



TUGAS AKHIR (MO184804)

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL
BANYUWANGI MENGGUNAKAN ONE-LINE MODEL**

ADITYA HASMI NURREZA

NRP. 04311240000075

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



FINAL PROJECT (MO184804)

**SHORELINE CHANGE ANALYSIS AT WATU DODOL BEACH
BANYUWANGI USING ONE-LINE METHOD**

ADITYA HASMI NURREZA

NRP. 04311240000075

SUPERVISORS:

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL

BANYUWANGI MENGGUNAKAN ONE-LINE MODEL

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan

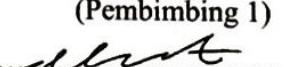
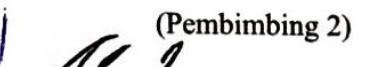
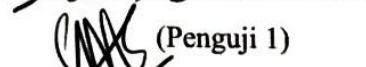
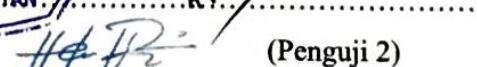
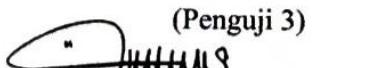
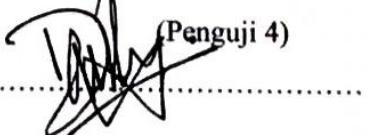
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Aditya Hasmi Nurreza

NRP: 04311240000075

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng..... (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc..... (Pembimbing 2)

3. Dr. Shade Rahmawati..... (Penguji 1)

4. Herman Pratikno, Ph.D. (Penguji 2)

5. Dr. Suntoyo (Penguji 3)

6. Dr. Dendy Satrio (Penguji 4)


ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL

BANYUWANGI MENGGUNAKAN ONE-LINE MODEL

Nama Mahasiswa : Aditya Hasmi Nurreza

NRP : 04311240000075

Jurusan/Departemen : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc.

Abstrak

Pantai Watu Dodol merupakan salah satu pantai wisata di Banyuwangi, sehingga daerah ini menjadi kawasan strategis dalam pengembangan kawasan pesisir. Pengembangan kawasan pesisir menyebabkan peningkatan pemanfaatan area pantai. Oleh karena itu dalam pengembangannya harus dilandasi dengan pengetahuan yang baik tentang proses dinamika perairan pantai, dalam hal ini perubahan garis pantai.

Penelitian ini bertujuan untuk memahami perubahan garis pantai, serta melakukan estimasi perubahan garis pantai sehingga kita dapat mengetahui bagaimana alternatif pengelolaan pantai Watu Dodol. Penelitian diawali dengan studi literatur, pengumpulan data (meliputi data angin, citra landsat, dan peta batimetri). Semua data digunakan sebagai input model numerik one-line dan kemudian divalidasi oleh citra satelit. Model didasarkan pada persamaan CERC. Berdasarkan data perubahan garis pantai yang ada dan hasil model numerik, dilakukan analisis perubahan garis pantai dan alternatif solusinya untuk pengelolaan perubahan garis pantai. Prediksi model menunjukkan ada perubahan garis pantai hampir pada sebagian besar sel meskipun tidak terlalu signifikan perubahannya.

Kata kunci : perubahan garis pantai, one-line model, pengelolaan garis pantai, citra satelit

Halaman ini sengaja dikosongkan

SHORELINE CHANGE ANALYSIS AT WATU DODOL BEACH

BANYUWANGI USING ONE-LINE METHOD

Name : Aditya Hasmi Nurreza
NRP : 04311240000075
Department : Teknik Kelautan
Supervisor : Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.
Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc.

Abstract

Watu Dodol Beach is one of the tourist beaches in Banyuwangi, so it made up a strategic area for the development of coastal areas. The development of the coastal areas causing an increase the utilization of coastal areas. Therefore, its development must be based on a good knowledge of the dynamics process of coastal waters, in this case is shoreline changes.

This study is aimed to understand the shoreline changes, and to estimate the shoreline changes so that we can find out how to manage the coastline of Watu Dodol Beach. The research started with literature study, data collection (including wind data, digital image, and bathymetry maps). All provided data is used as input to one-line numerical model and then it validated by satellite imaginary. This model is based on the CERC equation. Based on the existing shoreline changes data and the result of numerical models, an analysis of shoreline changes and alternative solutions for the management of coastal lines is carried out. The prediction of the model shows that there is a change in the shoreline in almost all of the cell, although the changes is not very significant.

Keywords : shoreline changes, one-line model, coastal lines, satellite image

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT dan Rasul-Nya yang telah memberikan hidayah dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul “Analisis Perubahan Garis Pantai Watu Dodol Banyuwangi Menggunakan One-Line Model” tanpa halangan yang tidak mampu penulis atasi.

Tugas Akhir ini menjadi syarat yang perlu dipenuhi dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Melalui Tugas Akhir ini penulis melakukan studi terkait perubahan garis pantai di Pantai Watu Dodol Banyuwangi sehingga didapat informasi tentang perubahan garis pantai berupa abrasi dan akresi di sepanjang lokasi penelitian. Sehingga penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan dapat digunakan sebagai masukan dalam perencanaan dan pengendalian kawasan lingkungan pantai.

Penulis juga memahami bahwa Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Karenanya penulis mengharapkan saran dan masukan untuk perbaikan terhadap kebutuhan karya tulis ini kedepan. Akhir kata penulis berharap agar kegiatan penelitian ini terus berkembang di wilayah-wilayah lain sehingga dapat mengangkat kehidupan wilayah pesisir di Indonesia.

Surabaya, Agustus 2020

Aditya Hasmi Nurreza

Halaman ini sengaja dikosongkan

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Pengerjaan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral dan material oleh banyak pihak. Penulis sangat berterima kasih terhadap pihak-pihak yang telah membantu selama penelitian hingga selesai penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu mengerti, memberikan semangat, doa dan tidak pernah putus asa dengan penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan dan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M. Eng, selaku dosen wali dan dosen pembimbing I untuk segala bimbingan, arahan, dan segala masukan yang membantu upaya penggerjaan Tugas Akhir ini yang lebih baik.
3. Bapak Dr. Eng. M. Zikra, S.T., M. Sc., selaku dosen pembimbing II untuk saran dan masukannya selama penulisan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T., telah memberikan arahan dan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Kelautan ITS atas ilmu pengetahuan yang telah diajarkan dan bantuan yang diberikan.
6. Kontrakan Alliance khususnya Afif, Bagas, Bagus, Budi, Fino, dan Kresna atas motivasi dan canda tawanya selama menyelesaikan studi sarjana penulis. Semoga kami semua diberikan kesuksesan yang bermanfaat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Tujuan penelitian	2
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Definisi pantai	5
2.2 Perubahan garis pantai	6
2.3 Angin.....	7
2.3.1 Distribusi kecepatan angin	7
2.3.2 Data angin	7
2.3.3 Koreksi kecepatan angin	8
2.3.4 Fetch.....	10
2.4 Gelombang	11
2.3.1 Pembangkitan gelombang akibat angin	11
2.3.2 Transformasi gelombang.....	12
2.5 Refraksi gelombang	13
2.6 Gelombang pecah.....	15
2.7 Pasang surut	16
2.8 Sebab-sebab terjadinya erosi pantai.....	20
2.9 Sedimen pantai.....	21
2.9.1 Definisi dan karakteristik sedimen pantai.....	21
2.9.2 Transpor sedimen.....	23

2.10	One-line model.....	24
BAB III METODOLOGI		27
3.1	Studi kepustakaan	28
3.2	Pengumpulan data.....	28
3.3	Pengolahan data	28
3.3.1	Menentukan parameter-parameter gelombang berdasarkan hasil perhitungan fetch.....	28
3.3.2	Menentukan penjalaran dan transformasi gelombang.....	30
3.3.3	One-line model perubahan garis pantai.....	30
BAB IV PEMBAHASAN		33
4.1	Angin.....	33
4.1.1	Arah dan kecepatan angin	33
4.1.2	Frekuensi distribusi dan persentase kejadian angin	34
4.2	Pembangkitan gelombang laut dalam	35
4.3	Transformasi gelombang.....	37
4.3.1	Refraksi	37
4.3.2	Gelombang pecah.....	38
4.4	Transpor sedimen.....	39
4.5	One-line model perubahan garis pantai.....	40
BAB V KESIMPULAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Definisi dan batasan pantai.....	5
Gambar 2.2 Diagram mawar angin	8
Gambar 2.3 Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat.....	10
Gambar 2.4 Fetch.....	11
Gambar 2.5 Refraksi gelombang pada kontur lurus dan sejajar	14
Gambar 2.6 Grafik penentuan tinggi gelombang pecah.....	15
Gambar 2.7 Grafik penentuan kedalaman gelombang pecah	16
Gambar 2.8 Macam permukaan air laut yang digunakan sebagai datum referensi	17
Gambar 2.9 Pembagian garis pantai menjadi beberapa sel.....	25
Gambar 2.10 Sedimen transpot kedalam dan keluar sel	25
Gambar 3.1 Metodologi penelitian	27
Gambar 4.1 Diagram mawar angin bulanan rata-rata tahun 2010-2014.....	33
Gambar 4.2 Grafik tinggi dan periode gelombang laut dalam	37
Gambar 4.3 Lokasi penelitian	40
Gambar 4.4 Perbandingan model garis pantai dengan citra	41
Gambar 4.5 Nilai eror model dengan citra 2014.....	42
Gambar 4.6 Perubahan garis pantai 2010-2014	42
Gambar 4.7 Perubahan garis pantai sel 0-50	43
Gambar 4.8 Perubahan garis pantai sel 51-100.....	43
Gambar 4.9 Perubahan garis pantai sel 101-150.....	44
Gambar 4.10 Perubahan garis pantai sel 151-200.....	45
Gambar 4.11 Perubahan garis pantai sel 201-245.....	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFAR TABEL

Tabel 2.1 Data persentase kejadian angin	8
Tabel 2.2 Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman relatif	12
Tabel 2.3 Sembilan unsur utama pembangkit pasang surut	19
Tabel 3.1 Persamaan parameter gelombang amplitudo kecil	29
Tabel 4.1 Frekuensi distribusi angin selama tahun 2010-2014.....	34
Tabel 4.2 Persentase kejadian angin selama tahun 2010-2014	35
Tabel 4.3 Perhitungan fetch efektif.....	36
Tabel 4.4 Tinggi dan periode gelombang di laut dalam.....	36
Tabel 4.5 Hasil analisis refraksi gelombang	38
Tabel 4.6 Hasil perhitungan gelombang pecah	38
Tabel 4.7 Perhitungan transpor sedimen	39

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Data arah dan kecepatan angin	53
LAMPIRAN B Pengolahan data angin	55
LAMPIRAN C Perhitungan parameter gelombang di laut dalam	57
LAMPIRAN D Perhitungan refraksi	59
LAMPIRAN E Perhitungan parameter gelombang pecah	61
LAMPIRAN F Perubahan garis pantai.....	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan yang mempunyai lebih dari 3700 pulau dan panjang pantai sepanjang 80000 km. Wilayah pantai ini merupakan daerah potensial yang banyak dimanfaatkan untuk kegiatan manusia seperti kawasan pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pelabuhan, pariwisata dan sebagainya. Namun upaya manusia dalam memanfaatkan kawasan pantai sering tidak dilandasi pemahaman yang baik tentang perilaku pantai sehingga menimbulkan dampak yang merugikan lingkungan pantai seperti proses abrasi dan akresi garis pantai. Proses abrasi dan akresi garis pantai pada mulanya timbul secara alami akan tetapi proses akan berlangsung lebih cepat jika pembangunan sarana kepentingan manusia tidak didasari dengan pengetahuan yang baik tentang perilaku proses dinamika perairan pantai dalam hal ini perubahan garis pantai.

Pantai Watu Dodol merupakan pantai yang terletak di ujung utara Kabupaten Banyuwangi dan berbatasan langsung dengan perairan Selat Bali. Daerah pantai mudah mengalami proses perubahan alami yaitu abrasi maupun akresi di sepanjang garis pantai, tidak terkecuali Pantai Watu Dodol. Abrasi dan akresi yang terjadi merupakan akibat adanya proses *transport* sedimen yang menyebabkan perubahan garis pantai di pantai Watu Dodol.

Perubahan garis pantai baik maju atau mundur menimbulkan berbagai permasalahan, diantaranya pemanfaatan lahan, bertambah atau berkurangnya luas daratan, terancamnya aktivitas manusia dan lain sebagainya. Perubahan – perubahan yang terjadi ini mempunyai skala waktu (bulan, tahun, dekade bahkan abad) dan ruang (dari suatu daerah pantai, lokal, regional, sampai tingkat nasional).

Sehubungan dengan hal tersebut, maka diperlukan suatu kemampuan untuk memprediksi perubahan garis pantai yang disebabkan oleh aksi gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Salah satu cara untuk memprediksi perubahan garis pantai adalah melalui pendekatan model numerik. Model perubahan garis pantai mengkaji interaksi angin yang membangkitkan gelombang di laut lepas, transformasi gelombang dari laut lepas hingga

gelombang tersebut pecah di pantai dan angkutan sedimen sepanjang pantai yang menyebabkan perubahan garis pantai.

Model perubahan garis pantai akibat adanya struktur pantai telah dibuat oleh Komar (1983) dengan hanya menggunakan satu data gelombang dan tidak menyertakan proses transformasi gelombang. Purba dan Jaya (2004) melakukan penelitian tentang perubahan garis pantai dan penutupan lahan di pesisir Lampung timur dengan menggunakan citra *Landsat-TM* tahun 1991, 1999, 2001 dan 2003 menemukan erosi di sisi hilir tonjolan garis pantai dan akresi di daerah lekukan. Alphan (2005) menggunakan citra *Landsat* untuk mengamati perubahan garis pantai di Delta Cukurova, pantai tenggara Mediterrania, Turkey. Shibutani *et al.* (2007) membuat model perubahan garis pantai berdasarkan angkutan sedimen. Kim dan Lee (2009) memprediksi perubahan garis pantai yang berbentuk teluk dengan menggunakan persamaan *logarithmic spiral bay*. Triwahyuni *et al.* (2010) mengamati perubahan garis pantai di pantai timur Tarakan dengan menggunakan data gelombang pecah yang dihitung di pantai akibat angin bulanan rata-rata selama 10 tahun.

Penelitian ini menganalisis transformasi gelombang yang dibangkitkan oleh angin dari laut lepas menuju ke pantai serta membuat model perubahan garis pantai yang karena angkutan sedimen sejajar pantai yang diakibatkan gelombang pecah di pantai Watu Dodol.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana pola transformasi gelombang dari perairan dalam menuju perairan pantai
2. Bagaimana pengaruh gelombang terhadap angkutan sedimen sejajar pantai
3. Bagaimana perubahan garis pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi berdasarkan angkutan sedimen yang disebabkan oleh gelombang

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis transformasi gelombang yang dibangkitkan angin dari laut dalam menuju pantai
2. Menghitung dan menganalisis angkutan sedimen sepanjang pantai
3. Menganalisis perubahan garis pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi

1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini memberikan informasi tentang perubahan garis pantai berupa abrasi dan akresi yang diakibatkan hampasan gelombang di sepanjang lokasi penelitian. Hasil simulasi model ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan dalam perencanaan dan pengendalian kawasan lingkungan pantai. Informasi tersebut diharapkan dapat dijadikan bahan rujukan dan 4 pertimbangan dalam pengambilan kebijakan bagi pemerintah daerah dalam perencanaan pembangunan di lokasi penelitian, sehingga pembangunan yang dilakukan merupakan pembangunan yang terencana dan berwawasan lingkungan.

1.5 Batasan masalah

1. Lokasi penelitian di perairan pantai Watu Dodol, Banyuwangi
2. Data angin yang digunakan adalah data kecepatan angin rata-rata bulanan Banyuwangi tahun 2010-2014
3. Sumber peta yang digunakan adalah batimetri dan citra satelit
4. Pemodelan perubahan garis pantai menggunakan *one-line model*
5. Model divalidasi menggunakan citra landsat

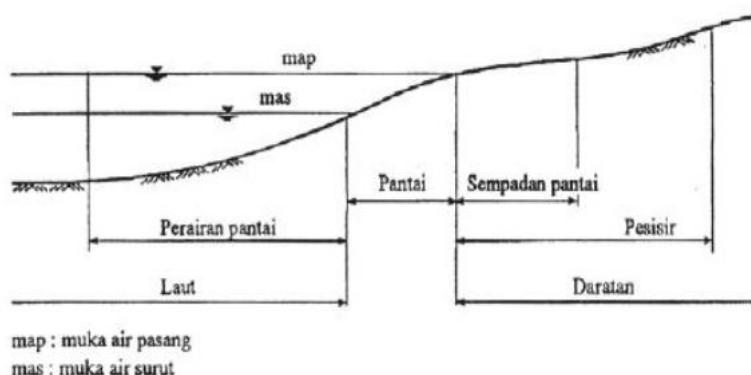
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Pantai

Menurut Triatmodjo (1999:1), pantai adalah zona yang merupakan batas antara daratan dan lautan. Terbentuknya pantai dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah ke arah laut. Sedangkan ke arah darat dipengaruhi oleh kegiatan manusia di lingkungan darat. Penjelasan mengenai definisi daerah pantai dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1: Definisi dan batasan pantai (Triatmodjo, 1999)

Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan tanah dimulai dari batas garis pasang tertinggi.

Daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan air laut dimulai dari sisi laut pada garis suhu terendah, termasuk dasar laut dan bagian di bawahnya. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Sempadan pantai adalah kawasan tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi pantai. Kriteria sempadan pantai yaitu daratan sepanjang tepian yang lebarnya sesuai dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimum 100 m dari titik pasang tertinggi ke arah daratan.

Menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2006 tentang Pedoman Penegasan Batas Daerah (Dept. Dalam Negeri dan Otonomi Daerah, 2001), garis pantai (*coastline*) didefinisikan sebagai: “garis yang dibentuk oleh perpotongan garis air rendah dengan daratan”.

International Hydrographic Organization (IHO) yang sebelumnya bernama *International Hydrographic Bureau*, yang didirikan pada tahun 1919 dan mulai berdiri pada tahun 1970 yang berkedudukan di Monaco juga menyebutkan tentang pengertian garis pantai. Dalam IHO dijelaskan bahwa definisi garis pantai secara umum adalah perpotongan antara daratan dengan muka air. Pada daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut, garis pantai didekati (*approximates*) sebagai garis rata-rata muka air tinggi atau *Mean High Water Line* (MHWL). Sedangkan pada daerah yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi pasang surut, garis pantai yang digunakan adalah *Mean Water Level Line* (MWL) atau *Mean Sea Level* (MSL).

2.2 Perubahan Garis Pantai

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 4 Tahun 2011 Pasal 13 ayat 1, garis pantai merupakan garis pertemuan antara daratan dan lautan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Dari definisi tersebut, garis pantai dibagi menjadi tiga yaitu garis pantai surut terendah, garis pantai surut tertinggi dan garis pantai tinggi muka air laut rata-rata. Garis pantai sangat bergantung pada dinamika parameter oseanografi di pantai tersebut. Wilayah ini bersifat dinamis dan rentan terhadap perubahan lingkungan baik karena proses alami maupun akibat aktivitas manusia.

Perubahan garis pantai terjadi di sepanjang daerah pantai. Perubahan garis pantai ini dipengaruhi oleh proses dinamis pantai maupun aktifitas sosial ekonomi manusia. Proses dinamis pantai merupakan interaksi dinamis antara air, angin, gelombang serta material tanah (sedimen). Angin dan air bergerak membentuk gelombang yang membawa sedimen ke arah pantai. Hal ini menyebabkan pengikisan tanah (erosi) atau pengendapan tanah di daerah lainnya (akresi).

Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh *littoral transport*. *Littoral transport* adalah gerak sedimen di daerah dekat pantai oleh gelombang dan arus. *Littoral transport* dibagi menjadi dua yaitu transpor sepanjang pantai (*longshore*

transport) dan transpor tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*). Transpor tegak lurus dipengaruhi oleh kemiringan gelombang, ukuran sedimen, dan kemiringan pantai. Sedangkan transpor sepanjang pantai tergantung pada sudut datang gelombang, durasi dan energi gelombang (Triatmodjo, 1999:160).

2.3 Angin

2.3.1 Distribusi Kecepatan Angin

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut terbagi dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah geostropik yang berada di atas 1000 m kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi tersebut terdapat dua daerah yaitu daerah Ekman yang berada pada elevasi 100 sampai 1000 m dan daerah dimana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 sampai 100 m. Dikedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara (Triatmodjo, 1999:149).

2.3.2 Data Angin

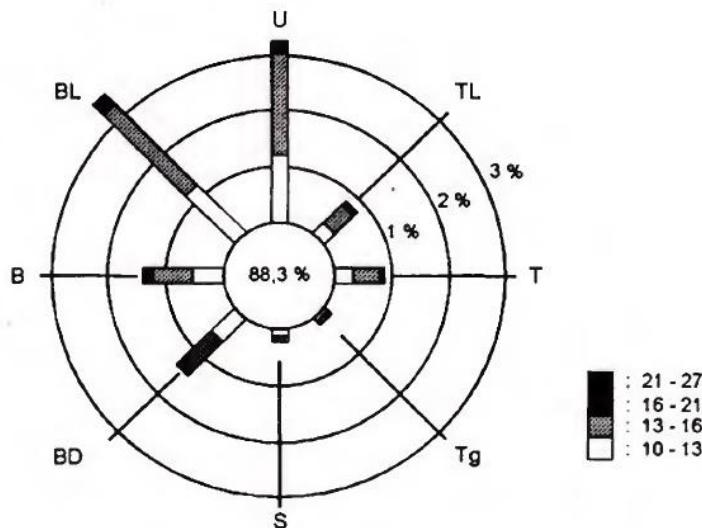
Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut (menggunakan kapal yang sedang berlayar) atau pengukuran di darat (di lapangan terbang) di dekat lokasi peramalan yang yang kemudian dikonversi menjadi data angin laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/d}$. Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Dengan pencatatan angin jam-jaman tersebut dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian.

Data angin yang diperlukan merupakan hasil pengamatan beberapa tahun. Yang disajikan dalam bentuk tabel dengan jumlah data yang sangat besar. Data tersebut lalu diolah dan disajikan dalam bentuk tabel (ringkasan) atau diagram yang disebut dengan mawar angin. Contoh penyajian data angin dalam bentuk tabel dari pencatatan angin

jam-jaman selama satu bulan dapat dilihat pada Tabel 2.1. Sedangkan contoh mawar angin yang dibuat berdasarkan data dalam tabel Tabel 2.1 disajikan dalam bentuk mawar angin dapat dilihat pada gambar 2.2.

Tabel 2.1. Data Presentasi Kejadian Angin (Triatmodjo, 1999:153)

Kecepatan (knot)	Arah Angin							
	U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL
0-10	88,3 %							
10-13	1,23	0,27	0,32	0,06	0,08	0,6	0,56	1,35
13-16	1,84	0,40	0,48	0,08	0,13	0,7	0,70	2,03
16-21	0,17	0,07	0,08	0,01	0,01	0,12	0,12	0,20
21-27	0,01	-	-	-	-	0,03	0,03	-



Gambar 2.2. Diagram Mawar Angin (Triatmodjo, 1999:153)

Tabel dan gambar tersebut menunjukkan presentase kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Dalam gambar tersebut garis-garis radial adalah arah angin dan tiap lingkaran menunjukkan presentasi kejadian angin dalam periode waktu pengukuran.

2.3.3 Koreksi Kecepatan Angin

Pada peramalan gelombang, digunakan data angin di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Pengukuran data angin di permukaan laut adalah yang paling

sesuai dengan peramalan gelombang. Untuk memperoleh data angin di permukaan laut maka diperlukan konversi dari data angin darat ke data angin permukaan laut. Adapun koreksi – koreksi data angin adalah sebagai berikut:

1. Koreksi ketinggian

Beberapa rumus dan grafik untuk memprediksi gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada $y = 10\text{m}$. Apabila angin tidak diukur pada elevasi $y = 10\text{m}$, maka perlu dikonversi pada kecepatan tersebut. Persamaan yang digunakan yaitu:

$$U_{10} = U_y \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2.1)$$

Dengan:

U_{10} : Kecepatan angin pada ketinggian 10m (m/s)

y : Elevasi terhadap permukaan air (m)

2. Koreksi rata-rata kecepatan angin untuk durasi 1 jam

Koreksi ini diperlukan untuk mengkoreksi durasi angin rata-rata observasi dengan durasi angin yang digunakan untuk peramalan gelombang. Koreksi ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (U. S. Army Corps of Engineers, 2003a):

$$t = \frac{1609}{U_f} \quad ; \text{ untuk satuan m/s} \quad (2.1)$$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1.277 + 0.269 \tanh \left\{ 0.9 \log_{10} \left(\frac{45}{t} \right) \right\}; \text{ untuk } t < 3600 \quad (2.3)$$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = -0.15 \log_{10} t + 1.5334 \quad ; \text{ untuk } 3600 < t < 36000$$

$$U_{t=3600} = \frac{U_f}{\left(\frac{U_t}{U_{3600}} \right)} \quad (2.4)$$

dimana t = durasi angin (s); U_f = kecepatan angin sebelum koreksi durasi; dan U_{3600} = kecepatan angin dalam 1 jam (setelah koreksi durasi).

3. Koreksi stabilitas

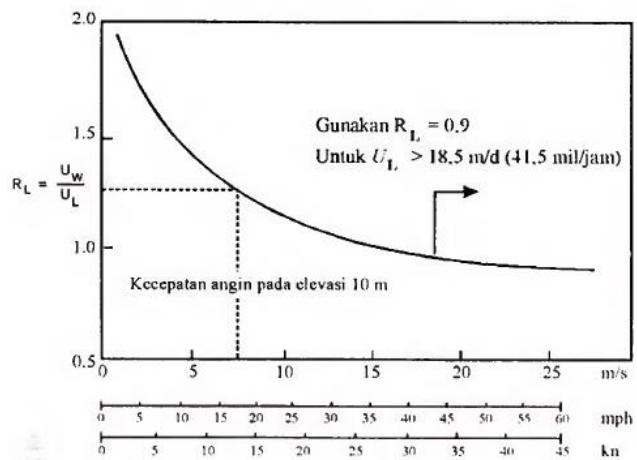
Koreksi stabilitas diperlukan karena adanya perbedaan temperatur antara udara dan air laut. Untuk *fetch* lebih dari 16 km, diperlukan koreksi stabilitas. Kecepatan setelah koreksi didapat dari persamaan (U. S. Army Corps of Engineers, 2003a):

$$U_c = R_T U_w \quad (2.5)$$

dimana U_c = kecepatan angin setelah mengalami koreksi stabilitas (m/s); U_w = kecepatan angin sebelum koreksi stabilitas (m/s); dan R_T = koefisien beda temperatur udara – air laut. Karena perbedaan temperatur antara udara dengan air laut tidak diketahui, maka diasumsikan sebagai kondisi tidak stabil ($R_T = 1.1$)

4. Koreksi pengukuran kecepatan angin di darat ke laut

Pencatatan data angin di darat memerlukan transformasi dari data angin di lokasi stasiun angin ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh $R_L = U_w/U_L$ seperti dalam gambar (2.3)



Gambar 2.3. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat

(Triatmodjo: 1999; 154)

Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin seperti yang dijelaskan diatas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_A = 0.71 U^{1.23} \quad (2.6)$$

dimana U adalah kecepatan angin dalam m/s.

2.3.3 Fetch

Dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. *Fetch* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut (CEM, 2002):

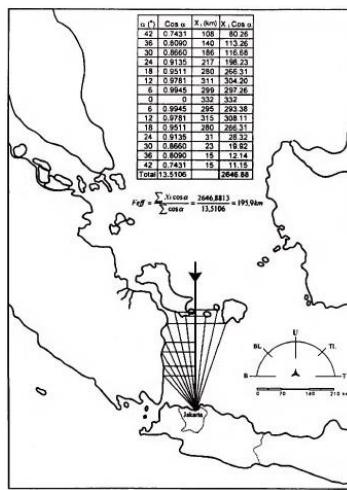
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.7)$$

dengan :

F_{eff} = *fetch* efektif

X_i = panjang garis *fetch*

α_i = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 2.4 Fetch (Triatmodjo, 1999:156)

2.4 Gelombang

2.4.1 Pembangkitan Gelombang Akibat Angin

Pembangkitan gelombang menurut (Bird, 1994) dimana gerakan pada permukaan air akibat tiupan angin di atasnya dan juga akibat gerakan tektonik dan gaya gravitasi (Carter, 1988). Ada 3 faktor yang membentuk karakteristik gelombang (Davis, 1993) yaitu: durasi angin, kecepatan angin, *fetch* (jarak yang ditempuh angin dari arah pembangkit gelombang atau daerah pembangkitan gelombang).

Pada teknik pantai gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan pasang surut sangat berperan penting dikarenakan menimbulkan energi yang berperan dalam proses pembentukan pantai, arus, dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada banguan pantai, gelombang merupakan faktor utama dalam penentuan geometri pantai.

Tinggi dan periode gelombang di laut dalam diprediksi dari data kecepatan angin dengan menggunakan persamaan (SPM, 1984):

$$H_o = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{0.5} \quad (2.8)$$

$$T_o = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F)^{0.33} \quad (2.9)$$

dimana H_o = tinggi gelombang laut dalam; T_o = periode gelombang laut dalam; F = Jarak *fetch* dimana angin berhembus; U_A = faktor tegangan angin.

2.4.2 Transformasi Gelombang

Gelombang yang bergerak menuju perairan dangkal mengalami transformasi yang disebabkan oleh berubahnya kedalaman. Refraksi dan pendangkalan (*shoaling*) sederhana digunakan untuk membuat prediksi gelombang di dekat pantai. Ketika kedalaman perairan menjadi terlalu dangkal untuk menahan tinggi pertumbuhan gelombang, maka gelombang menjadi tidak stabil dan kemudian pecah.

Perbandingan kedalaman (d) terhadap panjang gelombang (L) dinamakan kedalaman relatif dengan nilai batas sebagai fungsi tanh ($2d/L$) menjadi dasar dalam klasifikasi gelombang.

Tabel : 2.2 klasifikasi gelombang berdasarkan nilai kedalaman relatif (d/L)

(Sorensen, 2006)

d/L	Batas nilai kd ($2\pi d/L$)	$\tanh(2\pi d/L)$	Tipe gelombang
>0.5	$>\pi$	1	<i>Depth water</i>
$0.05 < d/L < 0.05$	$0.25 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$	<i>transitional</i>
<0.05	<0.25	$(2\pi d/L)$	<i>Shallow water</i>

2.5 Refraksi Gelombang

Analisis refraksi dapat memperhitungkan tinggi gelombang pada kedalaman tertentu berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan konvergensi (pengucupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai.

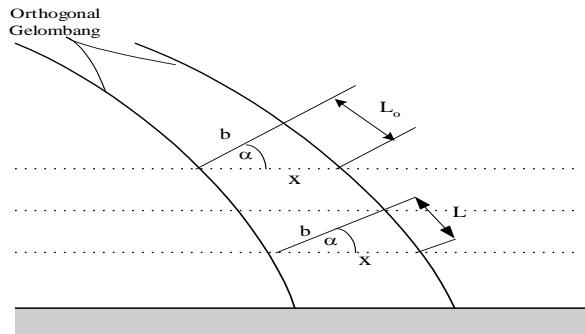
Anggapan-anggapan yang digunakan dalam studi refraksi adalah sebagai berikut:

- a) Energi gelombang antara dua ortogonal adalah konstan.
- b) Arah penjalaran gelombang tegak lurus pada puncak gelombang, yaitu dalam arah ortogonal gelombang.
- c) Cepat rambat gelombang yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman di tempat tersebut.
- d) Perubahan topografi dasar adalah berangsur-angsur.
- e) Gelombang mempunyai puncak yang panjang, periode konstan, amplitudo kecil dan monokromatik.
- f) Pengaruh arus, angin dan refleksi dari pantai dan perubahan topografi dasar laut diabaikan.

Gelombang berjalan dengan panjang gelombang pada laut dalam L_o , mendekati pantai dengan puncak orientasi pada laut dalam yang paralel dengan lokasi garis pantai rata-rata.

Kontur dasar kedalaman diberikan untuk panjang gelombang laut dalam sebagai persi dari puncak gelombang memasuki jenis dimana $d/L_o < 0,5$; panjang gelombang dan penurunan sehingga diberikan pada persamaan:

$$\frac{d}{L} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \frac{d}{L_o} \quad (2.10)$$



Gambar 2.5 Refraksi Gelombang pada kontur lurus dan sejajar

(Triatmodjo: 1999; 69)

Studi refraksi dilakukan secara analitis dengan anggapan bahwa kontur dasar laut yang dilintasi oleh setiap garis ortogonal gelombang untuk berbagai arah gelombang (angin) adalah sejajar. Studi refraksi ini berdasarkan pada persamaan berikut:

$$\sin\alpha_2 = \frac{c_2}{c_1} \sin\alpha_1 \quad (2.11)$$

dimana:

α_1 = Sudut datang gelombang di perairan pantai

α_2 = Sudut datang gelombang di laut dalam

C_1 = Cepat rambat gelombang di daerah pantai

C_2 = Cepat rambat gelombang di laut dalam

Dengan menggunakan perumusan diatas, maka sudut datang gelombang pada setiap kedalaman di daerah pantai dapat dihitung apabila arah gelombang laut diketahui. Koefisien refraksi (K_r) dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_1}} \quad (2.12)$$

Selanjutnya tinggi gelombang pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan menggunakan formulasi pada persamaan berikut ini :

$$H = Ksh.K_r.H_0 \quad (2.13)$$

dimana :

H = Tinggi gelombang dititik yang ditinjau

H_0 = Tinggi gelombang di laut dalam

Ksh = Koefisien shoaling

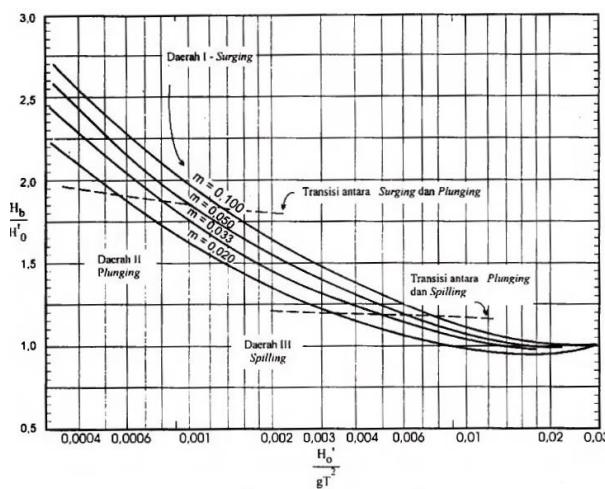
K_r = Koefisien refraksi

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam

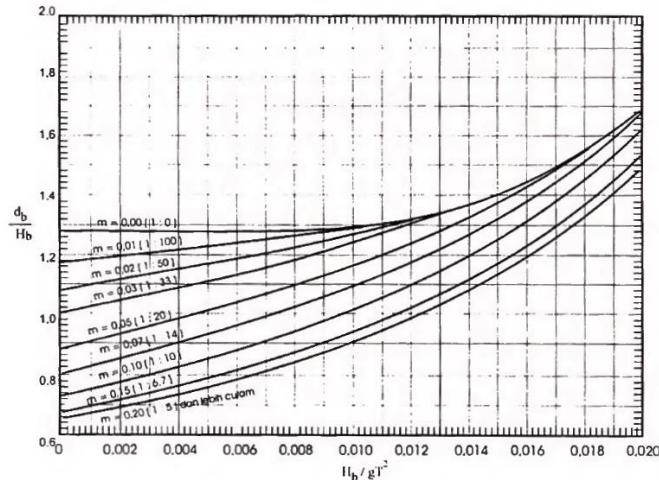
2.6 Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut (kontur). Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Di laut dalam, profil gelombang adalah gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin mendatar. Selain itu kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang bertambah (Triatmodjo: 1999)

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringan, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang dan panjang gelombang. Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tergantung pada kedalaman relatif d/L dan kemiringan dasar laut. Gelombang laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah (d_b). Untuk menghitung tinggi dan kedalaman gelombang pecah pada kedalaman tertentu dapat menggunakan grafik dibawah ini.



Gambar 2.6 Grafik penentuan tinggi gelombang pecah (Triatmodjo: 1999; 96)



Gambar 2.7 Grafik penentuan kedalaman gelombang pecah (Triatmodjo: 1999; 97)

2.7 Pasang Surut

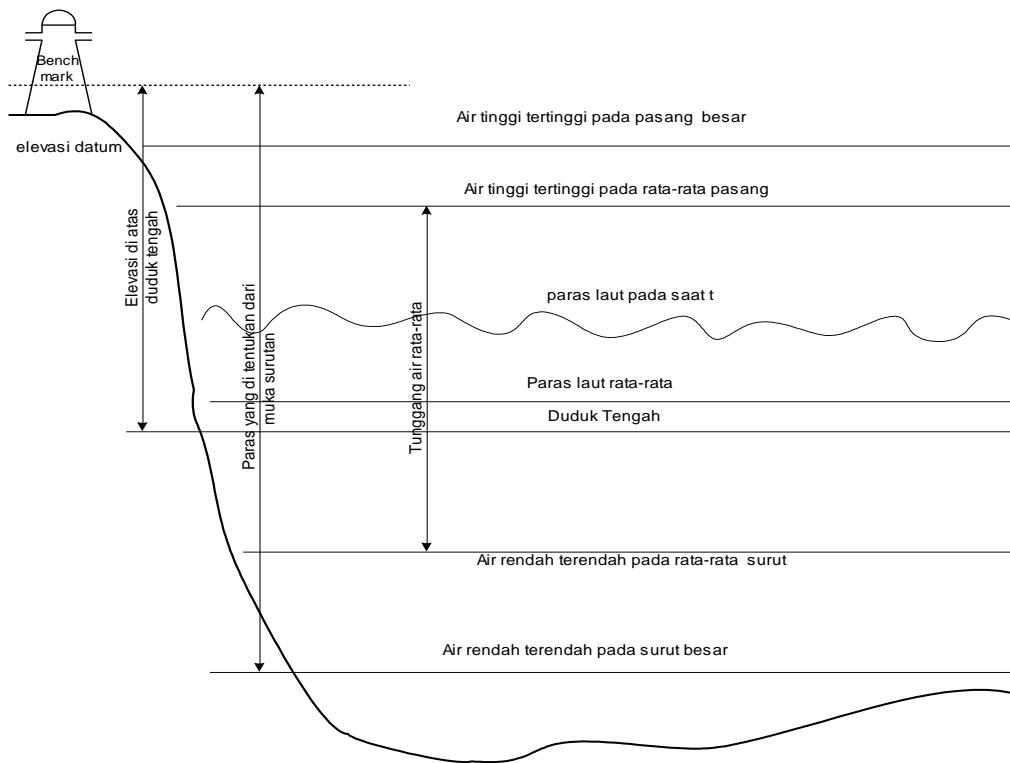
Pasang surut merupakan perubahan gerak relatif dari materi planet, bintang dan benda-benda angkasa lainnya yang diakibatkan oleh aksi gravitasi benda-benda di luar materi itu berada. Dalam konteks oseanografi, pasut adalah perubahan gerak relatif laut akibat gaya gravitasi benda-benda angkasa, khususnya bulan dan matahari.

Gerakan pasang surut pada tempat-tempat tertentu tidak hanya tergantung pada gaya tarik bulan dan matahari saja, tetapi juga ditentukan oleh gaya friksi; rotasi bumi (gaya *coriolis*); resonansi gelombang yang disebabkan oleh bentuk, luas, kedalaman, topografi bawah air serta hubungan perairan tersebut dengan laut di sekitarnya (lautan terbuka atau laut bebas dengan laut tertutup/laut terisolir).

Selain itu, terdapat faktor-faktor non-astronomi yang mempengaruhi pasut, seperti tekanan atmosfer, angin, densitas air laut, penguapan dan curah hujan. Pasang surut ini erat hubungannya dengan siklus perjalanan matahari dan bulan dalam keadaan relatifnya terhadap bumi (Sugiyono, 1990 *in* Kurniawan, 2000). Keadaan pasang surut di suatu tempat dilukiskan oleh konstanta harmonik. Sehingga yang dimaksud dengan analisis harmonik pasang surut adalah suatu cara untuk mengetahui sifat dan karakter pasang surut di suatu tempat dari hasil pengamatan pasang surut dalam kurun waktu tertentu

Akibat adanya fenomena pasang surut tersebut maka elevasi muka air laut selalu berubah secara periodik. Untuk itu diperlukan suatu elevasi yang dapat dijadikan

sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah elevasi permukaan air tertinggi (HWS), elevasi muka air rata-rata (MSL), elevasi muka air terendah (LWS).



Gambar 2.8 Macam Permukaan Air Laut yang Digunakan sebagai Datum Referensi

Penentuan tinggi dan rendahnya pasang surut ditentukan dengan rumus-rumus sebagai berikut:

$$\text{MSL} = Z_0 + 1,1 (\text{M2} + \text{S2}) \quad (2.14)$$

$$\text{DL} = \text{MSL} - Z_0 \quad (2.15)$$

$$\text{MHWL} = Z_0 + (\text{M2} + \text{S2}) \quad (2.16)$$

$$\text{HHWL} = Z_0 + (\text{M2} + \text{S2}) + (\text{O1} + \text{K1}) \quad (2.17)$$

$$\text{MLWL} = Z_0 - (\text{M2} + \text{S2}) \quad (2.18)$$

$$\text{LLWL} = Z_0 - (\text{M2} + \text{S2}) - (\text{O1} + \text{K1}) \quad (2.19)$$

$$\text{HAT} = Z_0 + \square A_i \quad (2.20)$$

$$= Z_0 + (\text{M2} + \text{S2} + \text{N2} + \text{P1} + \text{O1} + \text{K1})$$

$$\text{LAT} = Z_0 - (\text{M2} + \text{S2} + \text{N2} + \text{P1} + \text{O1} + \text{K1}) \quad (2.21)$$

dimana :

MSL = Muka air laut rerata (*mean sea level*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan

MHWL = Muka air tinggi rerata (*mean high water level*), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun

HHWL = Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati

MLWL = Muka air rendah rerata (*mean low water level*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun

LLWL = Air rendah terendah (*lowest low water level*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

DL = Datum level

HAT = Tinggi pasang surut

LAT = Rendah pasang surut

2.7.1 Pola Pasang Surut

Pola pasang surut ditinjau dari 2 segi yaitu :

- a. *Pola satu fase* pasang surut terdiri 1 kejadian pasang dan satu kejadian surut. Pada jarak bulan yang paling dekat dengan bumi akan menimbulkan posisi air pasang.
- b. *Pola Harian* adalah perbedaan dalam pola siklus dan panjang waktu terjadinya pasang surut dalam satu hari. Hal ini terjadi akibat rotasi bumi pada sumbunya dan akibat gaya tarik bumi dan bulan seakan menyelimuti dalam bentuk oval, selanjutnya pada daerah dengan garis terdekat dengan bulan akan mengalami *pasang surut diurnal*. *Diurnal* adalah terjadi 1 kali pasang dan surut dalam sehari sehingga dalam satu periode berlangsung sekitar 12 jam 50 menit disebut sebagai *panjang harian tunggal*. Sedang *Semi Diurnal* bila terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dalam sehari disebut *pasang harian ganda*. Apabila berdasar pengamatan jangka panjang terjadi campuran antara kejadian *diurnal* dengan *semi diurnal* maka pada lokasi tersebut terdapat pola *pasang*

surut campuran (mixed) baik dengan didominasi *semidiurnal* maupun *diurnal*.

Tabel 2.3 Sembilan Unsur-utama Pembangkit Pasut

Unsur	Periode (jam)	Kecepatan sudut ($^{\circ}/\text{jam}$)	Sifat dan disebabkan oleh
M ₂	12.42	28.9841	Harian ganda: bulan orbit lingkaran dan 'equatorial orbit'
S ₂	12.00	30.0000	Harian ganda: bulan orbit lingkaran dan 'equatorial orbit'
K ₂	11.97	30.0821	Harian ganda: deklinasi bulan dan deklinasi matahari
N ₂	12.66	28.4397	Harian ganda: orbit bulan yang eliptis
K ₁	23.93	15.0411	Harian ganda: deklinasi bulan dan deklinasi matahari
O ₁	25.82	13.9430	Harian ganda: deklinasi bulan
P ₁	24.07	14.9589	Harian ganda: deklinasi matahari
M ₄	6.21	57.9682	'quarter diurnal': perairan dangkal
MS ₄	6.20	58.9841	'quarter diurnal: perairan dangkal, interaksi M ₂ dan S ₂

Berbagai metode pengukuran pasut telah dikembangkan saat ini, seperti metode *least square* (Emery and Thomson, 1997) dan metode Admiralty. Pada tugas perancangan ini akan digunakan metode Admiralty.

Untuk mengetahui sifat-sifat perairan daerah studi, dilakukanlah pengamatan pasang surut sebagai fenomena air laut yang dapat diamati sehari-hari. Hasil pengamatan ini dievaluasi dengan pendekatan harmonik air laut untuk mendapatkan konstanta harmonik berupa amplitudo (A) dan beda fase (g^0).

Kemudian dianalisa untuk mendapatkan tipe pasang surut, kedudukan air laut terendah dan tertinggi yang mungkin terjadi, besar *mean sea level* (S₀), umur pasang

surut air laut, besar amplitudo dan beda fase setiap konstanta harmonik pasang surut yang merupakan sifat-sifat dari suatu perairan. Termasuk juga komponen pasang surut yang terbesar dan terkecil, tunggang air rata-rata dan waktu pasang surut purnama.

2.8 Sebab-sebab Terjadinya Erosi Pantai

a. Penurunan tanah

Penurunan tanah dapat terjadi karena pengambilan air tanah yang tidak terkendali, ataupun karena penambangan minyak dan bahan mineral lainnya.

b. Penggalian pasir

Salah satu sebab erosi pantai adalah penggalian pasir dan bahan mineral lainnya dari daerah pesisir dan pantai. Penggalian tersebut akan mengurangi cadangan pasir di daerah tersebut sehingga garis pantai dapat tererosi.

c. Interupsi angkutan sejajar pantai

Hal ini dapat terjadi karena pembuatan bangunan tegak lurus pantai. Bangunan tegak lurus tersebut dapat menahan laju angkutan sedimen dari daerah hulu, sehingga pada bagian hilir kekurangan sediment, akibatnya akan terjadi di bagian hulu terjadi akresi dan terjadi erosi di bagian hilir.

d. Pengurangan suplai sediment ke arah pantai

Suplai sediment ke arah pantai dapat terjadi karena aktivitas manusia di darat, seperti pembuatan bendungan dan pengaturan aliran sungai. Karena suplai sediment berkurang maka akan terjadi pengangkutan material pantai.

e. Pemusatan energi gelombang di pantai

Pembuatan bangunan pantai dapat menyebabkan terjadinya pemusatan energi gelombang di daerah tersebut, hal ini dapat menyebabkan erosi.

f. Perusakan pelindung alam

Pada umumnya pantai memiliki pelindung alami seperti tumbuhan dan cadangan pasir berupa dune. Perusakan ataupun pada pelindung alam tersebut dapat mengakibatkan daerah pantai terbuka terhadap gelombang, sehingga daerah yang terlindung tersebut tidak memiliki perlindungan terhadap gempuran ombak.

2.9 Sedimen Pantai

2.9.1 Definisi dan Karakteristik Sedimen Pantai

Sedimen merupakan sekumpulan rombakan material (batuan, dan bahan organik) yang mempunyai ukuran butir tertentu. Sedimen pantai berasal dari hasil erosi sungai, erosi tebing pantai, dan erosi batuan dasar laut, sebagian besar justru berasal dari sungai yang bermuara di sekitar pantai dan memberikan dampak yang relatif besar ($\pm 90\%$) terhadap transpor sedimen di pantai. Sumber sedimen laut berasal dari angin, vulkanik, dan masukan dari sungai yang sebagian besar di hasilkan dari pelapukan batuan di daratan. Sedimen, berdasarkan sumbernya (Barnes, 1969) dibedakan menjadi sedimen yang bersumber dari sungai yang jenisnya banyak mempengaruhi pembentukan pantai di sekitar muara sungai (disebut *sediment of inlet*) dan sedimen yang bersumber dari darat yang terangkut ke laut oleh angin dan *drainase* atau penguraian sisa-sisa organisme (*pyroclastic sediment*). Sedimen berdasarkan Skala *Wenworth* ukuran butirnya diklasifikasikan menjadi lempung, lanau, pasir, kerikil, koral, *cobble*, dan batu.

Penggunaan unit *phi* (ϕ) dipakai untuk mempermudah klasifikasi jika sedimen mengandung ukuran kecil dalam jumlah besar, didasarkan pada logaritma negatif dua $\phi = -\log_2 d$ (d adalah diameter partikel (mm)), tanda negatif digunakan agar partikel dengan diameter <1 mm memiliki nilai *phi* positif). Konversi unit *phi* menjadi milimeter menggunakan persamaan $D = 2^{-\phi}$ (CEM, 2007).

Ukuran partikel menunjukkan (1) keberadaan partikel dari jenis yang berbeda, (2) daya tahan (resistensi) partikel terhadap partikel pelapukan (*whitering*) erosi atau abrasi, dan (3) proses pengangkutan dan pengendapan maetrial, misalnya kemampuan angin atau air untuk memindahkan partikel. Ukuran partikel sangat penting dalam menentukan tingkat pengangkutan sedimen ukuran tertentu dan tempat sedimen tersebut terakumulasi di laut (Gross, 1993).

Parameter stastistik ukuran butir rata-rata (*mean grain size*), standar defiasi, keruncingan, kurtosis (pengukuran tinggi rendahnya grafik distribusi frekuensi, terutama berkenaan dengan konsentrasi nilai yang mendekati rata-rata jika dibandingkan dengan distribusi normal) sering digunakan dalam menentukan lingkungan tersedimen dan arah transpor sedimen (Dean dan Dalrymple, 2004; folk, 1964; dyer 1986). Ukuran butir rata-rata di hitung dengan persamaan:

$$M_{d\phi} = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16})}{2} \quad (2.22)$$

Atau

$$M_{d\phi} = \frac{(\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16})}{3} \quad (2.23)$$

Besar butir rata-rata merupakan fungsi ukuran butir dari populasi sedimen dan nilai terbesar butir (50% halus dan sebalinya kasar). Standar deviasi adalah metode pemilahan keseragaman distribusi ukuran butir, tipe pengendapan, karakteristik arus pengendapan, serta lamanya waktu pengendapan dari populasi sedimen.

Sortasi menunjukkan kisaran persen nilai ukuran butir *sortasi* campuran jika contoh sedimen mengandung ukuran butir yang sama memiliki kisaran nilai yang besar, dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_\phi = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{2} \quad (2.24)$$

Pasir pantai memiliki nilai distribusi $\sigma_\phi \leq 0.5$ dikategorikan tersortasi baik $\sigma_\phi \geq 1$ di kategorikan tersortasi jelek (Dean dan Dalrymple, 2004).

Skewness mencirikan dominasi ukuran butir populasi sedimen (simetri condong ke arah sedimen berbutir kasar atau condong kearah berbutir halus), sehingga dapat mengetahui dinamika sedimentasi (Folk, 1974). nilai *Skewness* positif menunjukan populasi sedimen codong berbutir halus. Sebaliknya *Skewness* negatif menunjukan populasi sedimen berbutir kasar. Besar nilai *Skewness* (Dean dan Dalrymple, 2004) di hitung dengan persamaan :

$$\alpha_\phi = \frac{(M_{d\phi} - \phi_{50})}{\sigma_\phi} \quad (2.25)$$

Kurtosis (Dean dan Dalrymple, 2004) di hitung menggunakan persamaan

$$\beta_\phi = \frac{(\phi_{16} - \phi_5) + (\phi_{95} - \phi_{84})}{2\sigma_\phi} \quad (2.26)$$

Dengan :

- \emptyset = diameter butir sedimen
- $M_{d\emptyset}$ = ukuran rata-rata sedimen
- σ_\emptyset = sortasi
- α_\emptyset = *skewness*
- β_\emptyset = *kurtosis*

Sedimen dengan ukuran lebih halus akan lebih mudah berpindah dan cenderung lebih cepat dari pada ukuran kasar. Fraksi halus terngkut dalam bentuk suspensi dan fraksi kasar terangkut pada atau dekat dasar laut. Partikel yang lebih besar akan tenggelam lebih cepat dibandingkan yang berukuran kecil.

2.9.2 Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen yang dipelajari dalam bab ini adalah yang terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis pantai.

Ada 2 tipe transpor sedimen di perairan pantai (CEM. 2007) yaitu transpor menuju dan meninggalkan pantai, mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai dan transpor sepanjang pantai, mempunyai arah rata-rata sejajar garis pantai. Sedimen di daerah pantai kemungkinan terdiri atas material dalam jumlah signifikan dan merupakan ukuran sedimen yang kembali ke daerah pantai. Sebaran sedimen di daerah pantai dipengaruhi 3 faktor utama yaitu : (1) sumber sedimen, (2) tingkat energi gelombang, dan (3) kemiringan pantai. Sebaran sedimen sepanjang profil pantai dihasilkan oleh variasi tegak lurus pantai terhadap ukuran sedimen (Dean dan Dalrymple, 2004).

Transpor sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai, dan sebagainya. Oleh karena itu prediksi transpor sedimen sepanjang pantai sangat penting. Beberapa cara yang biasanya digunakan untuk memprediksi transpor sedimen sepanjang pantai sebagai berikut ini:

- a. Cara terbaik untuk memperkirakan transpor sedimen sejajar pantai pada suatu tempat adalah mengukur debit sedimen di lokasi yang ditinjau.

- b. Peta atau pengukuran yang menunjukkan perubahan elevasi dasar dalam suatu periode tertentu dapat memberikan petunjuk tentang angkutan sedimen. Cara ini terutama baik apabila di daerah yang ditinjau terdapat bangunan yang bisa menangkap transpor sedimen sepanjang pantai, misalnya groin, pemecah gelombang suatu pelabuhan, dan sebagainya.
- c. Rumus empiris yang didasarkan pada kondisi gelombang di daerah yang ditinjau.

$$Q_s = 0.401 P_1 \quad (2.7)$$

$$P_1 = \left(\frac{\rho g}{8}\right) H_b^2 C_b \sin ab \cos ab \quad (2.8)$$

dimana:

Q_s = angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3/hari$)

P_1 = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/s)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

C_b = cepat rambat gelombang pecah (m/s)

ab = sudut datang gelombang pecah

ρ = massa jenis air laut

g = percepatan gravitasi

2.10 One-lined Model

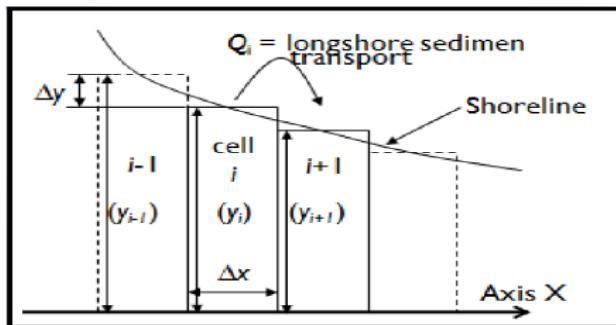
One-line model merupakan salah satu model matematika yang dapat digunakan untuk simulasi garis pantai. Profil *shoreline* diasumsikan akan selalu tetap selama proses simulasi one-line model berlangsung. Model ini membagi *shoreline* ke dalam pias atau sel. Di setiap pias akan dihitung *transport* sedimen baik yang masuk ataupun keluar.

Adapun tahapan dalam pemodelan perubahan garis pantai dengan *ONE-LINE* Model adalah sebagai berikut.

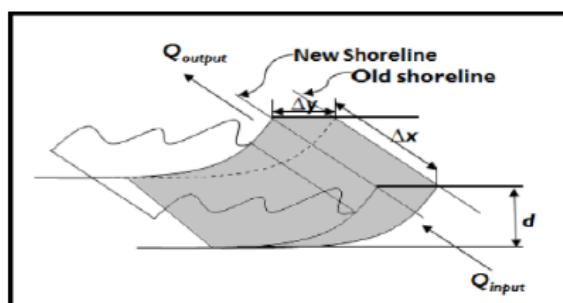
1. Membentuk garis pantai awal.
2. Membagi garis pantai dalam sejumlah pias atau sel.
3. Menentukan berbagai sumber sedimen dan sedimen yang hilang pada seluruh sel.
4. Menghitung debit *transport* sedimen pada setiap sel berdasarkan periode dan sudut datang gelombang.
5. Menghitung perubahan garis pantai pada tiap sel untuk setiap langkah waktu.

Volume tingkat transportasi sedimen yang menyebabkan garis pantai mengalami akresi dan erosi diukur dengan model garis pantai ini. Tahapan paling awal pemodelan ini adalah dengan membagi panjang garis pantai studi ke dalam pias/sel dengan lebar yang sama. Dalam model ini, lebar setiap pias/sel semakin kecil akan semakin baik. Lebar ideal yang dapat direncanakan adalah 20 m. Titik-titik persimpangan di setiap 20m dapat diperoleh. Titik-titik inilah merupakan lebar (x) dan panjang (y) yang digunakan sebagai *input* garis pantai awal untuk model garis pantai. Gambar 1 menjelaskan lebih detail tentang lebar sel (Δx) dan panjang y (i mewakili jumlah sel).

Pemodelan perubahan garis pantai yang akan dilakukan dengan *ONE-LINE* model ini dilakukan dengan memodifikasi model, prinsip perubahan ini dengan mengukur *rate* volume sedimen yang masuk dan keluar dari setiap sel.



Gambar 2.9 Garis pantai dibagi ke dalam sel yang memiliki lebar Δx dan panjang (y_i)
 i mengacu pada nomor dari sel
 (Triatmodjo: 1999; 192)



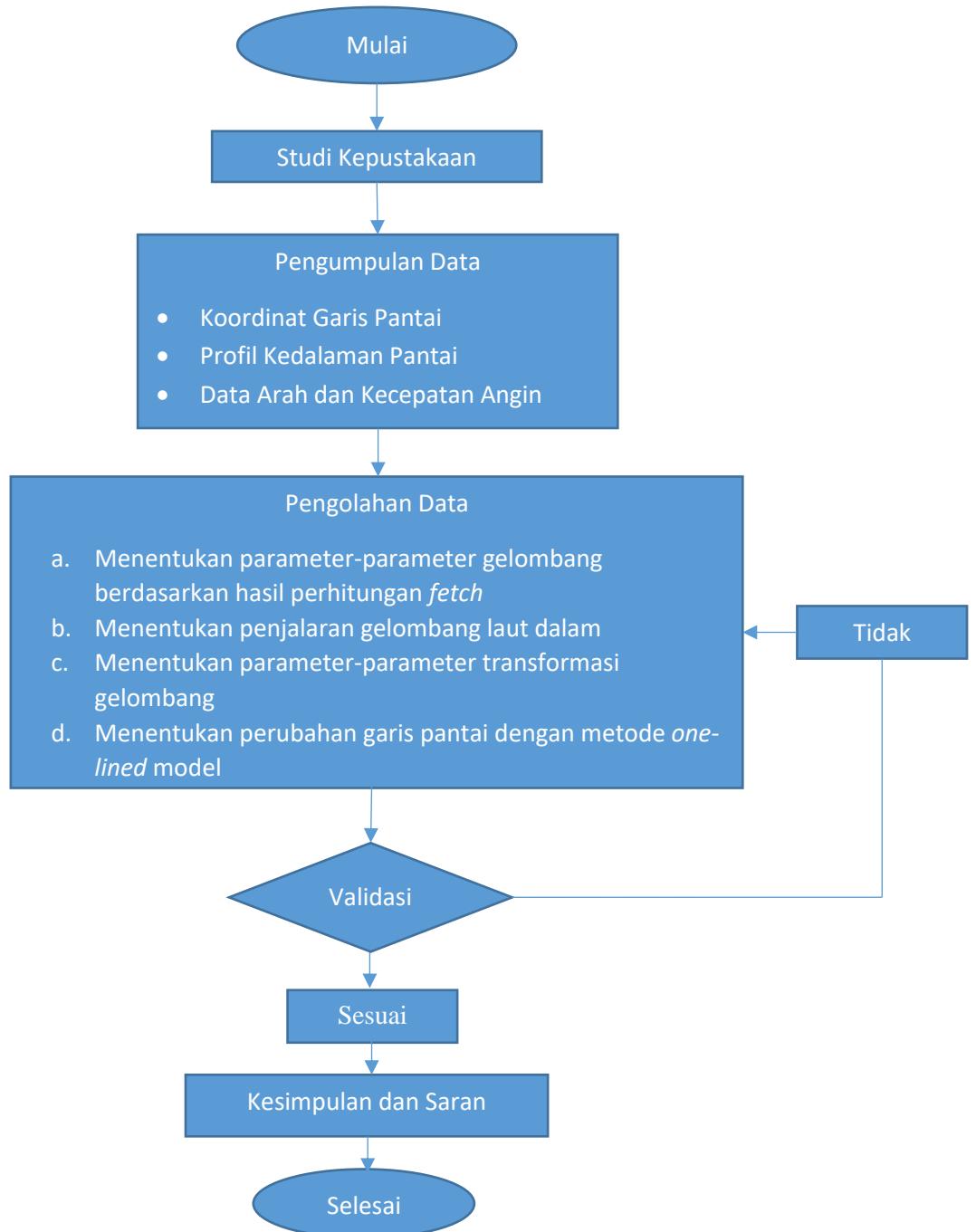
Gambar 2.10 Sedimen Transpor ke dalam dan keluar sel (Triatmodjo: 1999; 192)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1. Metodologi penelitian

3.1 Studi Kepustakaan

Pada tahap Studi Kepustakaan untuk mempelajari materi-materi yang mendukung studi ini bersumber dari buku, jurnal, paper publikasi ataupun studi-studi terdahulu yang pernah dilakukan tentang teori gelombang linear, transformasi gelombang (refraksi dan shoaling), pembangkitan gelombang oleh angin, pergerakan garis pantai, dan juga metode *one-lined* model yang akan digunakan pada penelitian tugas akhir ini.

3.2 Pengumpulan Data

Sebelum melakukan penelitian, dibutuhkan beberapa data untuk mendapatkan hasil sesuai tujuan. Data yang diperlukan untuk melakukan penelitian yaitu data profil kedalaman pantai yang dapat dilihat dari peta batimetri, data arah dan kecepatan angin kota Banyuwangi tahun 2010-2014, dan data *specific gravity* di lokasi penelitian.

3.3 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari lapangan dan kepustakaan yang bersesuaian dengan pokok bahasan, disusun dengan sistematis dan logis dan dilakukan pengolahan data yaitu bathimetri, kecepatan dan arah angin diolah untuk peramalan gelombang dan penjalaran gelombang. Data-data tersebut akan digunakan pada saat membuat Pemodelan Numerik Pergerakan Garis Gantai dengan menggunakan persamaan *One-Line* model dan metode *One-Line* Model ini.

3.3.1 Menentukan parameter-parameter gelombang berdasarkan hasil perhitungan *fetch*

Peramalan gelombang di laut dalam dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Untuk peramalan gelombang, berdasarkan data kecepatan angin yang di ukur di darat, dikoreksi menjadi data angin laut.
 - a. Koreksi data angin pada ketinggian 10 m
 - b. Koreksi durasi angin
 - c. Koreksi stabilitas
 - d. Berdasarkan nilai durasi angin dan panjang fetch, dilakukan koreksi angin darat ke laut

2. Menghitung panjang fetch efektif menggunakan peta RBI (Peta Rupabumi Indonesia (RBI) adalah peta topografi yang menampilkan sebagian unsur-unsur alam dan buatan manusia di wilayah NKRI) dengan persamaan dari *Shore Protection Manual* (CERC 1984) $F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$ dimana F_{eff} adalah fetch efektif, X_i adalah panjang segmen yang di ukur dari titik observasi gelombang sampai dengan memotong garis pantai, α adalah sudut angina datang yang menggunakan sudut 5° sampai dengan 45° pada sisi kanan dan kiri arah angin metode ini berdasarkan asumsi :
- a. Angin berhembus dari permukaan air melalui lintasan berupa garis lurus.
 - b. Angin berhembus dengan mentransfer energinya, arah angina menyebar dalam radius 45° pada sisi kanan dan kiri arah angin
 - c. Angin berhembus dengan mentransfer satu unit energi pada air dengan ditambah satu energi yang di tentukan hargacosinus sudut antara jari-jari terhadap arah angin.
 - d. Gelombang di serap secara sempurna di pantai.
3. Menentukan tinggi gelombang di laut dalam (H_o) dan periode gelombang di laut dalam (T_o) menggunakan grafik sesuai dengan perhitungan fetch efektif (F_{eff}) dan U_A faktor tegangan angin.
4. Analisa parameter gelombang akan di selesaikan dengan program refraksi gelombang (Komar, 1984) sesuai gelombang amplitudo kecil. Penyederhanaan rumus gelombang dilakukan dengan klsifikasi gelombang bedasarkan kedalaman (Tabel 3.1)

Tabel 3.1 Persamaan parameter gelombang amplitude kecil (CEM, 2007)

Kedalaman relatif	Perairan dangkal $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	Perairan transisi $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	Perairan dalam $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
Kecepatan gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi l}{L}\right)$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang gelombang	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gd^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi l}{L}\right)$	$L = L_0 = \frac{gd^2}{2\pi} C_o T$

Kecepatan grup	$C_g = C = \sqrt{gd}$	$C_g = nC = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\frac{4\pi/L}{\sinh(\frac{4\pi}{L})}}{C} \right) C$	$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gt}{4\pi}$
----------------	-----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------

3.3.2 Menentukan penjalaran dan transformasi gelombang

Parameter yang akan digunakan adalah sudut datang gelombang (α_0), tinggi gelombang pecah (H_b), kecepatan gelombang (C_b), kecepatan grup gelombang (C_g), periode gelombang (T), dan kedalaman perairan (d). diperlukan data kemiringan pantai pada segmen yang ditinjau untuk menentukan indeks gelombang pecah (y_b) yang akan digunakan dalam perhitungan. Arah gelombang datang tak selalu tegak lurus dengan garis pantai, sehingga perlu dihitungkan pengaruh transformasi gelombang utama (pengaruh *refraksi* dan *shoaling* akibat perubahan kedalaman). Pembuatan diagram refraksi menggunakan metode puncak gelombang (CEM, 2007). Penentuan besar sudut datang gelombang di perairan dalam disesuaikan dengan sudut datang angin permukaan.

Analisa transformasi gelombang dilakukan dengan menentukan gelombang laut dalam ekivalen pada kedalaman acuan (refrensi).

3.3.3 One-Line Model Perubahan Garis Pantai

Sebagian besar model numerik untuk memperkirakan perubahan garis pantai dalam periode waktu yang lama (Dong, dan Huixin, 1999) dalam aplikasi teknik pantai. Input utama yang diperlukan adalah parameter gelombang pecah (tinggi, periode, dan sudut datang). Hasil yang didapat dari model ini dibandingkan dengan perhitungan dan analisa citra satelit.

Langkah permodelan dilakukan dengan penentuan bentuk garis pantai, dibagi dalam jumlah sel, menentukan sumber sedimen dan sedimen yang hilang pada sel, dan menghitung perubahan garis pantai, dalam periode waktu (Suntoyo, 1995).

Tahapan dalam pemodelan garis pantai adalah:

1. Menentukan bentuk garis pantai awal ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$)
2. Membagi garis pantai menjadi beberapa sel (ΔX).

3. Menentukan sumber sedimen dan sedimen yang hilang pada seluruh sel (Q_e)
4. Menghitung perubahan garis pantai untuk setiap langkah waktu Δt .

Halaman ini sengaja dikosongkan

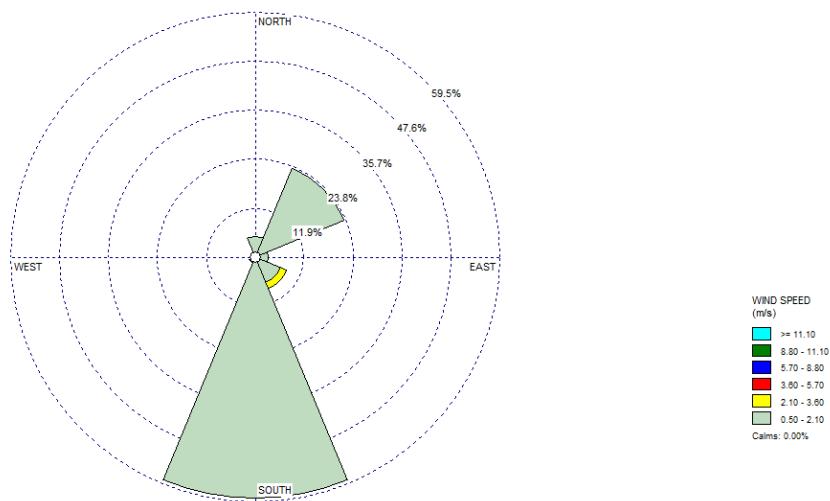
BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Angin

4.1.1 Arah dan Kecepatan Angin

Angin merupakan salah satu faktor penting dalam perubahan garis pantai. Sebaran kecepatan dan arah angin bulanan rata-rata kota Banyuwangi selama tahun 2010-2014 ditunjukkan pada gambar (4.1)



Gambar 4.1 Diagram mawar angin bulanan rata-rata tahun 2010-2014

Diagram mawar angin menunjukkan arah angin dominan berasal dari arah selatan, yang kemudian dikuti oleh arah angin dari timur laut. Berdasarkan letak geografisnya, Pantai Watu Dodol dapat diterjang oleh gelombang yang dibangkitkan oleh angin yang berasal dari selatan, tenggara, timur, dan timur laut. Jika dilihat dari gambar (4.1), hanya angin yang berasal dari selatan dan timur laut yang dapat membangkitkan gelombang yang akan bergerak menuju pantai dan memberikan pengaruh cukup besar terhadap Pantai Watu Dodol.

4.1.2 Frekuensi Distribusi dan Persentase Kejadian Angin

Angin yang bertiup di Pantai Watu Dodol selama tahun 2010-2014 mempunyai sebaran frekuensi distribusi yang ditunjukkan pada Tabel (4.1). Dari tabel dapat dilihat bahwa frekuensi kecepatan angin terbesar ada pada kisaran 1-2 m/s dengan nilai frekuensi 32 kali pada arah selatan. Kejadian angin paling banyak berada pada arah selatan yaitu 35 kali.

Tabel 4.1 Frekuensi distribusi angin selama tahun 2010-2014

Arah	Kecepatan angin (m/s)					Total
	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
Utara	0	3	0	0	0	3
Timur Laut	3	11	0	0	0	14
Timur	0	1	1	0	0	2
Tenggara	0	4	1	0	0	5
Selatan	2	32	1	0	0	35
Barat Daya	1	0	0	0	0	1
Barat	0	0	0	0	0	0
Barat Laut	0	0	0	0	0	0
Total	6	51	3	0	0	60

Secara keseluruhan kecepatan angin pada kisaran 1-2 m/s mempunyai total kejadian sebesar 51 kali. Frekuensi angin yang membangkitkan gelombang menuju Pantai Watu Dodol mempunyai jumlah kejadian angin sebesar 35 kali dari arah selatan, dan 14 kali dari arah timur laut. Angin berkecepatan 1-2 m/s memiliki frekuensi kejadian angin sebesar 32 kali dari selatan, dan 11 kali dari timur laut. Kondisi ini menunjukkan bahwa angin pada kecepatan 1-2 m/s yang berasal dari selatan memberikan pengaruh yang paling besar terhadap perubahan Pantai Watu Dodol.

Persentase kejadian angin selama tahun 2010-2014 ditunjukan pada tabel (4.2). Pada tabel dapat dilihat bahwa persentase angin terbesar berasal dari arah selatan dengan nilai sebesar 58.33 %, yang kemudian diikuti oleh arah timur laut dengan nilai sebesar 23.33 %.

Tabel 4.2 Persentase kejadian angin selama tahun 2010-2014

Arah	Kecepatan angin (m/s)					Total (%)
	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
Utara	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	5.00
Timur Laut	5.00	18.33	0.00	0.00	0.00	23.33
Timur	0.00	1.67	1.67	0.00	0.00	3.33
Tenggara	0.00	6.67	1.67	0.00	0.00	8.33
Selatan	3.33	53.33	1.67	0.00	0.00	58.33
Barat Daya	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67
Barat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Barat Laut	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (%)	10.00	85.00	5.00	0.00	0.00	100

Arah angin pembangkit gelombang yang bergerak menuju Pantai Watu Dodol masing-masing mempunyai persentase kejadian gelombang yaitu 58.33 % dari selatan, dan 23.33 % dari timur laut. Angin yang paling dominan dalam proses pembangkitan gelombang menuju Pantai Watu Dodol adalah angin dari selatan dengan kisaran kecepatan 1-2 m/s.

4.2 Pembangkitan Gelombang Laut Dalam

Fetch yang panjang dan kecepatan angin yang besar menghasilkan gelombang yang besar (Garrison, 2005), sehingga panjang *fetch* menentukan tinggi gelombang yang terbentuk. Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* di batasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di dareah pembentukan gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Hasil perhitungan panjang *fetch* efektif dalam berbagai arah dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.3 Perhitungan fetch efektif

Angin arah selatan				Angin arah timur laut			
a	cos a	Xi (Km)	Xi . Cos a	a	cos a	Xi (Km)	Xi . Cos a
42	0.74	0.00	0.00	42	0.74	0.00	0.00
36	0.81	0.00	0.00	36	0.81	0.00	0.00
30	0.87	0.00	0.00	30	0.87	0.00	0.00
24	0.91	0.00	0.00	24	0.91	111.64	101.99
18	0.95	0.00	0.00	18	0.95	130.88	124.48
12	0.98	4.70	4.60	12	0.98	134.86	131.91
6	0.99	40.45	40.23	6	0.99	153.64	152.80
0	1.00	50.98	50.98	0	1.00	169.10	169.10
6	0.99	58.87	58.55	6	0.99	178.83	177.85
12	0.98	62.71	61.34	12	0.98	180.48	176.53
18	0.95	7.70	7.33	18	0.95	200.00	190.21
24	0.91	7.44	6.80	24	0.91	200.00	182.71
30	0.87	6.62	5.74	30	0.87	200.00	173.21
36	0.81	5.80	4.70	36	0.81	200.00	161.80
42	0.74	4.93	3.66	42	0.74	200.00	148.63
Σ	13.51		243.93	Σ	13.51		1891.22

$$F_{\text{eff}} = 18.05 \text{ km}$$

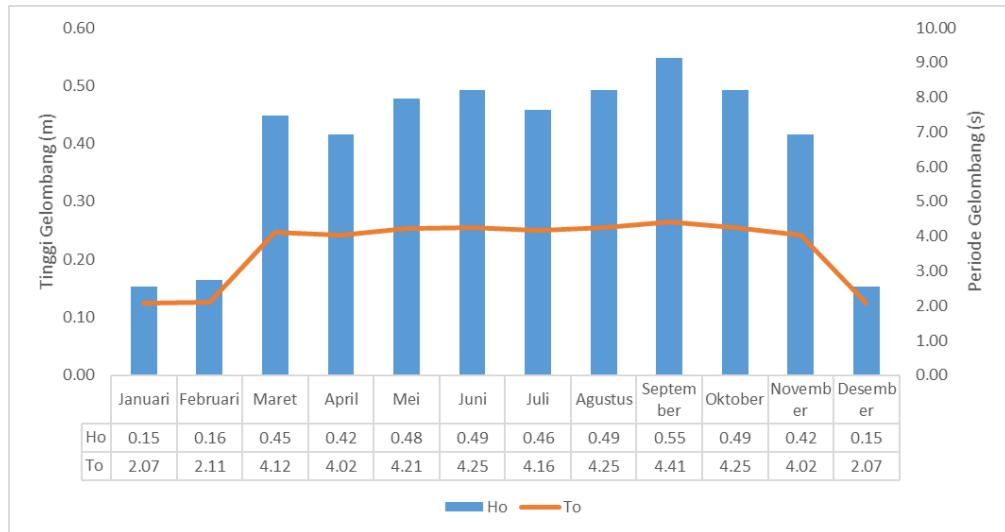
$$F_{\text{eff}} = 139.98 \text{ km}$$

Setelah mengetahui besarnya F_{eff} dan kecepatan angin, maka kita dapat melakukan peramalan tinggi dan periode gelombang yang terjadi di laut dalam. Hasil prediksi pembangkitan gelombang oleh angin ditunjukkan pada tabel (4.4)

Tabel 4.4 Tinggi dan periode gelombang di laut dalam

Bulan	Kecepatan angin (m/s)	Arah ($^{\circ}$)	Fetch (m)	H_o (m)	T_o (s)
Januari	1.54	45	18054.0	0.15	2.07
Februari	1.64	45	18054.0	0.16	2.11
Maret	1.59	180	139977.2	0.45	4.12
April	1.49	180	139977.2	0.42	4.02
Mei	1.70	180	139977.2	0.48	4.21
Juni	1.75	180	139977.2	0.49	4.25
Juli	1.64	180	139977.2	0.46	4.16
Agustus	1.75	180	139977.2	0.49	4.25
September	1.95	180	139977.2	0.55	4.41
Oktober	1.75	180	139977.2	0.49	4.25
November	1.49	180	139977.2	0.42	4.02
Desember	1.54	45	18054.0	0.15	2.07

Kecepatan angin bulanan rata-rata menunjukkan nilai terbesar terjadi pada bulan September yaitu 1.95 m/s dengan arah datang dari selatan. Dari data angin bulanan rata-rata dapat dihitung tinggi dan periode gelombang di laut dalam dimana dalam perhitungannya melibatkan panjang *fetch* yang nilainya berbeda untuk tiap arah mata angin. Hubungan tinggi dan periode gelombang laut dalam dapat dilihat dalam grafik seperti pada gambar (4.2).



Gambar 4.2 Grafik tinggi dan periode gelombang laut dalam

Berdasarkan gambar 4.2 dari hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang, terlihat bahwa gelombang tertinggi terjadi pada bulan September dengan tinggi gelombang sebesar 0.55 m dan dengan periode 4.41 detik. Tinggi dan periode gelombang ini yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya.

4.3 Transformasi Gelombang

4.3.1 Refraksi

Perhitungan dan analisis refraksi gelombang menggunakan metode perhitungan analitis dengan menentukan kedalaman yang ditinjau dari -15 m sampai -1 m. Tinggi dan periode gelombang datang diambil dari hasil perhitungan peramalan gelombang di laut dalam dengan nilai terbesar, yaitu pada bulan September dengan $Ho = 0.55$ m, $To = 4.41$ detik dan arah datang

gelombang dari selatan. Sudut datang gelombang dibentuk dari garis puncak gelombang dengan garis kontur pantai.

Tabel 4.5 Hasil analisa refraksi gelombang

Arah angin	α_o	d	H_o	L_o	d/L_o	d/L	L	C_o	c	$\sin a$	a	$\cos a_o$	$\cos a$	Kr	Ks	H_o'
Selatan	66	15	0.55	26.54	0.50	0.50	30.19	21.58	21.55	0.91	65.80	0.41	0.41	1.00	0.99	0.54
Selatan	65.80	14	0.54	26.51	0.46	0.47	30.00	21.55	21.49	0.91	65.41	0.41	0.42	0.99	0.99	0.53
Selatan	65.41	13	0.53	26.45	0.43	0.44	29.78	21.49	21.32	0.90	64.44	0.42	0.43	0.98	0.98	0.51
Selatan	64.44	12	0.51	26.37	0.40	0.41	29.42	21.32	21.15	0.90	63.53	0.43	0.45	0.98	0.98	0.49
Selatan	63.53	11	0.49	26.21	0.37	0.38	28.92	21.15	20.92	0.89	62.29	0.45	0.46	0.98	0.97	0.47
Selatan	62.29	10	0.47	25.94	0.35	0.35	28.24	20.92	20.60	0.87	60.68	0.46	0.49	0.97	0.96	0.44
Selatan	60.68	8.5	0.44	25.59	0.30	0.31	27.15	20.60	20.04	0.85	58.03	0.49	0.53	0.96	0.95	0.40
Selatan	58.03	7	0.40	24.91	0.26	0.27	25.47	20.04	19.18	0.81	54.26	0.53	0.58	0.95	0.94	0.36
Selatan	54.26	5.5	0.36	23.72	0.22	0.24	23.05	19.18	17.91	0.76	49.30	0.58	0.65	0.95	0.92	0.31
Selatan	49.30	3.5	0.31	21.80	0.15	0.18	18.92	17.91	15.47	0.65	40.89	0.65	0.76	0.93	0.91	0.26
Selatan	40.89	1	0.26	18.26	0.05	0.10	10.28	15.47	9.28	0.39	23.13	0.76	0.92	0.91	1.01	0.24

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh kedalaman laut. Dari tabel perhitungan refraksi diatas dapat diketahui pola perubahan dan pergerakan gelombang yang bergerak dari perairan dalam menuju pantai. Gelombang mulai mengalami refraksi pada kedalaman 15 m dikarenakan adanya pengaruh kedalaman relatif (d/L_o) = 0.5. Pada tabel terlihat bahwa tinggi gelombang semakin berkurang ketika gelombang semakin mendekati pantai, dan gelombang mengalami pembelokan dari sudut a_o ke sudut a pada tiap kedalaman hingga arah gelombang mendekati tegak lurus garis pantai.

4.3.2 Gelombang Pecah

Perhitungan gelombang pecah dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia. Dalam menentukan tinggi gelombang pecah digunakan grafik yang menyatakan hubungan antara $H'o/gT^2$ dan Hb/Ho' . Dan dalam menentukan kedalaman gelombang pecah digunakan grafik yang menyatakan hubungan antara Hb/gT^2 dan db/Hb . Kemiringan pantai didapat dari peta batimetri sebesar 0.0975.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan gelombang pecah

H_o (m)	H_o' (m)	m	T_o (s)	H_o'/gT^2	Hb/Ho'	Hb (m)	Hb/gT^2	db/Hb	db (s)
0.55	0.54	0.0975	4.41	0.00284	1.50	0.81	0.00425	0.86	0.70

Berdasarkan perhitungan didapat tinggi gelombang pecah sebesar 0.81 meter, dan gelombang pecah pada kedalaman 0.7 meter. Pada saat terjadi gelombang pecah, tinggi gelombang menjadi lebih tinggi dibanding dengan tinggi gelombang laut dalam.

4.4 Transpor Sedimen

Transpor sedimen yang ditinjau dalam penelitian ini adalah yang terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis pantai. Cara terbaik untuk memperkirakan transport sedimen sejajar pantai pada suatu tempat adalah mengukur debit sedimen di lokasi yang ditinjau. Rumus empiris yang digunakan untuk menghitung laju debit sedimen yaitu:

$$Q_s = 0.401 P_1$$

$$P_1 = \left(\frac{\rho g}{8}\right) Hb^2 C_b \sin ab \cos ab$$

dimana:

Q_s = angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3/hari$)

P_1 = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/s)

Hb = tinggi gelombang pecah (m)

C_b = cepat rambat gelombang pecah (m/s)

ab = sudut datang gelombang pecah

ρ = massa jenis air laut

g = percepatan gravitasi

Tabel 4.7 Perhitungan transpor sedimen

Arah	$\rho g/8$	Hb	Hb^2	Cb	ab	sin ab	cos ab	P1	Qs
Selatan	1.257	0.81	0.654	2.612	66.0	0.914	0.407	0.798	0.320

Dari hasil perhitungan diperoleh debit transport sedimen sebesar $0.32 m^3$ perhari atau $116.77 m^3$ pertahun.

4.5 One-Line Model Perubahan Garis Pantai



Gambar 4.3 Lokasi penelitian

Analisis perhitungan garis pantai menggunakan didasarkan pada persamaan kontinuitas sedimen. Untuk itu pantai dibagi menjadi sejumlah sel. Pada tiap sel ditinjau angkutan sedimen yang masuk dan keluar. Analisis menggunakan persamaan CERC dan menggunakan program Microsoft Excel. Asumsi yang digunakan dalam model ini adalah:

- Properti gelombang (tinggi, periode, dan arah; digunakan arah dominan yaitu arah selatan), data topografi pantai, dan koordinat awal garis pantai.
- Data gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah diambil dari hasil analisis refraksi dan perhitungan gelombang pecah.
- Garis pantai dibagi menjadi 245 sel dengan panjang tiap sel sebesar 10 m.

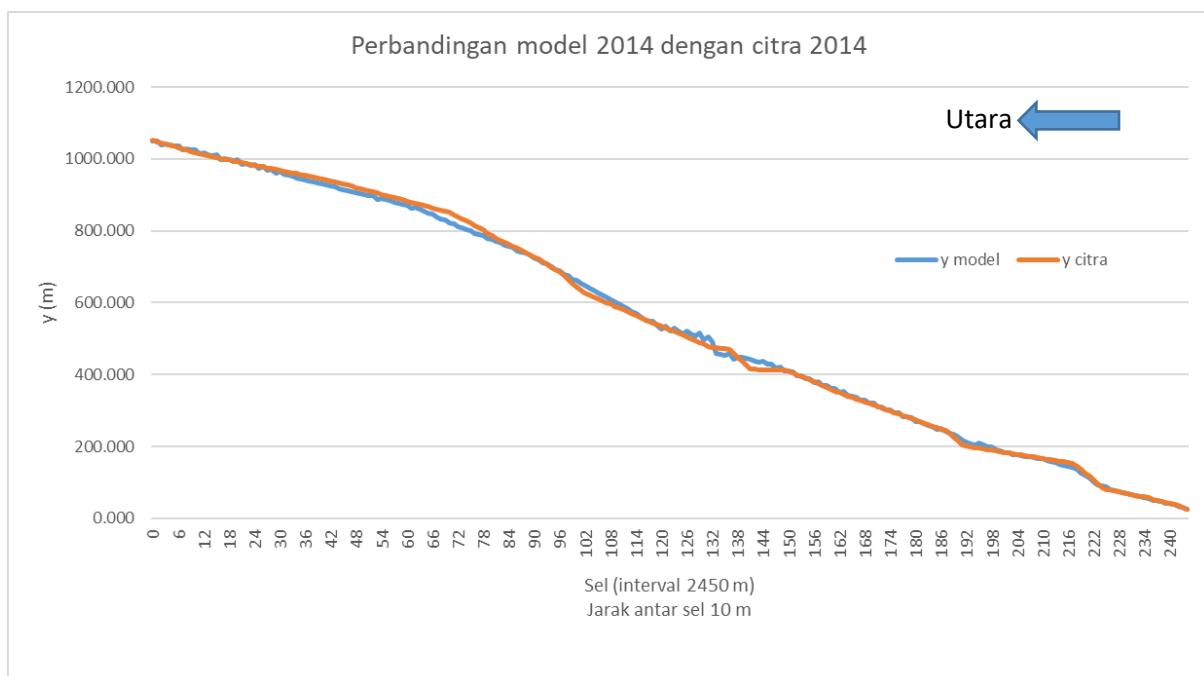
Properti gelombang merupakan data penting untuk menjamin akurasi model yang dihasilkan karena merupakan data inputan yang utama. Koordinat sel garis pantai awal diambil berdasarkan data citra Landsat tahun 2010.

Alur perhitungan, pertama yang dihitung adalah sudut gelombang pecah dan litoral drift pada sel i sampai sel ke $i+1$ dalam waktu Δt . langkah selanjutnya, menghitung nilai Q_i , jika bernilai positif berarti sedimen mengalir dari sel i ke menuju sel $i+1$, dan sebaliknya, jika Q bernilai negatif maka sedimen berpindah dari sel $i+1$ menuju sel i. Perhitungan dilakukan berulang kali hingga sel ke 245, setelah ditentukan besarnya Δt kemudian dapat dihitung nilai Δy . Penjumlahan koordinat garis pantai yang lama (y) dengan Δy merupakan koordinat garis

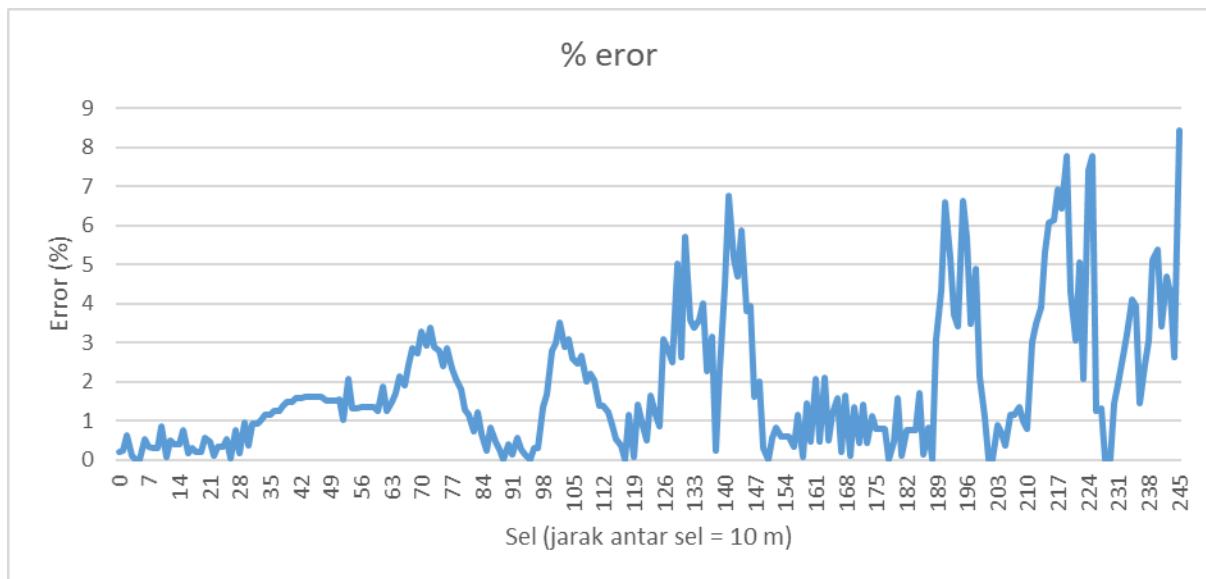
pantai yang baru. Selanjutnya hasil divalidasi dengan koordinat garis pantai pada citra Landsat tahun 2014.

Validasi model menggunakan citra Landsat tahun 2014 (Gambar 4.4) menunjukkan perubahan garis pantai model relatif stabil dengan citra, jika hanya meninjau dari parameter angin, gelombang, dan sedimen, tanpa memperhitungkan adanya bangunan pelindung pantai maupun arus.

Nilai eror tiap sel relatif bervariasi di lokasi penelitian (Gambar 4.5), pada 50 sel awal menunjukkan eror yang kecil dengan nilai eror dibawah 2% hingga pada beberapa sel berikutnya menunjukkan nilai eror yang lebih besar. Nilai eror terbesar terletak pada sel 245 dengan nilai eror sebesar 8%.

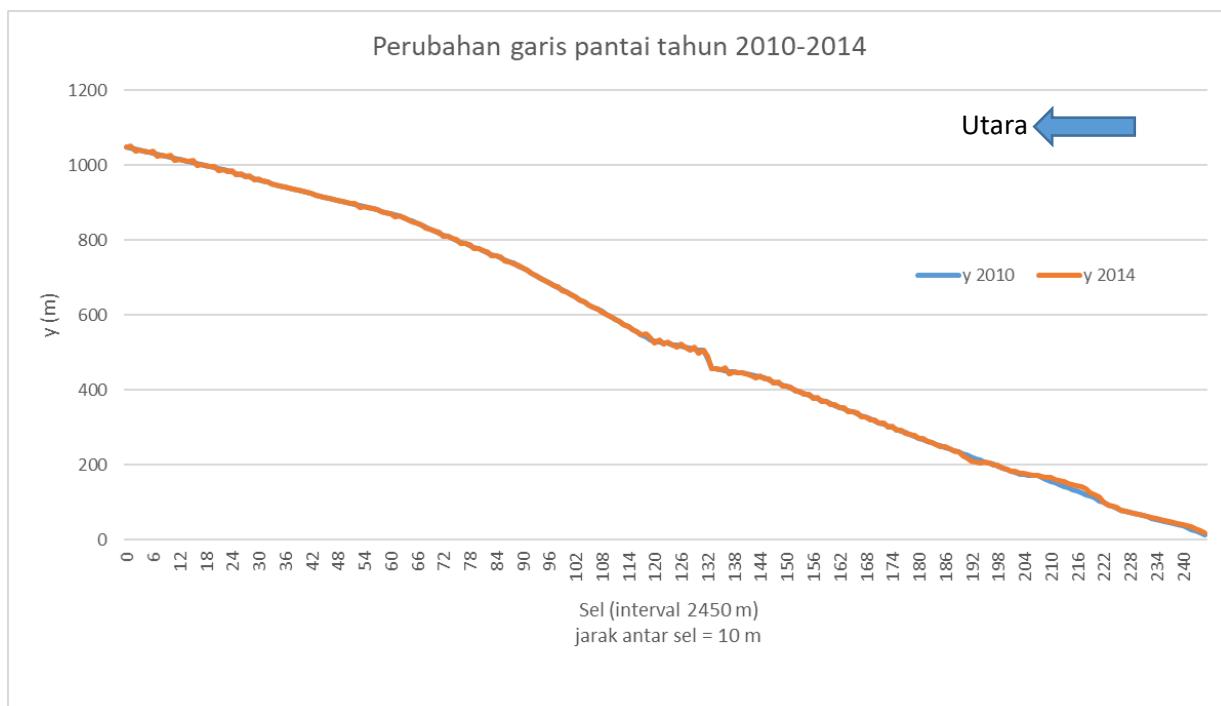


Gambar 4.4 Perbandingan model garis pantai dengan citra

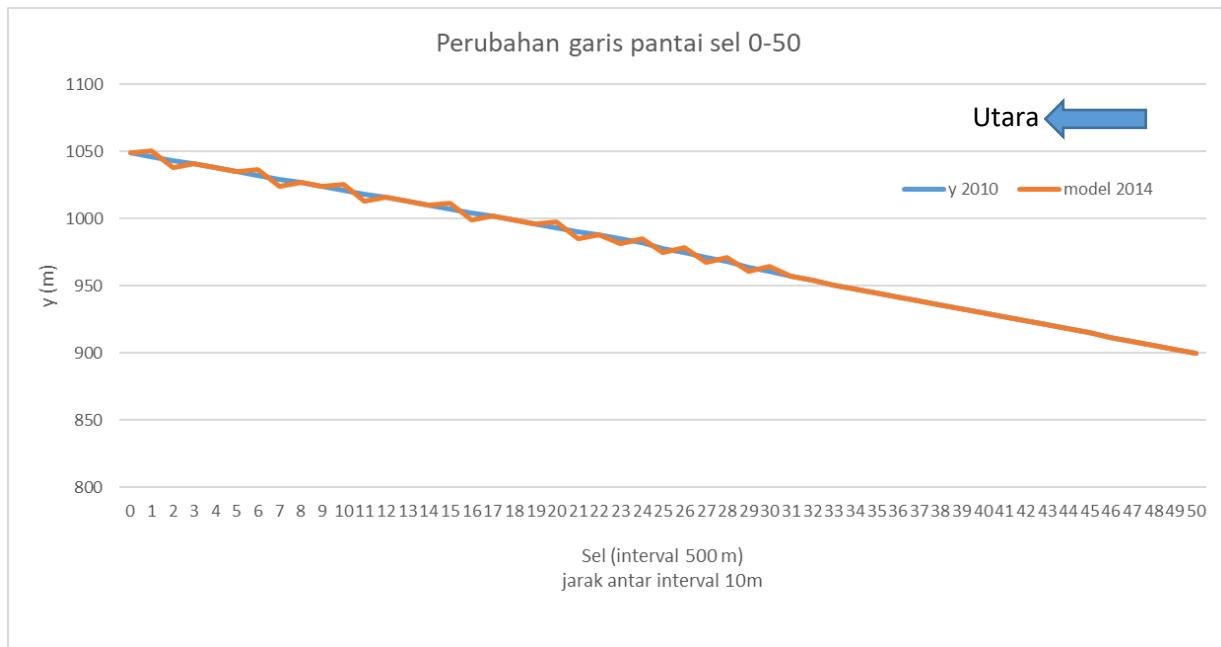


Gambar 4.5 Nilai eror model dengan citra 2014

Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara garis pantai awal (tahun 2010) dan model garis pantai tahun 2014. Dari hasil perhitungan dapat diasumsikan hampir tidak ada perubahan garis pantai yang signifikan selama tahun 2010 sampai 2014. Perubahan nilai y yang cukup signifikan terletak pada sel 209-221. Pada sel tersebut titik garis pantai mengalami peningkatan diatas 10 m.

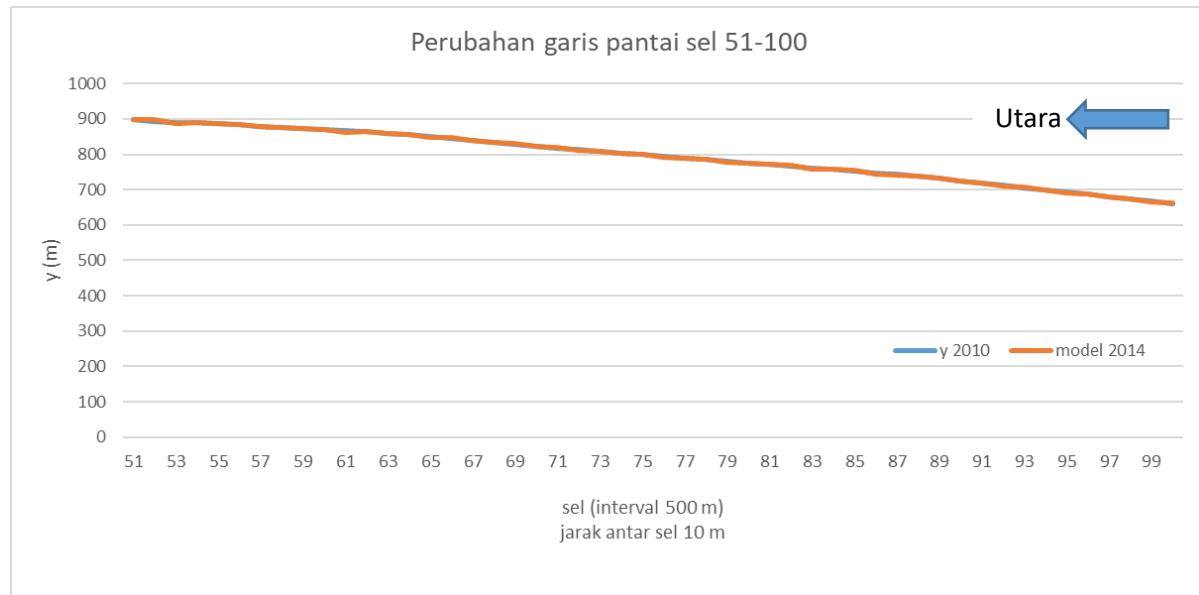


Gambar 4.6 Perubahan garis pantai 2010-2014



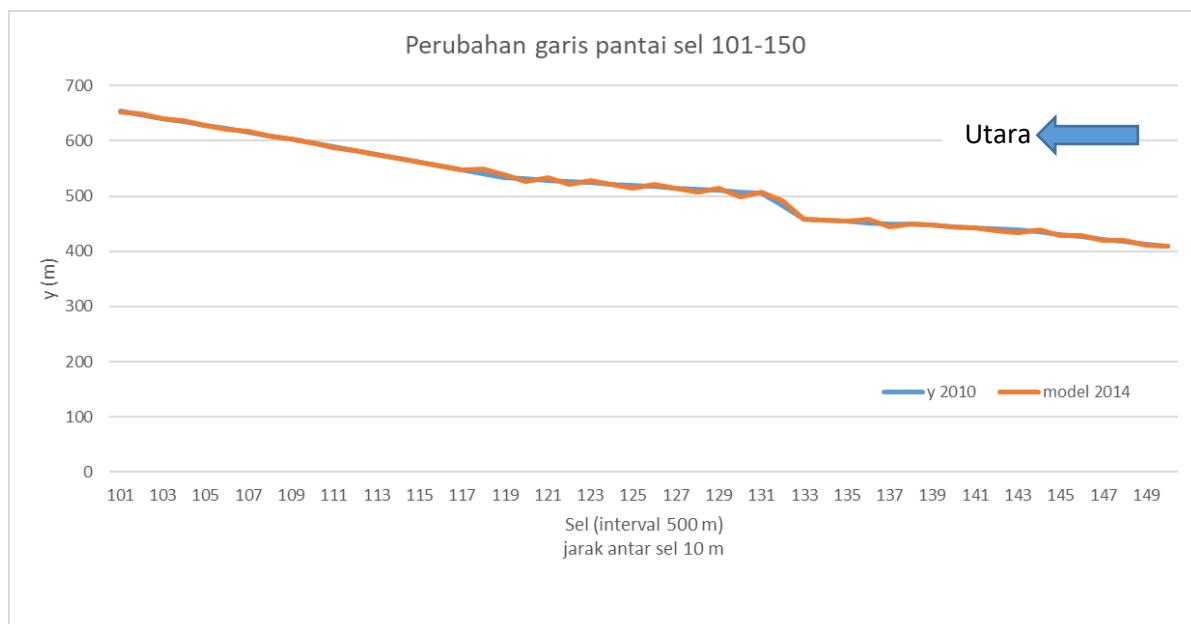
Gambar 4.7 Perubahan garis pantai sel 0-50

Sel 31-50 berada pada kondisi stabil tidak mengalami perubahan dengan garis pantai awal. Sedangkan sel lainnya mengalami perubahan dengan nilai bervariasi namun tidak terlalu tinggi perubahannya. Nilai dy terbesar terletak pada sel 1, 6, 10, 15, dan 20 dengan kenaikan sebesar 4.63 m.



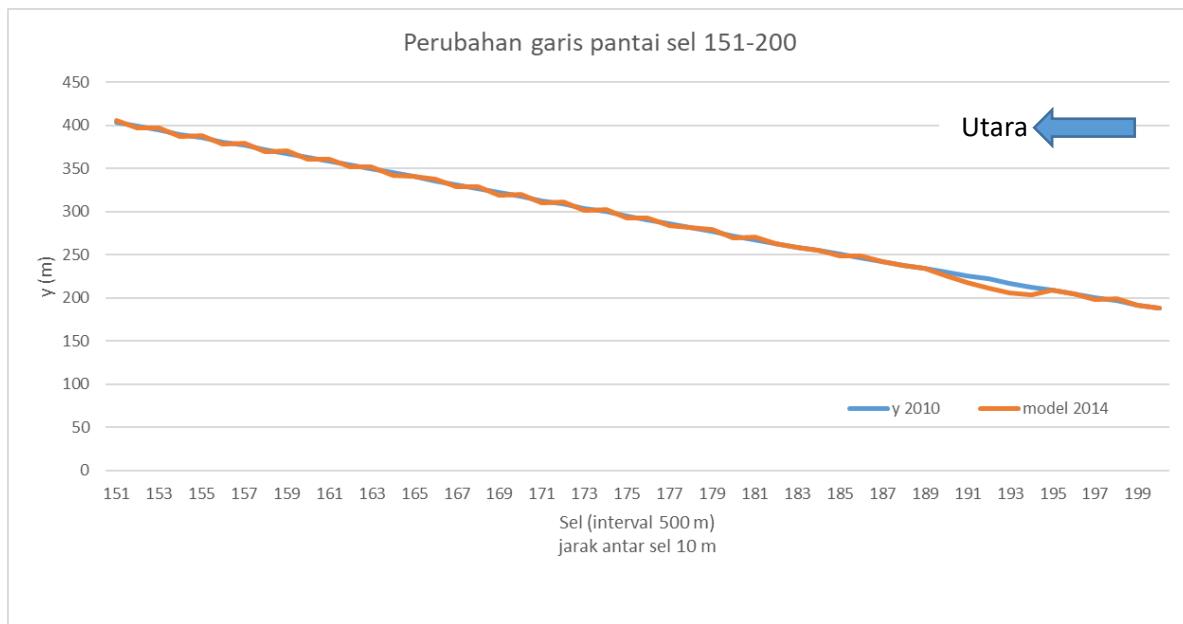
Gambar 4.8 Perubahan garis pantai sel 51-100

Kondisi garis pantai dengan kondisi stabil pada sel 51, 54-60, 62-64, 67, 70, 73-74, 77, 80-81, 84, dan 94. Perubahan garis pantai pada sel 51-100 relatif stabil, hampir tidak ada perubahan yang signifikan terjadi pada sel ini. Nilai dy terbesar terletak pada sel 61, pada sel ini titik y mengalami kemundiran sebesar 5.618 m.



Gambar 4.9 Perubahan garis pantai sel 101-150

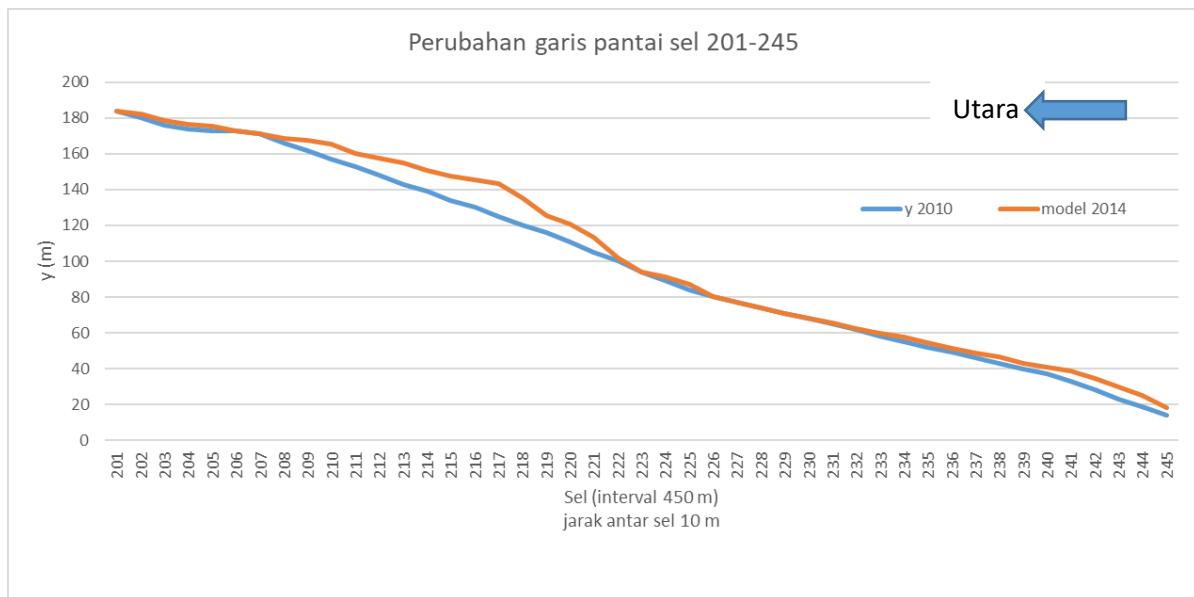
Kondisi garis pantai dengan kondisi stabil pada sel 105, 112-117, 124, 127, 133-135, 138-141, dan 150. Kecenderungan garis pantai lurus menunjukkan daerah ini merupakan daerah relatif stabil. Nilai dy terbesar terletak pada sel 130, pada sel ini titik y mengalami kemunduran sebesar 9.3 m.



Gambar 4.10 Perubahan garis pantai sel 151-200

Pada sel 151-200, kondisi garis pantai yang stabil terletak pada sel 165, 178, 182-184, 187-189, 195-196, dan 199-200. Kecenderungan garis pantai lurus menunjukkan daerah ini merupakan daerah relatif stabil. Nilai dy terbesar terletak pada sel 192 dan 193, pada sel ini nilai y mengalami kemunduran sebesar 10.579 m.

Daerah yang mengalami kemunduran garis pantai (abrsasi) perlu diperhatikan karena menimbulkan dampak yang cukup merugikan yaitu penyusutan area pantai. Dampak ini cukup merugikan untuk sektor pariwisata karena dapat merusak keindahan area pantai tersebut. Selain itu juga dapat mengancam keberlangsungan hidup penduduk sekitar pantai yang memiliki tempat tinggal atau usaha di sekitar area pantai. Oleh karena itu perlu dilakukan pencegahan untuk mengurangi dampak akibat abrsasi tersebut. Pencegahan bisa dilakukan dengan membangun pelindung pantai maupun dengan penanaman tanaman bakau.



Gambar 4.11 Perubahan garis pantai sel 201-245

Pada sel 201-245, kondisi garis pantai yang stabil terletak pada sel 201, 206-207, 223, dan 226-230. Pada gambar 4.7 terlihat pada sel 209-221 terjadi peningkatan garis pantai yang bervariasi diatas 10 m.

Output model menunjukkan ada pergeseran letak titik setiap sel, tertinggi pada sel 217 sebesar 18.314 meter. Beberapa kondisi sel stabil, yaitu 1, 6, 10, 15, 20, 51, 54-60, 62-64, 67, 70, 73-74, 77, 80-81, 84, 94, 105, 112-117, 124, 127, 133-135, 138-141, 150, 165, 178, 182-184, 187-189, 195-196, 199-200, 201, 206-207, 223, dan 226-230.

Untuk daerah yang mengalami kemajuan garis pantai (akresi) perlu diperhatikan juga. Dampak dari akresi pantai jika ditinjau dari aspek strategis adalah bertambahnya luasan di suatu kawasan dan terjadi pendangkalan yang dapat mengganggu navigasi dan alur pelayaran kapal. Dampaknya jika ditinjau dari aspek lingkungan adalah terjadinya perubahan atau bahkan hilangnya suatu habitat dari ekosistemnya. Luasan mangrove akan bertambah jika habitatnya di daerah yang memiliki sedimentasi yang tinggi juga bertambah. Kondisi ini dibeberapa tempat juga akan berasosiasi dengan bertambahnya habitat yang ditumbuh oleh padang lamun karena suplai nutrien dari sedimen tinggi. Jika terdapat habitat terumbu di pantai tersebut maka akan menyebabkan matinya hewan-hewan terumbu karang karena mengganggu fungsi metabolisme hewan karang dan meningkatkan kekeruhan serta menurunnya penetrasi cahaya matahari. Pencegahan akresi dapat dilakukan dengan membangun bangunan pelindung pantai yang dapat menahan laju sedimen yang masuk di daerah tersebut.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan uraian dan bahasan pada bagian sebelumnya adalah:

1. Kecepatan angin rata-rata tahun 2010-2014 menunjukkan arah angin dominan berasal dari arah selatan, yang kemudian diikuti arah dari timur laut. Parameter gelombang laut dalam yang dibangkitkan oleh angin memiliki tinggi gelombang sebesar 0.55 m dan periode gelombang 4.41 detik. Tinggi gelombang ini mengalami refraksi pada kedalaman 15 m hingga akhirnya pecah pada kedalaman 0.7 meter dengan tinggi gelombang pecah sebesar 0.81 meter.
2. Laju transport sedimen yang bergerak menuju pantai sebesar 0.32 m^3 perhari atau 116.77 m^3 pertahun.
3. Perubahan garis pantai terjadi hampir di semua sel disebabkan oleh gelombang; meskipun tidak signifikan, dengan kemunduran garis pantai terbesar pada sel 192-193 (-10.58 m) dan kemajuan garis pantai terbesar pada sel 217 (18.31 m).

5.2 Saran

Berdasarkan uraian diatas, sebaiknya perlu dilakukan penelitian menggunakan metode dan pendekatan dengan mempertimbangkan lebih banyak parameter dalam memodelkan perubahan garis pantai, validasi model dengan metode penelitian lain untuk mengetahui akurasi dan menyempurnakan model yang digunakan dalam penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bird, F. C. E. 1984. *Coast: An Introduction to Coastal Geomorfolgy, 3rd Edition.* New York: Basil Blackwell, Inc.
- Carter, R. W. G. 1988. *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines.* London: Academic Press.
- Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual Volume I, Fourth Edition.* Washington: U. S. Army Coastal Engineering Research Center.
- Dauhan, Stefani Kristie. 2013. *Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki.* Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Davis, R. A. Jr. 1993. *An Introduce to Sedimentology and Stratigraphy Depositional System.* New York: Pretice Hall.
- Dean, R. G., and Dalrymple R. A. 2004. *Coastal Processes with Engineering Applications.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Emery, W. J., and Thomson, R. E. 1997. *Data Analysis Method in Physical Oceanography.* Oxford: Pergamon.
- Gushaf, Yusuffi Kurnia. 2015. *Prakiraan Laju Transpor Sedimen Pelabuhan Boom Banyuwangi Menggunakan Metode Gelombang Angin.* Jember: Universitas Jember.
- Komar, P. D. 1984. *Beach Processed and Sedimentation.* New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Komar, P. D. 1984. *Shoreline Changes and CERC Handbook.* New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Kusumawati, et al. 2014. *Studi Perubahan Garis Pantai di Teluk Banten Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal.* Semarang: Universitas Diponegoro.
- Margolita, Mufty. 2018. *Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Model Numerik CEDAS-NEMOS.* Jember: Universitas Jember.
- Matondang, Muhammad Anshari. 2018. *Model Perubahan Garis Pantai Dengan Metode One Line Model.* Medan: Universitas Sumatera Utara.

- Siswanto, Aries Dwi. 2010. *Analisa Stabilitas Garis Pantai di Kabupaten Bangkalan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sorensen, R. M. 2006. *Basic Coastal Engineering – 3rd Edition*. New York: Springer Science+Business Media, Inc.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: FT. TGM.
- Triwahyuni, Andhita. 2009. *Model Perubahan Garis Pantai Timur Tarakan, Kalimantan Timur*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- U. S. Army Corps of Engineers. 2003. *Coastal Engineering Manual*. Washington: Department of The Army U. S. Army Corps of Engineer.
- Yudha, Febrian Putra. 2020. *Analisa Perubahan Garis Pantai di Kota Surabaya Menggunakan One Line Model*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

**DATA ARAH DAN KECEPATAN ANGIN RATA-RATA BULANAN
STASIUN METEOROLOGI BANYUWANGI**
SELEVASI : 43 METER

Keterangan : Kecepatan angin dalam Knots | 1 Knots = 1.86 Km/Jam

Arah Angin adalah Arah Terbaik Darimana Angin Bertujuan

СИЛА И МИР

- TENESAGA TE MUBAHAT

卷之三

DOTT. VETTORATI UNEIN MUSEUM IN UNO

DATA KEPALAIAN ANGIN BULANAN BULAWAN													
No	Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Okttober	November	Desember
		Arah Kec.											
1	2010	BD	12	TG	18	TL	13	TL	17	TL	16	TL	10
2	2011	TL	21	TL	13	TL	17	TL	15	TL	12	TL	5
3	2012	TL	18	TL	15	T	22	S	17	S	12	S	10
4	2013	T	12	TL	16	TL	12	U	18	TL	14	TL	5
5	2014	S	15	TL	16	TL	18	B	24	TL	13	TL	9

Keterangan : Kesebatan adalah ketika laju gerak $1 \text{ km} = 1,885 \text{ knot}$

Santabar - BMV Station Meteora (no Backup)



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

WRPlot Data Angin 2010-2014

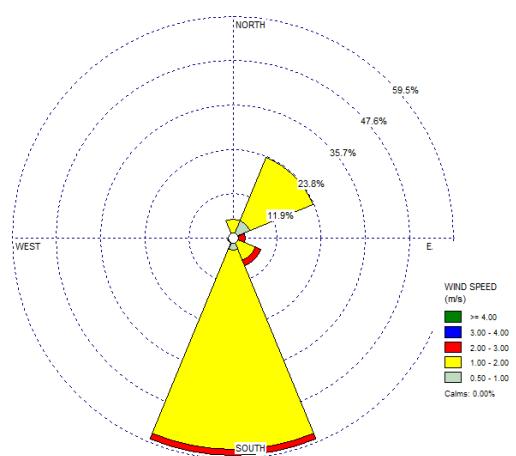
Tabel Frekuensi Data Angin

	Directions / Wind Classes (m/s)	0.50 - 1.00	1.00 - 2.00	2.00 - 3.00	3.00 - 4.00	>= 4.00	Total
1	337.5 - 22.5	0	3	0	0	0	3
2	22.5 - 67.5	3	11	0	0	0	14
3	67.5 - 112.5	0	1	1	0	0	2
4	112.5 - 157.5	0	4	1	0	0	5
5	157.5 - 202.5	2	32	1	0	0	35
6	202.5 - 247.5	1	0	0	0	0	1
7	247.5 - 292.5	0	0	0	0	0	0
8	292.5 - 337.5	0	0	0	0	0	0
	Sub-Total	6	51	3	0	0	60
	Calms						0
	Missing/Incomplete						0
	Total						60

Tabel Persentase Data Angin

	Directions / Wind Classes (m/s)	0.50 - 1.00	1.00 - 2.00	2.00 - 3.00	3.00 - 4.00	>= 4.00	Total (%)
1	337.5 - 22.5	0.00000	5.00000	0.00000	0.00000	0.00000	5.00000
2	22.5 - 67.5	5.00000	18.333300	0.00000	0.00000	0.00000	23.333300
3	67.5 - 112.5	0.00000	1.66667	1.66667	0.00000	0.00000	3.33333
4	112.5 - 157.5	0.00000	6.66667	1.66667	0.00000	0.00000	8.33333
5	157.5 - 202.5	3.33333	53.333300	1.66667	0.00000	0.00000	58.333300
6	202.5 - 247.5	1.66667	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.66667
7	247.5 - 292.5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	292.5 - 337.5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	Sub-Total	10.000000	85.000000	5.00000	0.00000	0.00000	100.000000
	Calms						0.00000
	Missing/Incomplete						0.00000
	Total						100.00

Diagram mawar angin



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

Perhitungan parameter gelombang di laut dalam

Bulan	Knot	m/s	Arah	U10 (m/s)		durasi		Koreksi darat ke lau	stabilitas		fetch	UA	Ho	To	
				t	(Ut/3600)	U3600	RL	Uw (m/s)	RT	Uc (m/s)					
Januari	3	1.542	45	1.251955	1285.189	1.021161	1.23	1.88	2.31	1.1	2.54	18053.97	2.23450	0.15	2.07
Februari	3.2	1.6448	45	1.335419	1204.865	1.023091	1.31	1.87	2.44	1.1	2.68	18053.97	2.39064	0.16	2.11
Maret	3.1	1.5934	180	1.293687	1243.732	1.022131	1.27	1.90	2.40	1.1	2.64	139977.2	2.34532	0.45	4.12
April	2.9	1.4906	180	1.210224	1329.506	1.02018	1.19	1.90	2.26	1.1	2.48	139977.2	2.17358	0.42	4.02
Mei	3.3	1.6962	180	1.377151	1168.354	1.024042	1.34	1.88	2.53	1.1	2.78	139977.2	2.49493	0.48	4.21
Juni	3.4	1.7476	180	1.418883	1133.991	1.024983	1.38	1.87	2.59	1.1	2.85	139977.2	2.57122	0.49	4.25
Juli	3.2	1.6448	180	1.335419	1204.865	1.023091	1.31	1.87	2.45	1.1	2.69	139977.2	2.39866	0.46	4.16
Agustus	3.4	1.7476	180	1.418883	1133.991	1.024983	1.38	1.87	2.59	1.1	2.85	139977.2	2.57122	0.49	4.25
September	3.8	1.9532	180	1.58581	1014.623	1.028656	1.54	1.83	2.82	1.1	3.11	139977.2	2.86348	0.55	4.41
Oktober	3.4	1.7476	180	1.418883	1133.991	1.024983	1.38	1.87	2.59	1.1	2.85	139977.2	2.57122	0.49	4.25
November	2.9	1.4906	180	1.210224	1329.506	1.02018	1.19	1.90	2.26	1.1	2.48	139977.2	2.17358	0.42	4.02
Desember	3	1.542	45	1.251955	1285.189	1.021161	1.23	1.88	2.31	1.1	2.54	18053.97	2.23450	0.15	2.07

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D

Perhitungan refraksi

Formula :

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 1.56 \times T^2 && (\text{m}) \\
 &= 1.56 \times T^2 \times \tanh(2\pi d/L) \\
 &= T \times g d^{0.5} \\
 C_0 &= \sqrt{gL/2\pi} && (\text{m/s}) \\
 &\quad \sqrt{gL/2\pi} \tanh \\
 &= (2\pi d/L) \\
 &= g d^{0.5} && (\text{m/s}) \\
 \sin \alpha &= (C / C_0) \times \sin \alpha_0 \\
 n &= 0.5 (1 + (4\pi d/L) / \sinh 4\pi d/L) \\
 K_r &= (\cos \alpha_0 / \cos \alpha)^{0.5} \\
 K_s &= (0.5 \times 1/n \times C_0/C)^{0.5} \\
 H_{O'} &= K_r \times K_s \times H && (\text{m})
 \end{aligned}$$

syarat kedalaman	
dangkal	$d/L < 1/20$
menengah	$1/20 < d/L < 1/2$
dalam	$1/2 < d/L$

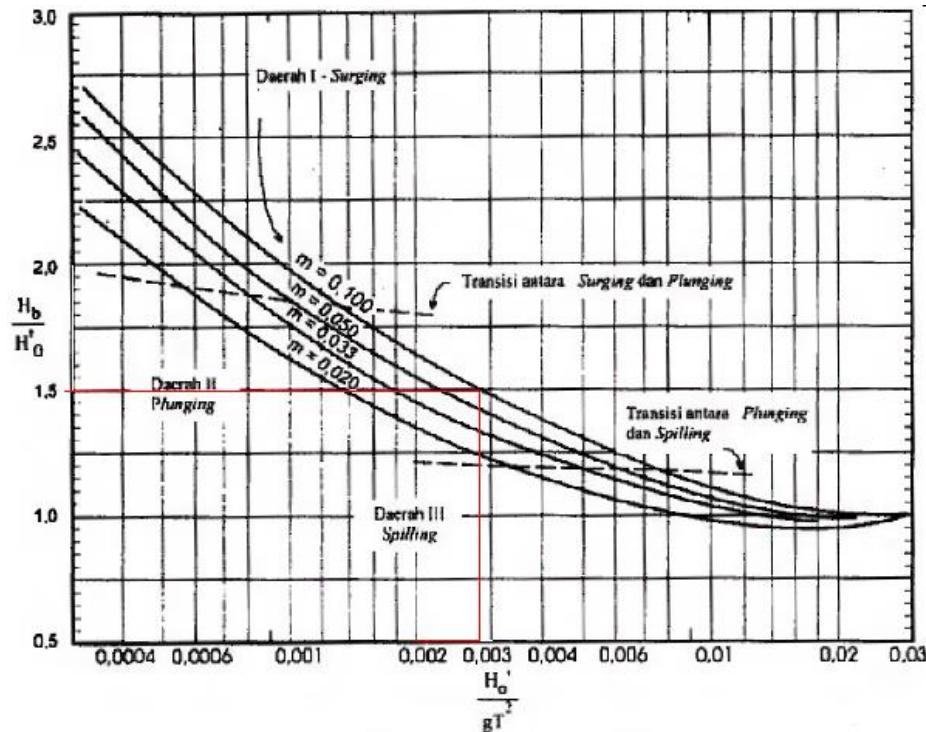
Analisis refraksi

Arah angin	α_o	d	H_o	L_o	d/ L_o	d/L	L	C_o	c	sin a	a	cos ao	cos a	Kr	Ks	H_o'
Selatan	66	15	0.55	26.54	0.50	0.50	30.19	21.58	21.55	0.91	65.80	0.41	0.41	1.00	0.99	0.54
Selatan	65.80	14	0.54	26.51	0.46	0.47	30.00	21.55	21.49	0.91	65.41	0.41	0.42	0.99	0.99	0.53
Selatan	65.41	13	0.53	26.45	0.43	0.44	29.78	21.49	21.32	0.90	64.44	0.42	0.43	0.98	0.98	0.51
Selatan	64.44	12	0.51	26.37	0.40	0.41	29.42	21.32	21.15	0.90	63.53	0.43	0.45	0.98	0.98	0.49
Selatan	63.53	11	0.49	26.21	0.37	0.38	28.92	21.15	20.92	0.89	62.29	0.45	0.46	0.98	0.97	0.47
Selatan	62.29	10	0.47	25.94	0.35	0.35	28.24	20.92	20.60	0.87	60.68	0.46	0.49	0.97	0.96	0.44
Selatan	60.68	8.5	0.44	25.59	0.30	0.31	27.15	20.60	20.04	0.85	58.03	0.49	0.53	0.96	0.95	0.40
Selatan	58.03	7	0.40	24.91	0.26	0.27	25.47	20.04	19.18	0.81	54.26	0.53	0.58	0.95	0.94	0.36
Selatan	54.26	5.5	0.36	23.72	0.22	0.24	23.05	19.18	17.91	0.76	49.30	0.58	0.65	0.95	0.92	0.31
Selatan	49.30	3.5	0.31	21.80	0.15	0.18	18.92	17.91	15.47	0.65	40.89	0.65	0.76	0.93	0.91	0.26
Selatan	40.89	1	0.26	18.26	0.05	0.10	10.28	15.47	9.28	0.39	23.13	0.76	0.92	0.91	1.01	0.24

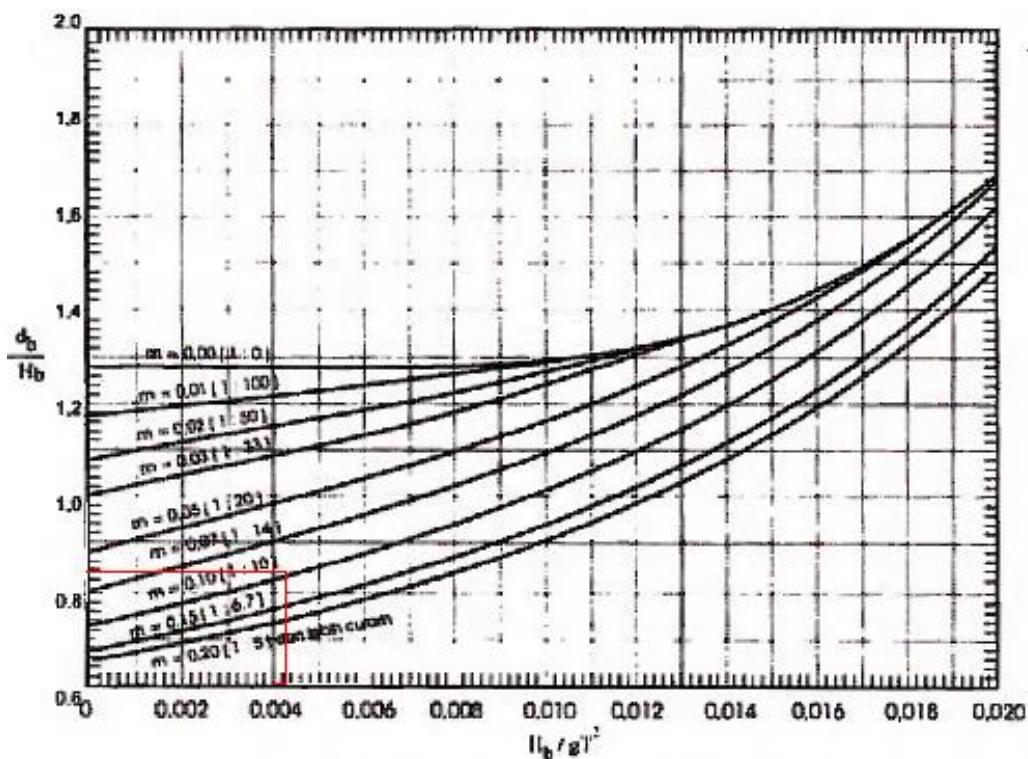
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN E

Perhitungan gelombang pecah



Perhitungan kedalaman gelombang pecah



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN F

Perubahan garis pantai

Sel	Y awal	ΔY	ΔQ (m ³ /th)
0	1049	0.000	0.000
1	1046	4.630	-6.482
2	1043	-4.630	6.482
3	1041	0.000	0.000
4	1038	0.000	0.000
5	1035	0.000	0.000
6	1032	4.630	-6.482
7	1029	-4.630	6.482
8	1027	0.000	0.000
9	1024	0.000	0.000
10	1021	4.630	-6.482
11	1018	-4.630	6.482
12	1016	0.000	0.000
13	1013	0.000	0.000
14	1010	0.000	0.000
15	1007	4.630	-6.482
16	1004	-4.630	6.482
17	1002	0.000	0.000
18	999	0.000	0.000
19	996	0.000	0.000
20	993	4.630	-6.482
21	990	-4.630	6.482
22	988	0.000	0.000
23	985	-3.303	4.625
24	982	3.303	-4.625
25	978	-3.303	4.625
26	975	3.303	-4.625
27	971	-3.303	4.625
28	968	3.303	-4.625
29	964	-3.303	4.625
30	961	3.303	-4.625
31	957	0.000	0.000
32	954	0.000	0.000
33	951	0.000	0.000
34	948	0.000	0.000
35	945	0.000	0.000
36	942	0.000	0.000
37	939	0.000	0.000

38	936	0.000	0.000
39	933	0.000	0.000
40	930	0.000	0.000
41	927	0.000	0.000
42	924	0.000	0.000
43	921	0.000	0.000
44	918	0.000	0.000
45	915	0.000	0.000
46	912	0.000	0.000
47	909	0.000	0.000
48	906	0.000	0.000
49	903	0.000	0.000
50	900	0.000	0.000
51	897	0.000	0.000
52	894	4.630	-6.482
53	891	-4.630	6.482
54	889	0.000	0.000
55	886	0.000	0.000
56	883	0.000	0.000
57	880	0.000	0.000
58	877	0.000	0.000
59	874	0.000	0.000
60	871	0.000	0.000
61	868	-5.618	7.865
62	865	0.000	0.000
63	860	0.000	0.000
64	855	0.000	0.000
65	850	-1.578	2.209
66	845	1.578	-2.209
67	839	0.000	0.000
68	834	-1.578	2.209
69	829	1.578	-2.209
70	823	0.000	0.000
71	818	2.314	-3.240
72	813	-2.314	3.240
73	809	0.000	0.000
74	804	0.000	0.000
75	799	2.314	-3.240
76	794	-2.314	3.240
77	790	0.000	0.000

78	785	2.314	-3.240
79	780	-2.314	3.240
80	776	0.000	0.000
81	771	0.000	0.000
82	766	2.314	-3.240
83	761	-2.314	3.240
84	757	0.000	0.000
85	752	2.314	-3.240
86	747	-2.314	3.240
87	743	-1.578	2.209
88	738	-1.030	1.442
89	732	1.030	-1.442
90	725	-1.030	1.442
91	719	1.030	-1.442
92	712	-1.030	1.442
93	706	1.030	-1.442
94	699	0.000	0.000
95	693	-1.030	1.442
96	687	1.030	-1.442
97	680	-1.030	1.442
98	674	1.030	-1.442
99	667	-1.030	1.442
100	661	1.030	-1.442
101	654	-1.030	1.442
102	648	1.030	-1.442
103	641	-1.030	1.442
104	635	1.030	-1.442
105	628	0.000	0.000
106	622	-1.030	1.442
107	616	1.030	-1.442
108	609	-1.030	1.442
109	603	0.000	0.000
110	596	1.030	-1.442
111	589	-1.030	1.442
112	583	0.000	0.000
113	576	0.000	0.000
114	569	0.000	0.000
115	562	0.000	0.000
116	555	0.000	0.000
117	548	0.000	0.000
118	541	8.225	-11.515
119	534	4.630	-6.482
120	531	-4.630	6.482
121	529	4.630	-6.482
122	526	-4.630	6.482

123	524	4.630	-6.482
124	521	0.000	0.000
125	519	-4.630	6.482
126	517	4.630	-6.482
127	514	0.000	0.000
128	512	-4.630	6.482
129	510	4.630	-6.482
130	507	-9.300	13.020
131	505	1.367	-1.914
132	483	7.933	-11.106
133	458	0.000	0.000
134	456	0.000	0.000
135	454	0.000	0.000
136	452	6.398	-8.958
137	450	-6.398	8.958
138	449	0.000	0.000
139	447	0.000	0.000
140	445	0.000	0.000
141	443	0.000	0.000
142	441	-4.630	6.482
143	439	-5.618	7.865
144	436	2.314	-3.240
145	431	-2.314	3.240
146	427	2.314	-3.240
147	422	-2.314	3.240
148	418	2.314	-3.240
149	413	-2.314	3.240
150	409	0.000	0.000
151	404	2.314	-3.240
152	399	-2.314	3.240
153	395	2.314	-3.240
154	390	-2.314	3.240
155	386	2.314	-3.240
156	381	-2.314	3.240
157	377	2.314	-3.240
158	372	-2.314	3.240
159	368	2.314	-3.240
160	363	-2.314	3.240
161	359	2.314	-3.240
162	354	-2.314	3.240
163	350	2.314	-3.240
164	345	-2.314	3.240
165	341	0.000	0.000
166	336	2.314	-3.240
167	331	-2.314	3.240

168	327	2.314	-3.240
169	322	-2.314	3.240
170	318	2.314	-3.240
171	313	-2.314	3.240
172	309	2.314	-3.240
173	304	-2.314	3.240
174	300	2.314	-3.240
175	295	-2.314	3.240
176	291	2.314	-3.240
177	286	-2.314	3.240
178	282	0.000	0.000
179	277	2.314	-3.240
180	272	-2.314	3.240
181	268	2.314	-3.240
182	263	0.000	0.000
183	259	0.000	0.000
184	255	0.000	0.000
185	251	-2.314	3.240
186	247	2.314	-3.240
187	242	0.000	0.000
188	238	0.000	0.000
189	234	0.000	0.000
190	230	-4.655	6.517
191	226	-7.468	10.455
192	222	-10.579	14.811
193	217	-10.579	14.811
194	213	-9.237	12.932
195	209	0.000	0.000
196	205	0.000	0.000
197	201	-2.314	3.240
198	197	2.314	-3.240
199	192	0.000	0.000
200	188	0.000	0.000
201	184	0.000	0.000
202	180	2.000	-2.800
203	176	2.398	-3.358
204	174	2.731	-3.823
205	173	2.325	-3.254
206	173	0.000	0.000

207	171	0.000	0.000
208	166	2.686	-3.760
209	162	5.314	-7.440
210	157	8.686	-12.160
211	153	7.000	-9.800
212	148	9.314	-13.040
213	143	11.686	-16.360
214	139	11.543	-16.160
215	134	13.487	-18.882
216	130	15.463	-21.648
217	125	18.314	-25.640
218	120	15.686	-21.960
219	116	9.422	-13.191
220	111	9.578	-13.409
221	105	8.422	-11.791
222	100	1.578	-2.209
223	94	0.000	0.000
224	89	2.314	-3.240
225	84	3.303	-4.625
226	80	0.000	0.000
227	77	0.000	0.000
228	74	0.000	0.000
229	71	0.000	0.000
230	68	0.000	0.000
231	65	0.697	-0.975
232	62	0.303	-0.425
233	58	2.000	-2.800
234	55	2.534	-3.548
235	52	2.745	-3.843
236	49	2.245	-3.143
237	46	2.787	-3.902
238	43	3.532	-4.945
239	40	2.697	-3.775
240	37	3.686	-5.160
241	33	5.632	-7.885
242	28	6.314	-8.840
243	23	6.686	-9.360
244	19	6.314	-8.840
245	14	4.315	-6.041

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Aditya Hasmi Nurreza, lahir di kota Blitar 3 Agustus 1994, merupakan anak sulung dari tiga bersaudara dari pasangan Abdul Halim dan Nurhasnah. Penulis mulai menempuh pendidikan formal pertama di SDN Pangarengan 1 Kecamatan Pangarengan Kabupaten Sampang pada tahun 2000 hingga 2006. Selepas tamat sekolah dasar penulis melanjutkan pendidikannya di MTs. Nurul Huda Al-Maroniyyah Kecamatan Pangarengan Kabupaten Sampang pada tahun 2006 hingga 2009. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Sampang dari tahun 2009 hingga 2012. Selepas SMA, pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikannya di perguruan tinggi negeri, di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.