



**PEMODELAN PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL
KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN
MODEL NUMERIK CEDAS-NEMOS**

SKRIPSI

Oleh
Mufty Margotila
NIM 121910301133

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PEMODELAN PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL
KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN
MODEL NUMERIK CEDAS-NEMOS**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Mufty Margotila
NIM 121910301133

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



PERSEMBAHAN

Segala puji syukur hanya kepadaMu ya Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang Engkau berikan sehingga saya bisa menjalani kehidupan dengan kebahagiaan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini. Akhirnya dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih dan penyayang dengan kerendahan hati kupersembahkan sebuah karya sederhana ini sebagai wujud terimakasih, bakti, dan cintaku pada :

1. Allah SWT, Agama saya dan Nabi Muhammad SAW, yang telah memberikan saya arti kehidupan, kekuatan, kebahagiaan dan cinta kasih.
2. Ibu saya tercinta dan ayah saya yang telah berjuang menjaga, mendidik, mencukupi, membahagiakan, memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas serta doa yang tiada hentinya.
3. Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman yang bermanfaat dan semoga barokah.
4. Sahabat-sahabat tercinta Fatwa Annisa Fitri, Listiyani Chita Ellary, Mufty Margotila, Dwi Cahya Yanottama, Azizah Rizqi Zaelani yang sejak awal masuk perkuliahan mendampingi saya sampai saat ini serta kedua sahabat laki laki saya, Itang Destiyanto dan Firdaus Bagus Bayu Kresna yang telah banyak membantu hingga tugas akhir ini terselesaikan.
5. Keluarga besar Teknik Sipil angkatan 2012 terimakasih semua pengalaman berarti selama 4 tahun ini. Rasa kekeluargaan, kekompakan, tenggang rasa, dan rasa sadar yang saya dapat disini sangat berarti untuk pribadi saya. Jika bukan di Teknik mungkin saya tidak akan sebahagia dan sebangga ini, semoga dipertemukan di hari reuni nanti, sukses dan bahagia dunia akhirat.
6. Keluarga besar Fakultas Teknik serta kakak dan adik angkatan yang membantu dalam proses kuliah dan kehidupan di teknik

MOTTO

“Hidup yang tak pernah dipertaruhkan, tak akan pernah dimenangkan”

(Sutan Sjahrir)

“Mistake are the portals of discovery”

(James Joyce)

“If there are once, twice, or thousand times of failures. Then, there are once, twice and even thousand times of chances to start over”

(Mufty Margotila)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mufty Margotila

NIM : 121910301133

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PEMODELAN PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK CEDAS-NEMOS ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 September 2018

Yang menyatakan,



Mufty Margotila

NIM 121910301133

SKRIPSI

**PEMODELAN PERUBAHAN GARIS PANTAI WATU DODOL
KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN
MODEL NUMERIK CEDAS-NEMOS**

oleh

**Mufty Margotila
NIM 121910301133**

Pembimbing

**Dosen Pembimbing Utama
Dosen Pembimbing Anggota**

**: Gusfan Halik, ST., MT
: Januar Fery Irawan., ST., M.Eng**

PENGESAHAN

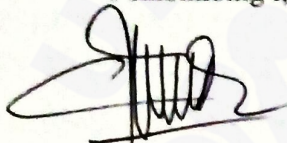
Skripsi berjudul “*Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Model Numerik CEDAS-NEMOS*” atas nama Mufty Margotila (121910301133) telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Senin, 03 September 2018

Tempat : Ruang Ujian Dekanat Fakultas Teknik Universitas Jember

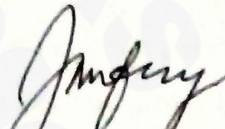
Tim Penguji

Pembimbing I,



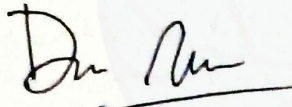
Gusfan Halik, ST., MT
NIP 19710804 199803 1 002

Pembimbing II,



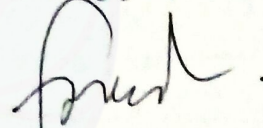
Januar Fery Irawan, ST., M.eng
NIP 19760111 200012 1 002

Penguji I,

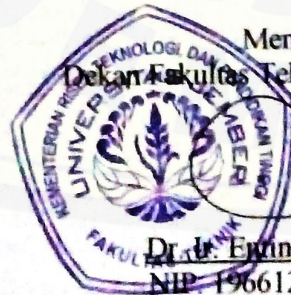


Dwi Nurtanto, ST., MT
NIP 19731015 199802 1 001

Penguji II,



M. Farid Ma'ruf, ST., MT.,
P.hD
NIP 19721223 199803 1 003



Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Erwin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Model Numerik CEDAS-NEMOS; Mufty Margotila, 121910301133; 2017: 95 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pantai Watu Dodol merupakan kawasan wisata yang ada Desa Ketapang, Kecamatan Kalipuro Kabupaten Banyuwangi. Pantai ini terletak di ujung utara Kabupaten Banyuwangi dan berbatasan langsung dengan perairan Selat Bali. Pada Juli 2015 di suatu ruas garis pantai Watu Dodol mengalami erosi yaitu amblasnya plengsengan akibat garis pantai yang terus terkikis oleh ombak laut. Daerah pantai adalah daerah yang rawan akan erosi dan akresi. Demikian juga pantai Watu Dodol mengalami abrasi dan akresi yang menyebabkan perubahan garis pantai di sepanjang pantai. Perubahan garis pantai ini diakibatkan oleh gelombang laut yang terus menerus menggerus garis pantai dan membawa sedimen pantai. Penelitian dilakukan pada garis pantai Watu Dodol untuk mengetahui perubahan garis pantai dan memprediksi sedimentasi serta memodelkan perubahan garis pantai Watu Dodol. Dalam penelitian ini juga akan dikaji dan dimodelkan perubahan garis pantai dalam rentang waktu 10 tahun mendatang. Kalibrasi juga penting dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi perubahan garis pantai yang mendekati akurat.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, analisis, dan metode simulasi. Metode observasi dilakukan dengan survai lapangan untuk memperoleh data primer yaitu sampel sedimen. Data sekunder yaitu data angin, batimetri, dan pasang surut diperoleh dari instansi terkait. Data garis pantai didapat dari hasil overlay citra satelit. Data - data tersebut kemudian diolah dan dianalisis. Hasil pengolahan data tersebut dimasukkan ke dalam suatu model simulasi garis

pantai menggunakan CEDAS NEMOS untuk mengetahui pola perubahan garis pantai dari waktu ke waktu.

Hasil pemodelan garis pantai Watu Dodol menggunakan CEDAS-NEMOS menunjukkan perubahan garis pantai menunjukkan bahwa pantai Watu Dodol lebih dominan mengalami abrasi dengan kalibrasi model k_1 0,5 dan k_2 0,25. Kalibrasi dilakukan berdasarkan hasil pengolahan citra satelit menggunakan metode statistik *end point rate*. Prediksi garis pantai Watu Dodol dilakukan mulai tanggal 01 Januari 2016 sampai dengan 31 Desember 2025 dengan program CEDAS-NEMOS sub program GENESIS, hasil simulasi menunjukkan bahwa pantai lebih dominan mengalami abrasi. Rata-rata transpor sedimen kotor (Q_g) pertahun 122276,1 m³ dan 95250 m³ untuk transpor sedimen bersih (Q_n).

SUMMARY

Shoreline Changes at Watu Dodol Coast Banyuwangi Using Numerical Model of CEDAS NEMOS; Mufty Margotila, 121910301133; 2017: 95 pages; Departement of Civil Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Watu Dodol Coast is resort area lied on Ketapang Village, Kalipuro sub district, Banyuwangi Regency. The Coast located at the northernmost of Banyuwangi Regency and side with Bali strait boundary. On July 2015, in one part section of the coast went through an erosion caused by the frequent of waves breaker. Coastal zone is prone to an erosion and accretion. Thus, Watu Dodol went through an erosion and accretion causing shoreline change alongside of coastline. Shoreline changes caused by wave action which erode shoreline continuously and move the sand. A research conduct on Watu Dodol coast to know and predict shoreline change and to model a shoreline. A research also will analysed and simulate shoreline change in 10 years timeline.

Method use in this study are observation, analysis, and simulation. The observation done by field surveying to get a primary data which is a sediment sample. The secondary data are wind observation, bathymetric data, and tidal data from its sources. The shoreline data get from an overlay of Landsat. All data compile into data processing and analysing. Then inputing data into shoreline change modelling using CEDAS NEMOS to know shoreline change from time to time. A calibration also to be done in order to get near real time result of shoreline change in simulation.

The result of simulation using CEDAS NEMOS showed an erosion with calibration model k_1 0.5 and k_2 0.25. Calibration done based on the result of processing landsat data using *end point rate*. The simulation also showed the result of 10 years simulation ahead since 01 January 2016 until 31 December and the result

shows an erosion with gross transport volume is 122276,1 m³ (Qg) and net transport volume is 95250 m³ (Qn).



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Model Numerik CEDAS-NEMOS”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberi dukungan dan motivasi kepada kami untuk tetap semangat dalam perkuliahan.
2. Bapak Gusfan Halik, ST., MT dan bapak Januar Fery Irawan, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, dan memberikan masukan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dwi Nurtanto, ST.,MT dan bapak M. Farid Ma'ruf, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga tugas akhir ini dapat menjadi lebih baik.
4. Tim Survai yang telah merelakan waktunya untuk membantu survai.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 3 September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1 Definisi Pantai	4
2.2 Perubahan Garis Pantai	5
2.3 Angin	6
2.2.1 Distribusi Kecepatan Angin	6
2.2.2 Data Angin	6
2.2.3 Koreksi Kecepatan Angin	8

2.3.4 Fetch.....	10
2.4 Gelombang	11
2.4.1 Gelombang Representatif.....	11
2.4.2 Deformasi Gelombang.....	12
2.4.3 Gelombang Kala Ulang.....	18
2.4.4 Hindcasting Gelombang.....	19
2.5 Pasang Surut	23
2.6 Angkutan Sedimen	23
2.6.1 Ukuran Partikel Sedimen	23
2.6.2 Transpor Sedimen Pantai	24
2.7 Peta Batimetri	28
2.7.1 Grid	28
2.8 Pemodelan Garis Pantai	28
2.8.1 NEMOS.....	28
2.8.2 GENESIS	29
2.9 Kalibrasi	31
BAB 3. Metode Penelitian	33
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	33
3.1.1 Lokasi.....	33
3.1.2 Waktu.....	33
3.2 Metode	34
3.2.1 Data.....	34
3.3.2 Alat.....	35
3.3 Pelaksanaan	35
3.3.1 Pengambilan Sampel Sedimen.....	35
3.3.2 Pengolahan Data Angin	36
3.3.3 Pengolahan Data Gelombang.....	37
3.3.4 Pengolahan Data Sedimen	37

3.3.5 Pengolahan Data Pasang Surut	38
3.3.6 Pemodelan CEDAS NEMOS.....	38
3.3.7 Kalibrasi Model	40
3.4 Bagan Alir Penelitian	41
BAB 4. Pembahasan.....	46
4.1 Umum	46
4.2 Posisi dan Orientasi Pantai.....	47
4.3 Analisis Data Angin.....	49
4.3.1 Analisis Data Angin BMKG	49
4.3.2 Analisis Data Angin NOAA	51
4.3.3 Analisis Perbandingan Data Angin BMKG dan NOAA.....	53
4.3.4 Fetch Efektif	56
4.3.5 <i>Hindcasting</i> Gelombang	58
4.4 Analisis Transpor Sedimen.....	59
4.5 Analisis Pasang Surut	61
4.6 Analisis Peta Multitemporal.....	62
BAB 5. Hasil dan Pembahasan	64
5.1 Umum	64
5.2 Pemodelan Garis Pantai dengan CEDAS-NEMOS	64
5.3 Pemodelan Pola Pergerakan Gelombang dengan ST-WAVE.....	66
5.4 Pemodelan Perubahan Garis Pantai dengan GENESIS.....	68
5.4.1 Kalibrasi Pemodelan Perubahan Garis Pantai.....	70
5.4.2 Uji Sensitivitas K1 dan K2	73
5.5 Pemodelan Perubahan Garis Pantai 10 Tahun Mendatang.....	75
5.5.1 Volume Sedimen Transpor	76
BAB 6. Penutup	77
6.1 Kesimpulan	77
6.2 Saran.....	77

DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	79



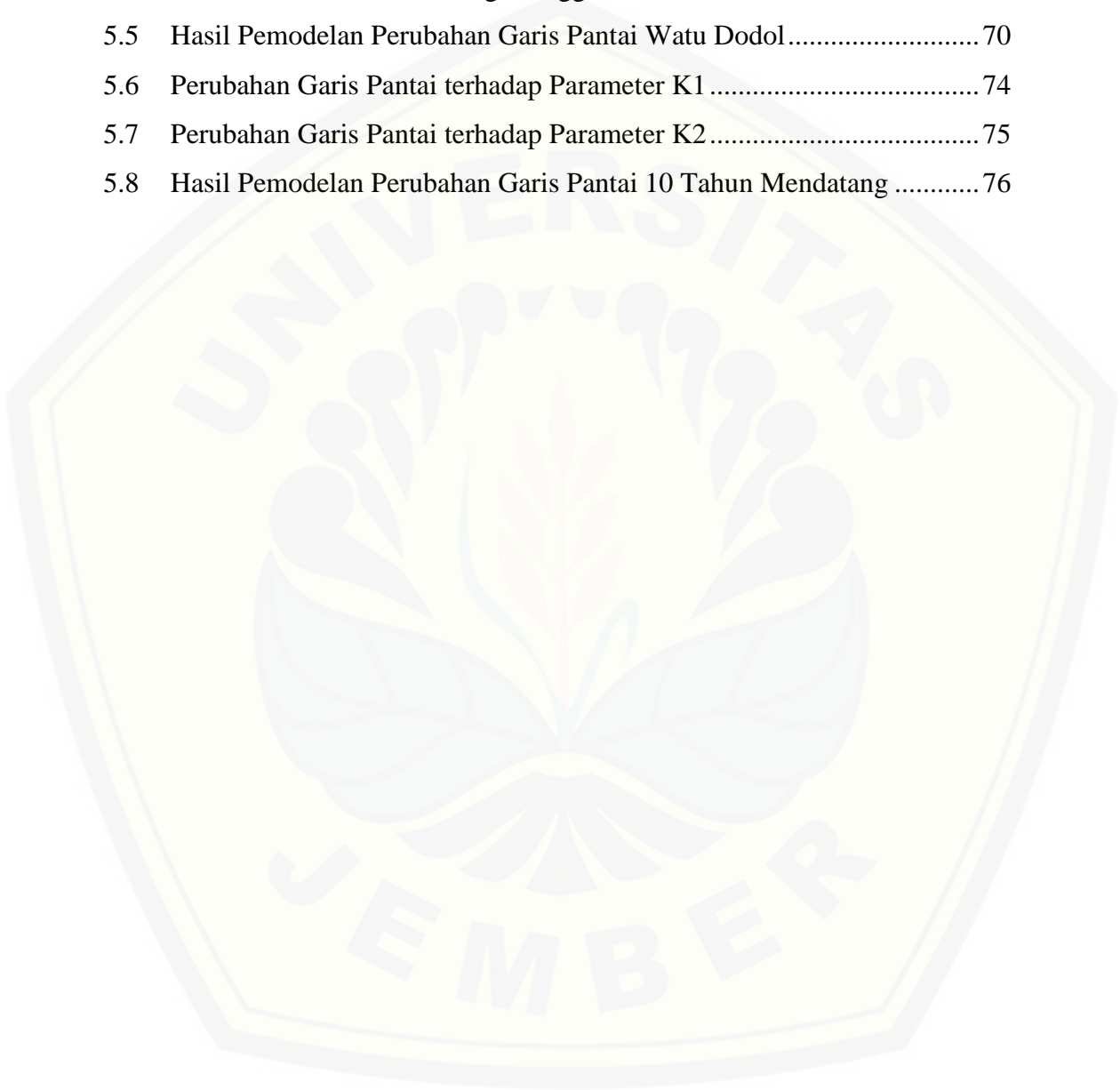
DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Pencatatan Angin Tiap Jam.....	7
2.2 Data Presentasi Kejadian Angin	8
2.3 Koefisien Untuk Menghitung Deviasi Standar	21
2.4 Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen	26
3.1 Jenis dan Sumber Data Penelitian	34
3.2 Data Citra Satelit dalam Penelitian	35
4.1 Pengaruh Mata Angin Terhadap Pembangkitan Gelombang dan Transpor Sedimen	48
4.2 Kejadian Angin Maksimum Tahun 2010-2015.....	49
4.3 Kejadian Angin Rata-Rata Bulanan Tahun 2010-2015	50
4.4 Selisih Angin Rerata 2010-2015	53
4.5 Perhitungan Fetch Efektif	57
4.6 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang	58
4.7 Nilai dan Klasifikasi Sedimen D50.....	60
4.8 Nilai Komponen Pasang Surut	62
5.1 Hasil Kalibrasi Model GENESIS dengan <i>End Point Rate</i>	71
5.2 Volume Sedimen Transpor 2025	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Definisi Daerah Pantai	4
2.2 Profil Pantai	5
2.3 Mawar Angin	8
2.4 Hubungan Antara Kecepatan Angin di Darat dan Laut	9
2.5 <i>Fetch</i>	11
2.6 Perambatan Arah Gelombang Akibat Refraksi	14
2.7 Difraksi Gelombang Dibelakang Rintangannya	15
2.8 Penentuan Tinggi Gelombang Pecah	17
2.9 Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah	18
2.10 <i>Flowchart</i> dan Rumus Peramalan Gelombang	22
2.11 Grafik Peramalan Gelombang	23
2.12 Elevasi Muka Air	24
2.13 Grafik Distribusi Ukuran Butir	25
3.1 Peta Lokasi Penelitian	33
3.2 Diagram Alir Penelitian	42
3.3 Diagram Alir Pemodelan CEDAS-NEMOS	45
4.1 Posisi dan Orientasi Pantai Watu Dodol	47
4.2 <i>Windrose</i> Data Angin Maksimum BMKG	50
4.3 <i>Windrose</i> Data Angin Rata-Rata BMKG	51
4.4 <i>Windgraph</i> Data Angin NNDC-NOAA	52
4.5 <i>Windrose</i> Data Angin NNDC-NOAA	52
4.6 <i>Fetch</i> Pantai Watu Dodol	57
4.7 Grafik Pasang Surut 2015	61
4.8 Hasil Overlay dari Peta Multitemporal	63
5.1 Data Batimetri XYZ dan Data Garis Pantai XY	65

5.2	Hasil Input Data Batimetri dan Data Garis Pantai.....	66
5.3	Spektrum Gelombang dari Sub Model <i>On Line</i>	67
5.4	Visualisasi Arah Gelombang Menggunakan WMV	68
5.5	Hasil Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol.....	70
5.6	Perubahan Garis Pantai terhadap Parameter K1	74
5.7	Perubahan Garis Pantai terhadap Parameter K2.....	75
5.8	Hasil Pemodelan Perubahan Garis Pantai 10 Tahun Mendatang	76



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Angin.....	79
Lampiran B Data Gelombang	80
Lampiran C Data Pasang Surut.....	81
Lampiran D Data Sedimen.....	88
Lampiran E Kalibrasi Pemodelan	90



BAB 1.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Garis pantai (*shoreline*) merupakan garis batas pertemuan antara daratan dan air laut yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan erosi sehingga posisinya tidak tetap dan terus berubah – ubah (Triatmodjo, 1999:1). Perubahan garis pantai terjadi sepanjang garis pantai akibat adanya *transport* sedimen yang tegak lurus menuju maupun meninggalkan pantai. Transport sedimen merupakan perpindahan material sepanjang pantai yang disebabkan oleh gelombang pecah dan arus pada daerah nearshore.

Dalam bidang oseanografi, penelitian transport sedimen dan perubahan garis pantai merupakan hal yang penting, diperlukan dalam merencanakan, merancang, dan memprediksi bangunan-bangunan pantai. Penelitian mengenai transport sedimen dan perubahan garis pantai sudah banyak dilakukan selama ini baik melalui perhitungan numeris, pemodelan, maupun penelitian di laboratorium. Penelitian mengenai *transport* sedimen sebelumnya telah dilakukan oleh Yusufi Kurnia Gushaf mengenai “*Prakiraan Laju Transport Sedimen Pelabuhan Boom Banyuwangi Menggunakan Gelombang Angin*”. Penelitian dilakukan melalui perhitungan numeris fetch gelombang angin. Sedangkan penelitian mengenai perubahan garis pantai sudah banyak dilakukan diantaranya yaitu “*Kajian Perubahan Garis Pantai Candidsa di Kabupaten Karangasem Kabupaten Bali*” oleh I Made Wiguna (2008).

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 yang terjadi menyebabkan

peristiwa bahu jalan atau *plengsengan* (batas antara air dan pembatas jalan) di daerah Watu Dodol pada jalur pantura Banyuwangi KM10 amblas karena hantaman ombak pasang dan abrasi oleh gelombang laut yang menggerus terus menerus pada Juli 2015 sehingga perlu dilakukan penelitian pada kawasan pantai.

Penelitian pada kawasan pantai dilakukan menggunakan pendekatan model numerik melalui *software* CEDAS dalam program NEMOS (*Nearshore Evolution Modelling System*) untuk memodelkan perubahan garis pantai. Menurut Latief (2002) penelitian menggunakan data perubahan garis pantai secara temporal membutuhkan waktu relatif lama dan biaya yang cukup mahal sehingga diperlukan alternatif lain yang lebih efisien dan efektif dari segi biaya maupun waktu yaitu dengan membuat suatu pemodelan. Pemodelan merupakan prototipe atau tahapan dalam membuat model dari suatu sistem nyata. Dalam hal ini pemodelan dilakukan untuk memprediksi perubahan garis pantai dalam rentang waktu tertentu dengan memprediksi daerah yang mengalami erosi dan sedimentasi, besarnya transpor sedimen sepanjang pantai, dan memodelkan transport sedimen untuk mengetahui pola pergeseran sedimen sepanjang pantai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah seperti yang telah di jelaskan sebelumnya, maka di rumuskan masalah sebagai berikut : “Bagaimanakah perubahan garis pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi dengan menggunakan model numerik CEDAS-NEMOS ?”

1.3 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk memodelkan perubahan garis pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi dengan menggunakan model numerik CEDAS-NEMOS 4.03.

1.4 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini diharapkan :

1. Mampu memprediksi perubahan garis pantai (*shoreline*) Watu Dodol beberapa tahun ke depan tanpa bangunan pelindung pantai.
2. Mampu memprediksi daerah yang mengalami erosi dan sedimentasi sehingga dapat dilakukan proteksi

1.5 Batasan Masalah

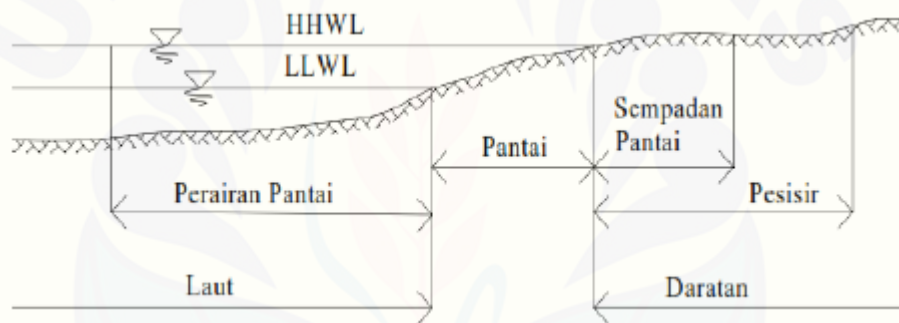
Batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Hanya melakukan pengambilan data sedimen di lapangan
2. Penelitian menggunakan data gelombang yang dibangkitkan oleh angin hasil dari peramalan gelombang oleh data angin
3. Meninjau kenaikan muka air (*sea level rises*) yang diakibatkan oleh pasang surut air laut
4. Tidak memodelkan perubahan garis pantai dengan adanya bangunan pelindung

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 :



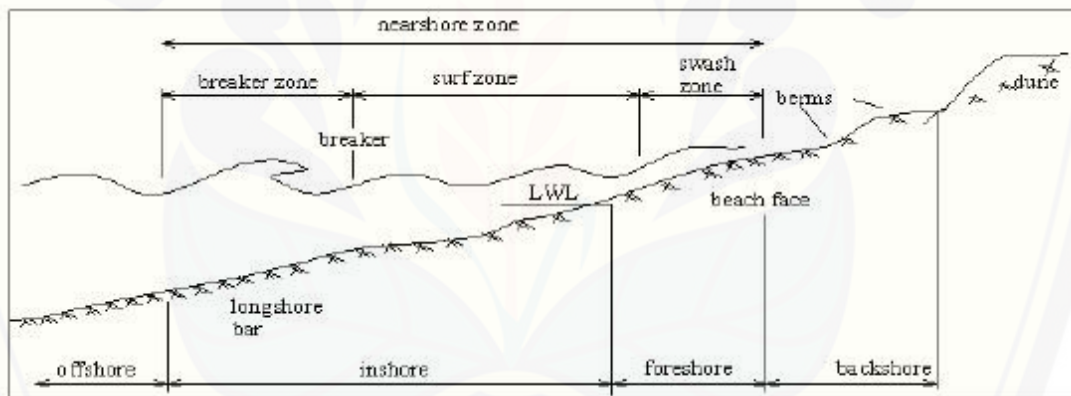
Gambar 2.1 Definisi daerah pantai

(Sumber : Triatmodjo, 1999:2)

- Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut.
- Pantai adalah daerah di tepi perairan sebatas antara surut terendah dan pasang tertinggi.
- Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat bergerak sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi.
- Sempadan pantai adalah daerah sepanjang pantai yang diperuntukkan bagi pengamanan dan pelestarian pantai.

- Perairan pantai adalah daerah yang masih dipengaruhi aktivitas daratan.

Berdasarkan profil pantai, daerah pantai dan dasar laut dekat pantai dibagi menjadi empat daerah yaitu *inshore*, *foreshore*, *backshore*, dan *offshore*. *Backshore* merupakan bagian dari pantai yang tidak terendam air laut kecuali bila terjadi gelombang badai. *Foreshore* merupakan bagian pantai yang dibatasi oleh *beach face* atau muka. *Inshore* merupakan daerah dimana terjadinya gelombang pecah, memanjang dari surut terendah sampai ke garis gelombang pecah. *Offshore* yaitu bagian laut yang terjauh dari pantai (lepas pantai), yaitu daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut pantai pada saat surut terendah hingga *uprush* pada saat air pasang tinggi. Daerah pantai dibagi akibat pengaruh dari gelombang (Triatmodjo, 1999:3). Penjelasan mengenai profil pantai dapat dilihat pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Profil pantai

(Sumber : Triatmodjo, 1999:3)

2.2 Perubahan Garis Pantai

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 (*oshore-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 di mana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 sampai 100m. Di kedua 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 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 knot = 1,852 km/jam = 0,5 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. Berikut merupakan contoh hasil pencatatan data angin jam-jaman yang disajikan dalam Tabel 2.1 :

Tgl	Pukul																								Angin Maksimum			
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Arah	Kecep	pukul	
1	M	M	H	M	M	H	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	N	30,8	16.35
2	M	M	M	H	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	27,5	10.45
3	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	31,3	18.05
4	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	29,7	16.31
5	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	26,4	22.20
6	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	23,7	24.00
7	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	27,0	18.45
8	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
9	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
10	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
11	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
12	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
13	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
14	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
15	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
16	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
17	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
18	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
19	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
20	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
21	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
22	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
23	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
24	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-	-
25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	M	27,0	22.20
26	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	23,2	10.15
27	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	20,0	18.05
28	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	M	21,9	15.03

Catatan : C : Calm
M : North
NW : North West

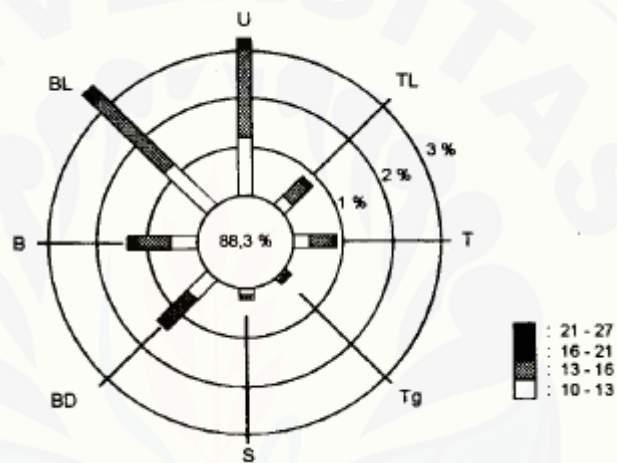
Tabel 2.1 Pencatatan Angin Tiap Jam
(Sumber : Triatmodjo, 1999 :152)

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 2.2 . Sedangkan contoh mawar angin yang dibuat berdasarkan data dalam tabel Tabel 2.2 disajikan dalam bentuk mawar angin dapat dilihat pada gambar 2.2.

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	-

Tabel 2.2 Data Presentasi Kejadian Angin

(Sumber : Triatmodjo, 1999:153)



Gambar 2.3 Mawar Angin

(Sumber : 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 (SPM, 1984:3-36) :

1. Koreksi Berdasarkan Elevasi

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 :

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

dengan:

$U_{(10)}$ = kecepatan angin pada ketinggian 10m (m/s)

y = Elevasi terhadap permukaan air ($y < 20\text{ m}$)

2. Koreksi Kestabilan

Koreksi ini diperlukan, jika terdapat perbedaan temperatur antara udara dan air laut. Besarnya koreksi dilambangkan dengan R_T . Jika tidak terdapat data perbedaan temperature, maka $R_T = 1.1$ (asumsi). Perhitungan koreksi kestabilan dapat dilihat pada persamaan 2.2 :

$$U_L = R_T \times U_{10} \dots\dots\dots(2.2)$$

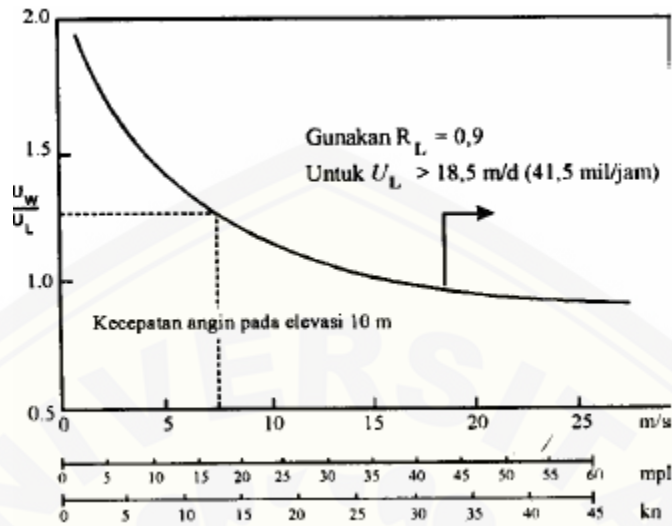
dimana :

U_L = Kecepatan angin dalam keadaan stabil (m/s)

R_T = Faktor koreksi

3. Koreksi Efek Lokasi

Pencatatan data angin di darat memerlukan transformasi dari data angin di lokasi stasiun angin ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin diatas laut dan angin diatas daratan terdekat diberikan oleh $RL = U_w/U_L$ seperti dalam gambar 2.3. Gambar di bawah merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat.



Gambar 2.4 Hubungan Antara Kecepatan Angin di Darat dan Laut
(Sumber : Triatmodjo, 1999:154)

4. Koreksi Koefisien Seret

Rumus rumus dan grafik pencatatan gelombang mengandung variabel U_A yaitu faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi angin seperti yang dijelaskan diatas, maka kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_A = 0,71(U_W)^{1,23} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

U_A = Faktor tegangan angin

U_W = Kecepatan angin dalam m/s setelah dikonversi

2.3.4 Fetch

Fetch adalah panjang daerah dimana angin berhembus dengan kecepatan dan arah yang konstan. *Fetch* dibatasi oleh daratan yang mengelilingi. Di daerah pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang

sama dengan arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Cara menghitung *fetch* efektif adalah sebagai berikut (Triatmodjo,1999:155) :

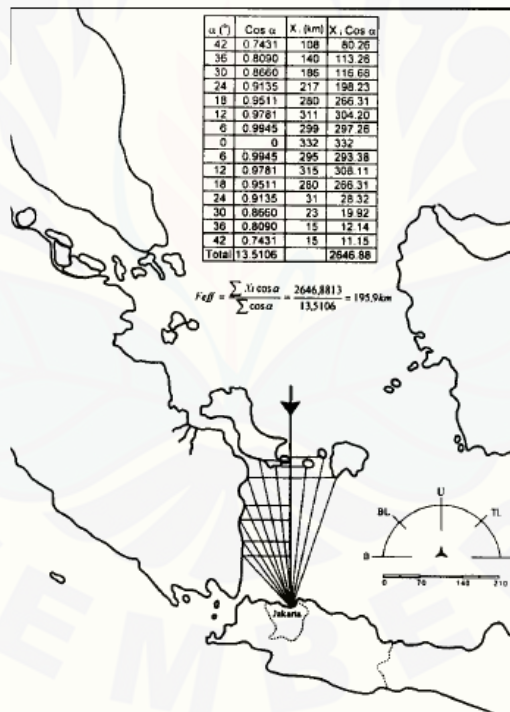
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum x_i \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

F_{eff} = *Fetch* rata – rata efektif

X_i = Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.

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



Gambar 2.5 Fetch

(Sumber : Triatmodjo, 1999:156)

2.4 Gelombang

2.4.1 Gelombang Representatif

Menurut Triatmodjo (1999:131), gelombang representative merupakan tinggi dan perioda gelombang individu gelombang yang mewakili suatu spektrum gelombang. Gelombang representatif didapat dari pencatatan yang diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah, maka dapat ditentukan tinggi H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Bentuk yang paling banyak digunakan adalah H_{33} atau tinggi rerata dari 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang yang juga disebut sebagai tinggi gelombang signifikan H_s . Berikut merupakan persamaan dari gelombang representatif :

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n}{n} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$T_s = \frac{T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} + \dots + T_{sn}}{n} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$n = 33\% \times \text{Jumlah data} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

T_s = Periode gelombang signifikan (detik)

H_{s1}, \dots, H_{sn} : Tinggi gelombang ke 1, 2, ..., n

T_{s1}, \dots, T_{sn} : Periode gelombang ke 1, 2, ..., n

2.4.2 Deformasi Gelombang

1. Gelombang Laut Dalam Ekivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekivalen , yaitu tinggi gelombang laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan lebih mudah.

Tinggi gelombang laut dalam ekivalen dapat dihitung pada persamaan 2.8 :

$$H'_o = K_r \times H_o \dots\dots\dots(2.8)$$

dalam hal ini :

H'_o = Tinggi gelombang laut dalam ekivalen

H_o = Tinggi gelombang laut dalam

K' = Koefisien difraksi

K_r = Koefisien refraksi

2. Refraksi

Refraksi adalah peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut. Gambar 2.5 merupakan gambaran sederhana terjadinya refraksi. Gelombang akan merambat lebih cepat pada perairan yang dalam dari perairan yang dangkal. Hal ini menyebabkan puncak gelombang membelok dan menyesuaikan diri dengan kontur dasar laut. Persamaan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut yaitu :

$$H = K_s \times K_r \times H_o \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana :

K_s : Koefisien pandangkalan; merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air, dapat di ambil pada tabel L-1 (lampiran)

$$K_r : \text{Koefisien refraksi} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}}$$

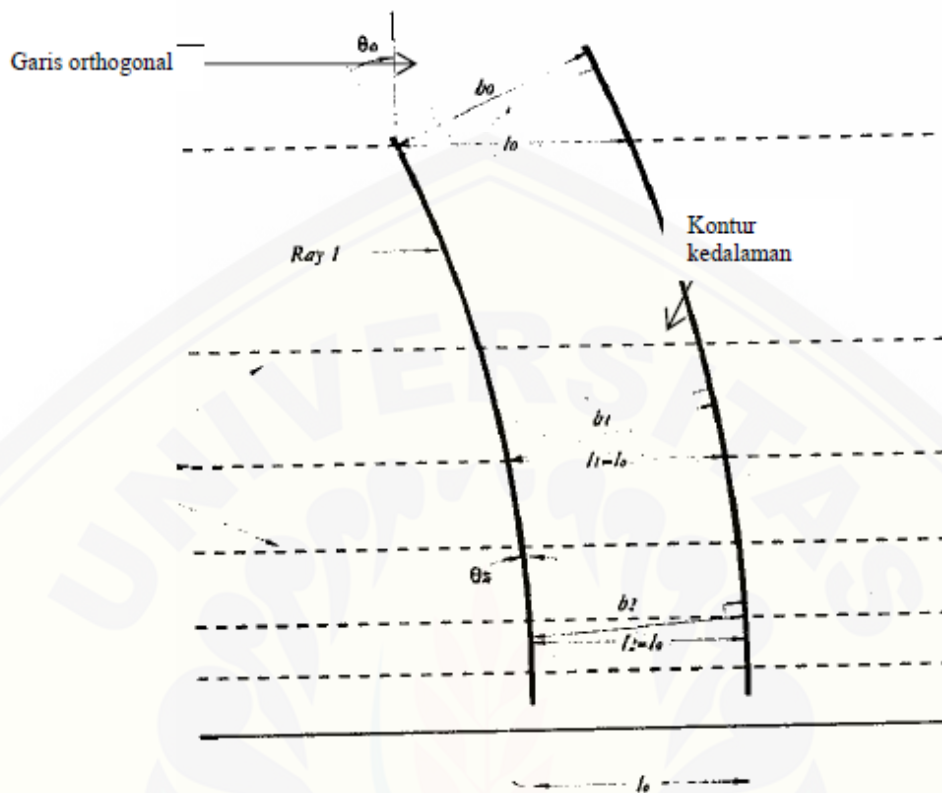
H_o : Tinggi gelombang di laut dalam

α_o : sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai

α : sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik

yang

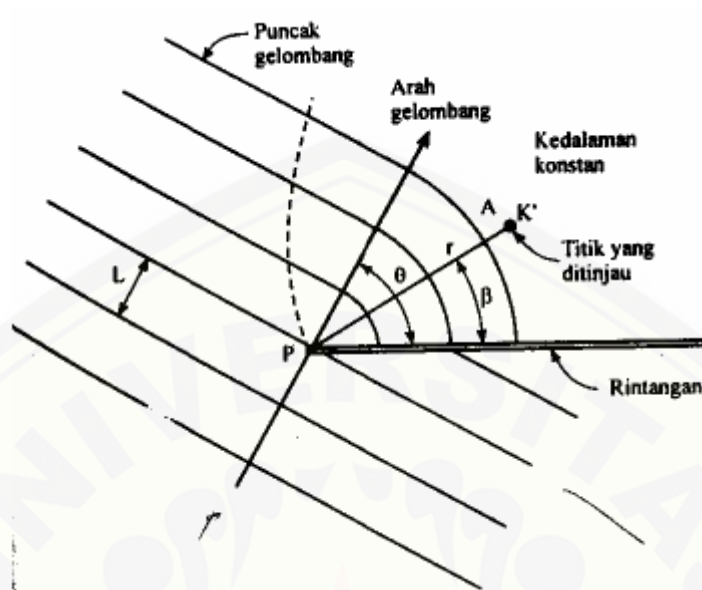
di tinjau, $\sin \alpha = \frac{c}{c_o} \sin \alpha_o$



Gambar 2.6 Perambatan arah gelombang akibat refraksi
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

3. Difraksi

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya: seperti terlihat pada Gambar.2.7. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.



Gambar 2.7 Difraksi gelombang dibelakang rintangan
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang disuatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antara rintangan dan garis garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β , dan sudut antara arah penjaralan gelombang dan rintangan θ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' .

$$H_A = K' \times H_P \dots\dots\dots(2.10)$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan :

A = Titik yang ditinjau di belakang rintangan

P = Ujung pemecah gelombang.

Nilai K' untuk α , β dan r/L tertentu diberikan dalam tabel A pada lampiran

4. Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh

kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Profil gelombang di laut dalam adalah sinusoidal. Semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur, sementara tinggi gelombang bertambah.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Gelombang maksimum di laut dalam di mana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh persamaan berikut :

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} \dots\dots\dots(2.12)$$

Kedalaman gelombang pecah (db) dan tinggi gelombang pecah diberi notasi Hb, Munk (1946 dalam *SPM*,1984) memberikan persamaan untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut :

$$\frac{H}{H'} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H'o}{L_o}\right)^{2/3}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Parameter Hb/H'o disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah. Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara Hb/Ho' dan Ho/gT² untuk berbagai kemiringan dasar laut. Gambar 2.8 menunjukkan hubungan antara db/Hb dan Hb/gT² untuk berbagai kemiringan dasar. Grafik yang diberikan pada Gambar 2.6 dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut :

$$\frac{dB}{Hb} = \frac{1}{b - \left(\frac{a \cdot H \cdot b}{gT^2}\right)} \dots\dots\dots(2.14)$$

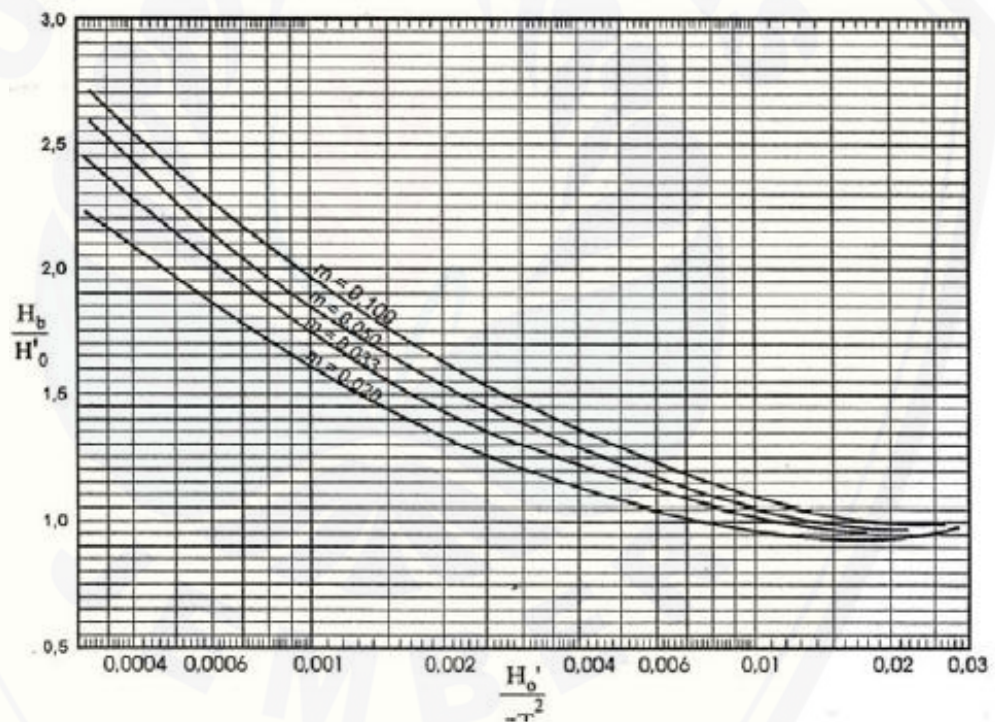
Dimana *a* dan *b* merupakan fungsi kemiringan pantai *m* dan diberikan oleh persamaan berikut :

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$b = \frac{1,56}{1 + e^{-19,5m}} \dots\dots\dots(2.16)$$

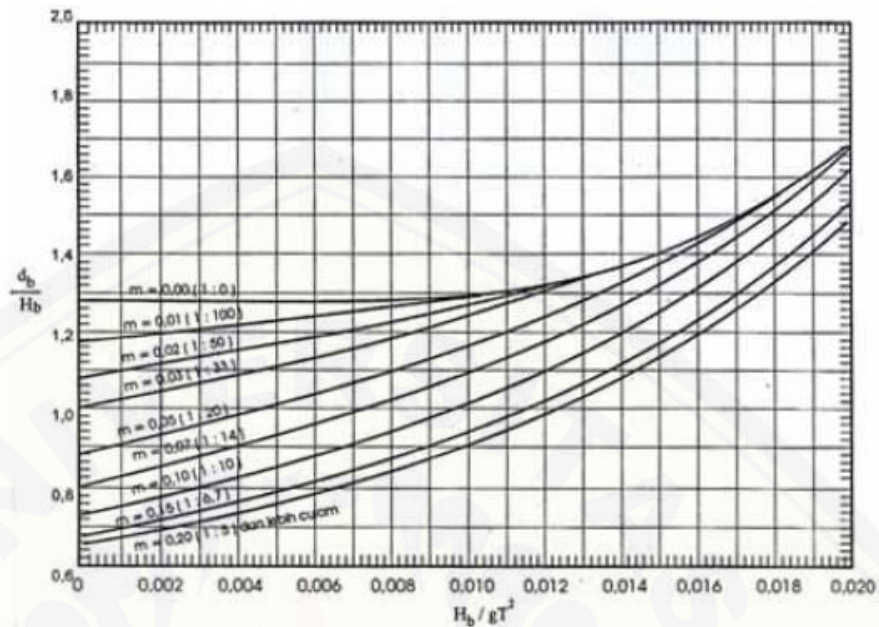
Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi :

- a) *Spilling*, terjadi apabila gelombang dengan kemiringan yang kecil menuju ke pantai yang datar, gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya berangsur-angsur.
- b) *Plunging*, terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar laut bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan.
- c) *Surging*, terjadi pada pantai dengan kemiringan yang cukup besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang, daerah gelombang pecah sangat sempit dan energi dipantulkan kembali ke laut dalam.



Gambar 2.8 Penentuan tinggi gelombang pecah

(Sumber : CERC, 1984)



Gambar 2.9 Penentuan kedalaman gelombang pecah

(Sumber : CERC, 1984)

2.4.3 Gelombang dengan Kala Ulang

Setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif seperti H_s , H_{10} , H_1 , H_{maks} dan sebagainya. Berdasarkan dari representatif untuk beberapa tahun

pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan. Apabila data yang tersedia adalah data angin maka analisis frekuensi dilakukan terhadap data angin tersebut yang selanjutnya digunakan untuk memprediksi gelombang.

Dalam hal ini gelombang hasil peramalan adalah gelombang signifikan. Distribusi yang digunakan untuk prediksi gelombang dengan kala ulang tertentu, yaitu sebagai berikut :

- 1) Distribusi *Fisher-Tippett Type I*

$$P(H \leq \hat{H}_s) = e^{-\frac{\hat{H}_s - B}{A}} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$P(H_s \leq \hat{H}_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,22} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$H_m = A_{y_m} + B \dots\dots\dots(2.19)$$

$$y_m = -\ln[-\ln F(H_s \leq \hat{H}_{sm})] \dots\dots\dots(2.20)$$

$$H_m = A_{y_r} + B \dots\dots\dots(2.21)$$

$$y_r = -\ln[-\ln (1 - \frac{1}{T_r})], L = \frac{N_T}{K} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$A = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$B = H_{sm} - A_{y_m} \dots\dots\dots(2.24)$$

2) Distribusi Weibull

$$P(H \leq \hat{H}_s) = 1 - e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)^K} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$P(H_s \leq \hat{H}_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{K}}}{N_T + 0,22 + \frac{0,28}{\sqrt{K}}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$H_m = A_{y_m} + B \dots\dots\dots(2.27)$$

$$y_m = -\ln[1 - F(H_s \leq \hat{H}_{sm})]^K \dots\dots\dots(2.28)$$

$$H_m = A_{y_r} + B \dots\dots\dots(2.29)$$

$$y_r = [-\ln (L T_r)], L = \frac{N_T}{K} \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana :

$P(H \leq \hat{H}_s)$ = Probabilitas bahwa \hat{H}_s tidak dilampaui

H = Tinggi gelombang representatif (m)

\hat{H} = Tinggi gelombang dengan nilai tertentu (m)

A = Parameter skala

B = Parameter lokasi

K = Parameter bentuk (kolom pertama) (Tabel 2.1)

$P(H_s \leq \hat{H}_{sm})$ = Probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

- \hat{H}_{sm} = Tinggi gelombang urutan ke m (m)
- M = Nomorurut tinggi gelombang signifikan =1,2,.....,N
- NT = Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan
- H_{sr} = Tinggi gelombang signifikan dengan kala ulang T_r
- T_r = Kala ulang (tahun)
- K = Panjang data (tahun)
- L = Rerata jumlah kejadian per tahun

Dalam analisis gelombang dibutuhkan perkiraan interval keyakinan. Hal ini mengingat bahwa biasanya periode pencatatan gelombang adalah pendek, dan tingkat ketidakpastian yang tinggi dalam perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya bergantung pada deviasi standar. Dalam pembahasan ini digunakan pendekatan yang dilakukan oleh Gumbel (1985) (Triatmodjo,1999) perkiraan deviasi standar dari nilai ulang. Deviasi standar yang dinormalkan dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha(y_r - c + \varepsilon \ln v)^2]^{1/2} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\alpha = \alpha 1 e^{\alpha 2 N^{-1,8} + K \sqrt{-\ln v}} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$v = \frac{N}{N_T} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma H_s \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan :

σ_{nr} = standar deviasi yang dinormalkan tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

N = jumlah data

σ_r = kesalahan standar dari tinggi gelombang signifikan dengan kala ulang T_r

σH_s = deviasi standar dari data tinggi gelombang signifikan

Tabel 2.3 Koefisien untuk menghitung deviasi standar

Distribusi	k	$\alpha 1$	$\alpha 2$	K	c	ε
FT-1		0,64	9,0	0,93	0,0	1,33

Weibull	0,75	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15
Weibull	1,65	1,92	11,4	0,00	0,3	0,90
Weibull	1,92	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull	2,05	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

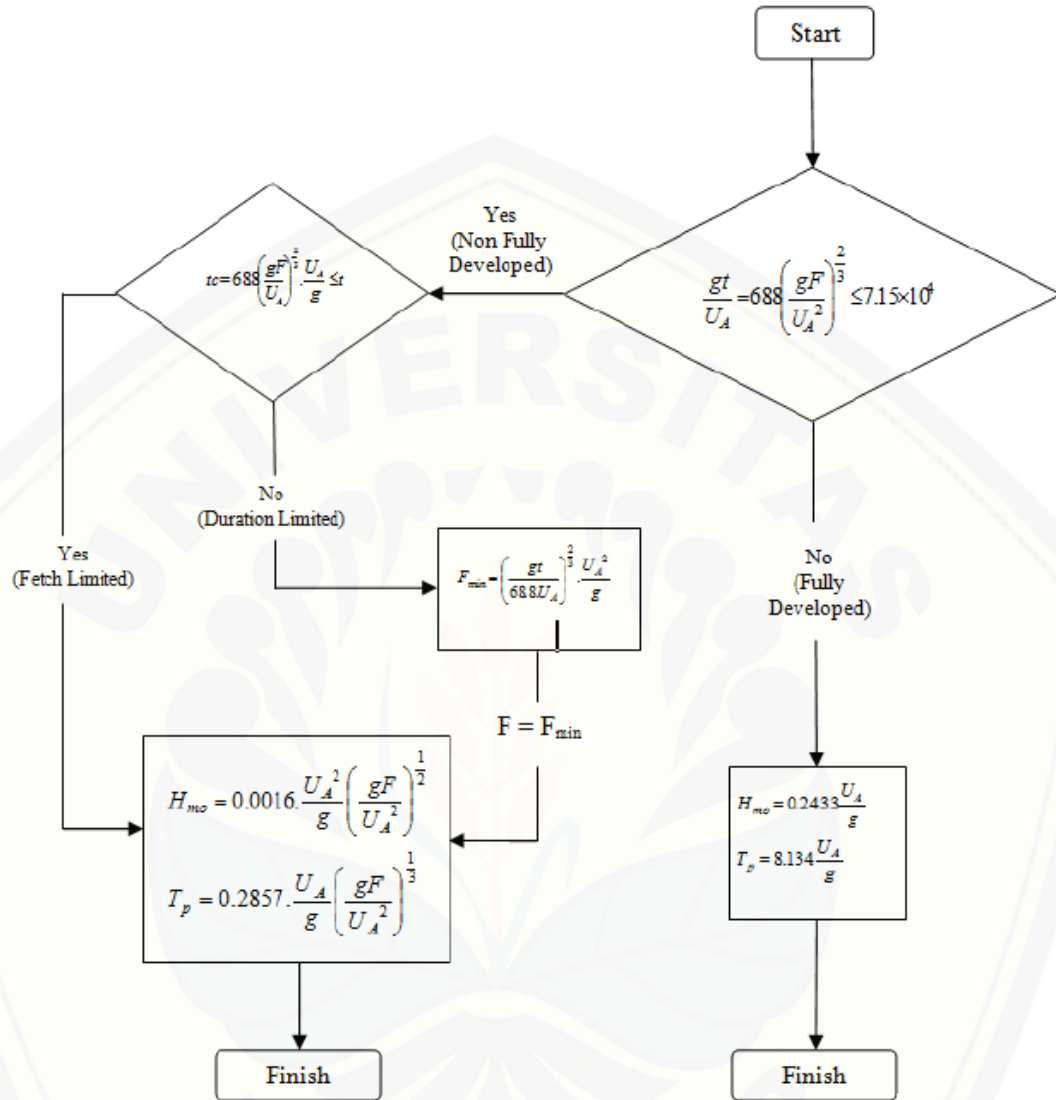
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

2.4.4 *Hindcasting* Gelombang

Hindcasting adalah salah satu cara peramalan gelombang dengan melakukan pengolahan data angin. Objek gelombang yang akan diramal merupakan gelombang laut dalam suatu perairan dan dibangkitkan oleh angin, yang merambat kearah pantai lalu pecah beriringan dengan semakin dangkalnya perairan menuju ke pantai. Adapun data yang dibutuhkan dalam peramalan gelombang berupa data angin rata – rata per jam yang dikonversi menjadi *wind stress factor* (U_A), panjang fetch efektif dan lama hembus angin sehingga didapat tinggi (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s). Terdapat dua cara peramalan gelombang yaitu :

1. Cara Analitis

Peramalan gelombang secara analitis digunakan untuk menetapkan data gelombang. Hal ini dilakukan karena data gelombang untuk jangka panjang sulit atau terlalu mahal untuk diukur secara langsung di lapangan, maka digunakan data angin. Pada cara analitis dilakukan peramalan gelombang (*hindcasting*) dengan metode *Sverdrup Munck Bretschneider* atau SMB (SPM, 1984). Formulasi metode SMB dapat dilihat pada *flowchart* sebagai berikut :

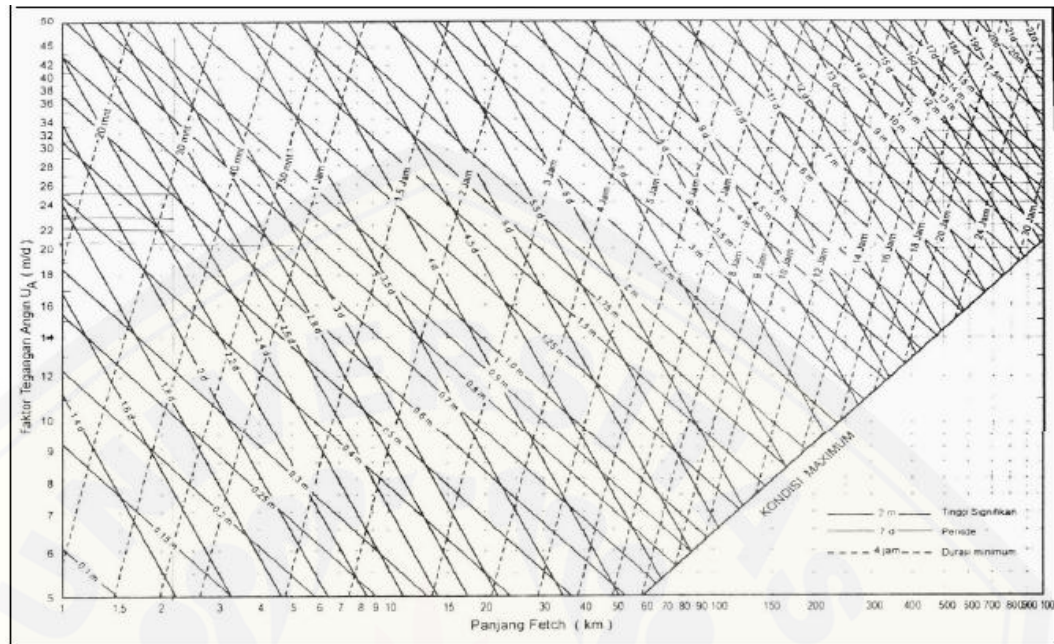


Gambar 2.10 Flow chart dan rumus peramalan gelombang

(Sumber : CERC, 1984)

2. Cara Grafis

Peramalan gelombang cara grafis dilakukan dengan mengplotkan faktor tegangan angin (U_A) dan panjang fetch pada grafik berikut :



(Triatmodjo, 1999, hal. 155)

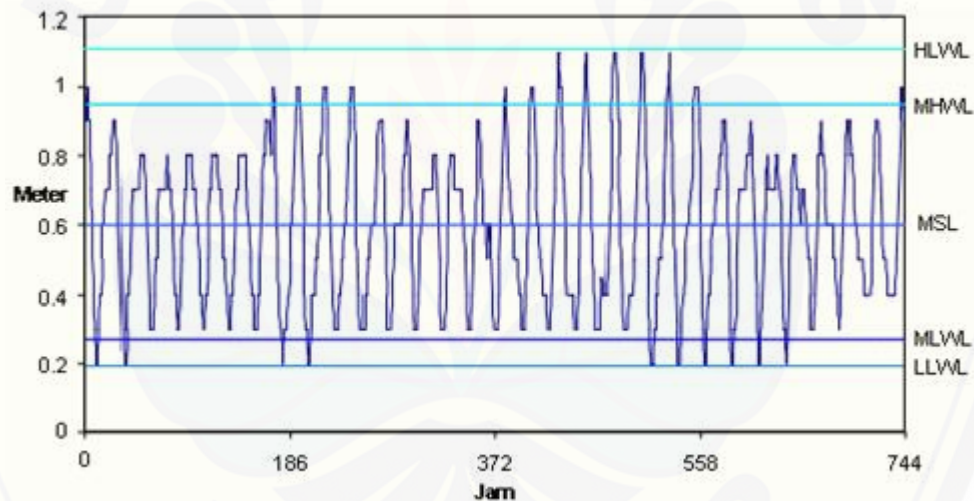
Gambar 2.11 Grafik peramalan gelombang

(Sumber : Triatmodjo, 1999:157)

2.5 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan muka air terendah (surut) sangat penting untuk perencanaan bangunan pantai (Triatmodjo,1999). Data pasang surut didapatkan dari pengukuran selama minimal 15 hari. Dari data tersebut dibuat grafik sehingga didapat *HHWL* (*Highest High Water Level*), *MHWL* (*Mean High Water Level*), *LLWL* (*Lowest Low Water Level*), dan *MSL* (*Mean Sea Level*). Dalam pengamatan selama 15 hari tersebut telah tercakup satu siklus pasang surut yang meliputi pasang purnama dan perbani. Pengamatan yang lebih lama akan memberikan data yang lebih lengkap. Beberapa penjelasan defeni pasang surut diantaranya :

- Muka air tertinggi (*Highest High Water Level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- Muka air tinggi rata-rata (*Mean High Water Level, MHWL*) adalah rata-rata muka air tertinggi yang dicapai selama pengukuran minimal 15 hari
- Muka air laut rata-rata (*Mean Water Level, MWL*) adalah muka air rata-rata antara muka air tinggi rata-rata dan muka air rendah rata-rata.
- Muka air terendah (*Lowest Low Water Level, LLWL*) adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- Muka air rendah rata-rata (*Mean Low Water Level, MLWL*) adalah rata-rata muka air terendah yang dicapai selama pengukuran minimal 15 hari.



Gambar 2.12 Elevasi muka air laut
(Sumber : Triatmodjo, 1999:126)

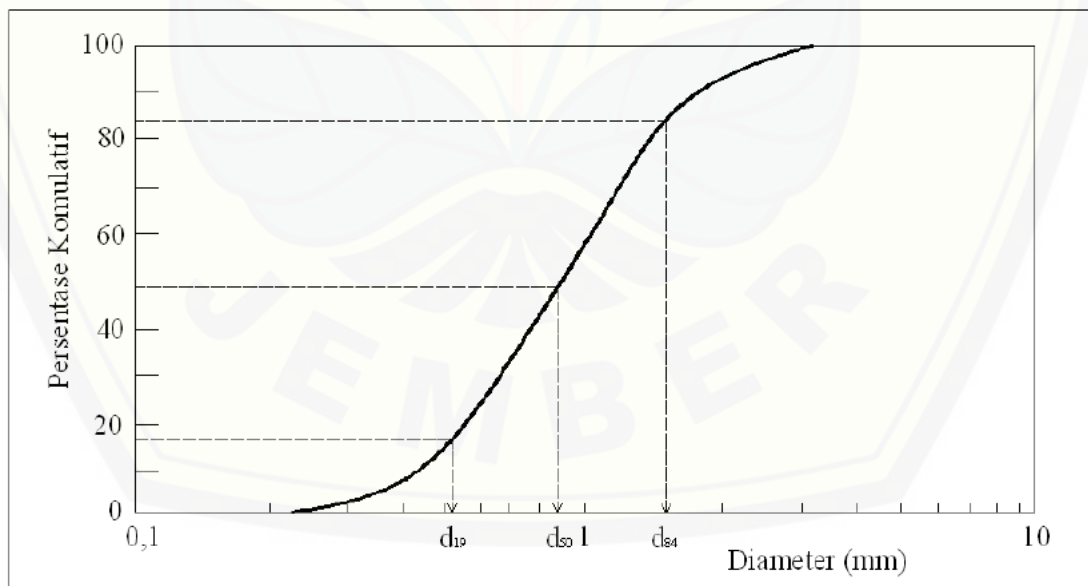
2.6 Teori Sedimentasi

Sedimentasi terjadi akibat adanya gelombang yang datang dan membentuk sudut terhadap garis pantai sehingga mengakibatkan lepasnya sedimen pada suatu daerah pantai dan berpindah sejajar arah pantai tersebut ke daerah pantai lain

kemudian mengendap dan terjadilah sedimentasi. Sedimen sepanjang pantai bisa berasal dari erosi pantai maupun angkutan sedimen menuju dan menjauhi pantai. Sifat-sifat sedimen pantai dapat mempengaruhi laju transpor sedimen di sepanjang pantai. Sifat-sifat tersebut adalah ukuran partikel, rapat massa, berat jenis, kecepatan endap. Di antara beberapa sifat tersebut, distribusi ukuran butir adalah yang paling penting.

2.6.1 Ukuran Partikel Sedimen

Klasifikasi sedimen pantai menurut Wentworth, diklasifikasikan berdasar ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*), Cobble dan batu (*boulder*). Klasifikasi ini banyak digunakan dalam bidang teknik pantai (CERC, 1984). Klasifikasi ukuran butir dan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.2. Distribusi ukuran butir biasanya dianalisis dengan saringan dan dipresentasikan dalam bentuk kurva persentase berat kumulatif seperti terlihat pada Gambar 2.4. Ukuran butir median D50 adalah ukuran yang sering digunakan sebagai ukuran butir pasir.



Gambar 2.13 Grafik distribusi ukuran butir

(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Klasifikasi		Diameter Partikel	
		mm	Satuan phi
Batu (Boulder)		256	-8
Cobble		128	-7
Koral (Pebble)	Besar	64	-6
	Sedang	32	-5
	Kecil	16	-4
	Sangat kecil	8	-3
Kerikil		4	-2
Pasir	Sangat kasar	2	-1
	Kasar	1	0
	Sedang	0,5	1
	Halus	0,25	2
	Sangat halus	0,125	3
Lumpur	Kasar	0,063	4
	Sedang	0,031	5
	Halus	0,015	6
	Sangat halus	0,0075	7
Lempung	Kasar	0,0037	8
	Sedang	0,0018	9
	Halus	0,0009	10
	Sangat halus	0,0005	11
		0,0003	12

Tabel 2.4 Klasifikasi Ukuran Butir dan Sedimen

(Sumber : Triatmodjo, 1999)

2.6.2 Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen dibedakan menjadi 2 macam yaitu: transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedangkan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Pada komponen tegak lurus, sedimen pada dasar laut terangkut dan membawa sedimen ke daerah pantai sehingga terjadi sedimentasi/akresi pada garis

pantai. Pada komponen sejajar garis pantai, sedimen akan terangkut oleh arus sepanjang pantai sampai ke lokasi yang cukup jauh sehingga di lokasi tertentu terjadi kemunduran garis pantai dan pada lokasi tertentu terjadi sedimentasi. (Triatmodjo, 1999)

Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = KP_i^n \dots\dots\dots(2.35)$$

$$P_i = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots(2.36)$$

dimana :

Q_s = Angkutan sedimen sepanjang pantai (m/hari)

P_i = Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah
(Nm/d/m)

ρ = Rapat massa air laut (kg/m)

H_b = Tinggi gelombang pecah (m)

C_b = Cepat rambat gelombang pecah (m/d) = gd

α_b = Sudut datang gelombang pecah

K, n = Konstanta

Rumus angkutan sedimen sepanjang pantai menurut CERC (*Coastal Engineering Research Center*) memberikan hub berikut :

$$Q_s = 0,014P_i \dots\dots\dots(2.37)$$

dengan Q_s mempunyai satuan m³/detik. Apabila dikehendaki Q_s dalam m³/tahun maka persamaan tersebut menjadi :

$$Q_s = 0,44P_i \dots\dots\dots(2.38)$$

CERC memberikan transport sediment total. Distribusi transpor sedimen pada lebar *surf zone*, dimana transpor sedimen terjadi, tidak dapat diketahui. Hal ini menyebabkan terbatasnya pemakaian rumus tersebut pada pantai yang mempunyai groin pendek. Selain itu rumus CERC tidak memperhitungkan sifat-sifat sedimen dasar. Rumus tersebut diturunkan untuk pantai yang terdiri dari pasir agak seragam

dengan diameter rerata bervariasi dari 0,175 mm sampai 1mm. Oleh karena itu rumus tersebut bisa digunakan untuk pantai lain yang memiliki sedimen dengan sifat serupa.

2.7 Peta Batimetri

Peta Bathimetri merupakan peta yang menggambarkan profil dasar laut, bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh serangan gelombang, sifat-sifat sedimen seperti rapat masa dan tahanan terhadap erosi, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus. Peta bathimetri diperlukan untuk mengetahui keadaan kedalaman laut disekitar lokasi pekerjaan. Peta ini digunakan untuk mengetahui kondisi gelombang dilokasi pekerjaan. Peta batimetri ini biasanya dibagi menjadi beberapa grid untuk memudahkan pemetaan.

2.7.1 Grid

Grid adalah garis sejajar lintang dan bujur (pada sistem koordinat latitude/longitude). Tujuan grid adalah untuk memudahkan penunjukan lembar peta dari sekian banyak lembar peta dan untuk memudahkan penunjukan letak sebuah titik di atas lembar peta. Cara pembuatan grid yaitu wilayah dunia yang agak luas, dibagi-bagi kedalam beberapa kotak. Tiap kotak diberi kode. Tiap kotak dengan kode tersebut kemudian diperinci dengan kode yang lebih terperinci lagi dan seterusnya.

2.8 Pemodelan Garis Pantai

2.8.1 NEMOS

NEMOS (*Nearshore Evolution Modeling System*) merupakan seperangkat program/software yang digunakan sebagai suatu sistem untuk mensimulasikan perubahan pantai dalam jangka panjang sebagai reaksi terhadap kondisi gelombang, struktur pantai dan kegiatan teknik dipantai. Program ini dibangun didukung oleh program lainnya untuk dapat mensimulasikan pekerjaan tersebut diantaranya GENESIS (model untuk menghitung perubahan garis pantai terutama yang

disebabkan oleh gerakan gelombang dan dapat diterapkan pada berbagai kondisi, lokasi dan kombinasi *groin*, *jetti*, *breakwater* terpisah, dinding pantai dan juga pengerukan pantai), RCPWAVE (model 2D gelombang tetap, model *finite difference* untuk mensimulasikan penyebaran gelombang sepanjang kondisi batimetri sembarangan diluar area gelombang/*surfzone*) dan STWAVE (menggunakan 2-D *finite difference* menggambarkan bentuk sederhana persamaan keseimbangan spektrum untuk mensimulasikan daerah pantai dengan waktu tak terbatas penyebaran spektrum energi gelombang). NEMOS sendiri merupakan bagian dari beberapa program analisis pantai yang disebut dengan CEDAS 2.01 (*Coastal Engineering Design & Analysis System*). Program ini merupakan produk dari perusahaan VeriTech (Hanson, 1991).

NEMOS dibangun dan didukung oleh program lainnya yang terdapat di dalam, antara lain :

1. RCPWAVE (*Regional Coastal Processes Wave*) merupakan program untuk mensimulasikan penjalaran gelombang dan perubahan bentuk gelombang akibat adanya perubahan kontur dasar laut (bathimetri).
2. STWAVE (*Steady-state Spectral Wave*) merupakan sub program untuk transformasi dan membangun spektrum gelombang steady-state. Sub ini merupakan *finite difference* model dengan berdasar pembangkitan dan penjalaran dengan grid rectilinear 2 dimensi.
3. SPECGEN (*Spectrum Generator*) merupakan sub program untuk import data membangun dan menampilkan spektrum gelombang untuk STWAVE.
4. GRIDGEN (*Grid Generator*) merupakan sub program dalam NEMOS untuk membangun spatial domain dari wilayah kajian.
5. WMV (*Wave Model Visualization*) merupakan suatu aplikasi untuk menampilkan hasil simulasi dalam bentuk gambar maupun grafik.
6. WSAV (*Wave Station Analysis and Visualization*) merupakan sub program untuk analisis statistik dari data seri kejadian gelombang, menampilkan grafik

hasil analisis serta menghasilkan kejadian gelombang yang representatif untuk simulasi.

7. WWL Data (*Wave, Winds and Water Level Data*) yang digunakan untuk editing data gelombang, dan tinggi muka air.
8. WISPH3 (*Wave Information Study Phase 3*) merupakan sub program untuk transformasi spektral data gelombang.
9. GENESIS (*GENeralized model for SIMulating Shoreline Change*) merupakan sub program untuk memodelkan perubahan garis pantai.

2.8.2 GENESIS

GENESIS (**GEN**eralized Model For **SI**mulating **SH**oreline Change), merupakan suatu model yang dipublikasikan oleh US Army Corps Of Engineers (ASCE). GENESIS menggunakan pemodelan numerik dalam menganalisa perubahan garis pantai. Selain itu, GENESIS dapat memperkirakan nilai *longshore transport rate* serta perubahan garis pantai akibat angkutan sedimen tanpa maupun dengan adanya struktur pengaman pantai untuk jangka waktu tertentu.

Longshore transport rate (Q), atau tingkat angkutan sedimen sejajar pantai, lazim mempunyai satuan meter kubik / tahun (dalam SI). Karena pergerakannya sejajar pantai maka ada dua alternatif pergerakan, yaitu ke arah kanan dan kiri relatif terhadap seorang pengamat yang berdiri di pantai menghadap ke arah laut. Pergerakan dari kanan ke kiri diberi notasi (Q_{lt}), dan pergerakan ke arah kanan (Q_{rt}), sehingga didapatkan tingkat angkutan sedimen kotor (gross) $Q_g = Q_{lt} + Q_{rt}$, dan tingkat angkutan bersih (netto), $Q_n = Q_{lt} - Q_{rt}$. Nilai Q_g digunakan untuk meramalkan tingkat pendangkalan pada suatu alur perairan terbuka. Q_n digunakan untuk desain alur yang dilindungi dan perkiraan erosi pantai, sedangkan Q_{lt} dan Q_{rt} untuk penumpukan sedimen di 'belakang' sebuah struktur pantai yang menahan pergerakan sedimen.

Rumus Longshore transport rate (Q), atau tingkat angkutan sedimen sejajar pantai yang biasa digunakan dalam GENESIS yaitu :

$$Q = (H^2 C_g)_b (a_1 \sin^2 \theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bs} \frac{\partial H}{\partial X})_b \dots\dots\dots(2.39)$$

dimana :

H = tinggi gelombang (m)

Cg = Kecepatan sekelompok gelombang yang diberikan oleh teori gelombang linear (m/d)

b = subskrip yang menunjukkan keadaan gelombang pecah

θ_{bs} = Sudut gelombang pecah terhadap garis pantai

Parameter a₁ dan a₂ didapat dari persamaan berikut :

$$a_1 = \frac{K_1}{16(S-1)(1-p)(1,416)^{5/2}} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8(S-1)\tan\beta(1,416)^{7/2}} \dots\dots\dots(2.41)$$

dimana :

K₁ = Koefisien empiris, parameter kalibrasi pertama dalam genesis, adalah besarnya laju angkutan sedimen (K₁ > 0, antara 0,1-1)

K₂ = Koefisien empiris, parameter kalibrasi kedua dalam genesis, adalah distribusi sedimen dalam daerah yang diperhitungkan

S = ps/p

P_s = Massa jenis sedimen/tanah (2,65x10³ kg/m³ untuk kuarsa tanah/sedimen)

p = Massa jenis air (1,03x10³ kg/m³ untuk air laut)

ρ = Porositas dasar tanah (0,4)

Tan β = Rata-rata kemiringan dasar dari garis pantai ke kedalaman aktif laju angkutan sedimen sepanjang pantai

2.9 Kalibrasi Model

Kalibrasi model pada pemodelan perubahan garis pantai dilakukan dengan membandingkan perubahan garis pantai hasil simulasi model dengan garis pantai

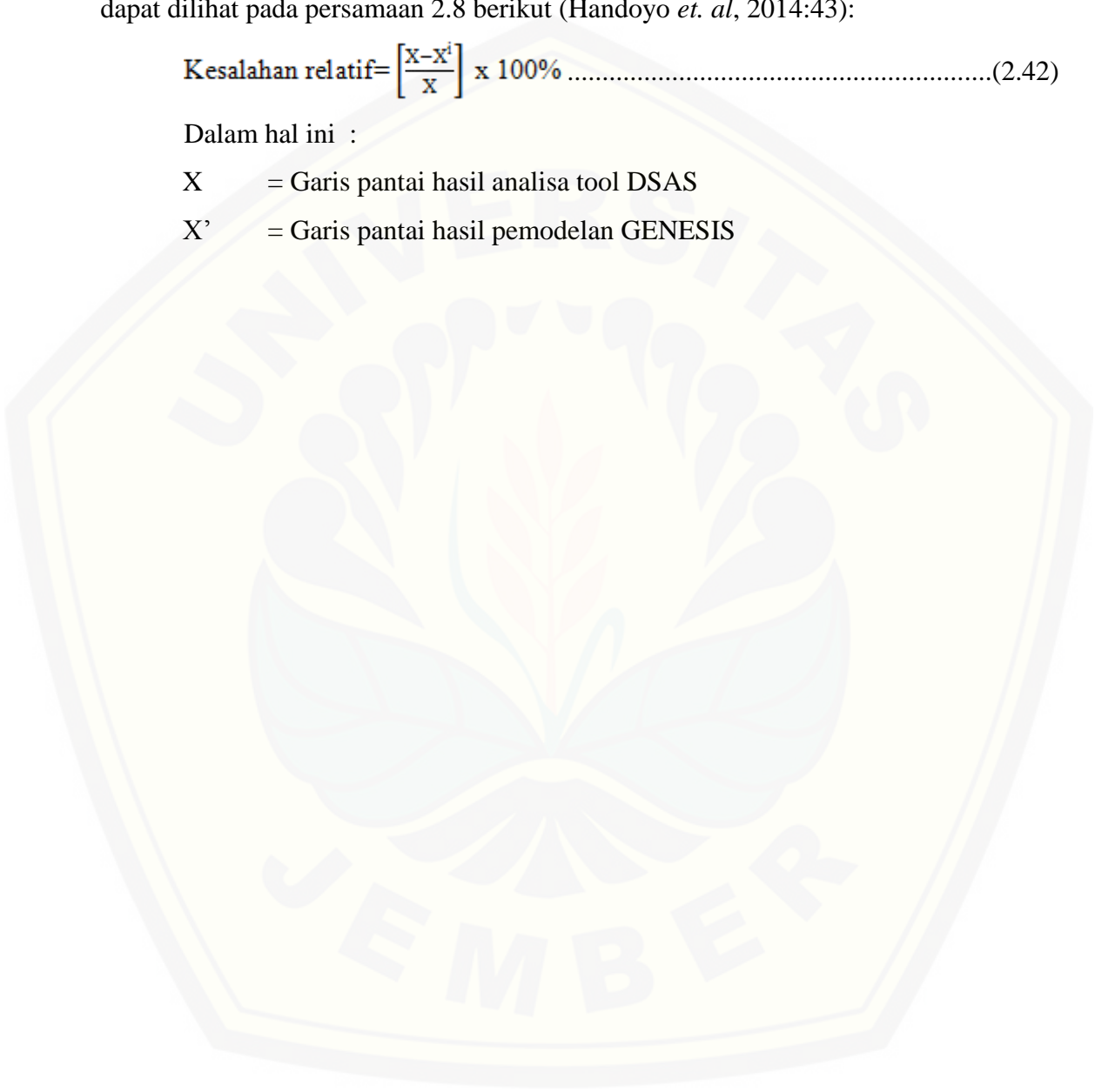
hasil pengukuran. Garis pantai hasil pengukuran diperoleh dari ekstraksi citra landsat. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan dua hasil pengukuran dan simulasi yang dapat dilihat pada persamaan 2.8 berikut (Handoyo *et. al*, 2014:43):

$$\text{Kesalahan relatif} = \left[\frac{X - X'}{X} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.42)$$

Dalam hal ini :

X = Garis pantai hasil analisa tool DSAS

X' = Garis pantai hasil pemodelan GENESIS



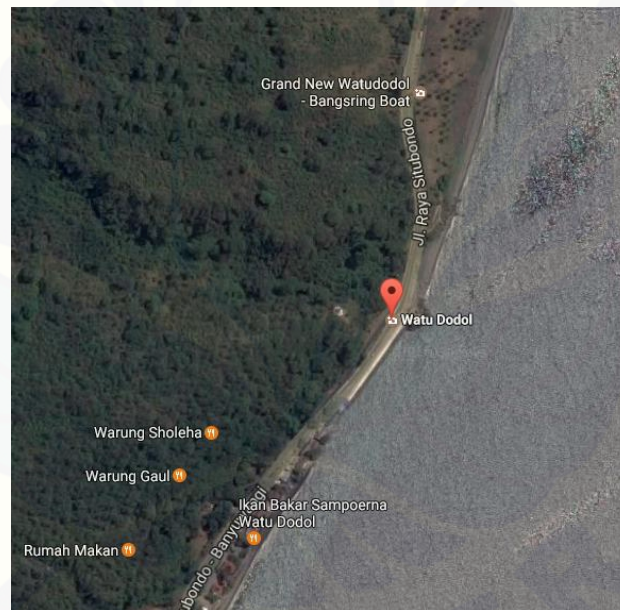
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu

3.1.1 Lokasi

Penelitian berlokasi di Pantai Watu Dodol Banyuwangi yang berjarak 15 km dari pusat kota dan 2 km dari Pelabuhan Ketapang. Pantai ini memiliki letak geografis $8^{\circ}5'34''$ BT dan $114^{\circ}24'46''$ LS dan terletak di Desa Ketapang, Kecamatan Kalipuro Kabupaten Banyuwangi. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian, Pantai Watu Dodol Banyuwangi
(Sumber : Google Map)

3.1.2 Waktu

Penelitian ini memiliki batas waktu penyelesaian yaitu dari November 2015 sampai Januari 2017. Penjadwalan penelitian akan dijelaskan dalam matrik penelitian

dimana menjelaskan mengenai tahapan dan waktu pengerjaan penelitian. Matrik penelitian disajikan pada lampiran 1.

3.2 Metode

Pada penelitian ini digunakan metode pemodelan yaitu suatu metode dimana gejala alam dimodelkan dalam skala kecil dengan menggunakan suatu perangkat lunak pemodelan.

3.2.1 Data

Sebelum melakukan penelitian di butuhkan beberapa data untuk mendapatkan hasil sesuai tujuan. Data yang diperlukan untuk melakukan penelitian merupakan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari *survey* lapangan dengan cara pengamatan maupun pengukuran secara langsung ke lapangan. Penulis melakukan pengamatan ke lapangan namun tidak melakukan pengukuran secara langsung karena keterbatasan alat, dana dan waktu. Data primer dalam penelitian ini adalah data sedimen.

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data bathimetri, data angin, data gelombang, data pasang surut. Sumber peta dan data berasal pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis & Sumber Data Penelitian

No	Jenis Data	Sumber
1.	Data Pasang Surut Kota Banyuwangi 2015	Dinas Oceanografi TNI AL
2.	Data Angin Kota Banyuwangi 2010-2015	BMKG Meteorologi Klas III Banyuwangi, Data Angin NOAA
3.	Data Bathimetri	GEBCO (<i>General Bathymetric Chart of The Oceans</i>)

4.	Data gelombang	Konversi dari data angin
5.	Data Sedimen	Pengambilan sampel langsung di lokasi survey perairan sekitar pantai watu dodol
6.	Data garis pantai	Ekstraksi dari citra satelit

Data citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat dari tahun 1999 sampai dengan tahun 2015. Rincian mengenai citra satelit yang digunakan dijelaskan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Citra Satelit yang Digunakan dalam Penelitian

Tahun Perekaman Data	Citra Satelit
1999	Landsat 7 ETM+ SLC On
2005	Landsat 7 ETM+ SLC Off
2010	Landsat 7 ETM+ SLC Off
2015	Landsat 8 OLI/TIRS

3.2.2 Alat

Penelitian ini menggunakan suatu alat untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan yaitu :

1. GPS

GPS adalah alat yang digunakan untuk menentukan koordinat titik awal dalam penelitian ini. Titik koordinat tersebut digunakan sebagai datum atau referensi local dan untuk mengetahui koordinat (x,y).

3.3 Pelaksanaan

3.3.1 Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan penyelaman langsung ke dasar laut. Metode penentuan lokasi pengambilan sampel sedimen dasar menggunakan metode *purposive sampling method* yaitu penentuan lokasi ditentukan

secara purposif dengan pertimbangan dapat mewakili karakteristik sedimen di wilayah perairan setempat. Jumlah stasiun ditentukan berdasar kondisi di lapangan (Oktariani *et. al*, 2015). Dalam penelitian ini terdapat 18 stasiun sampling sedimen. Pada tiap stasiun diambil sebanyak 1 kali pengambilan sedimen yang kemudian dimasukkan ke kantong plastik untuk kemudian dianalisis ukuran butirnya.

3.3.2 Pengolahan Data Angin

Pengolahan data angin dimaksudkan untuk mendapatkan data peramalan gelombang. Data angin yang digunakan adalah data angin selama enam tahun yaitu dari tahun 2010 hingga tahun 2015 yang diperoleh dari BMKG Meteorologi Klas III Banyuwangi dan data angin NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Adapun langkah-langkah pengolahan data angin yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Menganalisa kecepatan dan arah angin dari mawar angin dan diagram angin sehingga diperoleh distribusi kecepatan dan arah. Distribusi kecepatan dan arah angin ini digunakan untuk mengetahui persentase kejadian dari masing-masing kecepatan untuk setiap arah angin yang akan digunakan untuk analisa angkutan sedimen, pembangkitan gelombang dan untuk mengetahui arah dominan angin.
2. Melakukan perhitungan fetch efektif dari arah angin dominan. Sebelum menghitung fetch efektif, harus menggambar garis fetch efektif dengan selang sudut 6° sejumlah 15 garis. Setelah itu, menghitung panjang garis fetch dari titik *base point* sampai titik dimana memotong daratan untuk pertama kalinya (Xi). Selanjutnya menghitung panjang fetch efektif dari masing-masing sudut α dan Xi.
3. Menghitung koreksi elevasi, koreksi kestabilan, koreksi efek lokasi untuk mengubah data angin darat menjadi data angin permukaan laut.

4. Menghitung faktor tegangan angin (UA) untuk digunakan pada pengolahan data peramalan gelombang.

3.3.3 Pengolahan Data Gelombang

Pengolahan data gelombang dilakukan untuk mendapatkan input data gelombang berupa tinggi dan periode gelombang, gelombang signifikan, serta tinggi dan kedalaman gelombang pecah. Data gelombang tersebut digunakan sebagai masukan dalam program CEDAS NEMOS. Langkah-langkah pengolahan data gelombang :

1. Melakukan peramalan gelombang menggunakan metode *Sverdrup Munck Bretschneider (SMB)*
2. Menghitung gelombang representatif
3. Menghitung periode ulang gelombang untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang kala ulang pada tahun tertentu
4. Melakukan perhitungan gelombang pecah untuk mendapatkan tinggi dan kedalaman gelombang pecah

3.3.4 Pengolahan Data Sedimen

Data sedimen yang digunakan yaitu sedimen D50. Nilai D50 adalah nilai ukuran butir pada persentase ke 50 berat sampel sedimen yang dinyatakan dalam milimeter (mm). Data sedimen diperoleh dari pengambilan sampel langsung di lapangan yang kemudian diteliti di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Jember. Sampel sedimen diolah dengan metode analisis ukuran butir dan jenis sedimen menggunakan metode ayak kering pada saringan bertingkat (*sieve analysis*) serta analisis grain size.

3.3.5 Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut yang diperoleh dari Dinas Oceanografi TNI AL Banyuwangi merupakan data yang sudah diolah dengan menggunakan metode admiralty. Data tersebut kemudian digunakan untuk menentukan HHWL, MHWL, LLWL, dan MSL.

3.3.6 Pemodelan Menggunakan CEDAS – NEMOS

Pemodelan garis pantai menggunakan perangkat lunak CEDAS dengan sub program NEMOS untuk mengetahui laju transpor dengan pendekatan numerik yang terstruktur sehingga diperoleh gambaran perubahan garis pantai yang terjadi untuk kurun waktu tertentu yang akan mendekati kondisi yang terjadi di lapangan serta dapat mensimulasikan skenario penambahan bangunan pelindung pantai yang diinginkan dalam suatu perairan. (Hanson dan Kraus, 1989).

Tahapan – tahapan pemodelan perubahan garis pantai dengan menggunakan program CEDAS - NEMOS antara lain :

1. Mempersiapkan data-data yang digunakan pada pemodelan yaitu data gelombang, data garis pantai dan data batimetri yang sudah diubah menjadi bentuk file teks (*.txt)
2. Menentukan dan membuat *grid region* dan *domain boundary* menggunakan Grid Generator. Daerah model dibagi menjadi sejumlah sel (grid) dengan panjang yang sama yaitu Δx dan Δy . *Grid region* dan *domain boundary* merupakan area atau daerah yang akan dimodelkan. *Grid region* dibuat dari input data bathimetri dan garis pantai yang telah disiapkan sebelumnya.
3. Menentukan lokasi dan kedalaman grid stasiun gelombang sebelum gelombang pecah yang akan menghubungkan dengan grid GENESIS.
4. Mempersiapkan data gelombang yang akan digunakan dalam NEMOS, dengan membangun NETCDF menggunakan WWL data Editor.
5. Transformasi data gelombang lepas pantai menjadi boundary gage. *Transformasi* gelombang dilakukan untuk mengubah gelombang hasil pencatatan

alat atau dapat juga dari perhitungan gelombang hasil *hindcasting* ke model yang akan dibuat.

6. Membuat model WHISP3 yang digunakan untuk menyesuaikan sudut gelombang input dengan garis pantai pada model.
7. Menandai “Calm event” dari data gelombang 10 tahun yang akan digunakan oleh GENESIS, untuk menghitung “time”. Data gelombang time series 10 tahun tersebut kemudian difilter untuk mendapatkan data gelombang “nocalm” untuk di analisis di WSAV. WSAV (*Wave Station Analysis and Visualization*) ialah pengolahan data gelombang untuk ditampilkan dalam *block diagram* maupun *wave rose*. Sebelum data gelombang dimasukkan kedalam WSAV sebelumnya, data gelombang diolah dengan mencari gelombang yang kritis (*critical waves*).
8. Running SPECGEN. Langkah ini dilakukan untuk menampilkan spektrum gelombang yang terjadi di perairan lokasi penelitian.
9. Running STWAVE. STWAVE (*Steady State Wave*) adalah langkah untuk membuat simulasi gelombang. Dalam proses ini, gelombang hasil pengolahan sebelumnya disimulasikan ke dalam model yang telah dibuat. Dari simulasi ini diperoleh arah penjalaran gelombang dan besaran gelombang pada masing-masing kedalaman. Selanjutnya memvisualisasikan hasil STWAVE pada WMV. Dalam model WMV ini akan terlihat *refraksi* gelombang dan besarnya gelombang pada masing-masing kedalaman.
10. Running gelombang external dalam modul RCPWAVE.
11. Running model dengan menggunakan modul GENESIS. Sebelum menjalankan program, terlebih dahulu dibuat input gelombang sebagai masukan dalam program. Gelombang ini disesuaikan azimuthnya sesuai *grid* yang terdapat dalam pemodelan.
12. Mengkalibrasikan hasil pemodelan. Kalibrasi model dimaksudkan untuk mengetahui tingkat perbedaan bentuk perubahan garis pantai yang terjadi antara hasil pengukuran langsung dengan hasil pendekatan pemodelan.

Untuk tahapan pemodelan lebih jelas digambarkan pada *flowchart*.

3.3.7 Kalibrasi Model

Langkah-langkah kalibrasi model CEDAS-NEMOS adalah (Handoyo *et. al*, 2014):

1. Mengolah garis pantai hasil ekstraksi dari citra satelit dengan menggunakan *tool* DSAS (*Digital Shoreline Analisis System*). Pengolahan dilakukan dengan meng-overlay dua citra satelit dari data perekaman yang berbeda untuk mengidentifikasi daerah akresi dan erosi. Kemudian melakukan pengolahan dengan metode *End Point Rate* (EPR) dalam *tool* DSAS untuk mengetahui laju perubahan garis pantai (m/tahun).
2. Membandingkan laju perubahan garis pantai hasil running GENESIS dengan hasil perhitungan data citra satelit menggunakan EPR. Selanjutnya mencari presentase kesalahan terkecil dengan metode trial and error pada persamaan 3.1 dengan cara memasukkan nilai K1 dan K2.

$$\text{Kesalahan relatif} = \frac{X-x'}{X} \times 100\% \quad 3.1$$

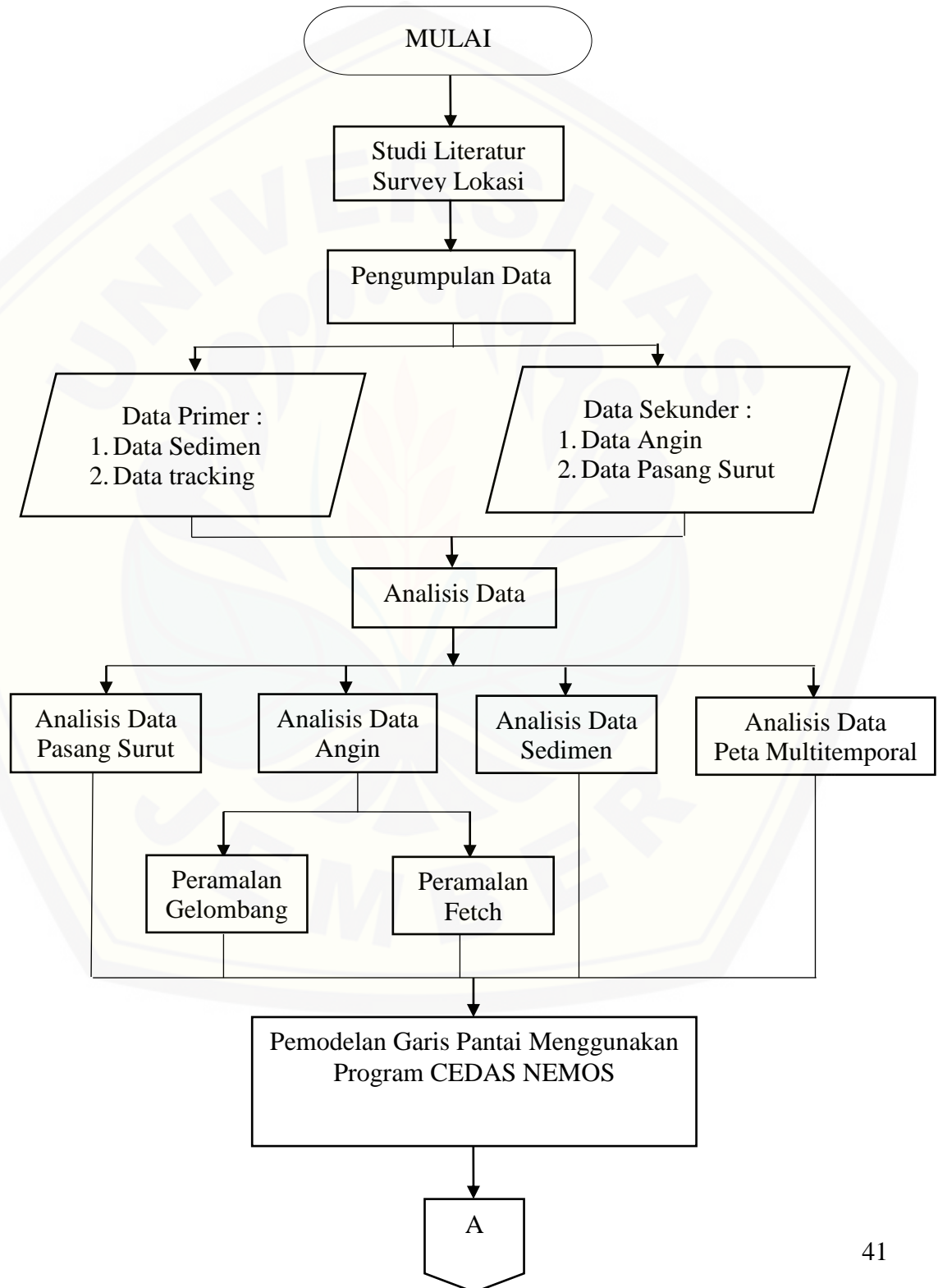
Dimana :

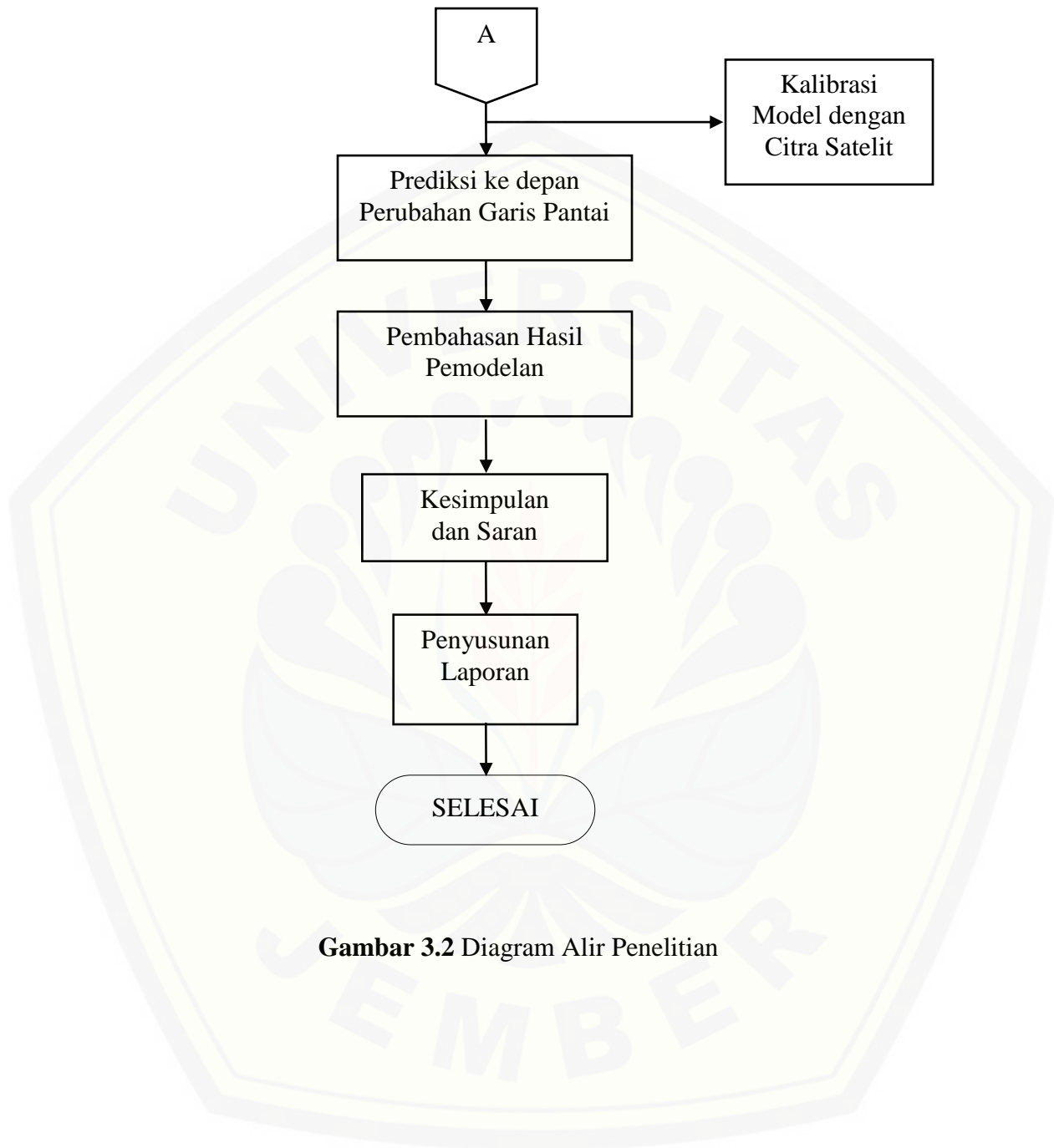
X : Garis pantai hasil analisa tool DSAS

X' : Garis pantai hasil pemodelan GENESIS

3.4 Bagan Alir Penelitian

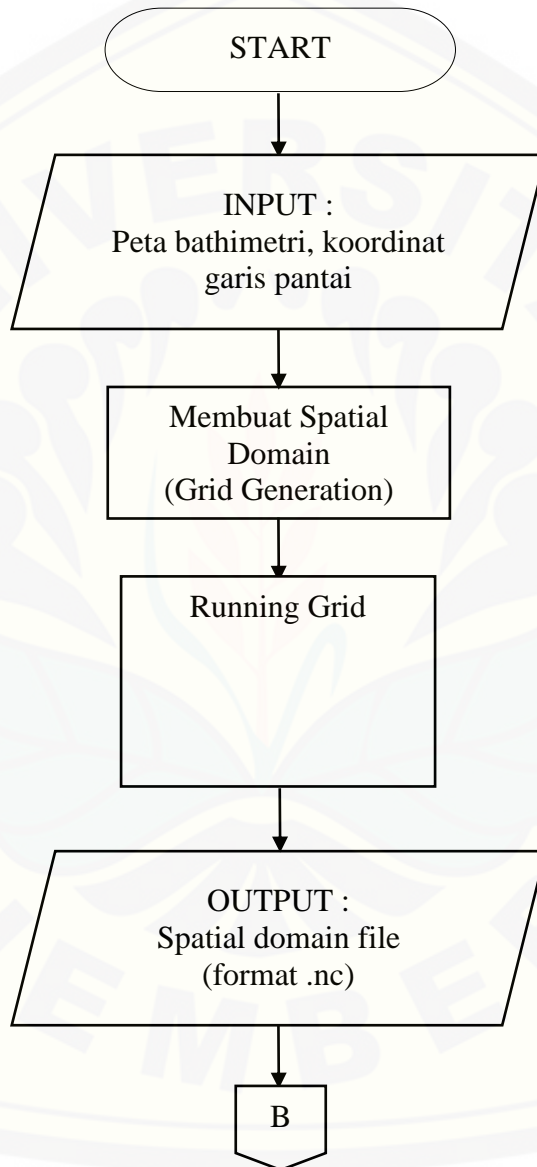
Proses keseluruhan dalam penelitian ini tersaji dalam flowchart berikut ini :

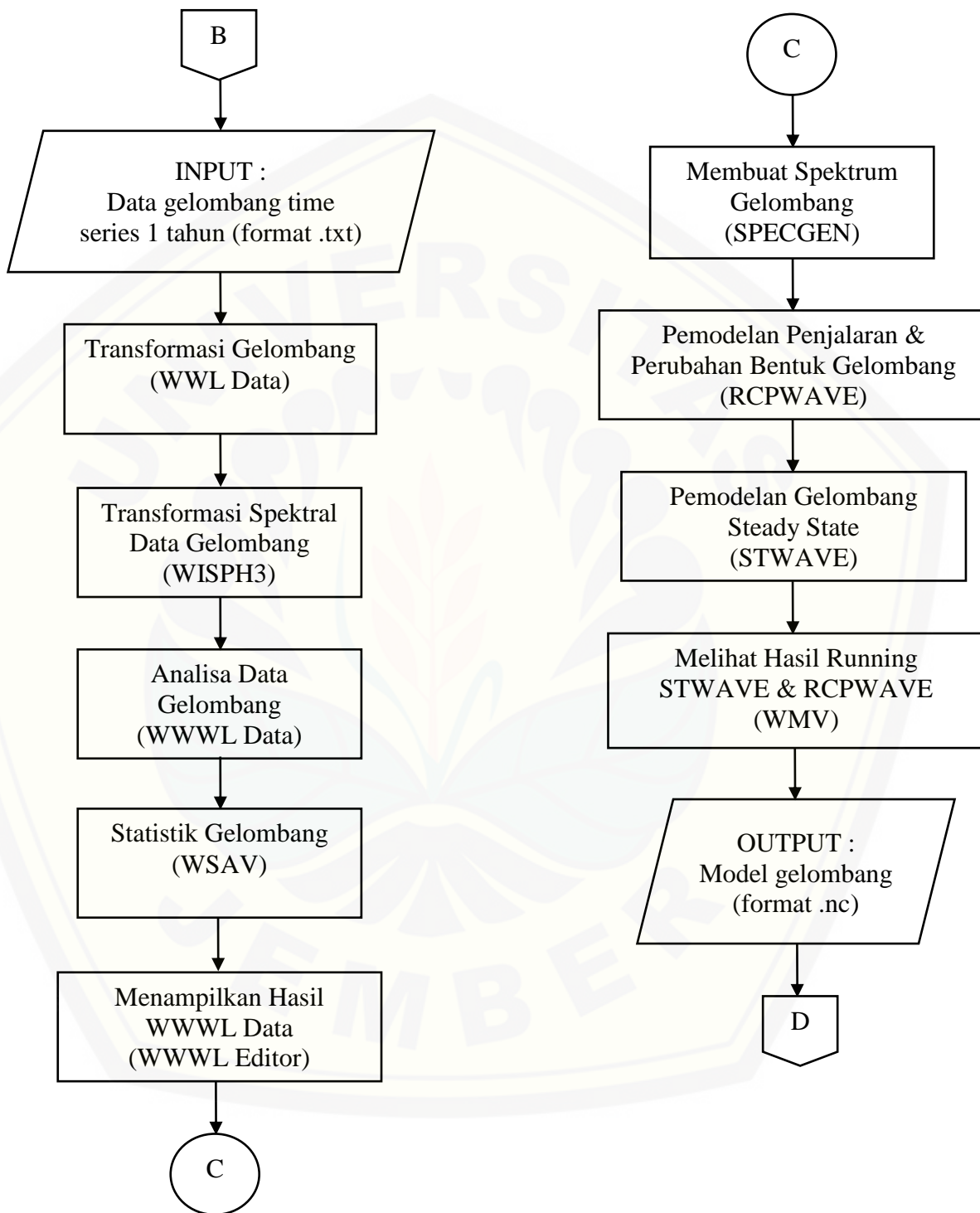


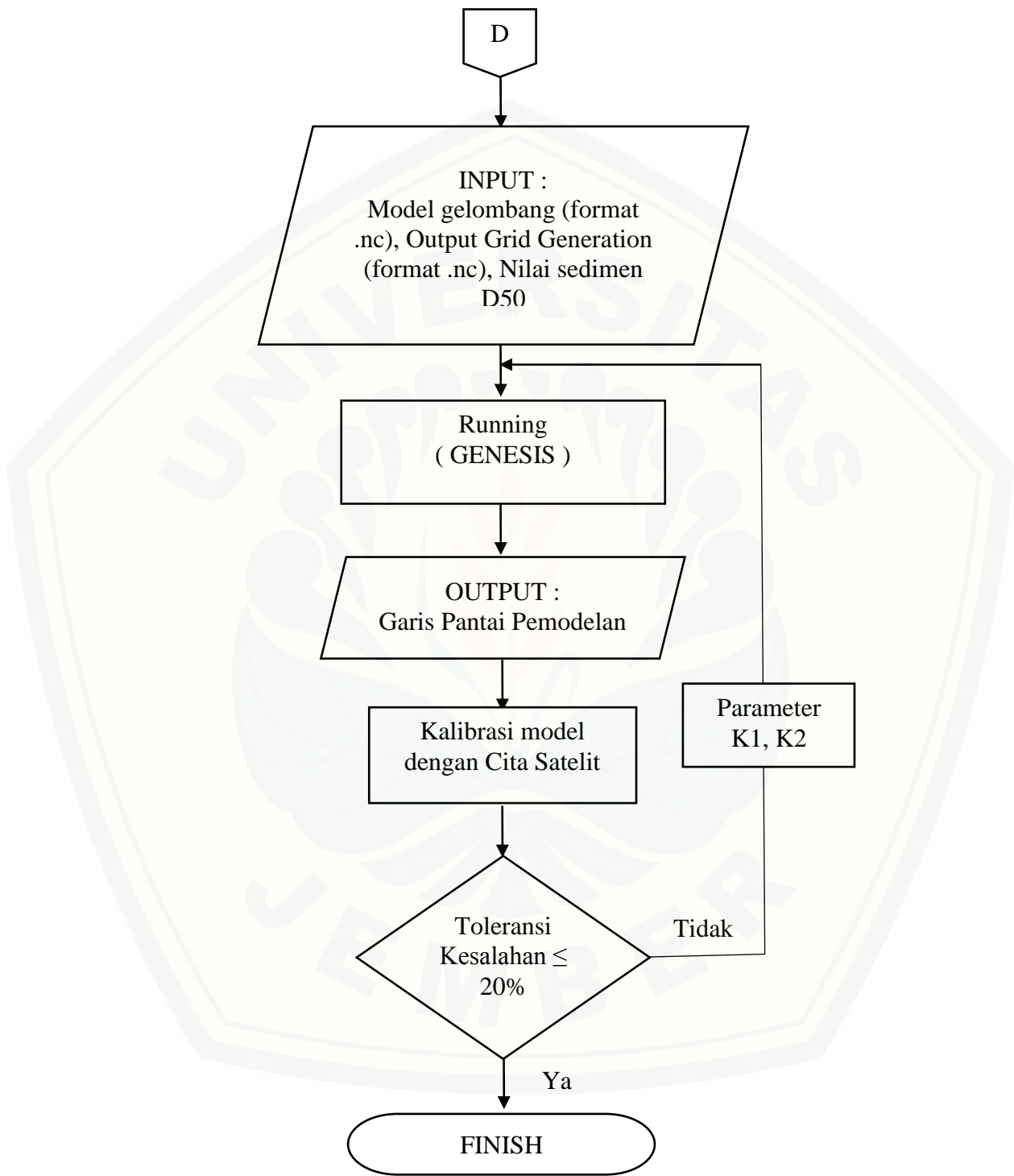


Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Sedangkan proses pemodelan menggunakan program CEDAS NEMOS tersaji dalam flowchart berikut :







Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan CEDAS-NEMOS

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

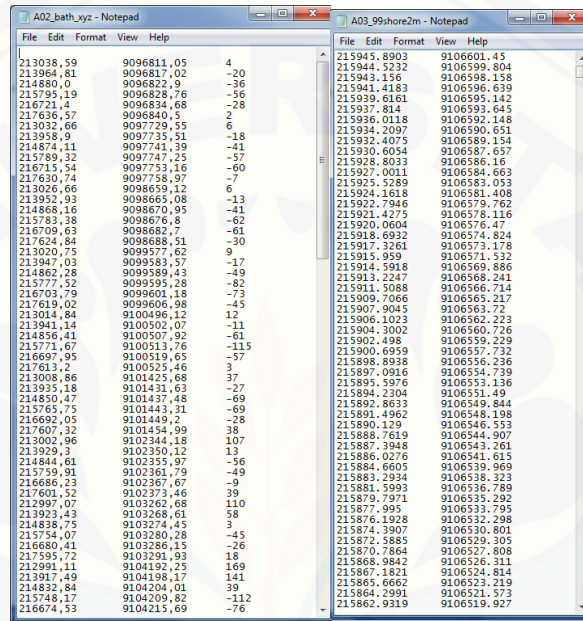
Dalam Tugas Akhir ini, sebelum melakukan prediksi perubahan garis pantai, dilakukan pemodelan pola pergerakan gelombang di sekitar lokasi studi. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan sub program *STWAVE* dalam program *CEDAS - NEMOS* dengan hasil berupa gambar simulasi pergerakan gelombang setiap jangka waktu tertentu.

Setelah mengetahui pola pergerakan gelombang di sekitar lokasi studi, selanjutnya dilakukan prediksi perubahan garis pantai yang akan datang menggunakan sub program *GENESIS* dalam program *NEMOS*. Prediksi ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi dalam kurun waktu tertentu dengan kondisi eksisting sehingga dapat diketahui perubahan garis pantai yang akan terjadi. Kemudian dari perubahan itu dapat dilakukan perencanaan pengaman pantai untuk penanganan masalah yang ditimbulkan oleh perubahan garis pantai.

5.2 Pemodelan Garis Pantai dengan Program CEDAS-NEMOS

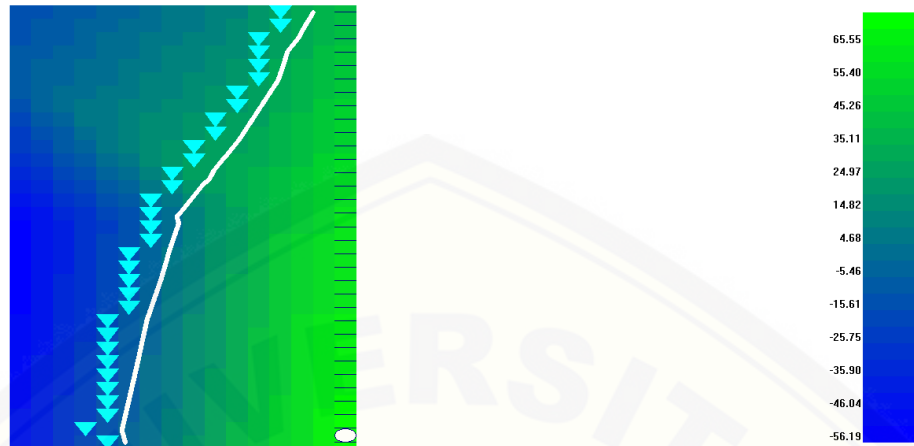
Pemodelan garis pantai Watu Dodol dilakukan dengan menggunakan program *CEDAS NEMOS*. Pemodelan perubahan garis pantai memiliki analisis dalam memodelkan pola perubahan garis pantai. Analisis perubahan garis pantai dilakukan dalam dua kondisi. Analisis pertama memperlihatkan arah gelombang yang terjadi dengan menggunakan bantuan sub program *STWAVE*. Analisis berikutnya adalah dengan bantuan sub program *GENESIS* yang memperkirakan perubahan garis pantai yang terjadi dalam 10 tahun kemudian jika tidak dilakukan tindakan pengamanan pantai

Sebelum dilakukan pemodelan, maka dilakukan pengolahan terhadap data-data terlebih dahulu sebagai input dalam pemodelan. Pengolahan data yang pertama dilakukan di dalam Grid Generator dengan mengimport data bathrimetri. Data bathrimetri disusun dalam bentuk notepad dengan koordinat X, Y, dan Z yang ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Data Bathrimetri XYZ dan data garis pantai XY

Setelah input data bathrimetri, dilanjutkan dengan input data garis pantai tahun 2010 dengan koordinat X dan Y (gambar 5.1). Garis pantai pada tahun 2010 ini diperoleh dari hasil ekstraksi pengolahan citra satelit tahun 2010. Lalu menentukan koordinat lokal azimuth awal pembagian grid sebesar $dx = 50$ dan $dy = 50$ untuk menentukan wilayah yang akan dimodelkan dengan panjang garis pantai sejauh 2350 m dan pembagian grid 50 m. Hasilnya akan diperoleh grid sebanyak 47 grid. Selanjutnya membuat *station* sepanjang garis pantai sebagai input sub program STWAVE. *Station* dibuat sepanjang offshore pada zona sebelum gelombang pecah. Titik awal *station* diletakkan pada kedalaman 1,5 meter sebelum gelombang pecah pada kedalaman 1,7 meter. Hasil dari *grid generator* berupa *station file* dan *spatial domain file* yang digunakan pada pemodelan selanjutnya.



Gambar 5.2 Hasil Input Data Batimetri dan Data Garis Pantai

5.3 Pemodelan Pola Pergerakan Gelombang dengan Sub Program STWAVE

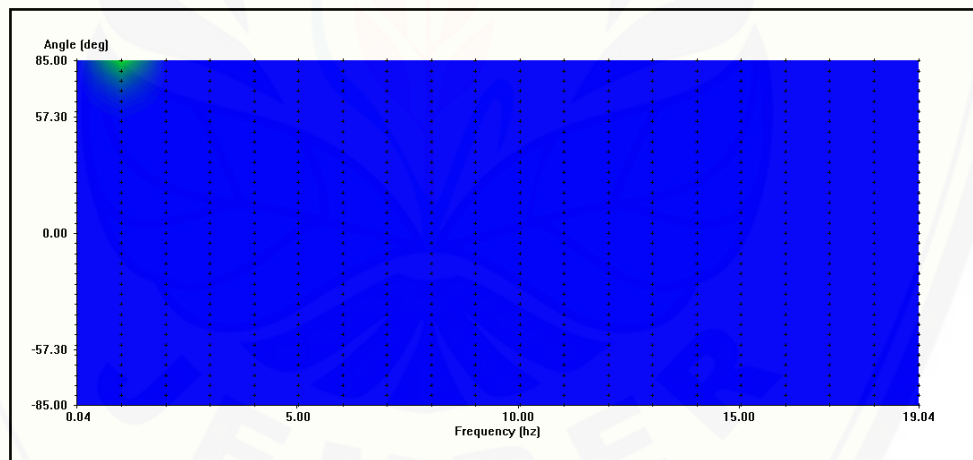
Pola pergerakan gelombang dimodelkan dalam sub program STWAVE. Sub modul ini memodelkan transformasi gelombang yang berfungsi untuk menghitung spectrum gelombang. Model ini merupakan model gelombang dengan struktur data yang terdiri dari data gelombang, file permutasi, *spatial domain*, *specgen*, dan *station file*. Hasil keluaran dari STWAVE adalah *station file* dan *field file*. Hasil keluaran tersebut digunakan untuk pemodelan selanjutnya pada sub program GENESIS.

Sebelum melakukan pemodelan gelombang STWAVE, maka dilakukan pengolahan informasi data gelombang pada WWL editor dan WISPH3. Pada WWL editor dilakukan input data gelombang dan konstanta seperti data MS, data koordinat pada zona UTM 50s, dan nama *station*. Hasil keluaran dari WWL editor digunakan pada WISPH3 sebagai input data. WISPH3 menggunakan asumsi sudut gelombang shore_ref 3. Data transformasi gelombang keluaran WISPH3 dilakukan pengolahan kembali pada WWL editor untuk menentukan gelombang *calm* dan *nocalm*. Selanjutnya dilakukan analisis kondisi gelombang untuk statistik gelombang pada WSAV.

Langkah-langkah analisa dan pengolahan data gelombang WSAV:

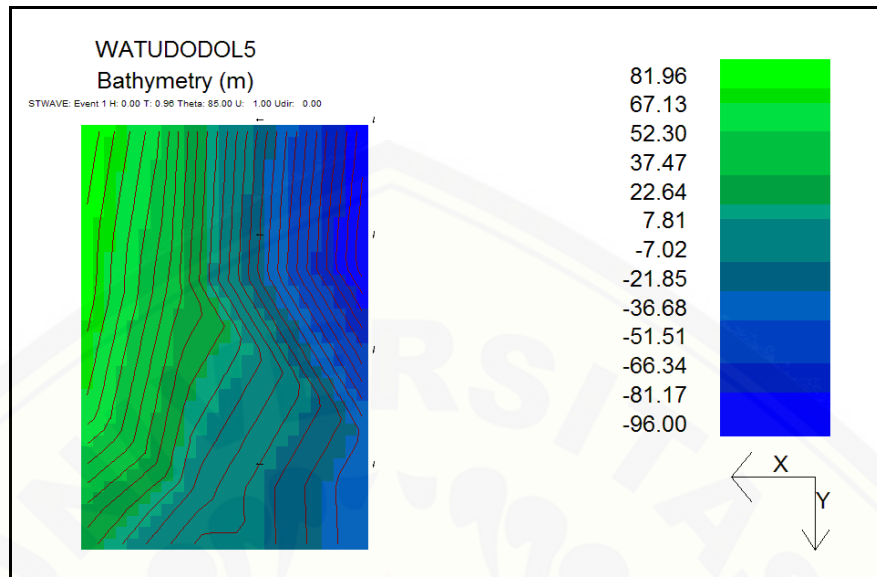
- a. Data hasil transformasi gelombang di analisa dan dihitung menjadi data statistik digunakan sub program WSAV.
- b. Statistik data gelombang disajikan dalam bentuk blok diagram yang berisi informasi mengenai angka kejadian gelombang baik periode maupun arahnya.
- c. Kemudian untuk mendapatkan spectrum gelombang digunakan sub program SPECGEN.

Dengan modul *WWWL Editor* dimana hasil analisis gelombang di tampilkan kemudian dilakukan *filtering*. Hasilnya kemudian dikonversi orientasi azimuthnya. Konversi dilakukan dengan cara mengubah kondisi acuan menjadi arah *local polar*. Hasil ini akan digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pada modul SPECGEN dan RCPWAVE. Hasil dari SPECGEN berupa spectrum gelombang dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Spectrum Gelombang dari Sub Model On-Line

Hasil *running* modul STWAVE bisa dilihat secara visualisasi menggunakan modul WMV. Gambar 5.4 menunjukkan hasil transformasi gelombang.



Gambar 5.4. Visualisasi Arah Gelombang Menggunakan WMV

Dari hasil Gambar 5.4. visualisasi WMV terlihat jelas arah gelombang dan garis bathimetri hasil dari *running* model STWAVE pada Pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi. Tanda panah tersebut menunjukkan arah datangnya gelombang dominan.

5.4 Pemodelan Perubahan Garis Pantai dengan Sub Program GENESIS

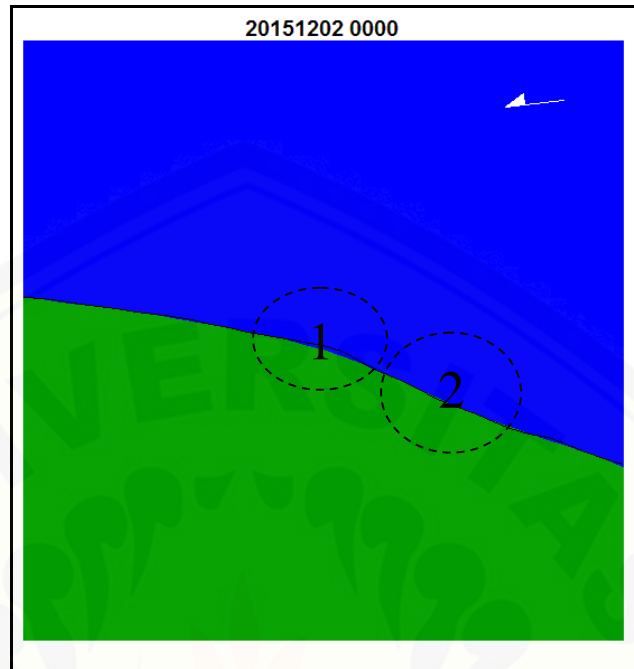
Sub program *GENESIS* digunakan untuk mengetahui perubahan garis pantai dalam rentang waktu tertentu. Sub program *GENESIS* menggambarkan posisi garis pantai pada awal pemodelan dan posisi garis pantai setelah beberapa tahun pemodelan dengan atau tanpa bangunan pelindung pantai. Posisi garis pantai awal dan akhir pemodelan dibandingkan sehingga dapat diketahui perubahan garis pantai yang terjadi dengan atau tanpa bangunan pelindung pantai.

Dari analisis-analisis perubahan garis pantai dengan atau tanpa bangunan pelindung pantai, maka dapat diperoleh garis pantai yang paling stabil. Posisi garis pantai yang stabil diperoleh dengan cara mengubah-ubah parameter kalibrasi dan penambahan model bangunan pantai yang direncanakan.

Langkah-langkah dalam mensimulasikan model *GENESIS* adalah:

1. Langkah awal adalah menentukan GENESIS *spatial domain*, yaitu file yang dibangun pada saat *grid generator*, yang merupakan cakupan wilayah kajian dari garis pantai yang akan disimulasikan.
2. Mengubah local azimuth data gelombang menjadi azimuth awal (*shore_ref 1*) pada modul WWWL editor.
3. Langkah berikutnya adalah menentukan konfigurasi GENESIS, yaitu Judul Simulasi, satuan unit (*metric*), waktu simulasi (*start date, and date, time step, recording time step*) dimulai pada 03 Maret 2010 sampai 02 Desember 2015, menginput *wave component*, membuat visualization file dan *printed output* untuk mencetak hasil simulasi. Berikutnya adalah penentuan sistem koordinat yaitu UTM dan azimuth GENESIS *spatial domain*.
4. Menentukan *Boundary Condition* pada seaward BC Wave data dan Lateral BC Data yaitu sudut gelombang (*angle offset*), tipe *lateral BC (moving)*, dan *shoreline displacement velocity*
5. Menentukan konstanta D50, tinggi rata-rata sempadan pantai (*berm height*), kedalaman terdekat (*closure depth*), dan parameter k_1 k_2 .
6. Simulasi GENESIS dari kondisi tahun 2016 sampai dengan tahun 2025 (selama 10 tahun).

Terdapat beberapa asumsi yang digunakan dalam *running* model ini, asumsi pertama adalah parameter dan konstanta tidak berubah selama simulasi, dan asumsi kedua adalah data gelombang tidak berubah secara signifikan selama waktu simulasi.



Gambar 5.5. Hasil Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol

Dari hasil *running* model GENESIS pada gambar 5.5 warna hijau merupakan daerah daratan dan warna biru merupakan daerah perairan. Daerah 1 mengalami erosi dan pada daerah 2 mengalami akresi. Dari hasil sementara ini perlu dilakukan kalibrasi model tersebut supaya mendekati kejadian yang sebenarnya.

5.4.1 Kalibrasi Pemodelan Perubahan Garis Pantai

Kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan 2 data citra satelit yang laju perubahan garis pantainya dihitung menggunakan metode *End Point Rate* (EPR). Citra satelit yang digunakan adalah citra satelit tahun 2010 dan citra satelit tahun 2015. Citra satelit ini diolah dengan *tool* DSAS yang terdapat pada program ARCMAP sehingga menghasilkan nilai EPR. Hasil perhitungan model GENESIS dibandingkan dengan hasil perhitungan *end point rate*. Dalam hal ini *output* model GENESIS berupa *Shoreline Change After n Year* adalah berupa jarak perubahan dalam rentang waktu tertentu, supaya bisa dibandingkan dengan nilai EPR maka hasil tersebut harus dibagi rentang waktu tersebut, sehingga bisa dibandingkan hasil keduanya dalam satuan m/tahun. Dengan metode *trial and error* dimasukan nilai K1

dan K2 hingga memperoleh prosentase kesalahan terkecil. Tabel 5.1. menunjukkan hasil proses kalibrasi dengan persentase kesalahan terkecil.

Tabel 5.1. Hasil Kalibrasi Model GENESIS dengan *End Point Rate*

STA	TCD	EPR	GENESIS	Presentasi Kesalahan	
0+00	0	3.91	0	0.000	100
0+50	50	4.9	-2.96	-0.493	110.068
0+100	100	3.87	-4.91	-0.818	121.1456
0+150	150	4.89	-7.21	-1.202	124.574
0+200	200	3.11	-10.08	-1.680	154.0193
0+250	250	4.15	-13.21	-2.202	153.0522
0+300	300	4.76	-14.61	-2.435	151.1555
0+350	350	1.68	-16.34	-2.723	262.1032
0+400	400	1.57	-18.55	-3.092	296.9214
0+450	450	1.95	-21.3	-3.550	282.0513
0+500	500	3.65	-24.66	-4.110	212.6027
0+550	550	0.94	-26.43	-4.405	568.617
0+600	600	2.97	-28.45	-4.742	259.6521
0+650	650	1.57	-31.14	-5.190	430.5732
0+700	700	2.07	-34.52	-5.753	377.9388
0+750	750	1.94	-38.56	-6.427	431.2715
0+800	800	1.43	-42.87	-7.145	599.6503
0+850	850	2.2	-31.36	-5.227	337.5758
0+900	900	2.32	-20.45	-3.408	246.9109
0+950	950	2.12	-10.22	-1.703	180.3459
0+1000	1000	1.54	-1.35	-0.225	114.6104
0+1050	1050	4.09	7.16	1.193	70.82315

0+1100	1100	1.53	11.07	1.845	-20.5882
0+1150	1150	2.81	10.61	1.768	37.06999
0+1200	1200	1.59	10.05	1.675	-5.34591
0+1250	1250	4.42	9.47	1.578	64.2911
0+1300	1300	1.99	8.94	1.490	25.12563
0+1350	1350	3.21	8.54	1.423	55.6594
0+1400	1400	1.54	8.32	1.387	9.95671
0+1450	1450	1.54	8.32	1.387	9.95671
0+1500	1500	2.84	8.6	1.433	49.53052
0+1550	1550	2.88	10.28	1.713	40.50926
0+1600	1600	6.21	10.61	1.768	71.52442
0+1650	1650	6.88	9.64	1.607	76.64729
0+1700	1700	6.87	9.01	1.502	78.14168
0+1750	1750	1.76	8.72	1.453	17.42424
0+1800	1800	1.18	8.77	1.462	-23.8701
0+1850	1850	0.61	9.13	1.522	-149.454
0+1900	1900	0.03	9.8	1.633	-5344.44
0+1950	1950	4.31	10.76	1.793	58.39134
0+2000	2000	6.36	11.99	1.998	68.57966
0+2050	2050	1.25	11.91	1.985	-58.8
0+2100	2100	0.08	7.75	1.292	-1514.58
0+2150	2150	3.77	3.79	0.632	83.24492
0+2200	2200	2.72	0	0.000	100
0+2250	2250	2.51	-1.48	-0.247	109.8274
0+2300	2300	2.32	-1.03	-0.172	107.3994
0+2350	2350	3.51	-0.53	-0.088	102.5166
0+2400	2400	3.05	0	0.000	100
Average					5.420959

5.2. Tabel Hasil Rekapitulasi Kalibrasi

Trial Number	Coefficient		Average Error
	K1	K2	
1	0.1	0.05	81.25171
2	0.5	0.25	5.420959
3	0.7	0.375	-36.599
4	1	0.5	-77.5646
5	1	0.75	-77.6262
6	1	1	-77.6262
7	1	1.25	-77.6539
8	1.5	2	-121.941
9	1.5	2.25	-121.941
		rata rata	-56.0311

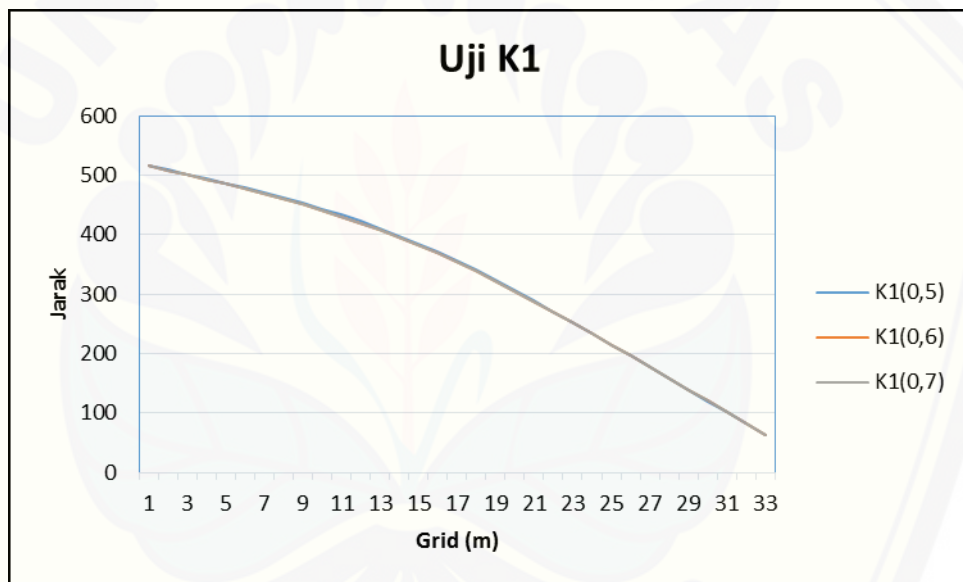
Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

5.4.2 Uji Sensitivitas Program terhadap Parameter K1 dan K2

Pada program *GENESIS* perlu dilakukan sebuah pengujian untuk mengetahui tingkat sensitifitas program yaitu untuk mengetahui pengaruh perubahan garis pantai terhadap variasi gelombang ataupun variasi parameter lain. Uji sensitifitas adalah proses analisa output model simulasi perubahan garis pantai dengan melakukan perubahan pada inputnya dalam rentang yang masuk akal. Jika variasi yang sangat besar terjadi pada output akibat perubahan kecil pada input maka dapat diartikan bahwa model sangat bergantung (sensitif) terhadap parameter tersebut. Uji sensitivitas juga menggambarkan keragaman data di lapangan, karena proses pantai adalah proses yang sangat rumit karena melibatkan kondisi yang sangat bervariasi dan sejumlah parameter yang sulit diukur. Sebuah jawaban tunggal yang diperoleh dengan menggunakan uji sensitivitas harus dianggap sebagai sebuah hasil pendekatan.

Uji sensitifitas dilakukan terhadap komponen utama yang sangat mempengaruhi perubahan garis pantai yaitu K1 dan K2. Pengujian dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Pada percobaan pertama dilakukan perubahan untuk nilai K1 dengan mempertahankan nilai K2 sebesar 0,25. Nilai K1 yang diubah-ubah adalah sebagai berikut : K1 = 0,5; K1 = 0,6; K1 = 0,7. Sedangkan kondisi garis pantai awal dan kondisi perhitungan numerik lainnya sama seperti pada simulasi sebelumnya. Total waktu simulasi adalah 6 tahun. Hasil uji sensitivitas terhadap parameter K1 ditampilkan pada gambar 5.6.

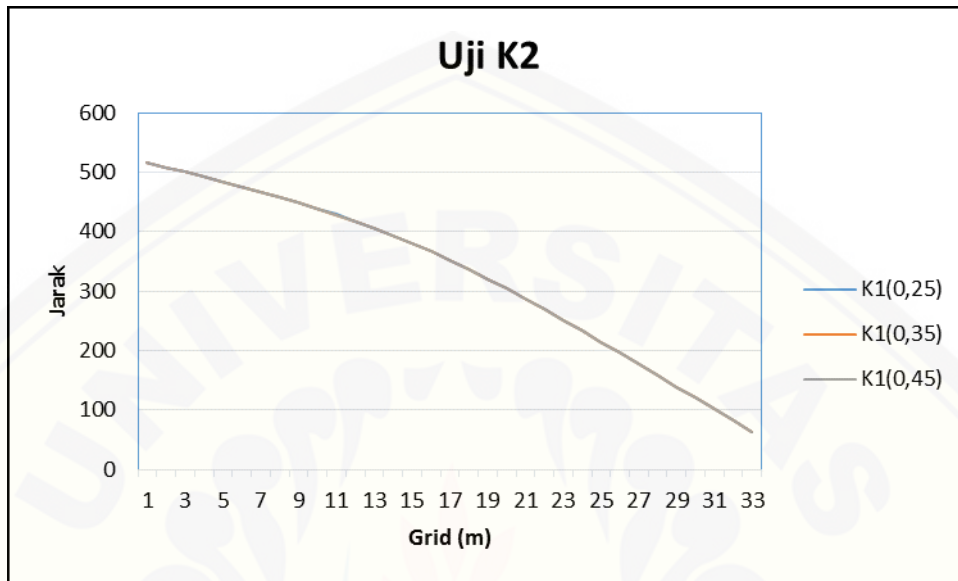


Gambar 5.6. Perubahan garis pantai terhadap perubahan parameter K1

Pada gambar 5.6. dapat dilihat bahwa penambahan nilai K1 mengakibatkan tidak terlalu menyebabkan perubahan berarti pada nilai 0.5, 0.6 dan 0.7. Dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai K1 tidak terlalu sensitif terhadap perubahan garis pantai.

2. Pada percobaan pertama dilakukan perubahan untuk nilai K2 dengan mempertahankan nilai K1 sebesar 07. Nilai K2 yang diubah-ubah adalah sebagai berikut : K2 = 0,25; K2 = 0,35; K2 = 0,45. Sedangkan kondisi garis pantai awal dan kondisi perhitungan numerik lainnya sama seperti pada

simulasi sebelumnya. Total waktu simulasi adalah 6 tahun. Hasil uji sensitivitas terhadap parameter K2 ditampilkan pada gambar 5.7.



Gambar 5.6. Perubahan garis pantai terhadap perubahan parameter K2

Pada gambar 5.7. dapat dilihat bahwa penambahan nilai hanya mengakibatkan perubahan kecil pada garis pantai. Kesimpulan yang dapat diambil adalah perubahan nilai K2 tidak terlalu sensitif terhadap perubahan garis pantai.

5.5 Perubahan Garis Pantai 10 Tahun Mendatang (2016-2025)

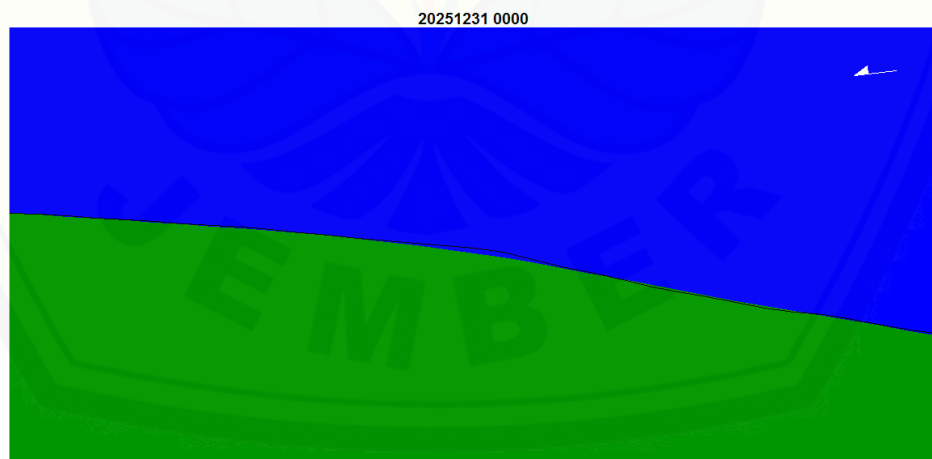
Setelah dilakukan kalibrasi data hasil *output* Genesis dengan nilai EPR, selanjutnya dilakukan simulasi / pemodelan perubahan garis pantai selama sepuluh tahun. Pemodelan dilakukan dari tanggal 01 Januari 2016 sampai dengan 31 Desember 2025. Pemodelan dimulai dengan memasukkan data waktu awal pemodelan dimulai sampai akhir pemodelan ke dalam konfigurasi GENESIS. Kemudian dilakukan running data untuk mendapatkan hasil *output* pemodelan. Dari data hasil *output* pemodelan maka didapat data perubahan garis pantai meliputi volume sedimen tranpor.

5.5.1 Volume Sedimen Transpor

Dari hasil simulasi model perubahan garis pantai dengan CEDAS-NEMOS sub program GENESIS dapat diketahui transpor kotor (*gross transport*) sedimen (Q_g), transpor bersih (*net transport*) sedimen (Q_n) yang merupakan penjumlahan dari transpor ke kanan (Q_{rt}) dan ke kiri (Q_{lt}) atau transpor masuk dan keluar untuk setiap grid dari pantai yang dikaji.

Tabel 5.2. Volume Sedimen Transpor 2025

Tahun	Q_{rt} (m ³)	Q_{lt} (m ³)	Q_g (m ³)	Q_n (m ³)
1	115198	-14893	130087	100304
2	111484	-23042	134530	88445
3	99462	-17908	117372	81554
4	100025	-17660	117682	82364
5	115273	-17531	132800	97746
6	118601	-19356	137950	99245
7	124593	-12435	137031	112153
8	106545	-21044	85498	127590
9	97647	-16953	114601	80695
10	98808	-16403	115210	82404
Rata-rata	108763.6	-17722.5	122276.1	95250



Gambar 5.8. Hasil Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol 10 tahun Mendatang

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu simulasi model dengan *software* CEDAS NEMOS selama enam tahun (2010-2015) menunjukkan bahwa pantai Watu Dodol lebih dominan mengalami abrasi dengan kalibrasi model k_1 0,5 dan k_2 0,25. Kalibrasi dilakukan berdasarkan hasil pengolahan citra satelit menggunakan metode statistik *end point rate*. Prediksi garis pantai Watu Dodol dilakukan mulai tanggal 01 Januari 2016 sampai dengan 31 Desember 2025 dengan program CEDAS-NEMOS sub program GENESIS, hasil simulasi menunjukkan bahwa pantai lebih dominan mengalami abrasi. Rata-rata transpor sedimen kotor (Q_g) pertahun 122276,1 m³ dan 95250 m³ untuk transpor sedimen bersih (Q_n).

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan dalam melakukan simulasi perubahan garis pantai menggunakan program *CEDAS NEMOS* ini antara lain, yaitu :

1. Pengolahan data yang menjadi *input* dalam program *CEDAS NEMOS* diperlukan ketelitian, seperti data angin, gelombang, *bathimetri* dan lainnya sebelum melakukan pemodelan. Hal ini dikarenakan jumlah data yang banyak, sehingga apabila kurang teliti dalam pengolahan data *input* akan mengakibatkan hasil simulasi yang salah.
2. Dari hasil penelitian mengenai perubahan garis pantai yang penulis lakukan dapat dijadikan dasar penelitian selanjutnya mengenai suatu alternatif yang tepat dalam mengatasi masalah perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Watu Dodol.

DAFTAR PUSTAKA

- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual. U.S Army Crop of Engineers*. Volume
CERC Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC
- Hanson, H dan Kraus, N.C. 1989. *Shore Protection Manual. U.S Army Crop of
Engineers*. Technical Report CERC. Department of The Army. Missisipi
- BMKG Stasiun Meteorologi Banyuwangi, Mei 2016. Frekuensi Kejadian Angin
Tahun 2010-2015. Banyuwangi
- DinasHidro Oceanografi TNI AL. 2015. *Daftar Pasang Surut Banyuwangi*.
- Sadono, A. Joko, A. Satriadi, dan M. Helmi. 2014. *Prediksi Perubahan Garis Pantai
Tahun 2012-2022 Dengan Menggunakan Pemodelan Numerik Nemos
(Nearshore Evolution Modeling System) Di Pantai Sigandu Kabupaten
Batang Provinsi Jawa Tengah. Jurnal Oseanografi, 3(2) : 173-180.*
- Handoyo, D. Puspo, S. Sutikno, dan M. Fauzi. 2014. *Pemodelan Numeris Perubahan
Garis Pantai (Studi Kasus di Pantai Tanjung Motong Kabupaten Kepulauan
Meranti). Jurnal Sains dan Teknologi, 13(2) : 43-81.*
- Oktariani, D. Atmodjo, W. dan S. Widada. 2015. *Transport Sedimen Di Lokasi
Perencanaan Pembangunan Pelabuhan Marunda, Jakarta Utara.*
- Faustinus Rudolf .*Tutorial NEMOS (CEDAS 2.01)*. [https://www.scribd.com/
document/228149793/Modul-Nemos-Dan-Cedas](https://www.scribd.com/document/228149793/Modul-Nemos-Dan-Cedas). Diakses pada tanggal 2 Desember
2015 6:43.

LAMPIRAN

A. Data Angin NOAA

Tahun	Bulan	Tanggal	Jam	Arah	Kecepatan	Σ Harian	Σ Bulanan	Rerata Harian	Rerata Bulanan
2010	1	1	0	999	0	9.2	214.9	1.2	0.86653
2010	1	1	3	60	2.1				
2010	1	1	6	40	4.6				
2010	1	1	9	20	1.5				
2010	1	1	12	210	1				
2010	1	1	15	999	0				
2010	1	1	18	999	0				
2010	1	1	21	999	0				
2010	1	2	0	999	0	7.2		0.9	
2010	1	2	3	999	0				
2010	1	2	6	30	4.1				
2010	1	2	9	20	3.1				
2010	1	2	12	999	0				
2010	1	2	15	999	0				
2010	1	2	18	999	0				
2010	1	2	21	999	0				
2010	1	3	0	999	0	3.1		0.4	
2010	1	3	3	130	1				
2010	1	3	6	80	2.1				
2010	1	3	9	999	0				
2010	1	3	12	999	0				
2010	1	3	15	999	0				

Bilangan Pengali untuk Mencari Nilai X dan Y								
Index Kedua	0	2 B	3 C	4 D				
Konstanta Perkalian untuk 29 Hari	-29	-1	0	-1	0	-1	0	
Konstanta Perkalian untuk 15 Hari	-15	1	0	5	0	1	0	HARI
Konstanta Perkalian untuk X+B dan Y+B (Untuk 29 hari)	1	1	0	-1	1	1	0	1
	1	1	-1	-1	1	1	-1	2
	1	1	-1	1	1	-1	-1	3
	1	1	-1	1	1	-1	-1	4
	1	-1	-1	1	1	-1	1	5
	1	-1	-1	1	-1	-1	1	6
	1	-1	-1	1	-1	1	1	7
Untuk 15 hari digunakan pertengahan 15 baris	1	-1	0	-1	-1	1	0	8
	1	-1	1	-1	-1	1	-1	9
	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	10
	1	-1	1	-1	1	-1	-1	11
	1	1	1	-1	1	-1	1	12
	1	1	1	1	1	-1	1	13
Hari Tengah Tengah	1	1	1	1	1	1	1	14
	1	1	0	1	0	1	0	15
Untuk 15 hari digunakan pertengahan 15 baris	1	1	-1	1	-1	1	-1	16
	1	1	-1	1	-1	-1	-1	17
	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	18
	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	19
	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	20
	1	-1	-1	-1	1	1	1	21
	1	-1	0	-1	1	1	0	22
Untuk 29 Hari	1	-1	1	1	1	1	-1	23
	1	-1	1	1	1	1	-1	24
	1	-1	1	1	-1	-1	-1	25
	1	1	1	1	-1	-1	1	26
	1	1	1	1	-1	-1	1	27
	1	1	1	-1	-1	1	1	28
	1	1	0	-1	-1	1	0	29

Bilangan Pengali untuk SKEMA V & VI (29 Piantan) Tabel 3									
V	X00	1							
	X10					1	-0.01		
	X12 - Y1b		0.07			0	1		0.02
	X13 - Y1c								
	X20		-0.03	1	-0.03				
	X22 - Y2b		1	0.02	0.038	0	-0.06		-0.035
	X23 - Y2c		-0.06		1				
	X42 - Y4b		0.03						1
VI	X44 - Y4d							1	0.08
	Y10					1	-0.08		
	Y12 + X1b		0.07			-0.02	1		
	Y13 + X1c								
	Y20		-0.03	1	-0.03				
	Y22 + X2b		1	0.02	0.032		-0.06		-0.035
	Y23 + X2c		-0.06		1				
	Y42 + X4b		0.03						0.01
VII	Y44 + X4d							1	0.08
	Konstanta P	696	559	488	566	439	565	507	535
	Konstanta p		333°	345°	327°	173°	160°	307°	318°
		S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4

SKEMA II											
X1		Y1		X2		Y2		X4		Y4	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
1610	1920	1960	1570	2260	1270	1880	1650	1160	1200	1770	1760
1600	1950	1940	1610	2140	1410	2010	1540	1180	1190	1780	1770
1610	1970	1930	1650	2000	1580	2080	1500	1180	1190	1780	1800
1630	1970	1900	1700	1850	1750	2090	1510	1200	1200	1780	1820
1630	1950	1880	1700	1720	1860	2010	1570	1200	1190	1790	1790
1680	1910	1880	1710	1640	1950	1910	1680	1180	1200	1800	1790
1730	1910	1920	1720	1630	2010	1810	1830	1210	1220	1820	1820
1730	1910	1940	1700	1620	2020	1690	1950	1200	1230	1830	1810
1780	1890	1990	1680	1680	1990	1580	2090	1210	1230	1830	1840
1760	1900	2020	1640	1780	1880	1500	2160	1220	1230	1820	1840
1740	1900	2050	1590	1870	1770	1410	2230	1230	1210	1800	1840
1710	1910	2050	1570	2000	1620	1380	2240	1220	1200	1800	1820
1680	1920	2050	1550	2140	1460	1410	2190	1210	1190	1790	1810
1660	1920	2020	1560	2250	1330	1500	2080	1200	1190	1790	1790
1650	1920	2030	1540	2300	1270	1630	1940	1200	1190	1780	1790
1640	1930	1990	1580	2310	1260	1820	1750	1200	1190	1800	1770
1630	1900	1940	1590	2210	1320	1980	1550	1170	1180	1780	1750
1640	1900	1940	1600	2050	1490	2120	1420	1180	1180	1770	1770
1660	1900	1920	1640	1870	1690	2180	1380	1180	1190	1790	1770
1670	1920	1920	1670	1670	1920	2140	1450	1190	1200	1820	1770
1700	1900	1950	1650	1540	2060	2010	1590	1190	1210	1810	1790
1750	1920	2000	1670	1490	2180	1840	1830	1210	1230	1840	1830
1760	1900	2030	1630	1500	2160	1630	2030	1210	1230	1830	1830
1770	1920	2060	1630	1630	2060	1460	2230	1220	1240	1840	1850
1750	1890	2070	1570	1790	1850	1320	2320	1220	1210	1810	1830
1750	1870	2090	1530	1980	1640	1300	2320	1210	1210	1800	1820
1730	1880	2090	1520	2150	1460	1370	2240	1230	1180	1790	1820
1700	1880	2070	1510	2260	1320	1490	2090	1220	1170	1790	1790
1670	1880	2040	1510	2290	1260	1660	1890	1190	1180	1780	1770

SKEMA III								
HARI	X0	X1	Y1	X2	Y2	X4	Y4	TGL
	+	2000	2000	2000	2000	500	500	
1	3530	1690	2390	2990	2230	460	510	14
2	3550	1650	2330	2730	2470	490	510	15
3	3580	1640	2280	2420	2580	490	480	16
4	3600	1660	2200	2100	2580	500	460	17
5	3580	1680	2180	1860	2440	510	500	18
6	3590	1770	2170	1690	2230	480	510	19
7	3640	1820	2200	1620	1980	490	500	20
8	3640	1820	2240	1600	1740	470	520	21
9	3670	1890	2310	1690	1490	480	490	22
10	3660	1860	2380	1900	1340	490	480	23
11	3640	1840	2460	2100	1180	520	460	24
12	3620	1800	2480	2380	1140	520	480	25
13	3600	1760	2500	2680	1220	520	480	26
14	3580	1740	2460	2920	1420	510	500	27
15	3570	1730	2490	3030	1690	510	490	28
16	3570	1710	2410	3050	2070	510	530	29
17	3530	1730	2350	2890	2430	490	530	30
18	3540	1740	2340	2560	2700	500	500	1
19	3560	1760	2280	2180	2800	490	520	2
20	3590	1750	2250	1750	2690	490	550	3
21	3600	1800	2300	1480	2420	480	520	4
22	3670	1830	2330	1310	2010	480	510	5
23	3660	1860	2400	1340	1600	480	500	6
24	3690	1850	2430	1570	1230	480	490	7
25	3640	1860	2500	1940	1000	510	480	8
26	3620	1880	2560	2340	980	500	480	9
27	3610	1850	2570	2690	1130	550	470	10
28	3580	1820	2560	2940	1400	550	500	11
29	3550	1790	2530	3030	1770	510	510	12

SKEMA IV					
INDEX	TANDA	X	Y	X	Y
		TAMBAHAN		JUMLAH	
0.0	+	104460		104460	
10	+	51580	68880		10880
	-	58000	58000	-6420	
12	+	26190	36450	-1200	
	-	25390	32430		2020
29	-	2000	2000		
1b	+	22010	29610		
	-	20710	27290	1300	2320
13	+	26540	35700		
	-	25040	33180	-500	520
29	-	2000	2000		
1c	+	22800	30740	-4250	-4910
	-	27050	35650		
20	+	64780	53960	6780	-4040
	-	58000	58000		
22	+	40750	27810		
	-	24030	26150	14720	-340
29	-	2000	2000		
2b	+	26490	15130		-14260
	-	26330	29390	160	
23	+	31250	24150		-5230
	-	30640	27380	-1390	
29	-	2000	2000		
2c	+	27880	24520	-5990	-3230
	-	33870	27750		
42	+	7610	7430		
	-	6850	7030	760	400
4b	+	6110	5810		-300
	-	5920	6110	190	
44	+	6900	7080		-800
	-	7560	7380	-1160	
29	-	500	500		
4d	+	6090	6010	150	100
	-	5940	5910		

SKEMA V & VI (29 Piantan)										
V	X00	104460	104460							
	X10	-6420					-6420	64.2		
	X12 - Y1b	-3520		-246.4			0	-3520		-70.4
	X13 - Y1c	4410								
	X20	6780		-203.4	6780	-203.4				
	X22 - Y2b	28980		28980	579.6	1101.24	0	-1738.8		-1014.3
	X23 - Y2c	1840		-110.4		1840				
	X42 - Y4b	1060		31.8						1060
	X44 - Y4d	-1260							-1260	-100.8
VI	Y10	10880					10880	-870.4		
	Y12 + X1b	3320		232.4			-66.4	3320		
	Y13 + X1c	-3730								
	Y20	-4040		121.2	-4040	121.2				
	Y22 + X2b	-180		-180	-3.6	-5.76		10.8		6.3
	Y23 + X2c	-11220		673.2		-11220				
	Y42 + X4b	590		17.7					5.9	590
	Y44 + X4d	-650							-650	-52
			S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4

SKEMA VII										
			S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4
	PR cos r		104460	28451.6	7359.6	2737.84	-6420	-5194.6	-1260	-125.5
	PR sin r			864.5	-4043.6	-11104.56	10813.6	2460.4	-644.1	544.3
	PR		104460	28464.73	8397.286	11437.0897	12575.78	5747.82	1415.085	558.581006
	Daftar 3a : P			559	488	566	439	565	507	535
	Daftar 5 : f			1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
	VII : 1 + W			1.0	0.3	0.9	1.4	1.0	1.0	0.3
	v			82.6	0.0	56.5	360.7	81.9	165.2	82.6
	Daftar 9 : u			-2.1	0.0	-2.1	-8.2	9.6	-4.3	-2.1
	VIII : w			1.0	6.2	8.5	1.8	1.0	1.0	6.2
	Daftar 3a : p		696	333	345	327	173	160	307	318
	Daftar 4 : r			1.7	331.2	283.9	120.7	154.7	207.1	103.0
	Jumlah = g			416.2	682.5	673.7	648.0	407.2	676.0	507.7
	n x 360°			360	360	360	360	360	360	360
	PR / ((Pxfx(1+W)) = A		150.1	50.9	67.6	23.7	19.8	10.0	2.8	4.1
VII	g°			56.2	322.5	313.7	288.0	47.2	316.0	147.7

Penyusunan Hasil Perhitungan SKEMA VIII	
w dan (1+W), S2, MS4	
VII : K1 : V	360.7
VII : K1 : u	-8.2
Jumlah : V + u	352.5
Daftar 10 : S2 : w/f	6.2
Daftar 10 : S2 : W/f	-0.7
Daftar 5 : K2 : f	1.0
w	6.2
W	-0.7
1 + W	0.3
w dan (1+W) untuk K1	
VII : K1 : 2V	721.5
VII : K1 : u	-8.2
Jumlah : 2V + u	353.2
Daftar 10 : S1 : w/f	1.7
Daftar 10 : S1 : W/f	0.3
Daftar 5 : K1 : f	1.1
w	1.8
W	0.4
1 + W	1.4
w dan (1+W) untuk N2	
VII : M2 : 3V	247.8386
VII : N2 : 2V	112.9571
Selisih M2 - N2	134.8815
Daftar 10 : N2 : w	8.465411
Daftar 10 : N2 : 1+W	0.85102

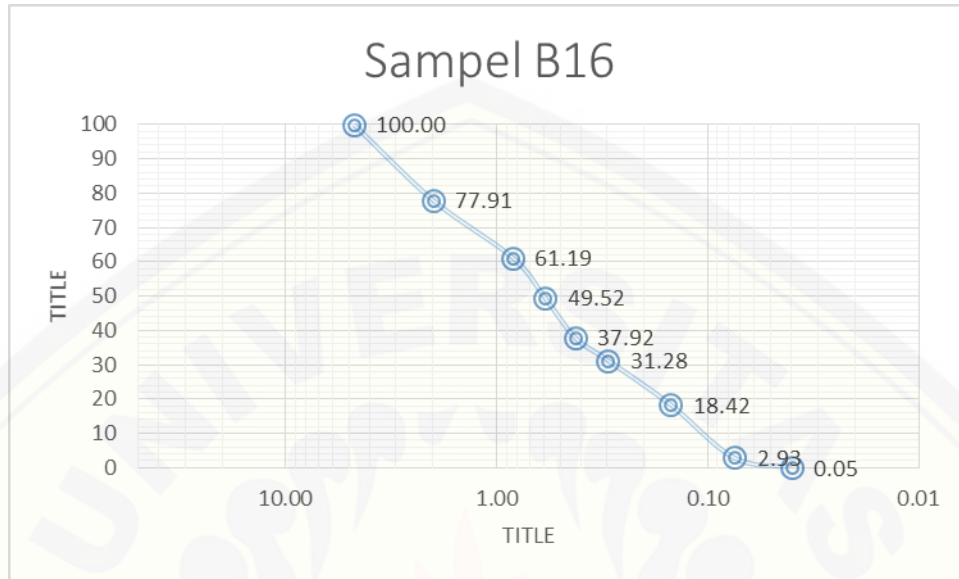
M2, O1, M4	W = 0 ; w = 0
S2	f = 1 ; V, u = 0
N2, MS4	f, u sama dengan M2
M4	$f = (f M2)^2$
	$V = (V M2) \times 2$
	$u = (u M2) \times 2$
MS4	$V = V M2$
K2	$A = (A S2) \times 0.27$
P1	$g = g S2$
	$A = (A K1) \times 0.33$
	$g = g K1$

HASIL TERAKHIR										
	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A (cm)	150.1	50.9	67.6	23.7	19.8	10.0	2.8	4.1	18.2	6.5
g°	0	56.2	322.5	313.7	288.0	47.2	316.0	147.7	322.5	288.0
MSL	HHWL	LLWL	Z0							
150.0862	353.6	-53.5	407.1							

D. Data Sedimen

No	Kode Sampel	Longitude	Latitude	MSL	D50	Sedimen	
1	A1	215096.99	9104412.02	3.5	0.25066	Pasir Sedang	
2	A2	215099.6	9104411.8	3.5	0.13137	Pasir Halus	
3	A3	215138.82	9104487.3	3.5	0.1273	Pasir Halus	
4	A4	215195.15	9104577.93	3.5	1.03195	Pasir Sangat Kasar	
5	A5	215249.8	9104717.82	4	0.67637	Pasir Kasar	
6	A6	215238.37	9104754.75	1.5	2.6034	Gravel	
7	A7	215389.17	9105871.51	4.5	0.2797	Pasir Sedang	
8	A8	215299.08	9104909.95	1.5	2.63485	Gravel	
9	A9	215349.81	9105138.92	13	2.59686	Gravel	
10	A10	215432.15	9105516.11	1.5	0.13569	Pasir Halus	
11	B1 (B2)	215390.11	9105793.84		0.3778	Pasir Sedang	
12	B2 (B13)	215344.95	9105186.78		0.26554	Pasir Sedang	
13	B3 (B15)	215225.38	9104735.95		0.61083	Pasir Kasar	
14	B4 (B16)	215210.75	9104702.9		0.60026	Pasir Kasar	
15	B5 (B17)	215181.57	9014619.21		0.60247	Pasir Kasar	
16	B6 (B18)	215195.44	9104659.88		1.19172	Pasir Sangat Kasar	
17	B7(B19)	215082.8	9104463.76		0.34538	Pasir Sedang	
18	B8 (B20)	215064.27	9104429.21		0.27863	Pasir Sedang	
					Rata-Rata	0.81893	

Kode Sampel	US Standart		Sampel		Kumulatif		Kumulatif		Klasifikasi Partikel
	Sieve Number	Diameter (mm)	Berat Sampel Tertinggal (gr)	Persen Sampel Tertinggal (%)	Berat Sampel Tertinggal (gr)	Persen Sampel Tertinggal (%)	Berat Sampel Lolos (gr)	Persen Sampel Lolos (%)	
A4	4	4.75	113.45	23.67	113.45	23.67	479.26	100.00	Kerikil
	10	2	151.2	31.55	264.65	55.22	365.81	76.33	Pasir Sangat Kasar
	20	0.84	124.71	26.02	389.36	81.24	214.61	44.78	Pasir Kasar
	30	0.59	48.69	10.16	438.05	91.40	89.90	18.76	Pasir Kasar
	40	0.425	12.49	2.61	450.54	94.01	41.21	8.60	Pasir Sedang
	50	0.297	10.56	2.20	461.10	96.21	28.72	5.99	Pasir Sedang
	100	0.15	11.65	2.43	472.75	98.64	18.16	3.79	Pasir Halus
	200	0.075	6.22	1.30	478.97	99.94	6.51	1.36	Pasir Sangat Halus
	Pan	0.04	0.29	0.06	479.26	100.00	0.29	0.06	Lanau
	Jumlah			479.26	100.00				
Berat Sampel Setelah di Oven									
480									



Grafik Sampel Sedimen B16

E. Data Hasil Kalibrasi

STA	TCD	EPR		GENESIS	Presentasi Kesalahan	k1 : 0.1
						k2 : 0.05
0+00	0	3.91	0	0	100	
0+50	50	4.9	-0.97	-0.16167	103.2993197	
0+100	100	3.87	-0.92	-0.15333	103.9621016	
0+150	150	4.89	-1.18	-0.118	102.4130879	
0+200	200	3.11	-1.97	-0.197	106.3344051	
0+250	250	4.15	-3	-0.3	107.2289157	
0+300	300	4.76	-2.26	-0.226	104.7478992	
0+350	350	1.68	-1.87	-0.187	111.1309524	
0+400	400	1.57	-2.02	-0.202	112.866242	
0+450	450	1.95	-2.81	-0.281	114.4102564	
0+500	500	3.65	-4.39	-0.439	112.0273973	
0+550	550	0.94	-4.66	-0.466	149.5744681	
0+600	600	2.97	-5.61	-0.561	118.8888889	
0+650	650	1.57	-7.79	-0.779	149.6178344	
0+700	700	2.07	-11.37	-1.137	154.9275362	
0+750	750	1.94	-16.42	-1.642	184.6391753	
0+800	800	1.43	-22.61	-2.261	258.1118881	
0+850	850	2.2	-13.82	-1.382	162.8181818	
0+900	900	2.32	-6.33	-0.633	127.2844828	
0+950	950	2.12	0.04	0.004	99.81132075	
0+1000	1000	1.54	4.93	0.493	67.98701299	
0+1050	1050	4.09	9.7	0.97	76.28361858	
0+1100	1100	1.53	10.32	1.032	32.54901961	
0+1150	1150	2.81	7.22	0.722	74.30604982	
0+1200	1200	1.59	4.68	0.468	70.56603774	
0+1250	1250	4.42	2.75	0.275	93.77828054	
0+1300	1300	1.99	1.38	0.138	93.06532663	
0+1350	1350	3.21	0.52	0.052	98.38006231	
0+1400	1400	1.54	0.11	0.011	99.28571429	
0+1450	1450	1.54	0.08	0.008	99.48051948	
0+1500	1500	2.84	0.41	0.041	98.55633803	
0+1550	1550	2.88	2.17	0.217	92.46527778	
0+1600	1600	6.21	2.58	0.258	95.84541063	

0+1650	1650	6.88	1.69	0.169	97.54360465
0+1700	1700	6.87	1.13	0.113	98.35516739
0+1750	1750	1.76	0.91	0.091	94.82954545
0+1800	1800	1.18	1.07	0.107	90.93220339
0+1850	1850	0.61	1.62	0.162	73.44262295
0+1900	1900	0.03	2.57	0.257	-756.6666667
0+1950	1950	4.31	3.94	0.394	90.85846868
0+2000	2000	6.36	5.71	0.571	91.02201258
0+2050	2050	1.25	6.31	0.631	49.52
0+2100	2100	0.08	2.93	0.293	-266.25
0+2150	2150	3.77	-0.19	-0.019	100.5039788
0+2200	2200	2.72	-3.11	-0.311	111.4338235
0+2250	2250	2.51	-3.74	-0.374	114.9003984
0+2300	2300	2.32	-2.49	-0.249	110.7327586
0+2350	2350	3.51	-1.24	-0.124	103.5327635
0+2400	2400	3.05	0	0	100
Average					81.25170823

STA	TCD	EPR		GENESIS	Presentasi Kesalahan	k1 : 0.5
						k2 : 0.25
0+00	0	3.91	0	0.000	100	
0+50	50	4.9	-2.96	-0.493	110.0680272	
0+100	100	3.87	-4.91	-0.818	121.1455642	
0+150	150	4.89	-7.21	-1.202	124.5739605	
0+200	200	3.11	-10.08	-1.680	154.0192926	
0+250	250	4.15	-13.21	-2.202	153.0522088	
0+300	300	4.76	-14.61	-2.435	151.1554622	
0+350	350	1.68	-16.34	-2.723	262.1031746	
0+400	400	1.57	-18.55	-3.092	296.9214437	
0+450	450	1.95	-21.3	-3.550	282.0512821	
0+500	500	3.65	-24.66	-4.110	212.6027397	
0+550	550	0.94	-26.43	-4.405	568.6170213	
0+600	600	2.97	-28.45	-4.742	259.6520763	
0+650	650	1.57	-31.14	-5.190	430.5732484	
0+700	700	2.07	-34.52	-5.753	377.9388084	
0+750	750	1.94	-38.56	-6.427	431.2714777	
0+800	800	1.43	-42.87	-7.145	599.6503497	

0+850	850	2.2	-31.36	-5.227	337.5757576
0+900	900	2.32	-20.45	-3.408	246.9109195
0+950	950	2.12	-10.22	-1.703	180.3459119
0+1000	1000	1.54	-1.35	-0.225	114.6103896
0+1050	1050	4.09	7.16	1.193	70.82314588
0+1100	1100	1.53	11.07	1.845	-20.58823529
0+1150	1150	2.81	10.61	1.768	37.06998814
0+1200	1200	1.59	10.05	1.675	-5.34591195
0+1250	1250	4.42	9.47	1.578	64.29110106
0+1300	1300	1.99	8.94	1.490	25.12562814
0+1350	1350	3.21	8.54	1.423	55.65939772
0+1400	1400	1.54	8.32	1.387	9.956709957
0+1450	1450	1.54	8.32	1.387	9.956709957
0+1500	1500	2.84	8.6	1.433	49.53051643
0+1550	1550	2.88	10.28	1.713	40.50925926
0+1600	1600	6.21	10.61	1.768	71.52442297
0+1650	1650	6.88	9.64	1.607	76.64728682
0+1700	1700	6.87	9.01	1.502	78.1416788
0+1750	1750	1.76	8.72	1.453	17.42424242
0+1800	1800	1.18	8.77	1.462	-23.8700565
0+1850	1850	0.61	9.13	1.522	-149.4535519
0+1900	1900	0.03	9.8	1.633	-5344.444444
0+1950	1950	4.31	10.76	1.793	58.39133797
0+2000	2000	6.36	11.99	1.998	68.57966457
0+2050	2050	1.25	11.91	1.985	-58.8
0+2100	2100	0.08	7.75	1.292	-1514.583333
0+2150	2150	3.77	3.79	0.632	83.244916
0+2200	2200	2.72	0	0.000	100
0+2250	2250	2.51	-1.48	-0.247	109.8273572
0+2300	2300	2.32	-1.03	-0.172	107.3994253
0+2350	2350	3.51	-0.53	-0.088	102.5166192
0+2400	2400	3.05	0	0.000	100
Average					5.420959381

STA	TCD	EPR		GENESIS	Presentasi Kesalahan	k1 : 0.7
						k2 : 0.375
0+00	0	3.91	0	0.000	100	
0+50	50	4.9	-3.87	-0.645	178.9796	
0+100	100	3.87	-6.74	-1.123	129.0267	
0+150	150	4.89	-9.93	-1.655	133.8446	
0+200	200	3.11	-13.65	-2.275	173.1511	
0+250	250	4.15	-17.59	-2.932	170.6426	
0+300	300	4.76	-19.72	-3.287	169.0476	
0+350	350	1.68	-22.09	-3.682	319.1468	
0+400	400	1.57	-24.85	-4.142	363.8004	
0+450	450	1.95	-28.06	-4.677	339.8291	
0+500	500	3.65	-31.75	-5.292	244.9772	
0+550	550	0.94	-33.72	-5.620	697.8723	
0+600	600	2.97	-35.8	-5.967	300.8979	
0+650	650	1.57	-38.43	-6.405	507.9618	
0+700	700	2.07	-41.6	-6.933	434.9436	
0+750	750	1.94	-45.32	-7.553	489.3471	
0+800	800	1.43	-49.17	-8.195	673.0769	
0+850	850	2.2	-37.1	-6.183	381.0606	
0+900	900	2.32	-25.53	-4.255	283.4052	
0+950	950	2.12	-14.55	-2.425	214.3868	
0+1000	1000	1.54	-4.89	-0.815	152.9221	
0+1050	1050	4.09	4.46	0.743	81.82559	
0+1100	1100	1.53	9.21	1.535	-0.3268	
0+1150	1150	2.81	9.57	1.595	43.23843	
0+1200	1200	1.59	9.8	1.633	-2.72537	
0+1250	1250	4.42	9.96	1.660	62.44344	
0+1300	1300	1.99	10.1	1.683	15.41039	
0+1350	1350	3.21	10.29	1.715	46.57321	
0+1400	1400	1.54	10.58	1.763	-14.5022	
0+1450	1450	1.54	11	1.833	-19.0476	
0+1500	1500	2.84	11.61	1.935	31.8662	
0+1550	1550	2.88	13.53	2.255	21.70139	
0+1600	1600	6.21	14.02	2.337	62.37252	
0+1650	1650	6.88	13.15	2.192	68.14438	
0+1700	1700	6.87	12.54	2.090	69.57787	
0+1750	1750	1.76	12.21	2.035	-15.625	

0+1800	1800	1.18	12.16	2.027	-71.7514
0+1850	1850	0.61	12.38	2.063	-238.251
0+1900	1900	0.03	12.87	2.145	-7050
0+1950	1950	4.31	13.61	2.268	47.37046
0+2000	2000	6.36	14.59	2.432	61.76625
0+2050	2050	1.25	14.23	2.372	-89.7333
0+2100	2100	0.08	9.77	1.628	-1935.42
0+2150	2150	3.77	5.49	0.915	75.72944
0+2200	2200	2.72	1.38	0.230	91.54412
0+2250	2250	2.51	-0.44	-0.073	102.9216
0+2300	2300	2.32	-0.33	-0.055	102.3707
0+2350	2350	3.51	-0.18	-0.030	100.8547
0+2400	2400	3.05	0	0.000	100
Average					-36.599

STA	TCD	EPR		GENESIS	Presentasi Kesalahan	k1 : 1 k2 : 0.5
0+00	0	3.91	0	0.000	100	
0+50	50	4.9	-4.93	-0.822	200.6122	
0+100	100	3.87	-8.83	-1.472	138.0276	
0+150	150	4.89	-13.03	-2.172	144.4104	
0+200	200	3.11	-17.72	-2.953	194.9625	
0+250	250	4.15	-22.57	-3.762	190.6426	
0+300	300	4.76	-25.53	-4.255	189.3908	
0+350	350	1.68	-28.64	-4.773	384.127	
0+400	400	1.57	-32.04	-5.340	440.1274	
0+450	450	1.95	-35.75	-5.958	405.5556	
0+500	500	3.65	-39.82	-6.637	281.8265	
0+550	550	0.94	-42.04	-7.007	845.3901	
0+600	600	2.97	-44.23	-7.372	348.2043	
0+650	650	1.57	-46.83	-7.805	597.1338	
0+700	700	2.07	-49.84	-8.307	501.2882	
0+750	750	1.94	-53.25	-8.875	557.4742	
0+800	800	1.43	-56.67	-9.445	760.4895	
0+850	850	2.2	-44.05	-7.342	433.7121	
0+900	900	2.32	-31.83	-5.305	328.6638	
0+950	950	2.12	-20.11	-3.352	258.0975	

0+1000	1000	1.54	-9.64	-1.607	204.329
0+1050	1050	4.09	0.57	0.095	97.67726
0+1100	1100	1.53	6.21	1.035	32.35294
0+1150	1150	2.81	7.47	1.245	55.69395
0+1200	1200	1.59	8.59	1.432	9.958071
0+1250	1250	4.42	9.6	1.600	63.8009
0+1300	1300	1.99	10.56	1.760	11.55779
0+1350	1350	3.21	11.5	1.917	40.29076
0+1400	1400	1.54	12.46	2.077	-34.8485
0+1450	1450	1.54	13.47	2.245	-45.7792
0+1500	1500	2.84	14.58	2.430	14.43662
0+1550	1550	2.88	16.93	2.822	2.025463
0+1600	1600	6.21	17.74	2.957	52.38862
0+1650	1650	6.88	17.09	2.848	58.59981
0+1700	1700	6.87	16.62	2.770	59.67977
0+1750	1750	1.76	16.34	2.723	-54.7348
0+1800	1800	1.18	16.27	2.712	-129.802
0+1850	1850	0.61	16.4	2.733	-348.087
0+1900	1900	0.03	16.72	2.787	-9188.89
0+1950	1950	4.31	17.24	2.873	33.33333
0+2000	2000	6.36	17.94	2.990	52.98742
0+2050	2050	1.25	17.26	2.877	-130.133
0+2100	2100	0.08	12.44	2.073	-2491.67
0+2150	2150	3.77	7.76	1.293	65.69408
0+2200	2200	2.72	3.21	0.535	80.33088
0+2250	2250	2.51	0.95	0.158	93.6919
0+2300	2300	2.32	0.6	0.100	95.68966
0+2350	2350	3.51	0.29	0.048	98.62298
0+2400	2400	3.05	0	0.000	100
Average					-77.5646