebing pantai. Abrasi dan akresi terus menerus terjadi dan terbentuk di sepanjang garis pantai (Lubis *et al.*, 2017).

2.3 Sedimen

Sedimen dapat berasal dari pecahan material berupa batuan baik secara fisika dan kimia. Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai, daratan yang dibawa oleh sungai, dan laut yang dibawa oleh arus. Partikel sedimen memiliki ukuran yang berbeda dari yang besar (boudler) dan yang kecil (koloid). Sifat dan bentuk sedimen sangat penting untuk mengetahui kondisi pantai mengalami erosi dan sedimentasi (Oktavia, 2014). Sifat dari sedimen yang diamati adalah ukuran partikel dan distribusi butir sedimen, rapat massa, bentuk, kecepatan endap, tahanan erosi, dan sebagainya.

Analisis nilai keseimbangan sedimen pantai dapat digunakan untuk melihat terjadinya perubahan garis pantai. Perhitungan matematika dalam analisis perubahan garis pantai terhadap sedimen yang terdapat pada daerah yang ditinjau. Terlebih dahulu mengetahui sifat-sifat sedimen yang akan dianalisis antara lain ukuran partikel dan butir sedimen, rapat massa, bentuk sedimen, dan kecepatan sedimen (Arya *et al.*, 2017). Ukuran butir sedimen sangat mempengaruhi proses perubahan pada garis pantai. Faktor lain yang mempengaruhi seperti jarak dari garis pantai, jarak dari sumber seperti sungai dan muara, topografi, dan transportasi sedimen. (Heriati dan Semedi, 2017) menambahkan muara-muara sungai yang terdapat sepanjang pesisir dapat menyebabkan sedimentasi tinggi dan mengubah garis pantai daerah tersebut.

2.4 Faktor Pengaruh Perubahan Garis Pantai

2.4.1 Arus

Arus merupakan pergerakan massa air dibangkitkan oleh angin, densitas air, dan pergerakan gelombang. Arus memiliki dua sistem pergerakan air laut yaitu arus meretas pantai (rip current) dan arus sejajar pantai (longshore current). Arus menjadi transportasi pengangkutan sedimen di daerah pantai, semakin besar arus disuatu perairan menyebabkan pengendapan sedimen kasar dan sebaliknya semakin kecil arus akan mengendapkan sedimen yang berukuran kecil atau halus. Gelombang dan arus menjadi faktor penyebab perubahan garis pantai dalam kapasitas persebaran sedimen. Gelombang mampu menghamburkan material sedangkan arus membawa material-material tersebut ke arah laut (Christina, 2005). (Hidayati, 2017) menambahkan arus tegak lurus pantai mampu mengangkat partikel permukaan searah tegak lurus pantai, sedangkan arus sejajar pantai mampu mengangkat partikel sepanjang garis pantai. Angkutan sedimen memberikan perubahan profil dan garis pantai.

Arus mampu mengakibatkan material sedimen terendapkan sekitar garis pantai. Aktivitas dari arus menyebabkan perubahan dari waktu ke waktu. Hubungan antara arus dengan sedimen untuk mengetahui pergerakan sedimen dan ukuran dari butiran sedimen (Heriati dan Semedi, 2017). (Hidayati, 2017) menambahkan analisis dapat dilakukan dengan menggunakan diagram Hjulstrom, untuk mengetahui pengaruh arus terhadap pengendapan sedimen. Semakin besar arus maka sedimen yang ditemukan memiliki ukuran besar, dan sebaliknya semakin kecil arus maka sedimen yang ditemukan memiliki ukuran lebih kecil.

2.4.2 Gelombang

Gelombang merupakan naik dan turunnya air secara perlahan pada perairan. Gelombang menjadi salah satu parameter oseanografi yang mempengaruhi kondisi pantai. Gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami transformasi yaitu refraksi yang berperan terhadap tinggi dan arah gelombang di sepanjang pantai. Rambatan gelombang menuju segala arah dan dilepaskan ke pantai membentuk hampasan ombak. Kedalaman juga memberikan pengaruh terhadap penjalaran gelombang dari laut. Kedalaman memberikan pengaruh pembelokan terhadap refraksi gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju perairan dangkal (Hidayati dan Hery, 2015).

Gelombang diklasifikasikan beberapa macam tergantung gaya pembangkit seperti angin, gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari, gempa dasar laut, dan dibangkitkan oleh kapal yang bergerak. Hal ini dibantu dengan pengamatan permukaan air laut dengan arah perambatan gelombang yang sangat bervariasi. Gelombang angin dan tarik menarik benda-benda langit sering diperhitungkan dalam analisis perubahan yang terjadi di pantai. gelombang merambat ke segala arah dan dilepaskan kembali dalam bentuk hampasan ombak. Gelombang pecah menjadi penyebab terjadinya erosi dan sedimentasi di pantai. Energi yang disebabkan gelombang pecah akan berkurang saat diterima angin dan dibalikkan kembali ke laut. Jumlah dari energi tersebut tergantung pada kemiringan pantai, semakin kecil sudut kemiringan pantai maka semakin kecil energi yang dibalikkan juga (Parauba *et al.*, 2016).

2.4.3 Pasang Surut

Pasang surut merupakan gerakan naik turun (vertikal) dari massa air laut permukaan hingga bagian terdalam dasar laut. Gerakan tersebut dipengaruhi gaya tarik menarik bumi, bulan, dan matahari. Pasang surut memiliki ciri yang

berbeda di berbagai lokasi dan dipengaruhi oleh topografi dasar laut. Proses terjadinya pasang surut sangat kompleks, namun dapat diperhitungkan. Manfaat dari perhitungan atau peramalan dapat digunakan perencanaan pembangunan, pelabuhan, dan energi alternatif (Surinati, 2007).

Pasang surut mempengaruhi aktivitas manusia di wilayah pesisir dan penting untuk aspek yang sangat luas. Pengaruh gravitasi terhadap bumi mengakibatkan perubahan bentuk dan atmosfer bumi (Dewi *et al.*, 2009). Fenomena lain mengenai pasang surut adalah arus pasang surut, gerak badan air menuju dan meninggalkan pantai pada saat pasang dan surut. Arus pasang surut menjadi media transpor sedimen yang memiliki ukuran kecil seperti pasir halus dan lempung. Fenomena ini sangat signifikan pada wilayah perairan tertutup (teluk), perairan dangkal, dan muara sungai.

2.5 Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai

Sedimen akan terperangkap di tempat yang ditimbulkan perpindahan oleh arus. Jika kondisi arus faktor lainnya tidak dominan dibandingkan dengan gaya gravitasi. Salah satu fenomena yang diakibatkan oleh pengendapan sedimen yaitu penambahan dari daratan atau tanah timbul. Tanah timbul sebuah daratan yang terbentuk dari endapan sedimen terbawa oleh arus dan mengalami perubahan ketinggian permukaan (Dwinanto *et al.*, 2017). Transpor sedimen pantai memiliki persebaran menuju dan meninggalkan pantai dengan arah tegak lurus dan sejajar garis pantai.

Transpor sedimen memiliki dua bentuk komponen utama, yaitu transpor sedimen bentuk mata gergaji di garis pantai dan transpor sepanjang *surf zone*. Gelombang yang bergerak menuju pantai dan membentuk sudut terhadap garis pantai menyebabkan gelombang naik ke pantai (*uprush*). Gerak dari massa air yang naik kemudian turun dengan tegak lurus pada pantai mampu membentuk

lintasan seperti mata gergaji. Sedangkan transpor sedimen oleh arus sepanjang pantai oleh gelombang pecah terjadi di *surf zone*. Transpor sedimen dapat dianalisis dengan menggunakan rumus empiris berdasarkan data pengukuran pantai berpasir (Hidayati, 2017). Berikut rumus Manohar transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang yaitu:

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H b^2 C_b \sin a_b \cos a_b b \quad (2.1)$$

$$Q_s = 55.7 D^{0.59} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{-0.41} P_1^{0.91} \quad (2.2)$$

Q_s : Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai ($m^3/hari$)

P_1 : Komponen Fluks Energi Gelombang Sepanjang Pantai Pada Saat Pecah ($ton\ m/hari/m$)

ρ : Rapat Massa Air Laut (kg/m^3)

ρ_s : Rapat Massa Jenis Sedimen (kg/m^3)

H_b : Tinggi Gelombang Pecah (m)

C_b : Cepat Rambat Gelombang Pecah

G : Gravitasi Bumi

a_b : Sudut Datang Gelombang Pecah

db : Kedalaman Gelombang Pecah

D : Diameter Sedimen ($(10^{-3}m)$)

2.6 Kriteria Kerusakan Garis Pantai

Perubahan pantai tidak hanya dilihat dalam keadaan sesaat tetapi dengan melakukan pengamatan kurun waktu tertentu. Analisis perubahan garis pantai mengingatkan tentang keseimbangan dinamis yang dimiliki oleh pantai tertentu. Keseimbangan dinamis yang dimaksud pada saat melakukan pengamatan dalam kurun waktu tertentu, terdapat perubahan atau tidak sama sekali baik itu kemajuan atau kemunduran yang cukup signifikan. Tetapi pada waktu-waktu tertentu pantai mengalami kemajuan atau kemunduran sesuai musim atau faktor lain yang berlangsung pada saat itu. Tingkat kerusakan pantai dibagi menjadi beberapa kriteria yaitu erosi, abrasi, kerusakan lingkungan, pendangkalan muara dan sedimentasi (Setyandito dan Joko, 2007). Untuk pembobotan nilai tingkat kerusakan dalam kriteria erosi atau gerusan yaitu:

Tabel 1. Kriteria Nilai Erosi

No	Tingkat Kerusakan	Nilai Kerusakan
1	Ringan	<0.5 m/tahun
2	Sedang	0.5 – 2.0 m/tahun
3	Berat	2.0 – 5.0 m/tahun
4	Amat Berat	5.0 – 10.0 m/tahun
5	Amat Sangat Berat	>10 m/tahun

2.7 Data Citra Satelit

Citra satelit menggunakan jenis panjang gelombang untuk merekam energi elektromagnetik. Kemudian energi tersebut dilakukan proses interpretasi dalam pemanfaatannya. Hasil tersebut dalam bentuk perekaman atau optik oleh alat sensor yang dipasang pada satelit. Penginderaan jauh melakukan pengukuran secara kuantitatif di permukaan bumi dengan sensor secara radiometrik yang dikalibrasi terlebih dahulu. Cakupan wilayah yang luas dengan frekuensi dan pengulangan yang memadai (Iskandar *et al.*, 2016). Analisis perubahan garis pantai dengan menggunakan data citra satelit multi dengan tahun yang berbeda. (Aryastana *et al.* 2016), menyatakan penggunaan

data citra satelit dalam monitoring perubahan garis pantai memberikan keuntungan. Keuntungan tersebut mulai dari cakupan wilayah luas, penggunaan biaya yang lebih kecil, dan membutuhkan waktu yang tidak terlalu lama serta dapat dibandingkan dengan pengukuran lapang.

2.7.1 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)

NDWI (Normalized Difference Water Index) adalah algoritma untuk identifikasi badan air. MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) algoritma modifikasi dari NDWI dan pada data LANDSAT bisa diketahui lokasi pesisir mengalami penambahan (akresi) atau pengikisan (abrasi) (Anggraini dan Atriyon, 2018). Algoritma tersebut memiliki sistem kerja berdasarkan panjang gelombang dari objek yang ditujuh. Badan air menyerap panjang gelombang sinar tampak dan infra merah. Sedangkan untuk membedakan badan air dengan daratan dilihat dari nilai NDWI, jika lebih besar dari nol diasumsikan sebagai badan air dan apabila lebih kecil dari nol diasumsikan sebagai daratan. Sistem kerja algoritma NDWI menggunakan kombinasi kanal hijau dan infra merah (NIR) sedangkan MNDWI menggunakan kombinasi kanal hijau dan kanal *Short Wave Infrared* (SWIR). (Xu, 2006) menyatakan NDWI didesain untuk (1) memaksimalkan reflektansi air dengan menggunakan kanal hijau, (2) meminimalkan reflektansi rendah infra merah (NIR) oleh fitur air, (3) memanfaatkan dan menekan nilai reflektansi tinggi infra merah (NIR). Informasi air yang didapat masih mendapatkan data *error* atau *noise* yang berasal dari fitur lahan pembangunan. Pola reflektansi lahan pembangunan berupa kanal hijau *band* (TM 2) dan infra merah *band* (TM 4). Nilai kanal hijau yang direfleksikan lebih besar dan dalam perhitungn NDWI menghasilkan nilai positif. Sehingga pada citra NDWI nilai informasi kehadiran air lebih besar akibat *noise* lahan pembangunan. Berdasarkan asumsi tersebut, dilakukan modifikasi mengganti

NIR *band* dengan MIR *band*. Nilai NDWI dan MNDWI dapat dilihat sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{Green-NIR}{Green+NIR} \quad (2.3)$$

$$MNDWI = \frac{Green-MIR}{Green+MIR} \quad (2.4)$$

MNDWI didesain untuk (1) Nilai air lebih besar dibandingkan NDWI karena menyerap kanal MIR lebih banyak dibandingkan kanal NIR; (2) Nilai lahan pembangunan memiliki nilai negatif sebagai kanal MIR lebih besar dari pada kanal NIR dalam merefleksi tanah dan kanal hijau dalam merefleksikan vegetasi. Perkembangan dari modifikasi tersebut nilai fitur air dengan lahan pembangunan meningkat lebih kontras dan perubahan pada nilai lahan bangunan dari positif turun ke negatif. Dengan nilai lebih akurat sebagai semula nilai negatif merefleksikan daratan berupa lahan pembangunan, tanah, dan vegetasi akan dihapus serta lebih dikembangkan pada fitur laut terbuka. (Ko *et. al* 2015), menambahkan untuk Landsat 8 OLI, MNDWI dinyatakan sebagai berikut:

$$MNDWI = \frac{Green-SWIR}{Green+SWIR} \quad (2.5)$$

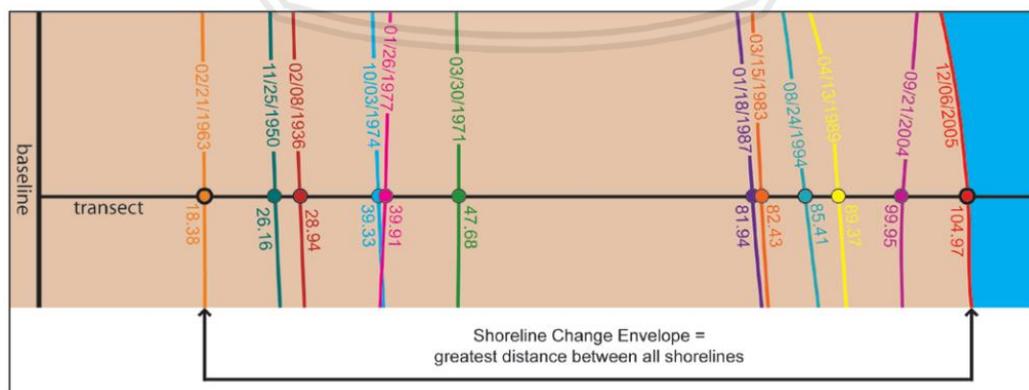
Pola reflektansi Landsat 8 OLI yang digunakan kanal hijau *band* (OLI 3) dan SWIR-1 *band* (OLI 6).

2.7.2 DSAS (Digital Shoreline Analysis System)

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) merupakan perangkat lunak dikembangkan oleh *United States Geological Survey* (USGS) dan ESRI untuk menganalisis perubahan garis pantai secara statistik. (Istiqomah *et al.* 2016), menambahkan dalam menghitung perubahan posisi garis pantai maupun batas suatu wilayah dari waktu ke waktu. DSAS menggunakan titik yang dihasilkan dari perpotongan garis transek berdasarkan waktu acuan pengukuran.

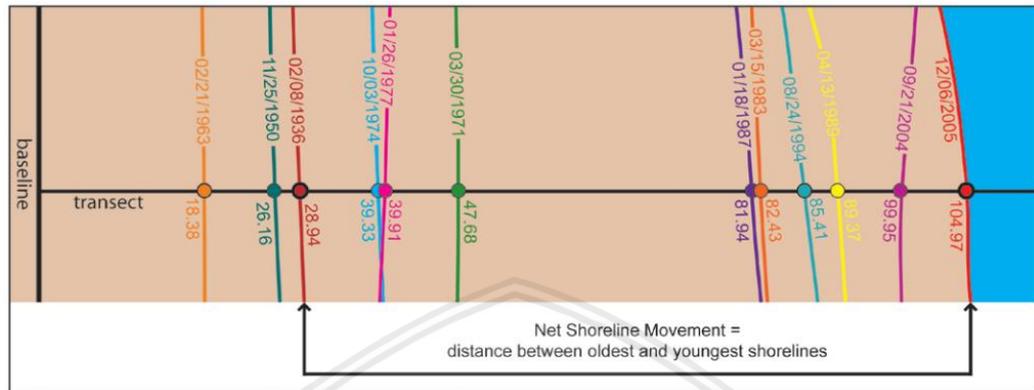
Analisis perubahan garis pantai digunakan untuk menghitung secara otomatis berdasarkan waktu dengan data berbasis geospasial. Metode yang digunakan berdasarkan posisi garis pantai terhadap waktu yang diolah. Dibagi menjadi transek pada tiap meter perubahan garis pantai untuk proses perhitungan. DSAS menggabungkan perhitungan modul individual dan hasil dimunculkan sebagai tabel di ArcMap. Metode perhitungan untuk laju perubahan garis pantai menurut (Himmelstoss *et al.* 2012), yaitu:

1. *Shoreline Change Envelope* (SCE) merupakan perhitungan garis pantai dengan pertimbangan posisi dan jarak yang ada, mulai dari jarak garis pantai terjauh dan paling dekat dengan *baseline* dan tidak mengacu pada tanggal tertentu. Pada Gambar 1 merupakan contoh perhitungan SCE.



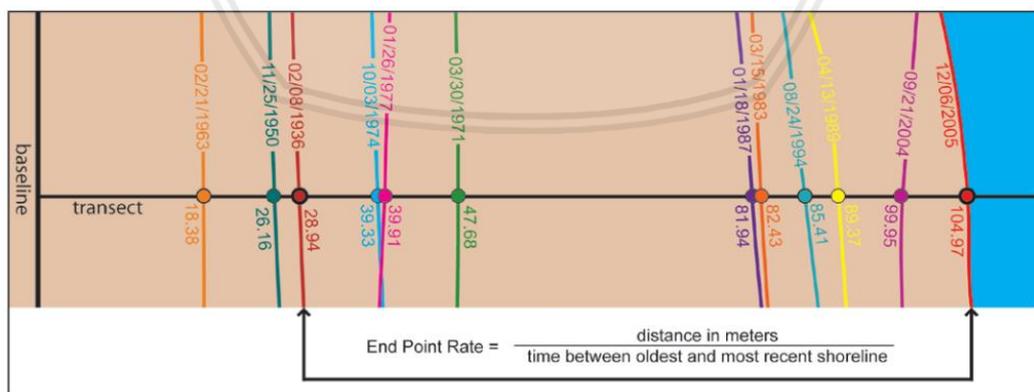
Gambar 1. *Shoreline Change Envelope* (SCE)
(Sumber Himmelstoss *et al.*, 2012)

2. *Net Shoreline Movement* (NSM) merupakan pengukuran jarak garis antara garis terlama dan garis yang paling baru setiap transek. Pada Gambar 2 merupakan contoh perhitungan NSM.



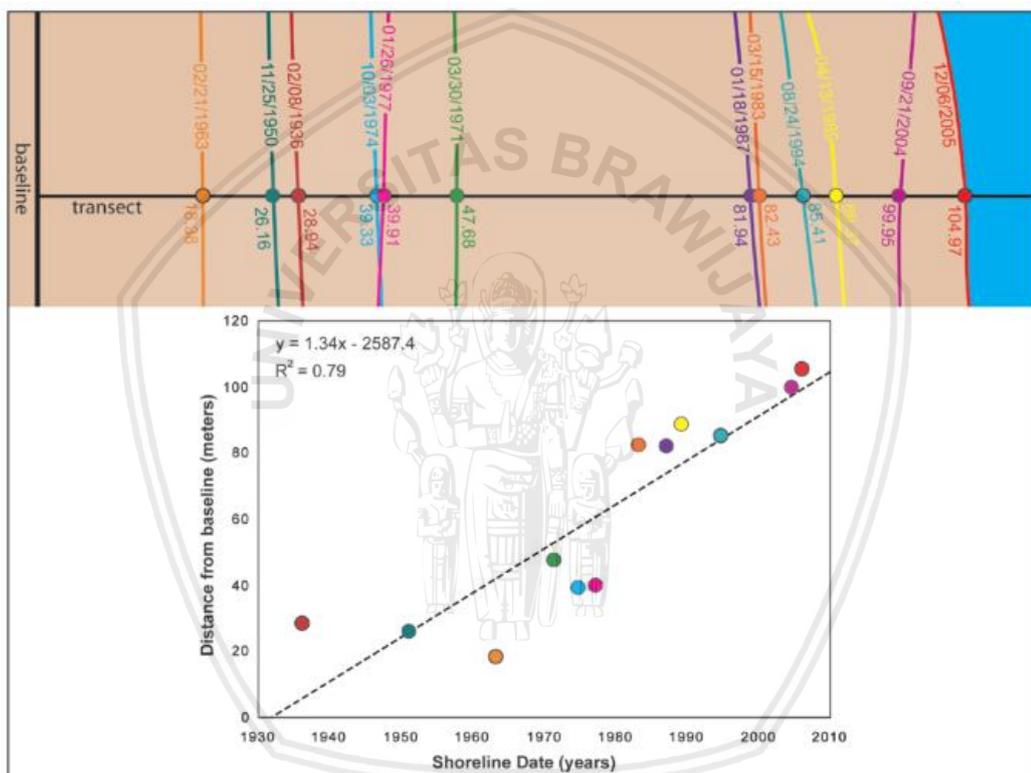
Gambar 2. Net Shoreline Movement (NSM)
(Sumber Himmelstoss *et al.*, 2012)

3. *End Point Rate* (EPR) merupakan perhitungan garis pantai yang membagi jarak pantai terlama dan terkini. EPR memiliki fungsi melakukan perhitungan lebih mudah dan hanya membutuhkan dua tangga garis pantai. Tetapi EPR memiliki kekurangan pada saat data lebih banyak tersedia, informasi tambahan diabaikan seperti akresi ke abrasi, magnitudo, dan tren siklus. Pada Gambar 3 merupakan contoh perhitungan EPR.



Gambar 3. End Point Rate (EPR)
(Sumber Himmelstoss *et al.*, 2012)

4. *Linear Regression Rate* (LRR) merupakan analisis perubahan garis pantai metode regresi linear yang menggunakan garis regresi *least-square* semua titik perpotongan transek garis pantai. Terdapat beberapa fitur yaitu (1) semua data digunakan, selain dari perubahan tren dan akurasi, (2) metodenya komputasi, (3) perhitungan dengan konsep statistik diterima, dan (4) metodenya cukup mudah digunakan. LRR memiliki kekurangan yaitu rentan terhadap efek luar dan mengabaikan laju perubahan relatif statistik lainnya.



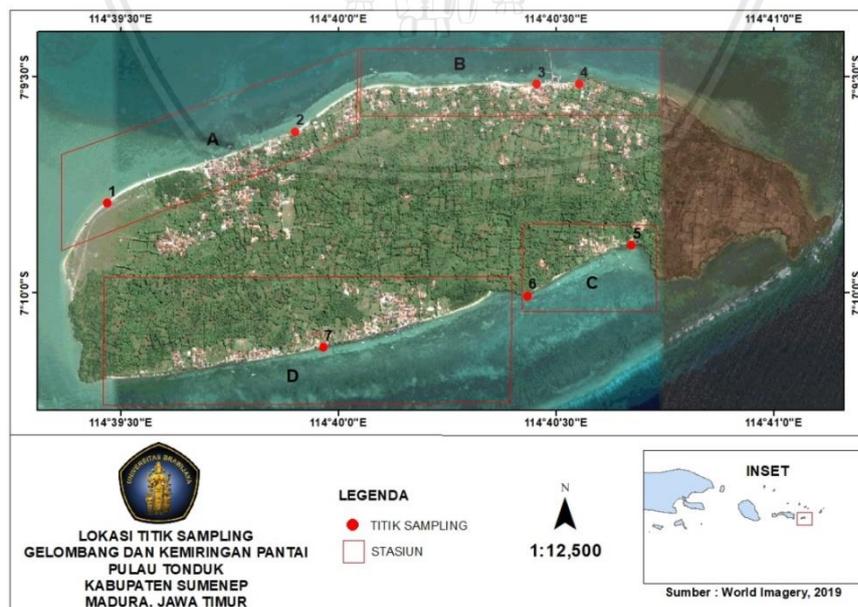
Gambar 4. *Linear Regression Rate* (LRR)
(Sumber Himmelstoss et al., 2012)

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2019 sampai Juni 2019. Kegiatan penelitian meliputi tahap pengambilan data ke lapangan dan analisis sedimen di Laboratorium Air dan Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Pengambilan data dilakukan tanggal 8–9 Mei 2019 di wilayah Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep, Madura. Pemetaan perubahan garis pantai dengan menggunakan citra satelit *Landsat*, *tracking* garis pantai, pengambilan sampel sedimen. Pemilihan lokasi didasarkan pada teknik *Purposive Sampling* daerah yang dipilih dapat mewakili Pulau Tonduk. Lokasi penelitian dan pengambilan data gelombang dan sedimen dapat dilihat pada Gambar 5.

Uji sedimen dilakukan di Laboratorium Air dan Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Penelitian di laboratorium dilakukan tanggal 20 – 24 Mei 2019, rangkaian uji sedimen yang dilakukan adalah uji ayakan, dan uji massa jenis.



Gambar 5. Titik Sampling Gelombang, Kemiringan Pantai, dan Sedimen

Tabel 2. Titik Stasiun Lokasi Penelitian

Titik Stasiun	Koordinat	Area (DSAS)	Keterangan
1	-7.163 LS 114.657 BT	A	Mewakili bagian utara wilayah Pulau Tonduk
2	-7.160 LS 114.664 BT		Mewakili bagian utara wilayah Pulau Tonduk
3	-7.158 LS 114.674 BT	B	Mewakili bagian utara wilayah Pulau Tonduk
4	-7.158 LS 114.675 BT		Mewakili bagian utara wilayah Pulau Tonduk
5	-7.164 LS 114.677 BT	C	Mewakili bagian selatan wilayah Pulau Tonduk
6	-7.166 LS 114.673 BT		Mewakili bagian selatan wilayah Pulau Tonduk
7	-7.168 LS 114.666 BT	D	Mewakili bagian selatan wilayah Pulau Tonduk

Pulau Tonduk atau disebut juga Pulau Putri terletak di Provinsi Jawa Timur, Madura. Pulau Tonduk terletak pada 7.163781 LS dan 114.669361 BT. Pulau Tonduk merupakan pulau kecil diantara gugusan pulau-pulau disebelah timur Pulau Madura. Secara administratif, Pulau Tonduk merupakan salah satu desa yang termasuk wilayah Kecamatan Raas, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur (Sukandar *et al.*, 2016). Luas desa Pulau Tonduk yaitu \pm 578.6 ha dengan panjang garis pantai \pm 21.22 km. Pulau Tonduk merupakan daerah dataran rendah dengan ketinggian 16.6 meter diatas permukaan laut (dpl). Pulau Tonduk memiliki kondisi geografis batas desa berada dikawasan Selat Madura.

Kabupaten Sumenep memiliki potensi sumberdaya pesisir dan lautan. Pemanfaatan sumberdaya kelautan tanpa menerapkan konsep keberlanjutan, menyebabkan lingkungan pesisir dan lautan mengalami kerusakan (degradasi). Degradasi lingkungan pesisir dan lautan hasil identifikasi lapangan di Kabupaten Sumenep yaitu kerusakan pantai akibat penambangan pasir, konversi mangrove menjadi lahan pertambakan, penambangan karang, dan abrasi (Fachruddin dan Mahfud, 2011). Desa Tonduk termasuk dalam Kabupaten Sumenep mengalami

salah satu kegiatan degradasi tersebut. Penelitian dilaksanakan di Desa Tonduk dan terjadi penambangan pasir pada pantai yang digunakan sebagai bahan pembangunan rumah oleh masyarakat.

Pemilihan lokasi penelitian dibagi ke dalam beberapa stasiun yang mewakili. Lokasi penentuan kondisi Pulau Tonduk yang didasari oleh metode *purposive sampling*. (Rahmi *et al.* 2014) menyatakan metode *purposive sampling* yaitu penentuan lokasi pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu. Penentuan stasiun dan titik sampling pengambilan data dibagi berdasarkan bentuk dari profil pantai dan nilai dari NSM (Net Shoreline Movement) atau jarak perubahan garis pantai yang bernilai ekstrim. Perubahan garis pantai Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep, Madura melingkupi 4 stasiun sebagai berikut.

1. Stasiun A

Stasiun A meliputi wilayah pesisir utara Pulau Tonduk, lokasi pengambilan data stasiun ini terdapat 2 titik sampling pengambilan data meliputi titik gelombang, kemiringan pantai, dan sedimen. Titik 1 memiliki koordinat -7.163 LS, 114.657 BT dan titik 2 koordinatnya -7.160 LS 114.664 BT. Kondisi perairan pada stasiun A memiliki arus dan gelombang yang tidak terlalu besar. Bagian pantai yang terdapat pelabuhan kecil untuk pemberhentian perahu transportasi untuk keluar dan masuk Pulau Tonduk serta dekat dengan beberapa pemukiman warga.

2. Stasiun B

Stasiun B meliputi wilayah pesisir utara Pulau Tonduk, lokasi pengambilan data stasiun ini terdapat 2 titik sampling pengambilan data meliputi titik gelombang, kemiringan pantai, dan sedimen. Titik 1 memiliki koordinat -7.158 LS, 114.674 BT dan titik 2 koordinatnya -7.158 LS 114.675 BT. Kondisi perairan

pada stasiun B hampir sama dengan stasiun A yaitu memiliki arus dan gelombang yang tidak terlalu besar. Bagian pantai tersebut dekat dengan pemukiman warga.

3. Stasiun C

Stasiun C meliputi wilayah pesisir selatan Pulau Tondok, lokasi pengambilan data stasiun ini terdapat 2 titik sampling pengambilan data meliputi titik gelombang, kemiringan pantai, dan sedimen. Titik 1 memiliki koordinat -7.164 LS, 114.677 BT dan titik 2 koordinatnya -7.166 LS 114.673 BT. Kondisi perairan pada stasiun C memiliki arus dan gelombang yang bervariasi dan tidak terlalu besar. Pada lokasi ini bagian pantai tersebut banyak dijadikan tempat bersandar perahu oleh masyarakat di Pulau Tondok.

4. Stasiun D

Stasiun D meliputi wilayah pesisir utara Pulau Tondok, lokasi pengambilan data stasiun ini terdapat titik sampling pengambilan data meliputi titik gelombang, kemiringan pantai, dan sedimen. Koordinat titik sampling -7.168 LS, 114.666 BT. Kondisi perairan pada stasiun D memiliki arus dan gelombang yang tidak terlalu besar. Bagian pantai ditemukan beberapa lokasi ditumbuhi oleh tumbuhan vegetasi pada pantai. Pada lokasi ini digunakan sebagai tempat bersandar perahu.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dimulai dari pengambilan data dan pengolahan data sebagai berikut.

3.2.1 Alat dan Bahan Lapangan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian selama di lapangan dan fungsinya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Alat dan Bahan Lapangan

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	<i>Global Positioning System (GPS)</i>	GPSTMap 76csx/ GPSTMap 60csx	Menentukan titik koordinat waktu <i>ground check</i>
2	Plastik	1 kg	Wadah sampel sedimen tiap stasiun
3	Kompas	-	Mengetahui derajat arah arus
4	Kertas Label	-	Memberikan tanda pada sampel sedimen
5	<i>Roll meter</i>	50 meter	Pengukuran data penelitian
6	Tongkat Skala	2 meter	Mengukur kedalaman perairan
7	Kamera	Samsung	Dokumentasi kegiatan penelitian
8	Laptop	Asus A455L	Mengolah data penelitian

3.2.2 Alat dan Bahan Laboratorium

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian selama di laboratorium dan fungsinya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Alat dan Bahan Laboratorium

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Loyang	<i>Butterfly</i>	Wadah sampel sedimen yang akan dimasukkan ke oven
2	Oven	<i>Memmert</i>	Mengeringkan sampel
3	<i>Sieve Shaker</i>	<i>Messgerate</i>	Memisahkan sedimen sesuai ukuran sedimen
4	Ayakan	-	Wadah hasil ayakan
5	Timbangan Digital	<i>Nagata</i>	Menimbang berat sedimen dalam satu kilogram
6	Timbangan Analitik	<i>Ohaus</i>	Menimbang berat sedimen dalam satu gram
7	Kuas	-	Membersihkan sisa sedimen pada ayakan
8	Botol Picno	-	Wadah sampel dalam uji massa jenis
9	Thermometer	-	Mengukur suhu sampel
10	Kompor Pemanas + Pasir	-	Memanaskan sampel pada <i>picno</i>
11	Corong	-	Memasukkan sampel ke <i>picno</i>

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
12	Kertas Label	-	Memberikan tanda pada sampel
13	Kantong Plastik	-	Wadah sampel plastik

3.2.1 Alat dan Bahan Pengolahan Data

Aplikasi yang digunakan dalam penelitian dan fungsinya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Alat dan Bahan Pengolahan Data

No	Data Citra Satelit	Spesifikasi	Fungsi
1	<i>Google Earth Pro</i>	2017	Peta citra penelitian
2	<i>ENVI</i>	5.1	Koreksi <i>geometrik</i> , <i>radiometrik</i> , dan <i>cropping</i>
3	<i>ArcGIS</i>	10.3	Melihat perubahan garis pantai
4	<i>Digital Shoreline Analysis System</i>	DSAS 4.3	Analisis laju perubahan garis pantai penelitian
5	<i>Surfer</i>	10.1	Pengolahan data arus
6	Laptop	Asus A455L	Penyusunan laporan penelitian
7	Data Peramalan Pasang Surut	Badan Informasi Geospasial	Data koreksi pasang surut
8	Data Koordinat Hasil Perekaman GPS	Hasil <i>Tracking</i> GPS	Data perubahan garis pantai
9	Peta Rupa Bumi Indonesia Kab. Sumenep	Badan Informasi Geospasial	Batas wilayah administrasi

3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua sumber yaitu data primer dan data sekunder. Data primer meliputi data *tracking* garis pantai, pengukuran kemiringan pantai, dan pengambilan sampel sedimen. Sedangkan data sekunder meliputi data citra satelit Landsat, peta Rupa Bumi Indonesia, dan data pasang surut. Selanjutnya dilakukan analisis grafik hasil pengolahan data menggunakan citra satelit dan hasil perhitungan numerik data *tracking* menggunakan Rumus Manohar.

3.3.1 Data Citra Satelit Landsat

Data Landsat yang digunakan tahun 1978, 1989, 1997, 2008, dan 2018 download di web <http://glovis.usgs.gov/app>. Data citra satelit Landsat digunakan untuk deliniasi batas darat dan laut untuk menentukan nilai perubahan garis pantai. *Path/row scene* citra satelit yang diunduh adalah 117/65 dimana *scene* tersebut mencakup wilayah Pulau Tondok, Kabupaten Sumenep. Data citra Landsat yang digunakan dipilih dari data yang memiliki kualitas yang baik dengan tutupan awan <40%.

Berikut data citra satelit yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Citra Satelit

Data Citra Satelit	Tanggal Akusisi	Resolusi	Jenis Sensor
LM03125065197809122 018042101T2	12/09/1978	80	Multispectral Scanner (MSS)
LT04117065198904062 017020401T2	06/04/1989	80	Thematic Mapper (TM)
LT05117065199709272 016122901T1	27/09/1997	80	Thematic Mapper (TM)
LE07117065200809172 016122501T1	17/09/2008	30	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)
LC08117065201810072 018102901T1	07/10/2018	30	Operational Land Imager (OLI)

3.3.2 Tracking Garis Pantai

Tracking garis pantai pada penelitian dilakukan sepanjang garis pantai Pulau Tondok, Kecamatan Sumenep. *Tracking* ditinjau langsung ke lapangan agar data yang diolah memiliki keakuratan data yang baik sesuai dengan prosedur penelitian berbasis penginderaan jauh. *Tracking* dilakukan dengan menyusuri garis pantai sepanjang ± 10 km dengan menggunakan GPS. Setelah itu, data dari GPS di *export* dengan menggunakan software *Mapsource* menjadi

format *file* "txt". Selanjutnya dilakukan perhitungan numerik setelah data di masukkan ke *Microsoft Excel*.

3.3.3 Gelombang

Pengambilan data gelombang didapatkan dari pengukuran tinggi dan periode gelombang. Data gelombang didapatkan dari pengukuran tinggi dan periode gelombang dengan menggunakan tongkat skala pada 7 titik stasiun, serta arah angin yang diambil di titik zona gelombang pecah pada Gambar 5 dan Tabel 2. Pengukuran data gelombang berupa nilai puncak dan lembah gelombang selama 1 menit dengan 3 kali pengulangan. Kemudian dilakukan pencatatan nilai arah angin dengan menggunakan kompas.

3.3.4 Kemiringan Pantai

Pengukuran kemiringan pantai dilakukan pada saat surut terendah dan pada titik sampling menyesuaikan bentuk profil pantai pada Gambar 5 dan Tabel 2. Pengukuran kemiringan pantai menggunakan prinsip *theorema phytagoras*. Data kedalaman digunakan sebagai sumbu x dan panjang horizontal kearah pantai digunakan sebagai sumbu y. Data yang didapatkan dengan pengukuran yang dilakukan menarik garis lurus dari bibir pantai pada jarak 5, 10, 15 meter kearah laut dengan menggunakan *roll meter*. Selanjutnya dilakukan pengukuran kedalaman dengan menggunakan tongkat skala.

3.3.5 Pasang Surut

Data pasang surut dalam penelitian ini digunakan untuk mengoreksi data citra Landsat terhadap pasang surut yang terjadi di lokasi penelitian. Data pasang surut yang digunakan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Pengambilan data pasang surut dilakukan dengan mengunduh data pada website DEMNAS (<http://tides.big.go.id/DEMNAS/>). Data pasang surut yang diunduh

adalah data pada wilayah Kabupaten Sumenep terutama di wilayah Pulau Tonduk.

3.3.6 Arus

Data arus diperoleh dari *Ocean Surface Current Analyses Real-Time* (OSCAR). Pengambilan data arus dilakukan dengan mengunduh data pada website <http://podaac.jpl.nasa.gov/>. Data yang diunduh kemudian diolah menggunakan *software Surfer* untuk menghasilkan visualisasi arah dan kecepatan arus di perairan tersebut.

3.3.7 Sedimen

Pengambilan sampel sedimen untuk mendapatkan identifikasi jenis sedimen, ukuran diameter sedimen, dan massa jenis sedimen. Pengambilan sampel sedimen dilakukan secara manual dengan menggunakan sekop kecil di titik yang telah ditentukan pada Gambar 5 dan Tabel 2. Pengambilan sedimen diambil sekitar 1 kg pada titik lokasi pengambilan wilayah penelitian. Uji sedimen dilanjutkan dengan pengukuran di laboratorium dengan menggunakan *sieve shaker*. Sampel sedimen yang diperoleh dikeringkan untuk menghilangkan kadar air pada sampel. Timbang total berat sedimen tiap stasiun yang telah kering, kemudian dimasukkan pada alat pengayak atau *sieve shaker*. Lakukan penimbangan hasil ayakan dan menghitung ukuran butir sedimen pada tiap stasiun yang berbeda. Data sedimen yang diolah menjadi dasar dalam perubahan garis pantai dengan perhitungan numerik menggunakan rumus Manohar. Lokasi pengambilan sampel sedimen yang terdiri dari 7 titik stasiun memiliki koordinat yang dapat dilihat pada Tabel 2.

3.3.8 Peta Rupa Bumi Indonesia

Peta rupa bumi digunakan sebagai peta dasar untuk mengetahui batas wilayah administrasi dari Kabupaten Sumenep terutama wilayah Pulau Tondok. Pengambilan data peta Rupa Bumi Indonesia dilakukan dengan mengunduh data pada *website* Indonesia Geospasial Portal (<http://tanahair.indonesia.go.id//>). Peta Rupa Bumi Indonesia yang diunduh adalah peta RBI batas wilayah administrasi Kabupaten Sumenep dengan skala 1:25.000.

3.4 Analisis Sedimen

Penelitian dilakukan di Laboratorium Air dan Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya terdiri dari pengeringan sampel dan pengayakan serta analisis sedimen pasir.

3.4.1 Pengeringan Sampel dan Pengayakan

Sampel dikeringkan menggunakan oven yang dilakukan selama 24 jam dengan suhu kurang lebih 100 °C. Pengeringan dilakukan untuk mendapatkan berat kering sedimen. Sedimen yang telah kering dilakukan penimbangan berat sedimen untuk mendapatkan nilai berat kering. Sedimen dimasukkan kedalam *sieve shaker* untuk melakukan pengayakan. Pengayakan dilakukan untuk mendapatkan persentase ukuran butir sedimen sesuai dengan ukuran saringan. Sebelum dilakukan pengayakan terlebih dahulu timbang saringan kosong sebagai pengurangan saat menimbang sedimen yang telah diayak. Proses pengayakan dilakukan selama ± 3 menit, kemudian timbang berat sedimen tertahan masing-masing saringan dan dicatat hasilnya.

3.4.2 Uji Berat Jenis

Uji berat jenis dilakukan dengan menggunakan alat picnometer, sebelum dilakukan uji berat jenis dilakukan kalibrasi pada 5 buah tabung picnometer yang

akan digunakan. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan persamaan linear antara suhu dengan berat jenis tabung dengan demikian dapat mengetahui berat jenis sampel sedimen. Tabung picnometer diisi dengan air hingga batas leher tabung dan dipanaskan hingga mendidih pada kompor listrik. Setelah mendidih tabung dipindahkan dan tambahkan air hingga penuh dengan teliti agar tidak terjadi pencampuran suhu antara air yang telah mendidih dengan air biasa. Tabung picnometer ditutup hingga tidak terdapat gelembung. Tabung picnometer dibersihkan sebelum ditimbang dan dicatat berat picnometer berisi air. Suhu diukur menggunakan termometer air raksa dan diamkan dalam keadaan terbuka ± 5 menit. Langkah yang sama dilakukan tanpa dipanaskan sebanyak 3 kali pengulangan untuk membentuk garis linear. Garis linear digunakan untuk mengetahui hubungan antara sumbu x (suhu) dengan sumbu y (berat picnometer + air). Sampel sedimen yang telah dipisahkan sebesar 20 gram pada total panci yang lolos dari hasil saringan dengan nomor panci 60, 80, 100, 200, dan Pan. Sampel yang telah dipisahkan pada masing-masing stasiun dilakukan uji berat jenis dengan langkah yang sama seperti melakukan kalibrasi dan masukkan sampel kedalam tabung picnometer menggunakan corong.

3.5 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari pengolahan data citra satelit. Data *tracking* pantai, kemiringan pantai, gelombang, dan pengambilan data sedimen untuk melakukan perhitungan rumus Manohar. Pengolahan data untuk mengetahui perubahan garis pantai yang diteliti.

3.5.1 Pengolahan Data Citra Satelit

Pengolahan data citra satelit perubahan garis pantai terdapat beberapa tahap yaitu koreksi citra (geometrik, radiometrik, atmosferik), delineasi darat dan

perairan, dan perhitungan perubahan garis pantai. Koreksi citra dalam pengolahan data menggunakan *software* ENVI 5.1. Koreksi geometrik untuk mendapatkan posisi objek dalam citra dengan posisi yang ada di lapangan. Koreksi radiometrik untuk mendapatkan tampilan citra yang lebih tajam dengan menggunakan *Radiometric Calibration* pada *Toolbox* ENVI 5.1. Koreksi atmosferik untuk menghilangkan gangguan atmosfer dengan menggunakan metode *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH) dengan memilih *FLAASH Atmospheric Correction* pada *Toolbox* ENVI 5.1.

Delineasi daratan dan perairan untuk memisahkan daratan dengan perairan menggunakan metode *Modified Normalised Difference Water Index* (MNDWI). Proses dalam penentuan delineasi citra satelit Landsat TM dan ETM+ menggunakan rumus (2.3) oleh (Xu, 2006), sedangkan 8 OLI menggunakan rumus (2.5) oleh (Ko *et al.*, 2015). Perhitungan perubahan garis pantai menggunakan data garis pantai yang telah mewakili tiap dekade berjumlah 6 garis pantai dilakukan analisis *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Metode ini menghitung secara statistik untuk melihat perubahan baik secara akresi maupun secara abrasi melihat nilai *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR) dengan jarak antar transek sebesar 50 meter dan panjang transek 1000 meter.

3.5.2 Pengolahan Data Perubahan Garis Pantai (DSAS)

Perhitungan dimulai dengan membuat *personal database* terdiri dari dua *feature class* yaitu *shoreline* dan *baseline*. *Shoreline* untuk menggabungkan semua garis pantai menggunakan *toolbox merge*. *Baseline* untuk penunjuk daratan dibuat secara manual menggunakan *toolbox buffer*. *Baseline* pada penelitian yang digunakan memiliki panjang 8.316 km, jarak antar transek 50 meter, panjang transek sebesar 5 km dan berjumlah 167.

Metode DSAS (Digital Shoreline Analysis System) melihat perubahan garis pantai dengan metode analisis statistik *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). *Net Shoreline Movement* untuk mengukur total jarak antara garis pantai terlama dan terbaru. Analisis statistik NSM dan EPR dilakukan dengan rentang tahun 1978-2018 dan rentang waktu kurang lebih 9-10 tahun (1978-1989, 1989-1997, 1997-2008, dan 2008-2018). *End Point Rate* untuk menghitung dengan membagi jarak perubahan garis pantai dengan waktu yang berlalu antara garis pantai terlama dan paling baru. Analisis statistik NSM dan EPR sama tetapi yang membedakan nilai EPR untuk mengukur laju perubahan setiap tahunnya.

3.5.3 Pengolahan Data Arus

Pengolahan data arus dilakukan dengan menggunakan *Software Surfer 10.1*. Data arus diperoleh dari *website* PODAAC sebagai data pendukung yang diolah menjadi data rata-rata tahun 2018, musiman dan sesuai dengan bulan pengambilan data lapangan yaitu Mei. Data kecepatan arus (m/s) dan arah arus diolah menggunakan *Surfer*, kemudian membuat kontur kecepatan dan vektor arah arus lokasi penelitian.

3.5.4 Perhitungan Numerik Analisis Perubahan Garis Pantai

Menurut Hidayati (2017), perhitungan numerik perubahan garis pantai sebagai berikut:

1. Diketahui data X_{awal} dan Y_{awal} berupa data garis pantai awal yang akan dimodelkan.
2. Diketahui gelombang datang yang membentuk sudut (α_0), tinggi gelombang pecah (H_b), kedalaman gelombang pecah (db), berat jenis air laut ($\rho=1.03 \text{ ton/m}^3$), dan gravitasi bumi ($g=9.8 \text{ m/s}^2$).

3. Dihitung cepat rambat gelombang pecah (C_b) dengan persamaan:

$$C_b = \sqrt{g \times db} \quad (3.1)$$

4. Transpor sedimen dipengaruhi oleh sudut datang gelombang pecah (α_b). Sudut datang gelombang pecah akan berubah dari satu sel ke sel lain karena profil pantai.

5. Sudut α_i yang dibentuk oleh garis pantai dengan garis sejajar sumbu x, antara sel i dan $i+1$ dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tan \alpha_i = \frac{y_i - y_{i+1}}{\Delta x} \quad (3.2)$$

6. Sudut gelombang pecah dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$\tan \alpha_b = \frac{\tan \alpha_i - \tan \alpha_0}{1 + (\tan \alpha_i \cdot \tan \alpha_0)} \quad (3.3)$$

7. Untuk mengetahui besarnya α_b maka dilakukan perhitungan:

$$\alpha_b = \arctan(\alpha_b) \quad (3.4)$$

8. Masuk kedalam persamaan prediksi perubahan garis pantai yang menghitung Transpor sedimen sepanjang pantai yang dikembangkan berdasarkan data pengukuran model dan prototip pada wilayah penelitian. Persamaan tersebut merupakan hubungan sederhana antara Transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b b \quad (3.5)$$

Keterangan dari persamaan diatas sebagai berikut:

P_1 : Komponen Fluks Energi Gelombang Sepanjang Pantai Pada Saat Pecah (ton m/hari/m)

ρ : Rapat Massa Air Laut (kg/m^3)

α_0 : Sudut Gelombang Datang

H_b : Tinggi Gelombang Pecah (m)

C_b : Cepat Rambat Gelombang Pecah

g : Gravitasi Bumi

α_b : Sudut Datang Gelombang Pecah

δ_b : Kedalaman Gelombang Pecah

α_i : Sudut yang Dibentuk Oleh Garis Pantai dengan Garis Sejajar Sumbu x

α_y : Sudut yang Dibentuk Sejajar Sumbu y

3.6 Analisis Data Perubahan Garis Pantai

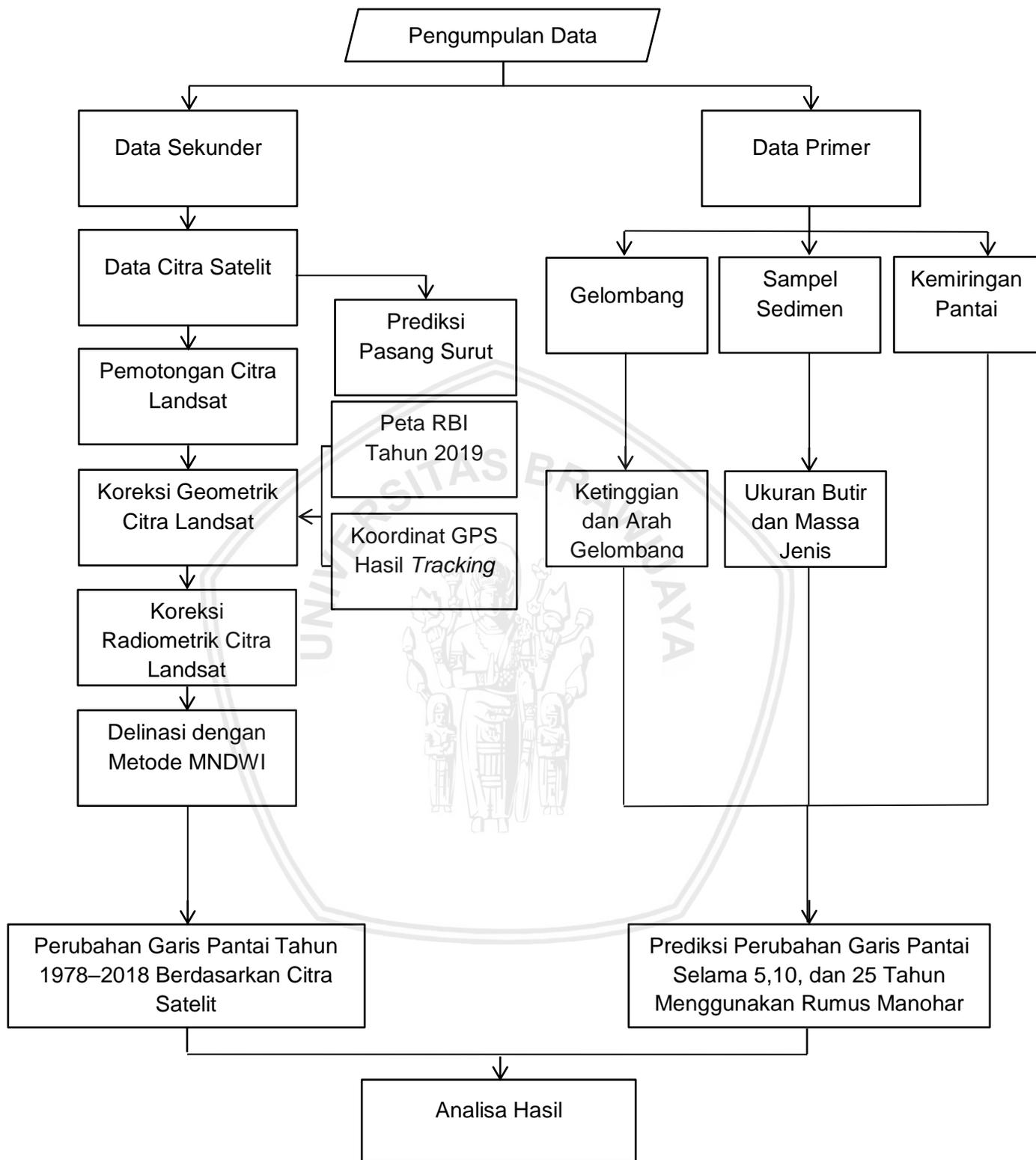
Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan perubahan garis pantai baik dari citra satelit dan data lapang. Hasil perubahan garis pantai menggunakan citra satelit Landsat 3 MSS, Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI. Sedangkan, hasil prediksi perubahan garis pantai dari data lapang menggunakan analisis rumus Manohar yang diperoleh dengan memperhitungkan sifat sedimen. Perbandingan hasil perubahan garis pantai dianalisis dan mendeskripsikan kondisi lapangan dari

pengolahan data. Dan mengetahui perbandingan antara dua hasil perubahan garis pantai serta fenomena yang mempengaruhi.

3.7 Alur Penelitian

Alur penelitian secara singkat dijelaskan pada diagram alir di Gambar 6. pengumpulan data berupa data citra satelit, data kemiringan pantai, data hidrooseanografi, dan sampel sedimen akan menghasilkan peta perubahan garis pantai dan prediksi perubahan garis pantai. Kemudian dilakukan analisis perubahan garis pantai di wilayah Pulau Tonduk, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur.





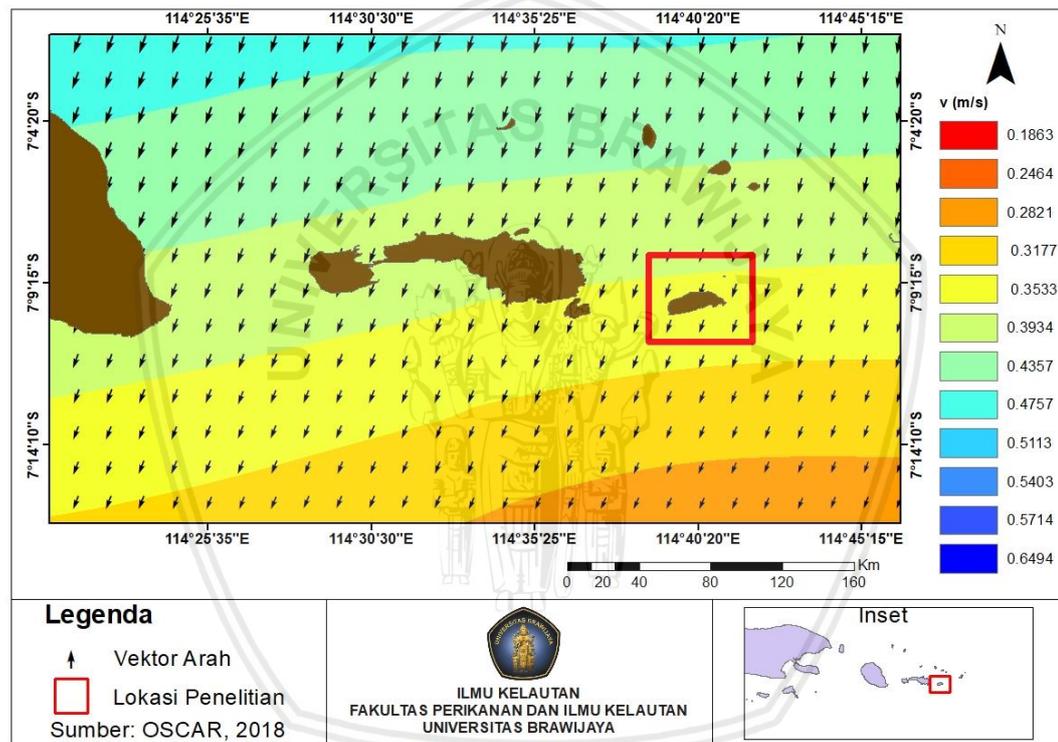
Gambar 6. Alur Penelitian Analisis Perubahan Garis Pantai

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

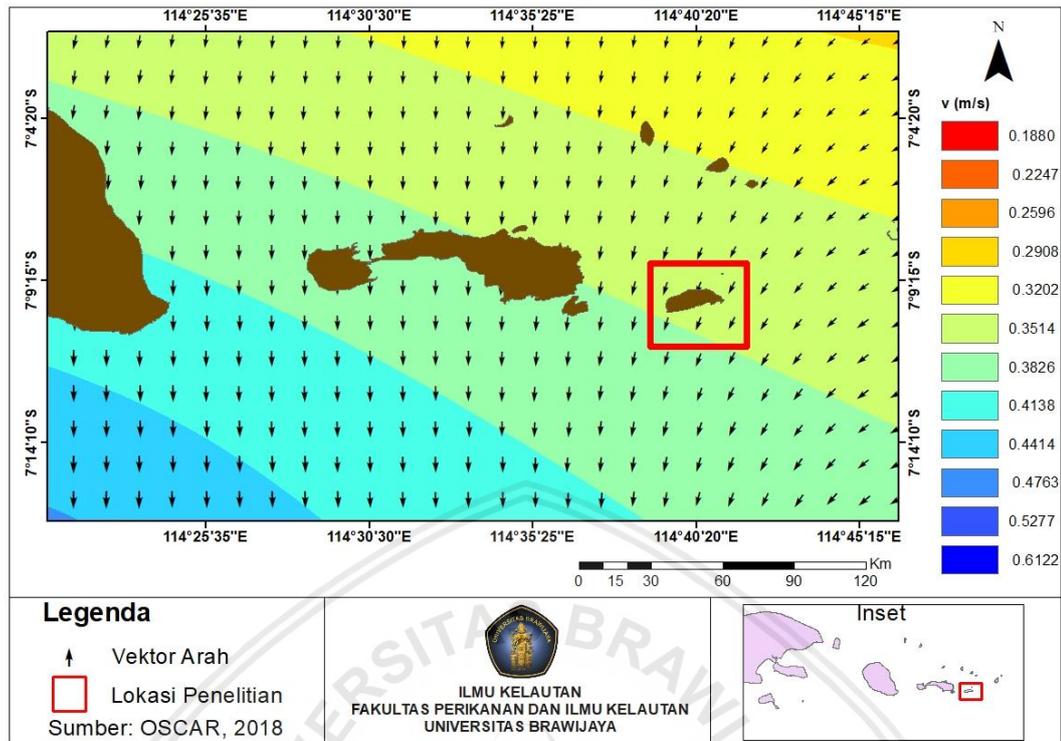
4.1 Kondisi Hidrooseanografi

4.1.1 Arus

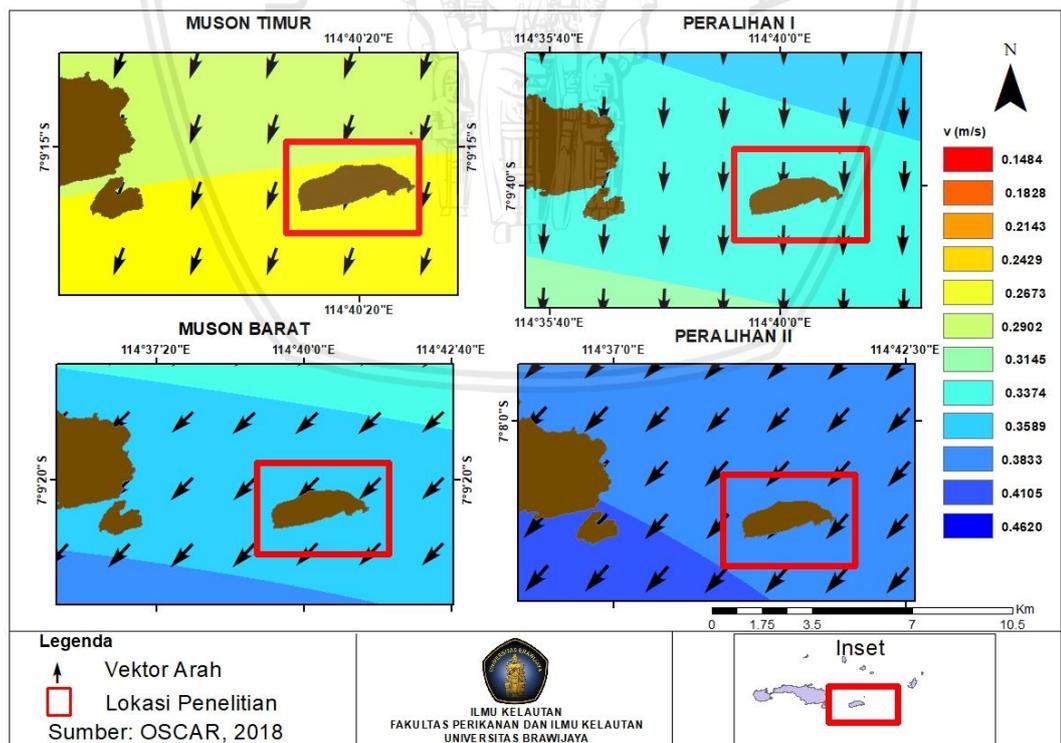
Hasil pengolahan data menggunakan data sekunder yang diperoleh dari PODAAC terdiri dari data kecepatan dan arah arus rata-rata tahun 2018 (Gambar 7), bulan Mei 2018 (Gambar 8), dan berdasarkan musim (Gambar 9).



Gambar 7. Peta Kecepatan dan Arah Arus Rata-Rata Tahun 2018 Perairan Pulau Tondok, Madura, Jawa Timur

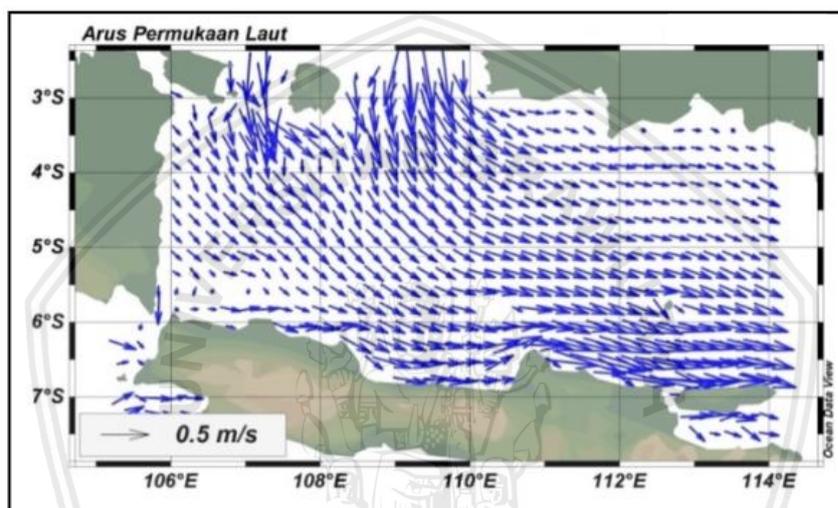


Gambar 8. Peta Kecepatan dan Arah Arus Bulan Mei 2018 (Musim Peralihan I) Perairan Pulau Tonduk, Madura, Jawa Timur



Gambar 9. Peta Kecepatan dan Arah Arus Berdasarkan Musim Perairan Pulau Tonduk, Madura, Jawa Timur

Hasil data arus perairan Pulau Tondok antara lain arus rata-rata tahun 2018 (Gambar 7) memiliki kecepatan arus sekitar 0.35–0.39 m/s. Arus bulan Mei 2018 (Gambar 8) memiliki kecepatan arus sekitar 0.35–0.38 m/s. Arus berdasarkan musim pada tahun 2018 (Gambar 9) pada musim peralihan I serupa dengan pengambilan data lapangan menunjukkan hasil kecepatan arus sekitar 0.34–0.36 m/s. Berdasarkan hasil peta kecepatan dan arah arus, disimpulkan arah arus dominan yaitu utara menuju ke arah selatan pada musim barat.



Gambar 10. Sebaran Arus Permukaan Selat Madura (Sumber Febriyanti *et al.*, 2017)

Total transpor sedimen sepanjang pantai disebabkan oleh gelombang pecah dan arus. Sebaran material tersuspensi oleh arus dan gelombang menjadi indikator terjadi erosi, fenomena *upwelling* maupun *runoff* sungai (Dwi, 2015). Penelitian yang dilaksanakan mendapatkan pengaruh besar dari arus yang berada pada Selat Madura. Arus pada daerah perairan selat lebih kuat disebabkan oleh perbedaan tekanan antara ujung-ujung perairan selat (Fajar *et al.*, 2014). Besar massa air mengalir melewati selat berasal dari perairan berbeda yaitu pada sisi barat daya (Laut Jawa) dan sisi timur (Selat Bali). Massa air yang mengalir dari perairan yang lebar mempunyai volume yang besar dan mengalami percepatan seiring penyempitan yang dialami.

Perairan Indonesia dipengaruhi oleh angin monsoon yaitu musim timur (Juni–Juli-Agustus) dan musim barat (Desember-Januari-Februari). Ketika musim timur, angin bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia dan sebaliknya pada musim barat (Pamungkas, 2018). Pengaruh angin monsoon mempengaruhi perairan Pulau Tondok yang terletak antara Selat Madura dan Laut Jawa serta menjadi aliran angin monsoon. Pola arus permukaan di Pulau Tondok (Gambar 9) menunjukkan arah arus pada musim timur, musim peralihan I, musim barat, dan peralihan II. Pada musim timur, peralihan I, musim barat, dan peralihan II arus bergerak dominan dari arah utara menuju selatan. Arus ini menyusuri pesisir utara Pulau Tondok kemudian bergerak ke arah selatan menuju Laut Jawa. Kecepatan arus berbeda dari tiap musim yaitu berkisar 0.27 m/s pada musim timur, 0.34 m/s pada musim peralihan I dan musim barat, dan 0.38 m/s pada peralihan II. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa arah arus di Perairan Pulau Tondok sama dengan arah angin monsoon (barat dan timur), sedangkan kecepatan arus lebih besar pada saat musim barat dibandingkan musim timur.

4.1.2 Pasang Surut

Pasang surut berkaitan dengan perubahan garis pantai, yaitu merubah batas darat dan perairan yang digunakan sebagai data garis pantai. Data garis pantai yang bersumber dari citra satelit dilakukan prediksi untuk mengetahui kondisi pasang surut pada waktu tersebut (Yunita, 2018).

Tinggi muka air laut mempengaruhi terjadinya perubahan garis pantai dan digunakan untuk mengetahui posisi garis air tertinggi dan garis air terendah. Pasang surut yang terlalu tinggi menyebabkan air akan masuk ke daratan relatif jauh sehingga daerah luapan air menjadi sangat luas dan mempengaruhi perubahan garis pantai (Cahyono *et al.*, 2017).

Hasil prediksi pasang surut pada citra Landsat dapat dilihat pada Tabel 7. Data citra yang mengalami kondisi surut adalah tahun 1978, 1989, 1997, 2008, dan 2018. Prediksi pasang surut pada citra Landsat yang digunakan sebaiknya berada pada kondisi pasang surut yang sama, untuk menghasilkan data yang lebih akurat.

Tabel 7. Prediksi Pasang Surut Data Citra Landsat

Citra Satelit	Tanggal	Waktu Akuasi		Kondisi Pasang Surut	Kedalaman (m)
		UTC	WIB		
Landsat 3	12/09/1978	01:47:28	08:47:28	Surut	-0.611
Landsat 4	06/04/1989	02:02:42	09:02:42	Surut	-0.572
Landsat 5	27/09/1997	02:02:20	09:02:20	Surut	-0.481
Landsat 7	17/09/2008	02:18:28	09:18:28	Surut	-0.221
Landsat 8	07/10/2018	02:29:22	09:29:22	Surut	-0.678

4.1.3 Gelombang

Hasil pengukuran tinggi, periode, dan arah gelombang dapat diketahui nilai gelombang tertinggi adalah 0.12 meter sedangkan nilai tinggi gelombang terendah adalah 0.05 meter. Setiap stasiun memiliki nilai gelombang dan arah yang berbeda berdasarkan profil pantai di tiap stasiunnya.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Data Gelombang Lapangan

Area	Stasiun	Tinggi (meter)	Periode (s)	Arah	Hb (meter)	Db (meter)
A	1	0.07	2.61	120°	0.05	0.08
	2	0.02	2.69	130°		
B	3	0.02	3.05	138°	0.07	0.11
	4	0.11	2.77	140°		
C	5	0.11	2.95	318°	0.12	0.18
	6	0.14	2.86	320°		
D	7	0.10	2.57	317°	0.1	0.15



Gelombang merambat ke segala arah membawa energi yang kemudian akan dilepaskan ke pantai dalam bentuk hampasan ombak. Sudut datang gelombang akan mempengaruhi nilai arus sejajar pantai. Sedimen yang terdapat pada dasar berpindah sepanjang pantai dan terendapkan pada daerah dengan kecepatan arus yang tidak dapat memindahkan sedimen (Dwinanto *et al.*, 2017).

4.1.4 Kemiringan Pantai

Data kemiringan (Y) didapatkan dari hasil bagi antara nilai kedalaman perairan dengan jarak dari pantai ke daerah yang diukur. Pengukuran kemiringan dilakukan pada tanggal 8 dan 9 Mei 2018. Bersamaan dengan *tracking* garis pantai yang dilakukan saat kondisi perairan mengalami surut, hal ini dilakukan agar dapat diketahui batas antara daratan dan lautan.

Topografi pantai memberikan pengaruh terhadap perubahan garis pantai menyebabkan terjadinya abrasi atau akresi. Pantai yang memiliki kemiringan atau topografi yang landai dapat menyebabkan terjadi abrasi. Kondisi yang landai menyebabkan material-material yang ada disekitar daerah akan terbawa ke laut oleh arus (Arpakul *et al.*, 2017).

Pengukuran kemiringan pantai dilakukan pada sembilan titik yang telah ditentukan. Data kemiringan pantai digunakan untuk menghitung nilai tinggi gelombang pecah (H_b) dan kedalaman gelombang pecah (db). Berdasarkan hasil perhitungan (Tabel 9), diketahui bahwa Pantai Tonduk memiliki kemiringan yang sangat landai.

Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Kemiringan Pantai

Area	X (meter)	Y (meter)	α (meter)	Per Area (meter)
A	5	0.4	1 : 12.5	1 : 11.36
	10	0.42	1 : 23.81	
	15	0.51	1 : 29.41	
	5	0.68	1 : 7.35	
	10	0.88	1 : 11.36	
	15	0.93	1 : 16.13	
B	5	0.51	1 : 9.80	1 : 13.16
	10	0.76	1 : 13.16	
	15	0.98	1 : 15.31	
	5	0.57	1 : 8.77	
	10	0.7	1 : 14.29	
	15	0.8	1 : 18.75	
C	5	0.4	1 : 12.5	1 : 14.29
	10	0.5	1 : 20	
	15	0.7	1 : 21.43	
	5	0.5	1 : 10	
	10	0.7	1 : 14.29	
	15	1	1 : 15	
D	5	0.45	1 : 11.11	1 : 15.63
	10	0.64	1 : 15.63	
	15	0.7	1 : 21.43	

4.1.5 Sedimen

Penelitian ini menggunakan analisis ukuran butir sedimen untuk mendapatkan karakteristik dan massa jenis sedimen yang akan dimasukkan ke rumus Manohar.

4.1.5.1 Ukuran Butir Sedimen

Hasil pengukuran butir sedimen pada masing-masing stasiun yaitu stasiun sedimen 1–7 disajikan dalam bentuk tabel persentase partikel penyusun sedimen tiap stasiun terdapat pada Lampiran 1.

Tabel 10. Persentase Ukuran Butir Sedimen

Jenis Partikel	Nilai Rata – Rata (%)						
	Area A		Area B		Area C		Area D
	1	2	3	4	5	6	7
Kerikil	0.12	0.12	0.12	0	0.39	0	0
Pasir Sangat Kasar	2.77	4.6	1.48	0.24	7.54	0.65	5.64
Pasir Kasar	55.71	78.85	34.11	8.46	49.16	58.72	68.71
Pasir Sedang	15.4	15.42	17.18	86.77	19.51	34.12	14.49
Pasir Halus	19.13	0.62	5.81	4.29	14.96	5.6	7.95
Pasir Sangat Halus	6.97	0.124	0.12	0.25	8.06	0.91	3.21
Lanau	0	0	0.12	0	0.13	0	0

Pada Tabel 10 jenis sedimen yang mendominasi di tiap area memiliki hasil yang berbeda. Hasil pada area A yang diwakilkan oleh stasiun 1 dan 2 didominasi oleh sedimen jenis Pasir Kasar dengan persentase 55.71% dan 78.85%. Area B yang diwakilkan oleh stasiun 3 dan 4 didominasi oleh sedimen jenis pasir, yaitu pada stasiun 3 jenis sedimen Pasir Kasar dengan persentase 34.11%, sedangkan stasiun 4 jenis sedimen Pasir Sedang dengan persentase 86.77%. Area C yang diwakilkan oleh stasiun 5 dan 6 didominasi oleh sedimen jenis Pasir Kasar dengan persentase 49.16% dan 58.72%. Area D yang diwakilkan oleh stasiun 7 didominasi oleh sedimen jenis Pasir Kasar dengan persentase 68.71%.

Partikel sedimen ditentukan oleh partikel-partikel sedimen dan kecepatan tenggelam sedimen tersebut. Daerah yang berada di dekat dengan daratan yang sedikit mendapatkan pengaruh faktor oseanografinya diduga nilai laju sedimen yang ada semakin tinggi karena faktor dari darat yang terletak pada daerah yang memiliki vegetasi (Febriyanti *et al.*, 2017).

Jenis karakteristik dari sedimen mempengaruhi terbentuknya atau perubahan pada garis pantai. Pergerakan massa air merupakan proses pemindahan komponen partikel sedimen. Energi transport tertentu akan mengendapkan pasir di daerah muara sungai dan pantai. Lanau dan lempung

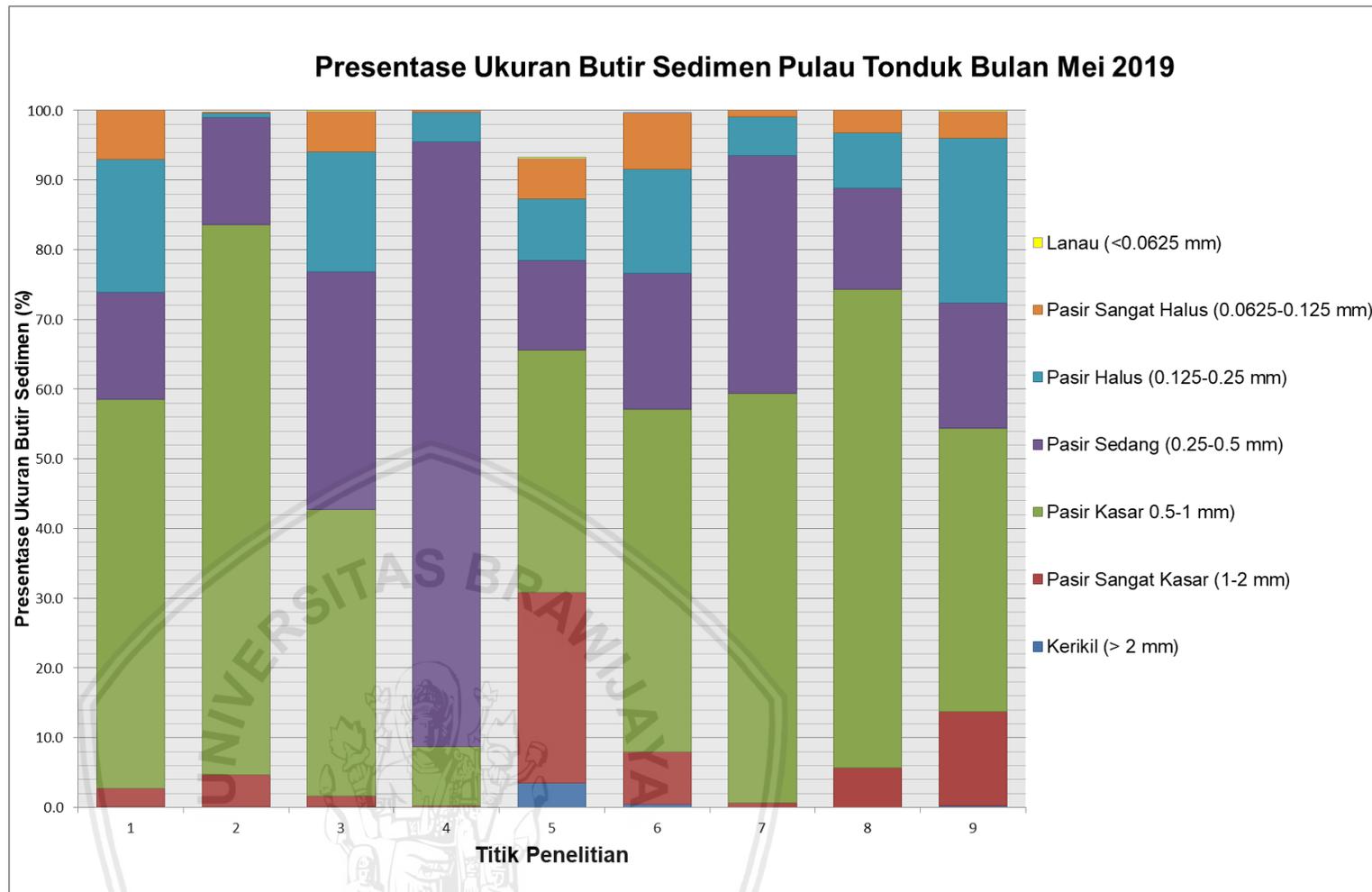
yang mempunyai ukuran lebih kecil akan terendapkan lebih jauh ke laut (Setiady dan Darlan, 2012).

4.1.5.2 Massa Jenis Sedimen

Nilai massa jenis sedimen dilihat pada hasil Tabel 11 yaitu terdiri dari stasiun 1–7, dan disajikan dalam bentuk tabel tiap stasiun terdapat pada Lampiran 2. Hasil pada Area A yang diwakilkan oleh stasiun 1 dan 2 memiliki rata-rata massa jenis sebesar 3 gr/cm^3 . Area B yang diwakilkan oleh stasiun 3 dan 4 memiliki rata-rata massa jenis sebesar 2.69 gr/cm^3 . Area C yang diwakilkan oleh stasiun 5 dan 6 memiliki rata-rata massa jenis sebesar 2.87 gr/cm^3 . Area D yang diwakilkan oleh stasiun 7 memiliki nilai massa jenis sebesar 3.32 gr/cm^3 .

Tabel 11. Massa Jenis Sedimen

Area	Stasiun	Massa Jenis (gr/cm^3)
A	1	2.91
	2	3.09
B	3	3.06
	4	2.31
C	5	2.65
	6	3.08
D	7	3.32



Gambar 11. Presentase Ukuran Butir Sedimen

4.1.6 Kondisi Hidrooseanografi Mempengaruhi Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai dipengaruhi oleh faktor alami dan antropogenik. Faktor alami hal ini yaitu faktor hidrooseanografi seperti gelombang, arus, dan pasang surut. Kecepatan dan arah arus sangat mempengaruhi besarnya sedimen yang terbawa dan besarnya angkutan sedimen yang berpindah. Jenis partikel sedimen Pulau Tondok adalah Pasir yang memiliki ukuran butir sedimen sekitar 0.5-1 mm untuk pasir kasar dan 0.25-0.5 mm untuk pasir sedang. (Bayu, 2018) menambahkan jenis ukuran butir sedimen dan keseragaman sedimen berdasarkan arus yang bergerak disekitar kawasan. Kawasan terabrasi memiliki jenis sedimen penyusunnya pasir dan lumpur dengan keadaan arus yang tidak stabil. Garis pantai yang mengalami akresi memiliki jenis sedimen penyusunnya berukuran besar yaitu pasir, kerikil, dan tidak terdapat fraksi lumpur dengan keadaan arus yang tidak stabil.

Pada tahun 2008 sampai 2018 dimana perubahan garis pantai tersebut akibat penggunaan pasir pada pantai sebagai material pembangunan oleh warga sekitar. Peristiwa tersebut merupakan faktor antropogenik paling dominan hingga saat ini. Arpakul *et.al* (2017) menambahkan kegiatan penambangan atau pengerukan pasir menjadi penyebab terjadinya kerusakan dan perubahan garis pantai oleh kegiatan manusia (antropogenik). Pengambilan alih fungsi lahan pelindung pantai dan pembangunan di kawasan pesisir tidak sesuai dengan kaidah yang berlaku.

4.2 Perubahan Garis Pantai

Hasil deteksi perubahan garis pantai menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* menggunakan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk mendapatkan nilai jarak perubahan garis pantai dan metode *End Point Rate* (EPR) untuk mendapatkan nilai laju perubahan garis pantai. *Baseline* merupakan garis acuan berupa daratan sehingga mendapatkan nilai positif (+) untuk garis pantai yang mengalami kemajuan, sedangkan nilai negatif (-) untuk garis pantai yang mengalami kemunduran. Hasil deteksi perubahan garis pantai terdiri dari 167 transek. Pembagian berdasarkan terjadinya abrasi dan akresi garis pantai pada tahun 1978, 1989, 1997, 2008, dan 2018.

4.2.1 Tahun 1978-2018

Pesisir Pulau Tonduk mengalami perubahan garis pantai dengan analisis menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) tahun 1979 hingga 2018 pada Gambar 12 dan 13. Perhitungan analisis statistik *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk mengukur total jarak antara garis pantai terlama yaitu tahun 1978 dan garis pantai terbaru yaitu tahun 2018. Jarak yang bernilai (+) menunjukkan garis pantai mengalami kemajuan sedangkan jarak yang bernilai (-) menunjukkan garis pantai mengalami kemunduran. Analisis *End Point Rate* (EPR) untuk menghitung laju perubahan garis pantai setiap tahunnya selama 40 tahun. Jarak yang bernilai (+) mengalami akresi sedangkan jarak yang bernilai (-) mengalami abrasi.

Perubahan garis pantai pada tahun 1978 hingga 2018 menggunakan metode NSM mendapatkan jarak rata-rata perubahan garis pantai yang bernilai positif (+) pada area C dan D secara berurutan sebesar 376.83 meter dan 562.65 meter. Jarak rata-rata perubahan garis pantai yang bernilai negatif (-) pada area A dan B yaitu -1042.24 meter dan -600.63 meter. Hasil tersebut menunjukkan

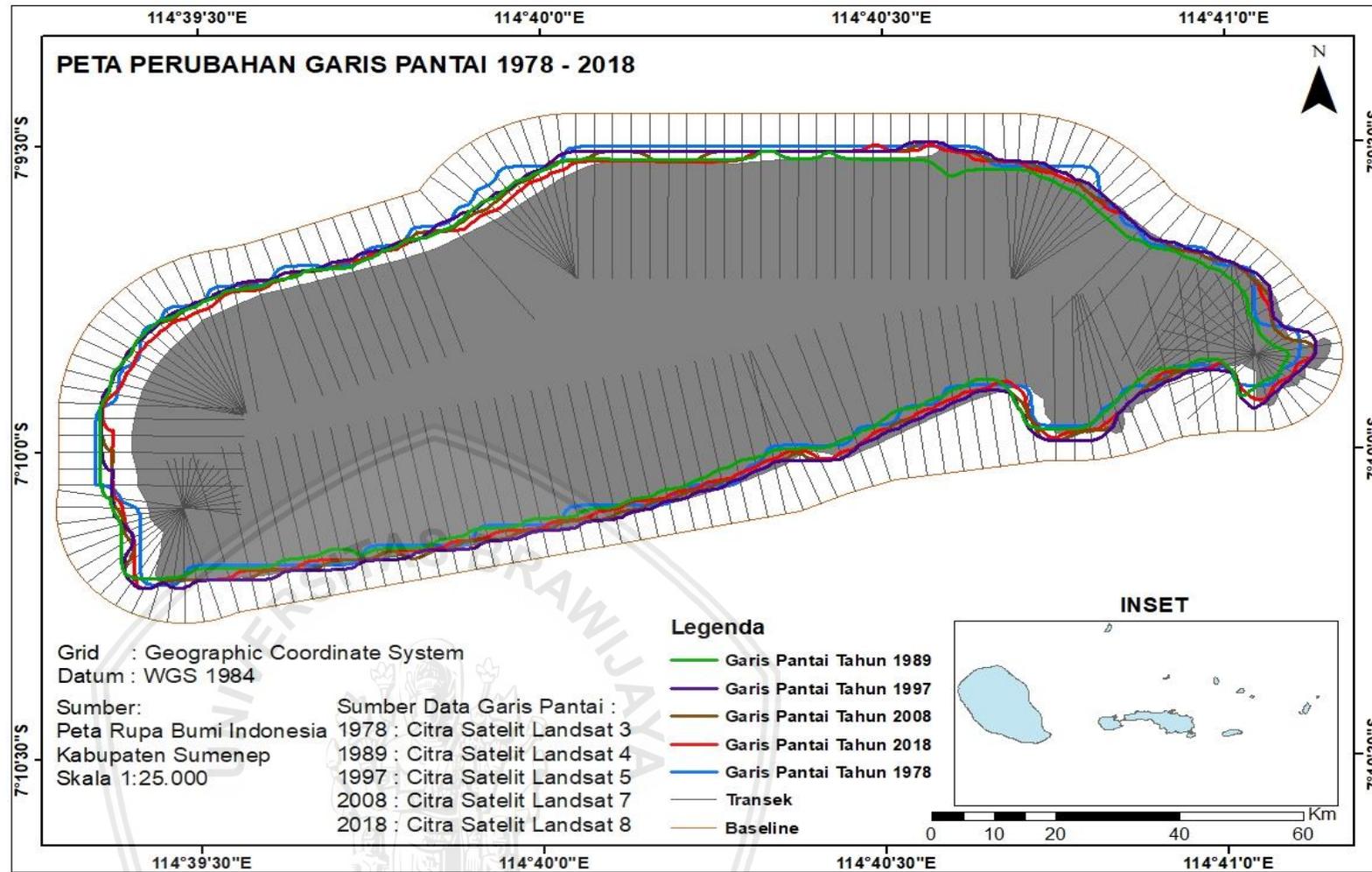
garis pantai Pulau Tondok dalam kurun waktu 40 tahun pada periode tahun 1978-2018 mengalami penambahan atau garis pantainya maju kecuali pada area A dan B garis pantainya mundur.

Laju perubahan garis pantai pada tahun 1978 hingga 2018 menggunakan metode EPR mendapatkan jarak rata-rata perubahan garis pantai yang bernilai positif (+) pada area C dan D secara berurutan sebesar 9.04 meter dan 14.03 meter. Jarak rata-rata perubahan garis pantai yang bernilai negatif (-) pada area A dan B yaitu -26.44 meter dan -14.56 meter. Hasil tersebut menunjukkan garis pantai Pulau Tondok dalam kurun waktu 40 tahun pada periode tahun 1978-2018 area D dan D dominan mengalami akresi sedangkan pada area A dan B abrasi.

Perubahan garis pantai tahun 1978-2018 memiliki perbedaan yang unik dan tidak signifikan. Hal itu didukung karena citra yang digunakan memiliki tahun dan versi yang berbeda. Perbedaan dihan dari resolusi yang dimiliki masing-masing citra. Landsat 3,4, dan 5 memiliki resolusi 80 meter, sedangkan Landsat 7 dan 8 memiliki resolusi 30 meter.



Gambar 12. Perubahan Garis Pantai Tahun 1978 – 2018 (a) Akresi di Area D (b) Abrasi di Area A



Gambar 13. Peta Perubahan Garis Pantai 1978-2018

Tabel 12. Perhitungan DSAS (NSM dan EPR)

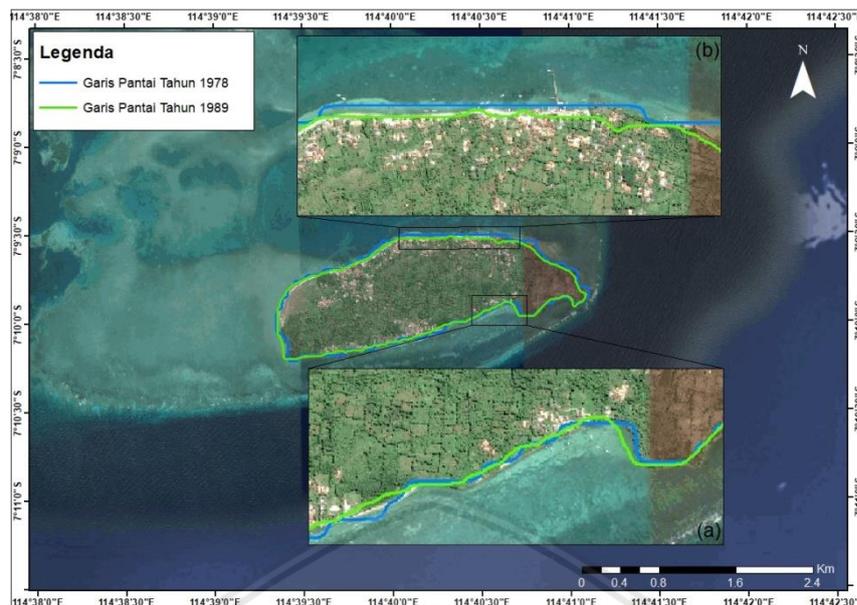
Area	Tahun	Net Shoreline Movement (meter)				End Point Rates (meter/tahun)				Keterangan
		Tertinggi	Terendah	Rata-rata		Tertinggi	Terendah	Rata-rata		
				+	-			+	-	
A	1978-1989	49.37	-51.96	250.41	-640.71	4.67	-4.92	23.7	-60.64	Abrasi
	1989-1997	32.13	-15.16	391.17	-131.36	3.79	-1.79	46.17	-15.51	Akresi
	1997-2008	31.82	-39.11	33.34	-246.44	2.9	-3.56	3.06	-22.45	Abrasi
	2008-2018	2.28	-39.24	2.28	-609.56	0.23	-3.9	0.23	-60.65	Abrasi
	1978-2018	45.05	-86.45	86.81	-1042.24	1.12	-2.16	2.56	-26.44	Abrasi
B	1978-1989	9.45	-99.45	9.45	-1017.65	0.9	-9.41	0.9	-96.27	Abrasi
	1989-1997	114.39	-5.6	851.92	-5.6	13.5	-0.66	100.54	-0.66	Akresi
	1997-2008	0.06	-30.86	1.11	-180.59	0.01	-2.81	0.11	-16.46	Abrasi
	2008-2018	30	-30.33	30	-240.33	2.98	-3.02	2.98	-23.88	Abrasi
	1978-2018	15.02	-45	30.04	-600.63	0.37	-1.12	0.37	-14.56	Abrasi
C	1978-1989	130.6	-21.69	195.48	-76.84	12.36	-2.05	18.5	-7.26	Akresi
	1989-1997	69.27	-5.66	424.94	-5.66	8.17	-0.67	50.12	-0.67	Akresi
	1997-2008	0.02	-30.34	0.02	-61.17	0.01	-2.76	0.01	-5.57	Abrasi
	2008-2018	2.95	-31.68	2.95	-123.41	0.29	-3.15	0.29	-12.27	Abrasi
	1978-2018	105.94	-15.14	376.83	-15.14	2.64	-0.38	9.4	-0.38	Akresi
D	1978-1989	40.24	-82.17	208.73	-551.4	3.81	-7.78	19.73	-52.15	Abrasi
	1989-1997	66.93	-5.71	1343.66	-5.71	7.9	-0.67	158.47	-0.67	Akresi
	1997-2008	30.55	-32.49	30.55	-411.12	2.78	-2.96	2.78	-37.47	Abrasi
	2008-2018	19.83	-30.61	19.83	-292.55	1.97	-3.05	1.97	-29.11	Abrasi
	1978-2018	47.16	-45.9	562.65	-248.9	1.18	-1.15	14.03	-6.19	Akresi

4.2.2 Tahun 1978-1989

Perubahan garis pantai pada tahun 1978 hingga 1989 menunjukkan akresi terbesar terjadi pada transek 108–119 yang terletak pada area C (Gambar 14). Nilai rata-rata jarak akresi sebesar 195.48 meter dan rata-rata laju akresi sebesar 18.5 ditunjukkan pada Tabel 12. Area B menunjukkan abrasi terbesar pada transek 42-67 meter. Nilai rata-rata jarak abrasi sebesar -1017.65 meter dan rata-rata laju abrasi sebesar -96.27 meter. Perubahan garis pantai area A, B, dan D tahun 1978-1989 mengalami abrasi sedangkan area C mengalami akresi.

Pada kurun waktu 1978 sampai 1989 mengalami akresi dan abrasi. Perubahan signifikan dapat diakibatkan oleh perbedaan sensor satelit Landsat. Garis pantai 1978 menggunakan sensor citra MSS sedangkan 1989 menggunakan sensor citra satelit TM. (Dwi *et al.* 2014), menambahkan analisis garis pantai diperlukan beberapa citra temporal yaitu beberapa citra dengan waktu yang berbeda dan jarak waktu yang signifikan. Perubahan garis pantai, diperlukan citra komposit hasil olahan penutupan lahan dengan memperlihatkan perbedaan antara darat dan laut dengan karakteristik pengkelasan berdasarkan nilai piksel. Analisis perbedaan citra multitemporal, dapat ditentukan ada tidaknya perubahan garis pantai.

Perubahan garis pantai tahun 1978-1989 memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal itu didukung karena citra yang digunakan memiliki nilai resolusi yang sama. Tahun 1978 menggunakan citra Landsat 3 yang memiliki resolusi 80 meter, sedangkan Tahun 1989 menggunakan citra Landsat 4 yang memiliki resolusi 30 meter.



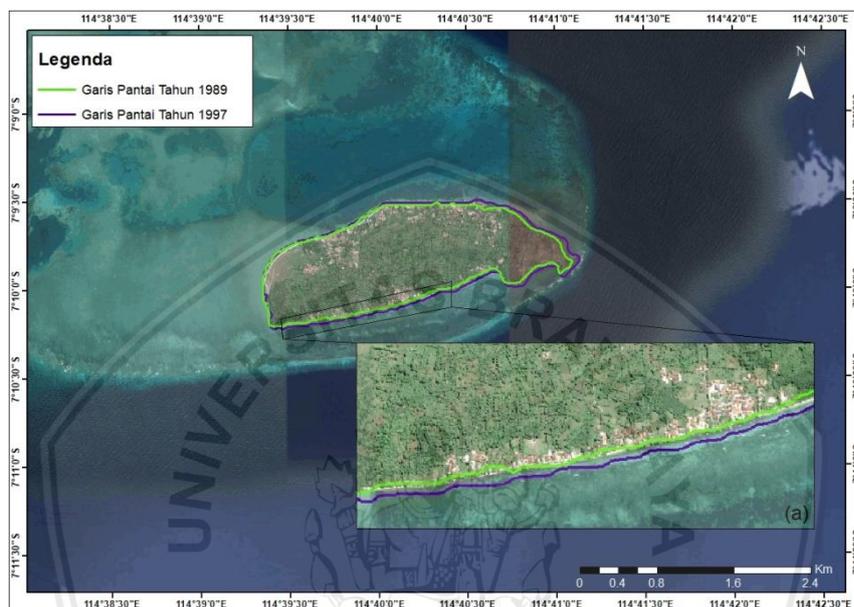
Gambar 14. Perubahan Garis Pantai Tahun 1978-1989 (a) Akresi di Area C (b) Abrasi di Area B

4.2.3 Tahun 1989-1997

Perubahan garis pantai pada tahun 1989 hingga 1997 menunjukkan akresi terbesar terjadi pada transek 120–156 yang terletak pada area D (Gambar 15). Nilai rata-rata jarak akresi sebesar 1343.66 meter dan rata-rata laju akresi sebesar 158.47 meter ditunjukkan pada Tabel 12. Perubahan garis pantai area A, B, C, dan D tahun 1989-1997 mengalami akresi.

Pada kurun waktu 1989 sampai 1997 mengalami akresi pada tiap area yang diteliti. Perubahan yang paling dominan yaitu terjadinya akresi dibandingkan abrasi. Area D merupakan pantai yang memiliki tipe yaitu pasir dan terdapat kapal yang berhenti di dekat pantai. (Setiady dan Darlan, 2012) menambahkan pantai bertebing mempunyai morfologi gelombang dan batuan keras yang masif yaitu batuan intrusi, batu pasir, dan konglomeratan. Perubahan garis pantai berpasir mendapatkan pasokan pasir dari sedimen yang dibawa oleh gelombang dan arus.

Perubahan garis pantai tahun 1989-1997 memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal itu didukung karena citra yang digunakan memiliki nilai resolusi yang sama. Tahun 1989 menggunakan citra Landsat 4 yang memiliki resolusi 80 meter, sedangkan Tahun 1997 menggunakan citra Landsat 5 yang memiliki resolusi 80 meter.



Gambar 15. Perubahan Garis Pantai Tahun 1989-1997 (a) Akresi di Area D

4.2.4 Tahun 1997-2008

Perubahan garis pantai pada tahun 1997 hingga 2008 menunjukkan abrasi terbesar terjadi pada transek 120–156 yang terletak pada area D (Gambar 16). Nilai rata-rata jarak abrasi sebesar -411.12 meter dan rata-rata laju abrasi sebesar -37.47 meter ditunjukkan pada Tabel 12. Perubahan garis pantai area A, B, C, dan D tahun 1997-2008 mengalami abrasi.

Pada kurun waktu 1997 sampai 2008 mengalami abrasi pada tiap area yang diteliti. Perubahan yang paling dominan yaitu terjadinya abrasi area D merupakan pantai yang memiliki tipe yaitu berpasir dan landai. Pasir pantai disepanjang garis pantai diendapkan oleh aktivitas gelombang dan arus laut. Gelombang pasang tinggi menyebabkan air masuk ke daratan relatif jauh

sehingga daerah luapan air menjadi sangat luas dan berpengaruh terhadap perubahan garis pantai. Nelayan menjadi salah satu pekerjaan utama bagi warga Pulau Tondok. Hasil observasi lapang yang dilaksanakan bahwa disekitar pesisir pantai utara dan selatan terdapat banyak kapal nelayan yang berlabuh. (Cahyono *et al.* 2017), menambahkan perubahan garis pantai di pesisir berpengaruh terhadap aktivitas dari nelayan, terutama jumlah nelayan yang beroperasi. Hal ini berdampak juga pada tempat tambatan perahu nelayan menjadi berubah-ubah.

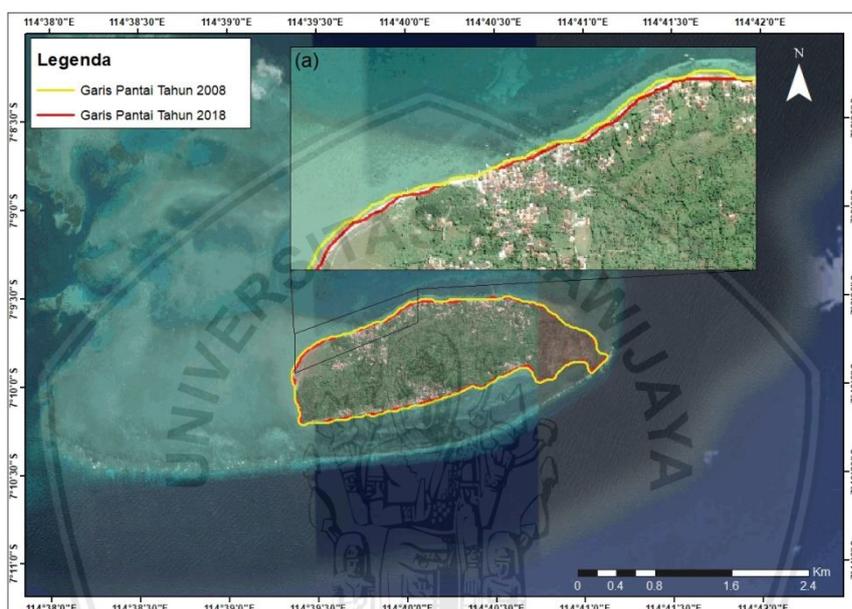
Perubahan garis pantai tahun 1997-2008 memiliki perbedaan yang unik dan tidak signifikan. Hal itu didukung karena citra yang digunakan memiliki tahun dan versi yang berbeda. Perbedaan dilihat dari resolusi yang dimiliki masing-masing citra. Tahun 1997 menggunakan citra Landsat 5 yang memiliki resolusi 80 meter, sedangkan Tahun 2008 menggunakan citra Landsat 7 yang memiliki resolusi 30 meter. Perbedaan nilai resolusi menjadi salah satu alasan yang menjelaskan adanya perubahan yang tidak signifikan.



Gambar 16. Perubahan Garis Pantai Tahun 1997-2008 (a) Abrasi di Area D

4.2.5 Tahun 2008-2018

Perubahan garis pantai pada tahun 2008 hingga 2018 menunjukkan abrasi terbesar terjadi pada transek 1–41 yang terletak pada area A (Gambar 17). Nilai rata-rata jarak abrasi sebesar -609.56 meter dan rata-rata laju abrasi sebesar -60.65 meter ditunjukkan pada Tabel 12. Perubahan garis pantai area A, B, C, dan D tahun 2008-2018 mengalami abrasi.



Gambar 17. Perubahan Garis Pantai Tahun 2008-2018 (a) Abrasi di Area A

Pada kurun waktu 1997 sampai 2008 mengalami abrasi pada tiap area yang diteliti. Perubahan yang paling dominan yaitu terjadinya abrasi area A merupakan pantai yang memiliki tipe yaitu berpasir dan landai. Proses abrasi di lokasi penelitian pemanfaatan kawasan pemukiman yang semakin banyak disekitar pantai. pembangunan pelabuhan dan pembangunan dinding pelindung pantai mempengaruhi pola pergerakan arus. Pernyataan ini sesuai dengan pendapat (Halim *et al.* 2016), menyatakan penyebab terjadinya kerusakan atau perubahan garis pantai akibat kegiatan manusia (antropogenik) yaitu pengambilan dan alih fungsi lahan menjadi pembangunan pesisir yang tidak sesuai kaidah berlaku. Kondisi ini semakin diperburuk dengan adanya informasi

dari kepala desa yang menyatakan kurangnya kesadaran warga desa yang menggunakan pasir atau untuk bahan pembangunan rumah dan lainnya. Penambangan pasir dapat memicu perubahan pola arus dan gelombang di lokasi penelitian.

Perubahan garis pantai tahun 2008-2088 memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal itu didukung karena citra yang digunakan memiliki nilai resolusi yang sama. Tahun 2008 menggunakan citra Landsat 7 yang memiliki resolusi 30 meter, sedangkan Tahun 2018 menggunakan citra Landsat 8 yang memiliki resolusi 30 meter.

4.3 Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Rumus Manohar

Penelitian ini menggunakan perhitungan numerik untuk melihat prediksi perubahan garis pantai Pulau Tonduk dalam jangka waktu 5, 10, dan 25 tahun mendatang. Perubahan garis pantai di Pulau Tonduk Madura akan dilihat per area penelitian.

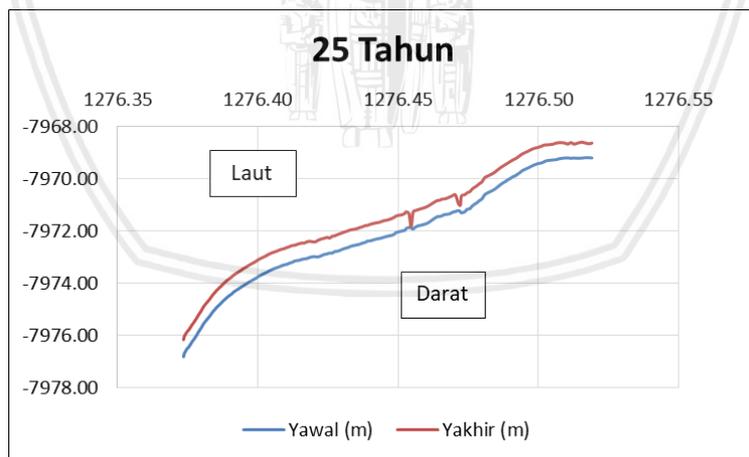
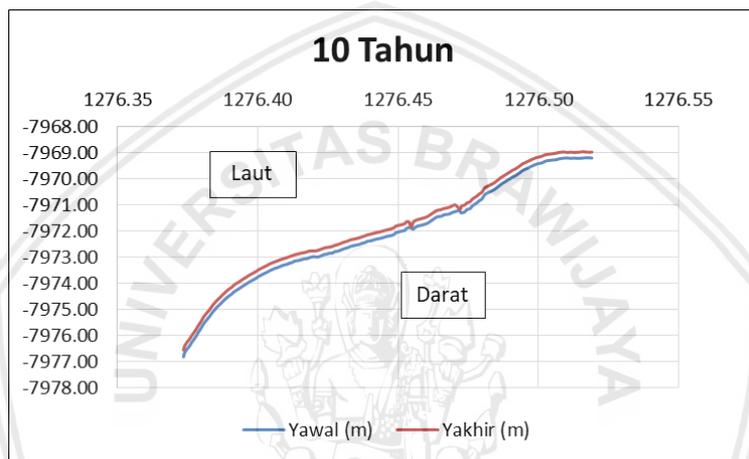
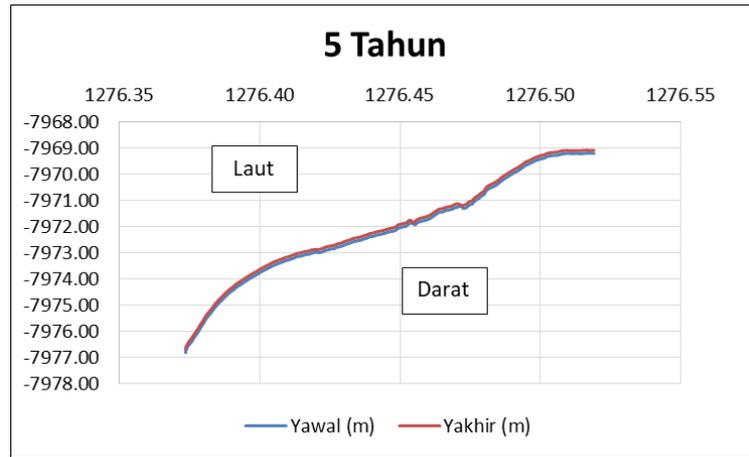
4.3.1 Area A

Prediksi perubahan garis pantai selama 5, 10, dan 25 tahun area A dapat dilihat pada Tabel 13. Area mengalami akresi atau garis pantai mengalami penambahan dan maju ke arah laut ditandai oleh tanda positif (+). Hasil perhitungan menunjukkan bertambah volume luasan perubahan garis pantai dalam jarak yang sangat kecil yaitu sebesar 0.003 meter tiap tahunnya.

Tabel 13. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area A

Tahun	1 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun
Volume angkutan sedimen (m ³ /tahun)	2.61	13.05	26.11	65.27

Grafik perhitungan numerik (Gambar 18) menunjukkan perubahan yang besar dan terlihat jelas pada grafik yang ditampilkan.



Gambar 18. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area A

Perubahan garis pantai disebabkan oleh pengaruh laut terhadap pantai (gelombang, arus, pasang, angin, bathimetri, pasokan dan jenis sedimen) dan pengaruh darat terhadap pantai yaitu morfologi (kemiringan atau topografi) dan batuan penyusun (Dwi *et al.*, 2014). (Hidayati dan Hery, 2015) menambahkan gelombang yang menjalar dari perairan lepas menuju pantai mengalami perubahan ketinggian maupun kecepatan disebabkan perubahan kedalaman perairan. Saat gelombang pecah, sedimen di dasar terangkut energi gelombang atau arus sepanjang pantai. Kemiringan pantai juga mempengaruhi gelombang pecah disepanjang pantai. Area A memiliki kemiringan paling terjal dibandingkan area lainnya di Pulau Tondok. Sehingga sedimen yang terbawa arus dapat mengendap dan menyebabkan terjadinya penumpukan sedimen.

Hasil observasi dan pengukuran kondisi pantai yaitu memiliki tipe pantai berpasir. (Hidayati, 2017) menambahkan tipe pantai dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu pantai berpasir, pantai berlumpur, dan pantai berbatu. Karakter gelombang dari sisi utara lokasi penelitian disajikan pada Tabel 13 tergolong kecil dengan tinggi gelombang antara 4-13 cm dan periode 2-3 detik.

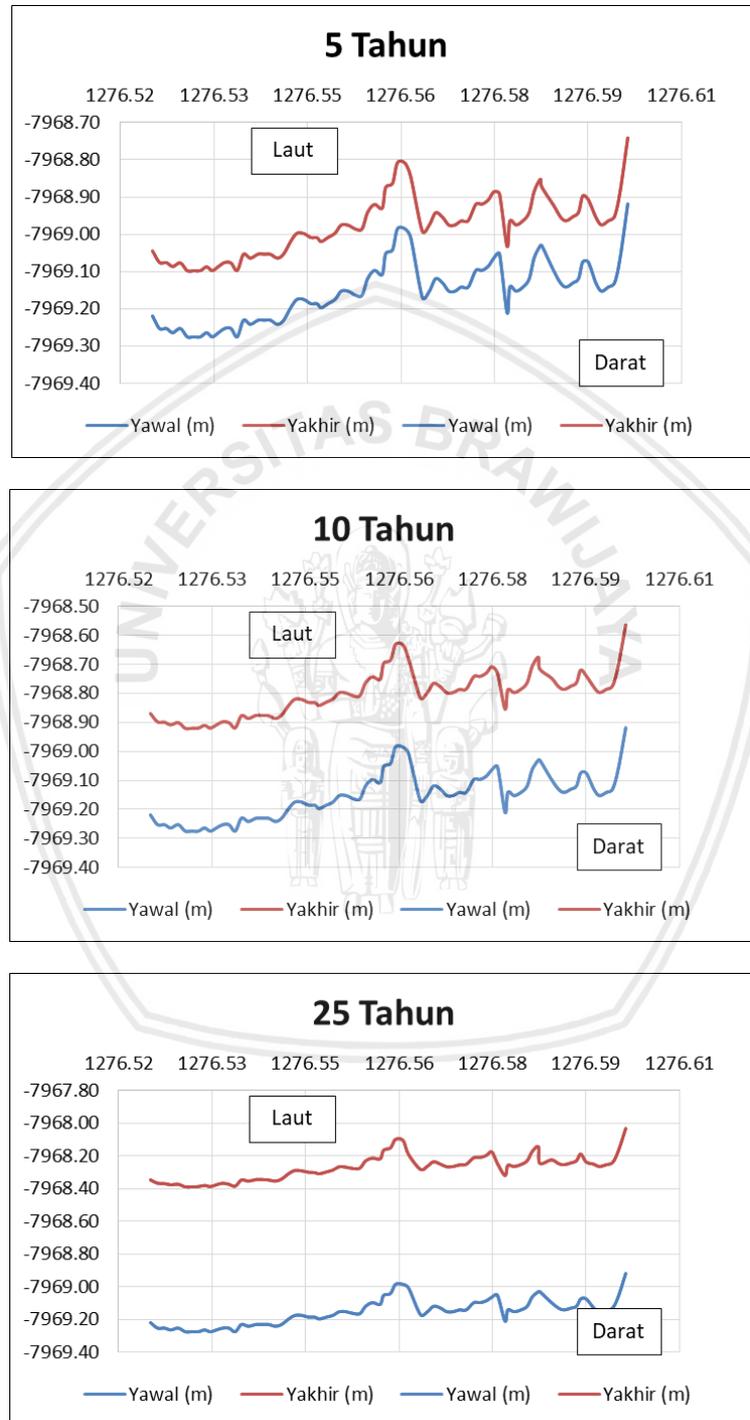
4.3.2 Area B

Prediksi perubahan garis pantai selama 5, 10, dan 25 tahun area B dapat dilihat pada Tabel 14. Area mengalami akresi atau garis pantai mengalami penambahan dan maju ke arah laut ditandai oleh tanda positif (+). Hasil perhitungan menunjukkan bertambah volume luasan perubahan garis pantai dalam jarak yang sangat kecil yaitu sebesar 0.004 meter tiap tahunnya.

Tabel 14. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area B

Tahun	1 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun
Volume angkutan sedimen (m ³ /tahun)	3.48	17.36	34.72	86.8

Grafik perhitungan numerik (Gambar 19) menunjukkan perubahan yang besar dibandingkan dengan area yang lain dan terlihat jelas pada grafik yang ditampilkan.



Gambar 19. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area B

Perubahan garis pantai pada area A dan B terletak pada bagian utara Pulau Tonduk. Kedua area memiliki kemiringan yang berbeda dengan perbedaan nilai yang kecil. Kemiringan pada area A yaitu 1:11.36 dibandingkan area B 1:13.16. Area B lebih landai dibandingkan dengan area A dan hal itu sangat berpengaruh terhadap perubahan garis pantai. (Purba dan Indra, 2004) menambahkan hantaman gelombang dengan energi yang cukup besar menyebabkan sedimen tergerus di pantai terbawa ke arah darat oleh pecahan gelombang yang naik ke muka pantai (proses *run-up*) dan melampaui puncak muka pantai (*over-top*).

Hasil observasi dan pengukuran kondisi pantai yaitu memiliki tipe pantai berpasir. Area A dan B berada pada pantai bagian utara Pulau Tonduk. Karakter gelombang dari sisi utara lokasi penelitian disajikan pada Tabel 14 tergolong kecil dengan tinggi gelombang antara 3-18 cm dan periode 2-3 detik.

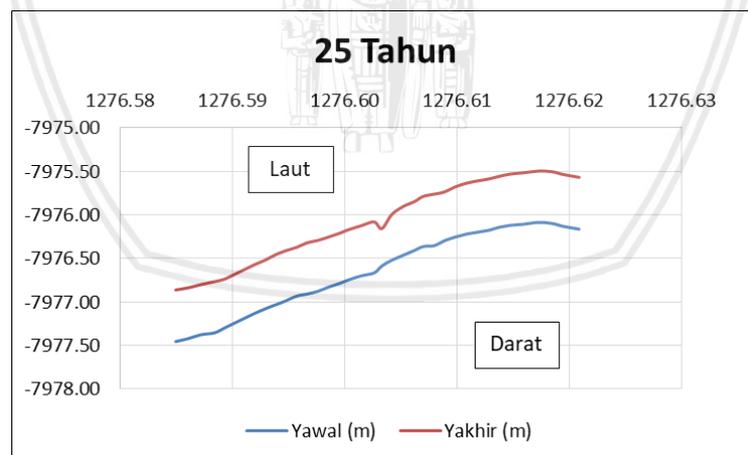
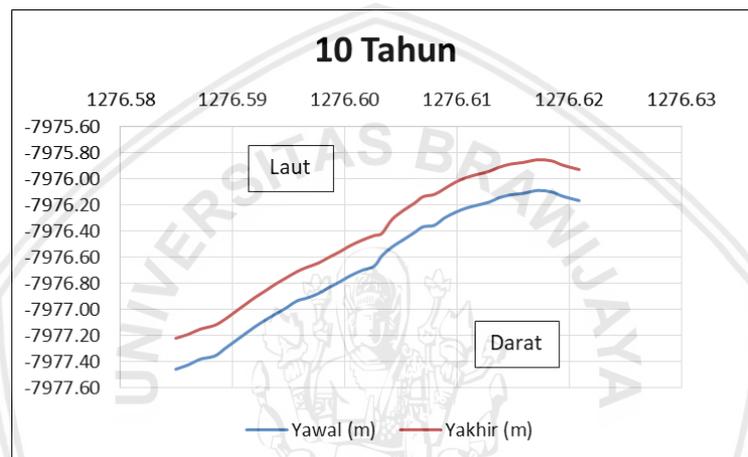
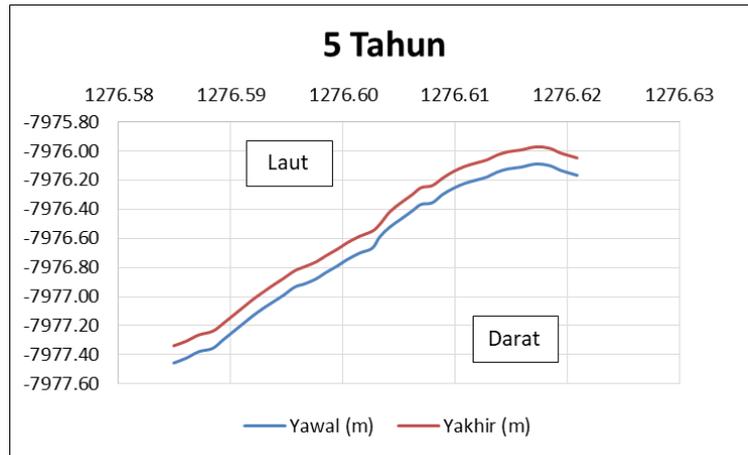
4.3.3 Area C

Prediksi perubahan garis pantai selama 5, 10, dan 25 tahun area D dapat dilihat pada Tabel 15. Area mengalami akresi atau garis pantai mengalami penambahan dan maju ke arah laut ditandai oleh tanda positif (+). Hasil perhitungan menunjukkan bertambah volume luasan perubahan garis pantai dalam jarak yang sangat kecil yaitu sebesar 0.002 meter tiap tahunnya.

Tabel 15. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area C

Tahun	1 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun
Volume angkutan sedimen (m ³ /tahun)	2.29	11.46	22.92	57.31

Grafik perhitungan numerik (Gambar 20) menunjukkan perubahan yang besar dibandingkan dengan area yang lain dan terlihat jelas pada grafik yang ditampilkan.



Gambar 20. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area C

Perubahan garis pantai bersifat semi terbuka terhadap dinamika perairan mendapat pengaruh arus, ombak, dan gelombang. Adanya perubahan garis pantai diduga disebabkan oleh perbedaan karakteristik pantai (Halim *et al.*, 2016). Area D pada penelitian berlokasi pada pantai selatan Pulau Tonduk sedangkan area A dan B pada pantai utara. Kemiringan pantai area D pantai selatan Pulau Tonduk memiliki kemiringan lebih terjal dibandingkan area E. Sehingga sedimen yang terbawa arus dapat mengendap dan terjadinya penumpukan sedimen.

Hasil observasi dan pengukuran kondisi pantai yaitu memiliki tipe pantai berpasir. Karakter gelombang dari sisi selatan lokasi penelitian disajikan pada Tabel 15 tergolong kecil dengan tinggi gelombang antara 8-20 cm dan periode 2-3 detik.

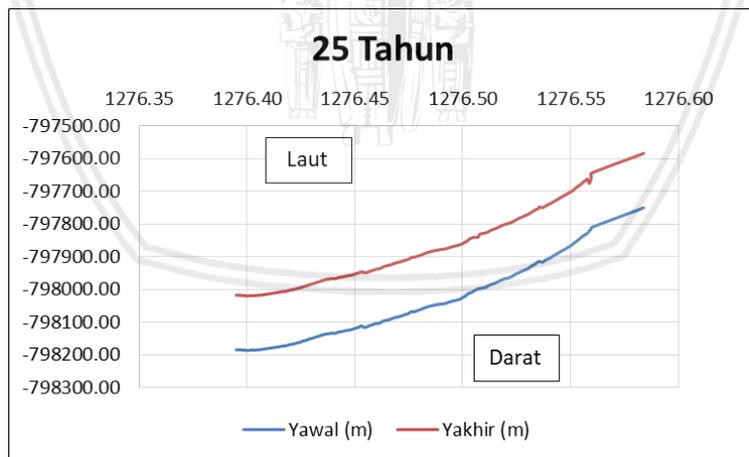
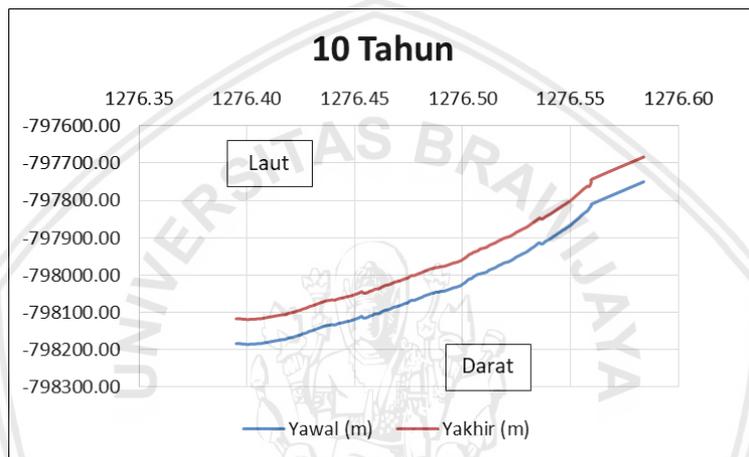
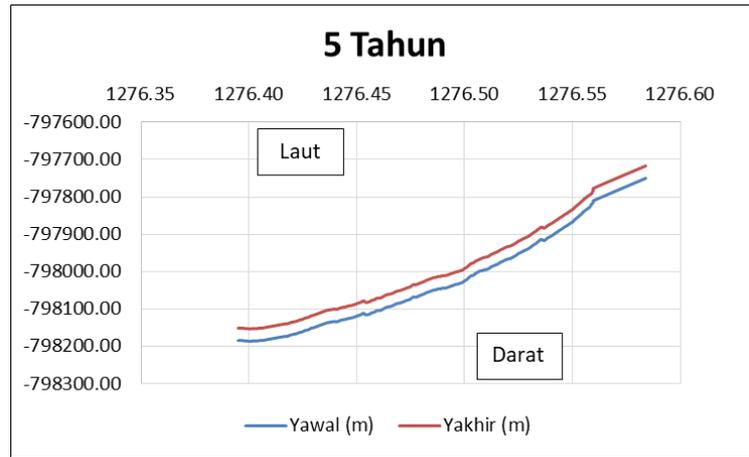
4.3.4 Area D

Prediksi perubahan garis pantai selama 5, 10, dan 25 tahun area D dapat dilihat pada Tabel 16. Area mengalami akresi atau garis pantai mengalami penambahan dan maju ke arah laut ditandai oleh tanda positif (+). Hasil perhitungan menunjukkan bertambah volume luasan perubahan garis pantai dalam jarak yang sangat kecil yaitu sebesar 0.007 meter tiap tahunnya.

Tabel 16. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area D

Tahun	1 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun
Volume angkutan sedimen (m ³ /tahun)	6.63	33.14	66.29	165.72

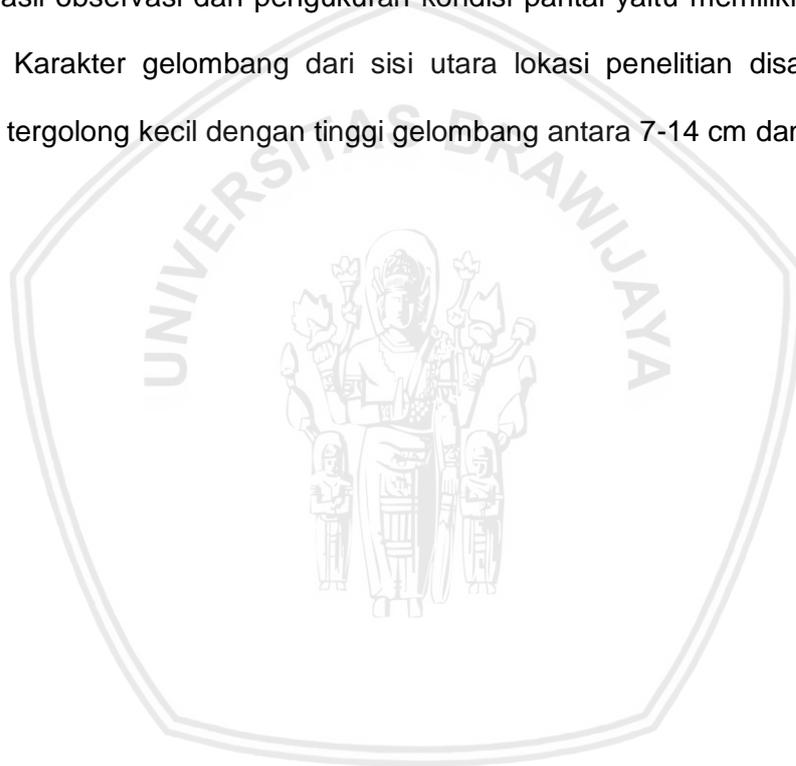
Grafik perhitungan numerik (Gambar 21) menunjukkan perubahan yang besar dan terlihat jelas pada grafik yang ditampilkan.



Gambar 21. Prediksi Perubahan Garis Pantai Area D

Perubahan garis pantai pada area D dan E terletak pada bagian selatan Pulau Tondok. Kedua area memiliki kemiringan yang berbeda dengan perbedaan nilai yang kecil. Kemiringan pada area D yaitu 1:14.29 dibandingkan area E 1:15.63. Area D lebih landai dibandingkan dengan area E dan mempengaruhi perubahan garis pantai. Karakteristik tinggi gelombang pada perairan utara dan selatan Pulau Tondok relatif serupa, terjadi peningkatan gelombang pada musim barat.

Hasil observasi dan pengukuran kondisi pantai yaitu memiliki tipe pantai berpasir. Karakter gelombang dari sisi utara lokasi penelitian disajikan pada Tabel 16 tergolong kecil dengan tinggi gelombang antara 7-14 cm dan periode 2-3 detik.



BAB V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, adapun kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut:

1. Faktor penyebab perubahan garis pantai antara lain faktor hidrooseanografi dan faktor antropogenik. Faktor hidrooseanografi yaitu gelombang, arus, sedimen, dan pasang surut sedangkan antropogenik yaitu kegiatan pengerukan pasir oleh warga desa.
2. Perubahan garis pantai kurun waktu 40 tahun yaitu 1978 sampai tahun 2018 di Pulau Tondok. Perubahan garis pantai yang didapatkan mengalami akresi dan abrasi. Akresi tertinggi terjadi di Pulau Tondok bagian selatan memiliki jarak akresi rata-rata sebesar 562.65 meter dan laju akresi rata-rata sebesar 14.03 meter/tahun. Abrasi tertinggi di Pulau Tondok bagian utara memiliki jarak abrasi rata-rata sebesar -1042.24 meter dan laju abrasi rata-rata sebesar -26.44 meter/tahun.
3. Hasil perhitungan numerik menghasilkan prediksi perubahan garis pantai 5, 10, dan 25 tahun yang akan datang. Semua area di Perairan Utara dan Selatan untuk beberapa tahun kedepan diprediksi mengalami akresi, yaitu 0.003 m/tahun di Pulau Tondok bagian Utara, 0.004 m/tahun di Pulau Tondok bagian Utara, 0.002 m/tahun di Pulau Tondok bagian Selatan dan 0.007 m/tahun di Pulau Tondok bagian selatan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan bahwa penelitian mengenai perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS masih sedikit ditemukan. Observasi lapang dilakukan lebih maksimal untuk pengambilan data agar dapat mengetahui morfologi pantai untuk mempermudah analisisnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini Nanin, dan Atriyon Julzarika. 2018. Analisis Abrasi dan Akresi Ujung Pangkah dengan menggunakan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) pada citra Landsat.
- Arief Muchlisin, Gthot Winarso, dan Teguh Prayogo. 2011. Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat di Kabupaten Kendal.
- Arpakul Rizki Kulmawapa, La Ode Alirman Afu, dan Amadhan Takwir. 2017. Studi Perubahan Garis Pantai dengan Pendekatan Penginderaan Jauh di Wilayah Pesisir Kecamatan Mawasangka Kabupaten Buton Tengah. Vol.2, No.3: 79-87.
- Arya Wisnu Gemilang, Ulung Jantama Wisna, dan Gunardi Kusumah. 2017. Distribusi Sedimen Dasar Sebagai Identifikasi Erosi Pantai Di Kecamatan Brebes Menggunakan Analisis Granulometri. Vol. 10, No.1.
- Aryastana, Putu, I Gusti Agng Putu Eryani, dan Kadek Windy Candrayana. 2016. Perubahan Garis Pantai Dengan Citra Satelit Di Kabupaten Gianyar 5, 12.
- Cahyono Hendrik, Theresia Retno Wulan, Musrifah, dan Edwin Maulana. 2017. Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Data Citra Landsat di Pesisir Kabupaten Kulonprogo.
- Christina Joseph. 2005. Studi Perubahan Garis Pantai Selatan Teluk Ambon Luar Dengan Metode Komar dan Bikjer. Vol.2, No.2: 23-28.
- Dewi Anugrah Mahatmawati, Mahfud Efendy, dan Aries Dewi Siswanto. 2009. Perbandingan Fluktuasi Muka Air Laut Rerata (MLR) di Perairan Pantai Utara Jawa Timur Dengan Perairan Pantai Selatan Jawa Timur Vol. 2, No. 1.
- Dianawati, Ratih, Langgeng Wahyu Santosa. 2016. Kajian Erosi Pantai Di Kawasan Pantai Muarareja Kota Tegal, Provinsi Jawa Tengah 10.
- Dwi Andik Muttaqin. 2015. Analisa Perubahan Garis Pantai Tanjungwidoro Menggunakan Data Citra Satelit.
- Dwi Aries Siswanto, Widi Agoes Pratiko, dan Suntoyo. 2014. Analisa Stabilitas Garis Pantai di Kabupaten Bangkalan. Vol. 15, No.4: 221-230.
- Dwinanto, Andi W, Noir P. Purba, Syawaludin A. Harahap, dan Mega L. Syamsudin. 2017. Pola Arus dan Transpor Sedimen Pada Kasus Pembentukan Tanah Timbul Pulau Puteri Kabupaten Karawang 9.
- Fachruddin Ach. Syah dan Mahfud Efendy. 2011. Studi Sumberdaya Potensial Di Wilayah Pesisir dan Lautan Kabupaten Sumenep.
- Fajar, Purwanto, dan Elis Indrayanti. 2014. Kajian Potensi Arus Laut Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Perairan Sekitar Jembatan SURAMADU Selat Madura. Vol. 3, No.3: 294-303.

- Febriyanti Leti, Pujiono Wahyu Purnomo, dan Churun A'in. 2017. Karakteristik Oseanografi dan Sedimentasi Di Perairan Tererosi Desa Bedono, Demak Pada Musim Barat.
- Halim, Halili, dan La Ode Alirman Afu. 2016. Studi Perubahan Garis Pantai Dengan Pendekatan Penginderaan Jauh Di Wilayah Pesisir Kecamatan Soropia. Vol. 1, No. 1: 24-31.
- Hariyoni, Dian Sisinggih, dan Suwanto Marsudi, S., 2013. Studi Perencanaan Bangunan Pengendalian Akresi Dan Abrasi Di Pantai Tanjungwangi Kabupaten Banyuwangi.
- Heriati Aida dan Semedi Husrin. 2017. Perubahan Garis Pantai di Pesisir Cirebon Berdasarkan Analisis Spasial.
- Hernawan Undang, dan Kris Budiono. 2016. Kajian Dinamika Pantai Selatan Banyuwangi Berdasarkan Hasil Penafsiran Citra Satelit LANDSAT TM. Vol. 6, No.1,
- Hidayati Nurin. 2017. Dinamika Pantai. UB. Press, Malang.
- Hidayati Nurin, dan Hery Setiawan Purnawali. 2015. Deteksi Perubahan Garis Pantai Pulau Gili Ketapang Kabupaten Probolinggo.
- Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., Ergul, A. 2019. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 Installation and User Guide*. 4.0 ed. USGS, United States.
- Iskandar Fauzi, M. Awaluddin, dan Bambang Darmo Yuwono. 2016. Analisa Kesesuaian Penggunaan Lahan Terhadap Rencana Tata Ruang/ Wilayah Di Kecamatan Kutoarjo Menggunakan Sistem nformasi Geografis.
- Istiqomah Farrah, Bandi Sasmito, dan Fauzi Janu Amarrohman. 2016. Pemantauan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Studi Kasus : Pesisir Kabupaten Demak.
- Ko, B. C., Kim, H. H., dan Nam, J. Y. 2015. Classification of Potential Water Bodies Using Landsat 8 OLI and a Combination of Two Boosted Random Forest Classifiers. *Sensors* 15, 13763–13777.
- Lubis, Darwin P., Mbina Pinem, dan M. Ali N. Simanjuntak. 2017. Analisis Perubahan Garis Pantai Dengan Menggunakan Citra Penginderaan Jauh (Studi Kasus Di Kecamatan Talawi Kabupaten Batubara).
- Muryani, Chatarina. 2010. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan SIG serta Dampaknya terhadap Kehidupan Masyarakat di Sekitar Muara Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan.
- Nuari Ghesta Wiratama, Muh. Ishak Jumarang, dan Muliadi. 2014. Studi Faktor Penentu Akresi dan Abrasi Pantai Akibat Gelombang Laut di Perairan Pesisir Sungai Duri Vol. V, No. 3: 138-144.

- Oktavia Kurnia Usman. 2014. Analisis Sedimentasi Pada Muara Sungai Komering Kota Palembang. Vol. 2, No. 2.
- Pahala Tumpal Tua Sinaga, dan Heni Susiati. 2007 Studi Permodelan Perubahan Garis Pantai Di Sekitar Tapak PLTN Semenanjung Muria.
- Pamungkas Aditya. 2018. Karakteristik Parameter Oseanografi (Pasang-Surut, Arus, dan Gelombang) di Perairan Utara dan Selatan Pulau Bangka. Vol. 7, No. 1:51-58.
- Parauba Ratna, M. Ihsan Jasin, dan Jeffrey D. Mamoto. 2016. Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Di Pantai Niampak Utara Vol. 4, No. 10.
- Purba Mulia dan Indra Jaya. 2004. Analisis Perubahan Garis Pantai dan Penutupan Lahan Antara Way Penet dan Way Sekampung, Kabupaten Lampung Timur.
- Rahmi Siti Prameswari, Agus Anugroho D. S., dan Azis Rifai. 2014 Kajian Dampak Perubahan Garis Pantai Terhadap Penggunaan Lahan Berdasarkan Analisa Penginderaan Jauh Satelit Di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo Jawa Timur. Vol. 3, No.2: 267-276.
- Setiady D., dan Y. Darlan. 2012. Karakteristika Pantai dalam Penentuan Asal Sedimen di Pesisir Bayah Kabupaten Lebak, Banten. Vol. 10, No.3.
- Setyandito Oki dan Joko Triyanto. 2007. Pantai Buatan dan Sekitarnya Di Takisung, Propinsi Kalimantan Selatan.
- Sukandar, Muliawati Handayani, Citra Satrya Utama Dewi, Chuldyah J. Harsindhi, Arsyil Wisuda Maulana, Supriyadi, Ali Bahroni. 2016. Profil Desa Pesisir Provinsi Jawa Timur Volume 3 (Kepulauan Madura). Bidang Kelautan, Pesisir, dan Pengawasan Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Jawa Timur.
- Surinati Dewi. 2007. Pasang Surut dan Energinya. Oseana. Vol. 22, No.1: 15-22.
- Surya, dan Tiara Tamara. 2017. Analisa Perubahan Garis Pantai ada Kawasan Pesisir Kabupaten Asahan Provinsi Sumatera Utara.
- Xu, H., 2006. Modification Of Normalised Difference Water Index (NDWI) To Enhance Open Water Features In Remotely Sensed Imagery. Int. J. Remote sens. 27, 3025–3033.
- Yunita Nena. 2018. Pemantauan Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System di Kawasan Pesisir Kabupaten Tuban Bagian Barat.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Persentase Ukuran Butir

TITIK 1				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
4	2	2	0.12	99.88
10	44	46	2.77	97.23
20	536	582	35.02	64.98
30	390	972	58.48	41.52
40	112	1084	65.22	34.78
60	144	1228	73.89	26.11
100	318	1546	93.02	6.98
200	116	1662	100.00	0.00
PAN	0	1662	100.00	0.00

TITIK 2				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
1/4	4	4	0.25	99.75
4	2	6	0.37	99.63
10	74	80	4.98	95.02
20	762	842	52.36	47.64
30	506	1348	83.83	16.17
40	130	1478	91.92	8.08
60	118	1596	99.25	0.75
100	10	1606	98.88	0.12
200	2	1608	100	0
PAN	0	1608	100	0

TITIK 3				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
4	2	2	0.12	99.88
10	24	26	1.61	98.39
20	278	304	18.79	81.21
30	388	692	42.77	57.23
40	218	910	56.24	43.76
60	334	1244	76.89	23.11
100	278	1522	94.07	5.93
200	94	1616	99.88	0.12
PAN	2	1618	100.00	0

TITIK 4				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
4	0	0	0.00	100.00
10	4	4	0.25	99.75
20	46	50	3.06	96.94
30	92	142	8.70	91.30
40	740	882	54.04	45.96
60	676	1558	95.47	4.53
100	70	1628	99.75	0.25
200	4	1632	100	0
PAN	0	1632	100	0

TITIK 5				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
½	20	20	1.32	98.68
3/8	26	46	3.04	96.96
1/4	56	102	6.75	93.25
4	52	154	10.19	89.81
10	414	568	37.57	62.43
20	350	918	60.71	39.29
30	176	1094	72.35	27.65
40	100	1194	78.97	21.03
60	94	1288	85.19	14.81
100	134	1422	94.05	5.95
200	88	1510	99.87	0.13
PAN	2	1512	100	0

TITIK 6				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
3/8	4	4	0.26	99.74
1/4	0	4	0.26	99.74
4	6	10	0.65	99.35
10	116	126	8.19	91.81
20	488	614	39.92	60.08
30	268	882	57.35	42.65
40	114	996	64.76	35.24
60	186	1182	76.85	23.15
100	230	1412	91.81	8.19
200	124	1536	99.87	0.13
PAN	2	1538	100	0

TITIK 7				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
4	0	0	0.00	100.00
10	10	10	0.65	99.35
20	290	300	19.53	80.47
30	612	912	59.38	40.63
40	290	1202	78.26	21.74
60	234	1436	93.49	6.51
100	86	1522	99.09	0.91
200	14	1536	100	0
PAN	0	1536	100	0

TITIK 8				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
4	0	0	0.00	100.00
10	88	88	5.64	94.36
20	788	876	56.15	43.85
30	284	1160	74.36	25.64
40	88	1248	80.00	20.00
60	138	1386	88.85	11.15
100	124	1510	96.79	3.21
200	50	1560	100	0
PAN	0	1560	100	0

TITIK 9				
No. Saringan	Berat tertahan saringan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	% Tertahan saringan	% Lolos saringan
4	4	4	0.26	99.74
10	208	212	13.77	86.23
20	436	648	42.08	57.92
30	190	838	54.42	45.58
40	90	928	60.26	39.74
60	186	1114	72.34	27.66
100	364	1478	95.97	4.03
200	60	1538	99.87	0.13
PAN	2	1540	100	0



Lampiran 2. Hasil Uji Massa Jenis

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 1		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	145.198	145.872	146.158
Suhu	(°C)	61	55	51
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	132.161	132.553	132.8146
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9827	0.9857	0.9876
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	2.8228	2.9507559	2.967280594
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	2.91361085		

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 2		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	145.142	145.583	145.924
Suhu	(°C)	74	63	58
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	131.31	132.0298	132.3568
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9755	0.9817	0.9842
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	3.16289	3.045542	3.059942793
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	3.08945984		

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 3		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	145.102	145.558	145.893
Suhu	(°C)	72	64	58
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	131.441	131.9644	132.3568
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9767	0.9811	0.9842
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	3.08146	3.0628746	3.04526749
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	3.063201166		



Kode Sampel	Satuan	Sedimen 4		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	143.584	143.964	144.293
Suhu	(°C)	61	56	51
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	132.161	132.4876	132.8146
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9827	0.9852	0.9876
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	2.29158	2.3116993	2.317874578
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	2.307052646		

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 5		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	145.488	146.396	146.815
Suhu	(°C)	68	58	54
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	131.703	132.3568	132.6184
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9789	0.9842	0.9862
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	3.15022	3.3022413	3.398697315
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	3.283720225		

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 6		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	144.094	145.149	145.544
Suhu	(°C)	66	56	52
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	131.834	132.4876	132.7492
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.98	0.9852	0.9872
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	2.53243	2.6849808	2.740243158
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	2.65255152		



Kode Sampel	Satuan	Sedimen 7		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	145.507	145.876	146.207
Suhu	(°C)	65	59	55
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	131.899	132.2914	132.553
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9806	0.9838	0.9857
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	3.06821	3.066995	3.106523795
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	3.080576367		

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 8		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	146.327	146.676	146.903
Suhu	(°C)	60	53	51
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	132.226	132.6838	132.8146
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9832	0.9857	0.9876
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	3.33345	3.2814008	3.341227417
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	3.318691537		

Kode Sampel	Satuan	Sedimen 9		
Kode Labu	-	A		
Berat Tanah Kering (Ws)	gram	20		
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	gram	144.63	145.019	145.302
Suhu	(°C)	65	57	53
Berat Labu Ukur + Air (W2)	gram	131.899	132.4222	132.6838
Berat Jenis Air (Gt)	gram/cm ³	0.9806	0.9848	0.9857
Berat Jenis Tanah (Gs)	gram/cm ³	2.69803	2.6604711	2.670622341
Rata-rata Berat Jenis	gram/cm ³	2.67637541		



Lampiran 3. Data Perubahan Garis Pantai DSAS

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
1		49.37	4.67	-4.33	-0.51	0.01	0	0	0	45.05	1.12
2		19.65	1.86	26.1	3.08	0.01	0	-30.51	-3.04	15.25	0.38
3		20.1	1.9	-4.5	-0.53	0.01	0	-31.22	-3.11	-15.61	-0.39
4		12.76	1.21	-15.16	-1.79	0.15	0.01	-13.9	-1.38	-16.15	-0.4
5		44.76	4.24	-2.48	-0.29	0.01	0	-33.77	-3.36	8.52	0.21
6		23.02	2.18	-2.96	-0.35	0.1	0.01	2.28	0.23	17.88	0.45
7		5.56	0.53	-8.98	-1.06	0.08	0.01	-15.85	-1.58	-19.19	-0.48
8		-13.55	-1.28	-8.03	-0.95	0.08	0.01	-30.57	-3.04	-52.07	-1.3
9		26.62	2.52	-7.08	-0.84	0.08	0.01	-39.24	-3.9	-19.62	-0.49
10		-46.2	-4.37	19.71	2.33	-26.45	-2.41	0	0	-52.94	-1.32
11	A	-10.79	-1.02	-6.4	-0.76	0.06	0.01	-34.25	-3.41	-51.38	-1.28
12		-10.28	-0.97	26.54	3.13	0.07	0.01	-32.65	-3.25	-16.32	-0.41
13		14.63	1.38	-5.88	-0.69	0.06	0.01	-31.47	-3.13	-22.66	-0.57
14		-40.33	-3.82	24.94	2.94	0.06	0.01	-30.67	-3.05	-46	-1.15
15		-9.59	-0.91	-5.69	-0.67	0.05	0	0	0	-15.23	-0.38
16		-9.83	-0.93	25.38	2.99	0.06	0.01	-31.21	-3.1	-15.6	-0.39
17		-27.69	-2.62	-5.93	-0.7	0.05	0	0	0	-33.57	-0.84
18		-41.75	-3.95	25.82	3.05	0.06	0.01	0	0	-15.87	-0.4
19		-10	-0.95	-5.93	-0.7	0.05	0	0	0	-15.88	-0.4
20		-10	-0.95	25.82	3.05	-31.7	-2.89	0	0	-15.88	-0.4
21		-10.01	-0.95	25.83	3.05	0.05	0	0	0	15.87	0.4
22	-39.29	-3.72	25.82	3.05	0.06	0.01	-31.76	-3.16	-45.17	-1.13	

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
23		-10	-0.95	-5.94	-0.7	0.06	0.01	0	0	-15.88	-0.4
24		13.29	1.26	2.53	0.3	0.06	0.01	-15.77	-1.57	0.11	0
25		-41.75	-3.95	-5.94	-0.7	31.82	2.9	-31.76	-3.16	-47.63	-1.19
26		-12.08	-1.14	31.18	3.68	-38.28	-3.49	0	0	-19.18	-0.48
27		-15.42	-1.46	-8.9	-1.05	-0.15	-0.01	0	0	-24.47	-0.61
28		-34.9	-3.3	-8.12	-0.96	-19.12	-1.74	-24.31	-2.42	-86.45	-2.16
29		-51.96	-4.92	32.13	3.79	-39.11	-3.56	-0.32	-0.03	-59.26	-1.48
30		-48.29	-4.57	-6.83	-0.81	0.07	0.01	-23.82	-2.37	-78.87	-1.97
31		-45.1	-4.27	-6.41	-0.76	0.07	0.01	-34.3	-3.41	-85.74	-2.14
32		-42.91	-4.06	25.56	3.02	-31.6	-2.88	0	0	-48.95	-1.22
33		-9.9	-0.94	-5.87	-0.69	0.05	0	-31.43	-3.13	-47.15	-1.18
34		-9.64	-0.91	24.9	2.94	0.05	0	-30.62	-3.05	-15.31	-0.38
35		20.65	1.95	24.52	2.89	-30.09	-2.74	-30.16	-3	-15.08	-0.38
36		-39.45	-3.73	24.39	2.88	-29.94	-2.73	0	0	-45	-1.12
37		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	-30	-2.98	-45	-1.12
38		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	-30	-2.98	-45	-1.12
39		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	-30	-2.98	-45	-1.12
40		-39.45	-3.73	24.4	2.88	-29.95	-2.73	0	0	-45	-1.12
41	B	-39.45	-3.73	24.4	2.88	-29.95	-2.73	0	0	-45	-1.12
42		-39.45	-3.73	24.4	2.88	-29.95	-2.73	0	0	-45	-1.12
43		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	-30	-2.98	-45	-1.12
44		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	-30	-2.98	-45	-1.12
45		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	-30	-2.98	-45	-1.12

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
46		9.45	-0.89	-5.6	-0.66	0.05	0	0	0	-15	-0.37
47		-39.45	-3.73	24.4	2.88	0.05	0	0	0	-15	-0.37
48		-39.46	-3.74	24.4	2.88	0.06	0.01	0	0	-15	-0.37
49		-39.46	-3.74	24.4	2.88	0.06	0.01	0	0	-15	-0.37
50		-39.46	-3.74	24.4	2.88	0.06	0.01	0	0	-15	-0.37
51		-39.46	-3.74	24.4	2.88	0.06	0.01	0	0	-15	-0.37
52		-39.45	-3.73	24.39	2.88	0.06	0.01	30	2.98	15	0.37
53		-39.45	-3.73	24.39	2.88	0.06	0.01	0	0	-15	-0.37
54		-39.45	-3.73	54.39	6.42	-29.94	-2.73	0	0	-15	-0.37
55		-39.45	-3.73	54.39	6.42	0.06	0.01	0	0	15	0.37
56		-99.45	-9.41	114.39	13.5	0.06	0.01	-30	-2.98	-15	-0.37
57		-69.45	-6.57	54.39	6.42	0.06	0.01	0	0	-15	-0.37
58		-69.45	-6.57	54.39	6.42	-29.94	-2.73	0	0	-45	-1.12
59		-9.46	0.9	24.42	2.88	0.06	0.01	0	0	15.02	0.37
60		-9.47	-0.9	24.43	2.88	0.06	0.01	0	0	15.02	0.37
61		-9.56	-0.9	24.67	2.91	0.05	0	-30.33	-3.02	-15.17	-0.38
62		-40.67	-3.85	56.07	6.61	-30.86	-2.81	0	0	-15.46	-0.39
63		-41.89	-3.97	25.9	3.06	0.06	0.01	0	0	-15.93	-0.4
64		-76.78	-7.27	60.14	7.09	0.06	0.01	-33.16	-3.3	-49.74	-1.24
65		-80.88	-7.66	28.41	3.35	0.06	0.01	0	0	-52.41	-1.31
66	C	-81.48	-7.71	56.23	6.63	-25.84	-2.35	0	0	-51.09	-1.28
67		-28.86	-2.73	50.79	5.99	-40.31	-3.67	0	0	-18.38	-0.46
68		-14.02	1.33	36.19	4.27	0.08	0.01	27.97	2.78	-5.72	-0.14

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
69		-47.03	-4.45	40.74	4.81	0.09	0.01	0	0	-6.2	-0.15
70		-50.21	-4.75	32.55	3.84	0.07	0.01	0	0	-17.59	-0.44
71		-12.16	-1.15	31.37	3.7	0.07	0.01	0	0	19.28	0.48
72		-37.33	-3.53	-20.43	-2.41	0.06	0.01	0	0	-16.84	-0.42
73		-44.71	-4.23	27.65	3.26	0.06	0.01	0	0	-17	-0.42
74		11.24	-1.06	31.31	3.69	-2.22	-0.2	0	0	17.85	0.45
75		-20.66	-1.96	39.52	4.66	0.07	0.01	0	0	18.93	0.47
76		-57.13	-5.41	36.77	4.34	0.07	0.01	0	0	-20.29	-0.51
77		-395.03	-37.39	415.52	49.02	-12.58	-1.15	0	0	7.91	0.2
78		-367.95	-34.83	425.19	50.16	-10.74	-0.98	-27.42	-2.73	19.08	0.48
79		8.46	0.8	335.23	39.55	-0.01	0	-361.77	-35.99	-18.09	-0.45
80		15.43	1.46	6.24	0.74	-0.01	0	0	0	21.66	0.54
81		1.67	0.16	-10.09	-1.19	0.1	0.01	0	0	-8.32	-0.21
82		0.56	0.05	-124.41	-14.68	82.62	7.53	0	0	-41.23	-1.03
83		71.54	6.77	338.41	39.92	0	0	0	0	409.95	10.23
84		-19.35	-1.83	64.44	7.6	-0.01	0	0	0	45.08	1.13
85	-	-51.28	-4.85	66.89	7.89	-0.01	0	-31.2	-3.1	-15.6	-0.39
86		4.26	0.4	39.01	4.6	-0.01	0	0	0	43.26	1.08
87		14.1	1.33	33.59	3.96	-0.08	-0.01	0	0	47.61	1.19
88		-0.48	-0.05	25.53	3.01	-0.02	0	18.58	1.85	6.45	0.16
89		-22.57	-2.14	39.1	4.61	-0.06	-0.01	-22.72	-2.26	-6.25	-0.16
90		-297.02	-28.11	343.08	40.47	-0.06	-0.01	0	0	46	1.15
91		159.52	15.1	-144.46	-17.04	29.96	2.73	0	0	45.02	1.12

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
92		39.47	3.74	275.74	32.53	-0.05	0	0	0	315.16	7.87
93		-20.7	-1.96	35.87	4.23	-0.05	0	0	0	15.12	0.38
94		9.52	0.9	5.65	0.67	-0.06	-0.01	0	0	15.11	0.38
95		-2.35	-0.22	36.45	4.3	-0.06	-0.01	-30.71	-3.06	3.33	0.08
96		-21.96	-2.08	38.05	4.49	-0.06	-0.01	0	0	16.03	0.4
97		30.12	2.85	15.33	1.81	-0.06	-0.01	0	0	45.39	1.13
98		-6.73	-0.64	22.37	2.64	-0.06	-0.01	0	0	15.58	0.39
99		29.9	2.83	46.48	5.48	-0.06	-0.01	-23.19	-2.31	53.13	1.33
100		9.5	0.9	35.78	4.22	-30.2	-2.75	0	0	15.08	0.38
101		9.45	0.89	35.61	4.2	-30.06	-2.74	0	0	15	0.37
102		9.46	0.9	35.61	4.2	-0.06	-0.01	0	0	45.01	1.12
103		130.6	12.36	-5.66	-0.67	-30.32	-2.76	0	0	105.94	2.64
104		9.54	0.9	5.66	0.67	-0.06	-0.01	-30.28	-3.01	-15.14	-0.38
105		-20.74	-1.96	35.94	4.24	-0.06	-0.01	0	0	15.14	0.38
106		-13.67	-1.29	31.81	3.75	-0.05	0	2.95	0.29	15.14	0.38
107		9.54	0.9	35.94	4.24	-0.05	0	0	0	45.43	1.13
108	D	-20.74	-1.96	35.94	4.24	-0.06	-0.01	0	0	15.14	0.38
109		9.54	0.9	35.94	4.24	-0.06	0.01	-30.28	-3.01	15.14	0.38
110		1.46	0.14	66.22	7.81	-30.34	-2.76	0	0	37.34	0.93
111		9.82	0.93	36.98	4.36	-0.05	0	-31.17	-3.1	15.58	0.39
112		14.76	1.4	32.74	3.86	0.02	0	0	0	47.48	1.18
113		-21.69	-2.05	69.27	8.17	-0.06	-0.01	-31.68	-3.15	15.84	0.4
114		10.22	0.97	38.5	4.54	-0.06	-0.01	0	0	48.66	1.21

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
115		10.22	0.97	38.49	4.54	-32.49	-2.96	0	0	16.22	0.4
116		10.03	0.95	37.78	4.46	-0.06	-0.01	-23.11	-2.3	24.64	0.61
117		9.64	0.91	36.33	4.29	-0.06	-0.01	0	0	45.91	1.15
118		-20.96	-1.98	36.32	4.28	-0.06	-0.01	0	0	15.3	0.38
119		-82.17	-7.78	66.93	7.9	-0.06	-0.01	-30.6	-3.04	-45.9	-1.15
120		-51.57	-4.88	66.93	7.9	-30.66	-2.79	0	0	-15.3	-0.38
121		-20.96	-1.98	36.32	4.28	-0.05	0	19.83	1.97	-4.52	-0.11
122		9.65	0.91	36.32	4.28	-30.66	-2.79	0	0	15.31	0.38
123		-51.56	-4.88	36.32	4.28	-0.06	-0.01	0	0	-15.3	-0.38
124		-20.97	-1.98	36.32	4.28	-30.66	-2.79	0	0	-15.31	-0.38
125		-20.97	-1.98	36.33	4.29	-0.06	-0.01	-30.61	-3.05	-15.31	-0.38
126	E	9.64	0.91	36.32	4.28	-30.66	-2.79	0	0	15.3	0.38
127		9.64	0.91	36.32	4.28	-0.06	-0.01	-30.6	-3.04	15.3	0.38
128		40.24	3.81	30.84	3.64	-25.17	-2.29	0	0	45.91	1.15
129		-20.97	-1.98	36.33	4.29	-30.66	-2.79	0	0	-15.3	-0.38
130		-20.96	-1.98	36.32	4.28	-0.06	-0.01	0	0	15.3	0.38
131		3.29	0.31	21.87	2.58	-9.86	-0.9	0	0	15.3	0.38
132		9.64	0.91	36.32	4.28	-0.05	0	-30.61	-3.05	15.3	0.38
133		9.64	0.91	36.33	4.29	-0.06	-0.01	0	0	45.91	1.15
134		-42.63	-4.04	57.99	6.84	-30.66	-2.79	0	0	-15.3	-0.38
135		-20.96	-1.98	36.32	4.28	-0.05	0	-30.61	-3.05	-15.3	-0.38
136		9.64	0.91	5.72	0.67	-0.05	0	0	0	15.31	0.38
137		9.65	0.91	-5.71	-0.67	30.55	2.78	-30.6	-3.04	15.31	0.38

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
138		9.64	0.91	36.32	4.28	-30.66	-2.79	0	0	15.3	0.38
139		9.64	0.91	36.32	4.28	-0.06	-0.01	0	0	45.9	1.15
140		-20.97	-1.98	5.72	0.67	-0.06	-0.01	0	0	-15.31	-0.38
141		-51.57	-4.88	66.93	7.9	-30.67	-2.79	0	0	-15.31	-0.38
142		-20.97	-1.98	36.33	4.29	-6.06	-0.55	-24.6	-2.45	-15.3	-0.38
143		-20.97	-1.98	36.33	4.29	-0.06	-0.01	-30.6	-3.04	-15.3	-0.38
144		-20.96	-1.98	36.32	4.28	-0.06	-0.01	0	0	15.3	0.38
145		9.64	0.91	36.32	4.28	-30.66	-2.79	0	0	15.3	0.38
146		9.64	0.91	36.32	4.28	-0.05	0	-30.61	-3.05	15.3	0.38
147		9.77	0.92	36.79	4.34	-0.06	-0.01	0	0	46.5	1.16
148		9.91	0.94	37.31	4.4	-0.06	-0.01	0	0	47.16	1.18
149		9.57	0.91	36.06	4.25	-0.06	-0.01	0	0	45.57	1.14
150		-20.55	-1.95	35.61	4.2	-30.06	-2.74	0	0	-15	-0.37
151		-20.73	-1.96	35.91	4.24	-30.32	-2.76	0	0	-15.14	-0.38
152		-21.37	-2.02	5.83	0.69	-0.06	-0.01	0	0	-15.6	-0.39
153		-22.54	-2.13	39.05	4.61	-0.07	-0.01	0	0	16.44	0.41
154		30.76	2.91	6.65	0.78	-0.07	-0.01	9.46	0.94	27.88	0.7
155		75.36	7.13	-6.61	-0.78	-45.83	-4.18	0	0	22.92	0.57
156	F	65.15	6.17	-45.35	-5.35	0.01	0	0	0	19.81	0.49
157		58.46	5.53	-40.69	-4.8	19.7	1.79	-19.69	-1.96	17.78	0.44
158		54.05	5.12	-24.37	-2.88	19.64	1.79	-19.78	-1.97	29.54	0.74
159		51.26	4.85	-4.5	-0.53	0.01	0	0	0	46.77	1.17
160		80	7.57	-4.36	-0.51	-30.26	-2.76	0	0	45.38	1.13

Transek	Area	1978-1989		1989-1997		1997-2008		2008-2018		1978-2018	
		NSM (meter)	EPR (meter/tahun)								
161		79.33	7.51	-4.33	-0.51	0.01	0	-30	-2.98	45.01	1.12
162		49.85	4.72	-34.7	-4.09	0.01	0	0	0	15.16	0.38
163		49.32	4.67	-34.33	-4.05	0.01	0	0	0	15	0.37
164		-10.69	-1.01	-4.32	-0.51	-30	-2.73	0	0	-45.01	-1.12
165		-10.68	-1.01	-4.33	-0.51	-29.99	-2.73	0	0	-45	-1.12
166		-10.68	-1.01	-4.33	-0.51	0.01	0	-30	-2.98	-45	-1.12
167		-10.69	-1.01	-4.32	-0.51	0.01	0	0	0	-15	-0.37



Lampiran 4. Dokumentasi Stasiun Penelitian



Stasiun A



Stasiun B



Stasiun C



Stasiun D



Stasiun E



Stasiun F

Lampiran 5. Dokumentasi Pengambilan Data Lapangan



Mengukur Tinggi, Periode, Arah Gelombang.



Mengukur Kemiringan Pantai.



Mengambil Sedimen.



Tracking Garis Pantai.

Lampiran 6. Dokumentasi Uji Laboratorium



Memasukkan sedimen ke *Sieve Shaker*.



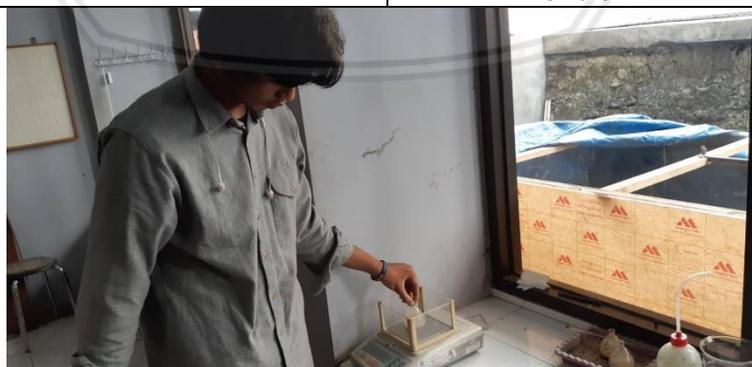
Pengayakan secara manual menggunakan *Sieve Shaker*.



Pemanasan *picnometer* dengan kompor pemanas.



Pengukuran suhu pada *picnometer* yang telah mendidih.



Penimbangan berat sedimen dan pencatatan hasil.