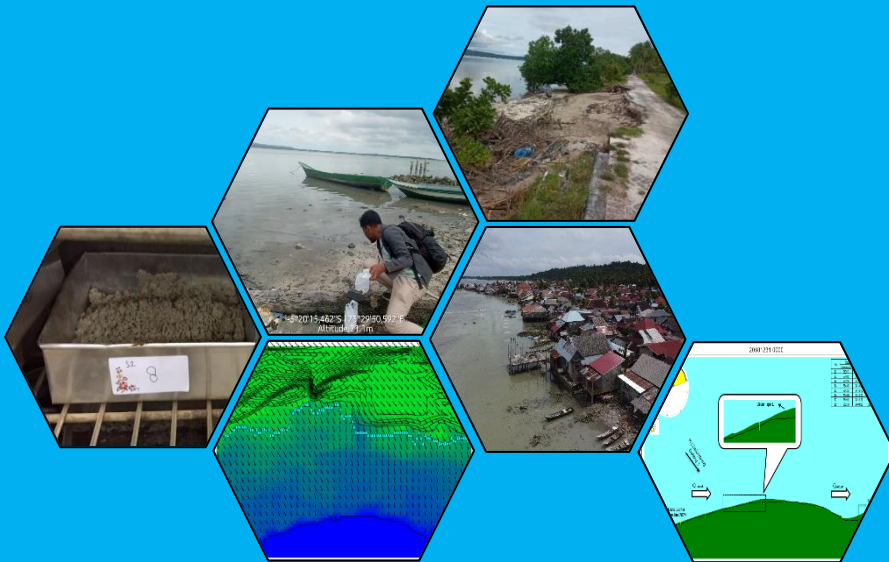


ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI DESA KAPOTA KAB.WAKATOBI DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA

*Analysis Of Shoreline Changes In Kapota Village, Wakatobi District And Its
Alternative Management*



IMRAN HIDAYAT BOY

D01 2222 002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



PERNYATAAN PENGAJUAN TESIS

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI DESA KAPOTA
KAB.WAKATOBI DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Megister

Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

ttd.

IMRAN HIDAYAT BOY

D012222002

Kepada

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

TESIS

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI DESA KAPOTA KAB.WAKATOBI DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA

IMRAN HIDAYAT BOY
D012222002

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 Desember 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., IPM
NIP. 196012311986091001

Pembimbing Pendamping



Dr. Andi Ildha Dwiniuspita, S.T., M.T
NIP. 198907142020054001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT, IPM, AER
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng., PM, IPM
NIP. 197303061998021001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imran Hidayat Boy

Nomor Mahasiswa : D012222002

Program Studi : S2 Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul Analisis Perubahan Garis Pantai Di Desa Kapota Kab.Wakatobi Dan Alternatif Penanganannya adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., Pembimbing Utama dan Dr. Andi Ildha Dwipuspita, ST, MT., Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding *The 5th International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE) 2024, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, sebagai artikel dengan judul *Effect of Wave and Sediment Transport on Shoreline Change at Kapota Beach*.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 19 Desember 2024

Yang menyatakan


Imran Hidayat Boy



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh kerendahan hati penulis panjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan susunan proposal Tesis ini yang merupakan salah satu persyaratan akademik guna menyelesaikan studi magistes pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam tulisan ini penulis menyajikan pokok bahasan menyangkut masalah dibidang keairan, dengan judul: **“Analisis Perubahan Garis Pantai Di Desa Kapota Kab.Wakatobi Dan Alternatif Penanganannya”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi Magister pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Kami menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT, IPM, ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST., M.Eng. PM, IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha., M.T., IPM selaku pembimbing I yang selalu memberikan arahan dan petunjuk dalam penyusunan Tesis ini.
5. Dr. Andi Ildha Dwipuspita., S.T., M.T selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
6. Prof. Dr. Ir. M. Saleh Pallu, M.Eng, Dr.Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT, dan Dr.Eng. Ir. Mukhsan Putra H, ST, MT selaku penguji.
7. Serta seluruh dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Teman-teman Keairan 20221-20222 yang selalu menemani dalam penyelesaian penulisan tesis ini.
9. Kluarga besar Wero dan Lakutu yang selalu memberi motivasi dan bantuan baik moral maupun materi serta adik tercinta.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada orang tua saya tercinta, khususnya ayah saya, La Boy dan ibu saya, Siti Ana, meskipun tidak kebersamaian saya dalam kehidupan tetapi doa merekalah yang memudahkan menghadapi semua rintangan hidup, dan juga terimakasih banyak terkhusus kepada nenek saya yang telah merawat dan membesarkan saya.
2. Saudara tercinta Sawaluddin boy, Sabaruddin Boy, Syafiruddin Boy, Amran Bawari Boy, Fyfy Andriana Boy dan ponakan – ponakan saya Abyan Boy dan

Idhan Boy dan tak lupa pula Ibunya Abyan yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis mengakui bahwa semua ciptaan manusia pada dasarnya memiliki kekurangan; oleh karena itu, saya berharap para pembaca dapat memberikan masukan untuk meningkatkan kualitas dan orisinalitas tesis ini. Sebagai penutup, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karuniaNya kepada kita semua dan semoga tesis ini terbukti sangat bermanfaat, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Gowa, 19 Desember 2024

Penyusun



Imran Hidayat Boy

ABSTRAK

Imran Hidayat Boy. *Analisis Perubahan Garis Pantai Di Desa Kapota Kab.Wakatobi Dan Alternatif Penanganannya* (dibimbing oleh **Muhammad Arsyad Thaha dan Andi Ildha Dwipuspita**)

Pantai Kapota merupakan pantai yang berlokasi di Pulau Kapota Sulawesi Tenggara yang mengalami perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai yang terjadi menyebabkan peristiwa bahu jalan atau plengsengan (batas antara air dan pembatas jalan) mengalami kerusakan yang disebabkan oleh hantaman gelombang laut yang menggerus terus menerus. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis tinggi gelombang time series kemudian memodelkan perubahan garis pantai dengan ada dan tidaknya alternatif bangunan pengaman pantai serta menentukan alternatif penanganan terbaik untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan. Penelitian pada kawasan pantai ini dilakukan menggunakan pendekatan model numerik melalui software CEDAS dalam program NEMOS (*Nearshore Evolution Modelling System*) untuk memodelkan perubahan garis pantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gelombang yang mendominasi terjadinya perubahan garis pantai adalah gelombang dari arah Barat Laut dan Utara. Pada arah Barat Laut dan Utara memiliki persentase kejadian gelombang 7.05% dan 5.35%, hal tersebut lebih rendah dibandingkan dengan arah Timur dan Timur Laut akan tetapi tinggi gelombang tercipta pada arah Barat Laut dan Utara berkisaran diatas 1 m. Berdasarkan analisis serta pemodelan garis pantai dalam kurun waktu 10 tahun kedepan tanpa adanya penanganan, pantai Kapota mengalami erosi sejauh - 27.12 m dan akresi maksimum terjadi yaitu +15.741 m. Akresi yang terjadi rata rata terlihat pada posisi bagian kiri dermaga sedangkan erosi rata-rata terjadi pada pemukiman padat masyarakat Desa Kapota, dan jika ditinjau setelah adanya alternatif penanganan dengan bangunan groin tipe I, T, L dan breakwater pantai Kapota mengalami akresi atau majunya garis pantai yang cukup signifikan. Dari 4 jenis alternatif penanganan tersebut bangunan Groin Tipe L merupakan bangunan pengaman pantai yang paling optimal dalam mengatasi erosi. Sebelum adanya penanganan, pada Pias I mengalami erosi $\Delta V_t = - 474.330 \text{ m}^3$ dan pada Pias II mengalami akresi $\Delta V_t = +3732.546 \text{ m}^3$ setelah adanya Groin Tipe L pada Pias I menjadi akresi sebesar $\Delta V_t = +27118.16 \text{ m}^3$ dan Pias II $\Delta V_t = + 53523.38 \text{ m}^3$.

Kata kunci : pantai, garis pantai, erosi, akresi

ABSTRACT

Imran Hidayat Boy. *Analysis Of Shoreline Changes In Kapota Village, Wakatobi District And Its Alternative Management* (supervised by **Muhammad Arsyad Thaha** and **Andi Ildha Dwipuspita**)

Kapota Beach is a beach located on Kapota Island, Southeast Sulawesi, which has experienced shoreline changes. Changes in the coastline that occur cause the road shoulder or *plengsengan* (the boundary between the water and the road divider) to be damaged due to the continuous erosion of sea waves. The purpose of this research is to analyze the time series wave height then model the shoreline changes with the presence and absence of alternative coastal safety buildings and determine the best alternative handling to overcome the problems caused. Research on this coastal area was conducted using a numerical model approach through CEDAS software in the NEMOS (Nearshore Evolution Modeling System) program to model shoreline changes. The results showed that the waves that dominate the occurrence of shoreline changes are waves from the Northwest and North directions. The Northwest and North directions have a percentage of wave occurrence of 7.05% and 5.35%, it is lower than the East and Northeast directions but the wave height created in the Northwest and North directions ranges above 1 m. Based on the analysis and modeling of the coastline in the next 10 years without any treatment, Kapota Beach eroded as far as -27.12 m, and the maximum accretion occurred was +15.741 m. The accretion that happens on average is seen in the position of the left side of the pier. In contrast, the average erosion occurs in the dense settlement of the Kapota Village community, and if reviewed after the alternative handling with groin buildings type I, T, L, and breakwater Kapota beach experienced significant accretion or advancement of the coastline. Of the 4 types of alternative treatments, Groin Type L is the most optimal coastal safety building for overcoming erosion. Before handling, Pias I experienced erosion $\Delta Vt = - 474.330 \text{ m}^3$, and Pias II experienced accretion $\Delta Vt = +3732.546 \text{ m}^3$ after the existence of Groin Type L on Pias I became accretion of $\Delta Vt = +27118.16 \text{ m}^3$ and Pias II $\Delta Vt = + 53523.38 \text{ m}^3$.

Keywords: beach, shoreline, erosion, accretion

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN TESIS.....	ii
LEMBARAN PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR ARTI NOTASI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.6 Definisi Pantai	3
1.7 Perubahan Garis Pantai	5
1.8 Teori Gelombang Dasar	5
1.9 Angin.....	6
1.9.1 Distribusi Kecepatan Angin.....	6
1.9.2 Data Angin	7
1.9.3 Koreksi Kecepatan Angin.....	8
1.9.4 <i>Fetch</i>	11
1.10 Gelombang	12
1.10.1 Klasifikasi Gelombang Linier.....	12
1.10.2 Gelombang Representatif	13
1.10.3 Deformasi Gelombang	13
1.10.4 Gelombang dengan Kala Ulang.....	17

1.10.5 Peramalan Gelombang	20
1.11 Kenaikan Muka Air Laut (<i>Sea Level Rise</i>)	23
1.12 Pasang Surut	23
1.12.1 Tipe Pasang Surut	24
1.12.2 Beberapa Definisi Elevasi Muka Air	25
1.13 Hubungan Pasang Surut dan Gelombang Terhadap Pembentukan Pantai	26
1.14 Koreksi Garis Pantai	27
1.15 Peta Bathimetri	27
1.16 Sedimentasi	27
1.16.1 Ukuran Partikel Sedimen	28
1.16.2 Transpor Sedimen Pantai	30
1.16.3 Angkutan Sedimen Menuju-Meninggalkan Pantai	31
1.17 Pemodelan Perubahan Garis Pantai	31
1.17.1 NEMOS	31
1.17.2 GENESIS	33
1.18 Kalibrasi Model	35
1.19 Konsep Perlindungan dan Penanganan Daerah Pantai	36
1.19.1 Kontruksi Bangunan Laut dan pantai	36
1.19.2 Strategi Penanganan	38
1.20 Bagan Alir Kerangka Pikir	40
1.21 Penelitian Terdahulu	41
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	47
2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	47
2.1.1 Lokasi Penelitian	47
2.1.2 Waktu Penelitian	48
2.2 Parameter dan Variabel Penelitian	48
2.3 Pengambilan Data Sekunder	48
2.4 Pengambilan Data Primer	49
2.4.1 Data Sedimen	49
2.5 Tahapan Pengolahan Data	50
2.5.1 Analisa Data Angin	50
2.5.2 Pengolahan Data Gelombang	50
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	54
3.1 Kondisi Eksisting Pantai di Pulau Kapota	54

3.1.1	Topografi, Bathimetri dan Pasang Surut Pantai Kapota	54
3.2	Tinggi dan Periode Gelombang Di Perairan Kapota	57
3.2.1	Analisis Data Angin	57
3.2.2	Menentukan Panjang Pembangkitan Gelombang dengan Fetch Efektif60	
3.2.3	Peramalan Gelombang dengan Metode CERC 1984.....	61
3.2.4	Menganalisis dan Menggambarkan Mawar Gelombang (Wave Rose) 67	
3.2.5	Gelombang representatif dan Kala ulang gelombang	67
3.3	Analisis Hubungan Pasang Surut dan Gelombang Dalam Membentuk Pantai Kapota.....	71
3.4	Analisis Data Sedimen.....	72
3.5	Analisa Pemodelan Pantai dengan <i>Software CEDAS</i>	74
3.5.1	Koreksi Data Garis Pantai.....	74
3.5.2	Menentukan Batas Domain Model.....	75
3.5.5	Batas Domain <i>STWAVE Origin</i>	76
3.5.6	Batas Domain <i>GENESIS Origin</i>	77
3.5.7	Pemodelan Spektrum Gelombang.....	78
3.5.8	Pemodelan Arah Rambat Gelombang.....	80
3.6	Pemodelan Perubahan Garis Pantai dengan Sub Program GENESIS.....	81
3.6.1	Kalibrasi Model Garis Pantai.....	81
3.6.2	Peramalan Perubahan Garis Pantai dengan GENESIS sebelum adanya penanganan	87
3.7	Alternatif Penanggulangan	92
3.7.1	Perlindungan Pantai.....	92
3.7.2	Pembahasan tentang hasil model.....	114
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....		118
4.1	Kesimpulan	118
4.2	Saran	118
DAFTAR PUSTAKA		119
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Koefisien untuk menghitung deviasi standar	19
Tabel 2	Batas interval keyakinan tinggi gelombang signifikan ekstrim...	20
Tabel 3	Klasifikasi Ukuran Butir dan Sedimen	29
Tabel 4	Urutan tingkat prioritas perlindungan dan pengamanan pantai.	36
Tabel 5	Penelitian terdahulu	42
Tabel 6	Parameter dan variabel	48
Tabel 7	Frekuensi Kejadian Angin	57
Tabel 8	Rata-Rata hembusan angin di pantai Kapota	57
Tabel 9	Koreksi kecepatan angin dipantai Kapota	59
Tabel 10	Fetch arah Barat Laut	61
Tabel 11	Rekapitulasi Fetch efektif	61
Tabel 12	Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang Dilaut Dalam	63
Tabel 13	Tinggi dan periode gelombang maksimum pertahun	66
Tabel 14	Jumlah Frekuensi Kejadian Gelombang pada tahun 2008-2012 dan 2013-2022	67
Tabel 15	Tinggi gelombang representatif pada perairan Kapota	68
Tabel 16	Gelombang maksimum pada tahun 2008-2022 arah Utara	68
Tabel 17	Tinggi Gelombang Signifikan Maksimum di Laut Dalam dari Arah Utara di Pantai Pulau Kapota	69
Tabel 18	Kala ulang gelombang arah Utara	70
Tabel 19	Ujisaringan pada sampel pasir di pantai Kapota	73
Tabel 20	Titik koordinat garis pantai terukur tahun 2012 dan 2021	74
Tabel 21	Tinggi dan periode gelombang untuk dimodelkan pada modul STWAVE	79
Tabel 22	Kalibrasi Model	81
Tabel 23	Hasil simulasi perubahan garis pantai hasil kalibrasi 2012-2021	81
Tabel 24	Hasil simulasi perubahan garis pantai di Kapota selama 10 tahun sebelum adanya penanganan	89
Tabel 25	Rekapitulasi hasil simulasi selama 10 tahun (2030) tanpa adanya penanganan	92
Tabel 26	Hasil simulasi perubahan garis pantai di Kapota selama 10 tahun adanya Groin tipe I	95
Tabel 27	Rekapitulasi hasil simulasi selama 10 tahun (2030) dengan adanya bangunan Groin tipe I	98
Tabel 28	Hasil simulasi perubahan garis pantai di Kapota selama 10 tahun adanya Groin tipe L	100
Tabel 29	Rekapitulasi hasil simulasi selama 10 tahun (2030) dengan adanya bangunan Groin tipe L	103

Tabel 30	Hasil simulasi perubahan garis pantai di Kapota selama 10 tahun adanya Groin tipe T	105
Tabel 31	Rekapitulasi hasil simulasi selama 10 tahun (2030) dengan adanya bangunan Groin Tipe T	107
Tabel 32	Hasil simulasi perubahan garis pantai di Kapota selama 10 tahun adanya Breakwater	111
Tabel 33	Rekapitulasi hasil simulasi selama 10 tahun (2030) dengan adanya bangunan Breakwater	114
Tabel 34	Rekapitulasi hasil simulasi selama 10 tahun (2030) dari semua alternatif penanganan pantai di Pantai Kapota.....	116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Definisi dan batasan pantai	3
Gambar 2 Profil pantai	4
Gambar 3 Perbandingan bentuk profil gelombang	6
Gambar 4 Distribusi kecepatan angin pada arah vertikal	7
Gambar 5 Mawar Angin	8
Gambar 6 Kurva rasio kecepatan angin di atas laut dengan di daratan	10
Gambar 7 Fetch gelombang	11
Gambar 8 Refraksi gelombang	15
Gambar 9 Difraksi gelombang	15
Gambar 10 Bagan alir penentuan gelombang rencana berdasarkan data angin	20
Gambar 11 Flowchart peramalan gelombang di laut dalam metode cerc (1984).	22
Gambar 12 Perkiraan kenaikan muka air laut akibat pemanasan global	23
Gambar 13 Tipe pasang surut	24
Gambar 14 Hubungan antara gelombang dan pasang surut berdasarkan klasifikasi Davies (1964) dan Hayes (1979) (Davis, 2012)	26
Gambar 15 Posisi tinggi muka air pada saat perekaman citra	27
Gambar 16 Distribusi ukuran butir	29
Gambar 17 Pembagian pantai menjadi sejumlah sel	33
Gambar 18 Offshore breakwater dan pembentukan tombolo pada pantai yang dipasang breakwater	37
Gambar 19 Shore connected Breakwater dan Pengaruhnya terhadap Garis Pantai	37
Gambar 20 Beberapa tipe groin dan groin yang berfungsi sebagai penghalang sediment litoral	37
Gambar 21 <i>Revetment</i>	38
Gambar 22 Bagan Alir Kerangka Pikir	40
Gambar 23 Peta lokasi penelitian pantai pulau Kapota	47
Gambar 24 Diagram alir pemodelan perubahan garis pantai dengan GENESIS dalam CEDAS-NEMO	52
Gambar 25 Diagram alir penelitian	53
Gambar 26 Kondisi eksisting pantai di pulau kapota	54
Gambar 27 Peta Kontur <i>Bathimetri</i> dan <i>Topografi</i> Pantai Pulau Kapota	55
Gambar 28 Grafik pasang surut pantai Pulau Kapota	56
Gambar 29 Sketsa pasang surut terhadap rambu ukur	56
Gambar 30 <i>Wind rose</i> (mawar angin)	58
Gambar 31 <i>Fetch</i> Arah Utara, Arah Barat Laut, Arah Barat dan Timur Laut Pulau Kapota	60

Gambar 32 Bagan alir Metode CERC 1984.	62
Gambar 33 Grafik tinggi gelombang di Perairan Kapota selama 15 tahun ...	63
Gambar 34 Mawar gelombang (<i>Waverose</i>).....	67
Gambar 35 Grafik regresi linear tinggi gelombang di laut dalam dari arah Utara	69
Gambar 36 Grafik superposisi antara tinggi gelombang dan kedalaman batimetri	70
Gambar 37 Grafik hubungan pasang surut dan gelombang dalam pembentukan pantai	71
Gambar 38 Peta titik pengambilan sampel pasir	72
Gambar 39 Grafik penentuan diameter butiran pasir	73
Gambar 40 Garis pantai terukur Kapota tahun 2012 dan 2021.....	74
Gambar 41 Peta Topografi-Bathimetri pantai Kapota dalam <i>CEDAS-NEMOS</i>	76
Gambar 42 Penentuan batas domain model di pantai Kapota.	77
Gambar 43 Batas domain GENESIS pantai Kapota	77
Gambar 44 Diagram presentase gelombang pada program CEDAS	78
Gambar 45 Spektal energi gelombang yang datang	79
Gambar 46 Penjalaran gelombang dari laut dalam menuju pantai dari arah Barat Laut.....	80
Gambar 47 Penjalaran gelombang dari laut dalam menuju pantai dari arah Utara, Timur Laut dan Timur.....	80
Gambar 48 Posisi initial shoreline (2012) sebelum dilakukan kalibrasi model dalam GENESIS	84
Gambar 49 Posisi garis pantai setelah dilakukan running selama 10 tahun (2021) dalam GENESIS.....	85
Gambar 50 Posisi garis pantai di pantai Kapota hasil kalibrasi model.....	86
Gambar 51 Kondisi eksisting dalam GENESIS model Tahun 2021 sebelum adanya penanganan	87
Gambar 52 Kondisi garis pantai di Kapota setelah 10 tahun mendatang jika belum adanya penanganan	88
Gambar 53 Posisi garis pantai terukur dan garis pantai prediksi 10 tahun ...	88
Gambar 54 Perubahan posisi garis pantai hasil simulasi setiap tahun tanpa penanganan (20220101-20301226)	89
Gambar 55 Kondisi pantai Kapota setelah adanya Groin tipe I (2021-2030)	94
Gambar 56 Kondisi pantai Kapota setelah adanya Groin tipe L (2021-2030)	99
Gambar 57 Kondisi pantai Kapota setelah adanya Groin tipe T (2021-2030)	104
Gambar 58 Sketsa <i>breakwater</i> terhadap garis pantai	108
Gambar 59 Kondisi pantai Kapota setelah adanya Breakwater (2021-2030)	110
Gambar 60 Grafik perubahan garis pantai dengan empat alternatif penanganan	116

DAFTAR ARTI NOTASI

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
	Mulai / Selesai
	Proses input-output
	Alur Kerja
HWL	Pasang tertinggi air laut(m)
MSL	Tinggi air laut rata rata (m)
LWL	Surut terendah (m)
$\dots^0$	Sudut datangnya angin (0)
U_{10}	kecepatan angin hasil koreksi elevasi (m/det)
U_z	kecepatan angin yang tidak diukur pada ketinggian 10 m (m/det)
U_t	kecepatan angin hasil koreksi durasi (m/det)
R_T	rasio amplifikasi
U_L	kecepatan angin di daratan (m/det)
R_L	rasio kecepatan angin di atas laut dengan daratan
U_w	kecepatan angin di laut (m/det).
U_A	wind stress factor (m/det).
F_{eff}	fetch efektif (m)
F_i	panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch (m)
α	deviasi pada kedua sisi arah angin (0)
H_0	tinggi gelombang dilaut dalam (m)
T_p	periode puncak gelombang laut (det)
t_a	durasi angin (det)
t_d	durasi angin aktual yang ditentukan (det)
t_{min}	durasi angin kritik/minimum (det).
g	percepatan gravitasi = 9,81 (m/det ²),
Q	Angkutan sedimen sepanjang pantai (m ³ /hari)
ΔV	Perubahan pada volume pias diberikan sebagai (m ³)
P_i	Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/d/m)
ρ	Rapat massa air laut (kg/m ³)
H_b	Tinggi gelombang pecah (m)
K, n	Konstanta
y	Jarak anatara garis pantai dan garis referensi (m)
d_b	kedalaman air saat gelombang pecah (m)
t	Waktu (det)

x	Abis searah garis pantai (m)
C_b	cepat rambat gelombang pecah (m/det)
α_b	sudut datang gelombang pecah ($^{\circ}$)
k_1, k_2	Koefisien empiris
ρ_s	Massa jenis sedimen/tanah (kg/m ³)
x'	Garis pantai hasil pemodelan (m)
d	kedalaman air (m)
L	panjang gelombang (m)
C_0	Kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/det)
L_0	Panjang gelombang di laut dalam (m)
H_s	Tinggi gelombang signifikan (m)
T_s	Periode gelombang signifikan (det)
H'_0	Tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)
K'	Koefisien difraksi
K_r	Koefisien refraksi
K_s	Koefisien pandangkalan
H_b	Tinggi gelombang pecah (m)
$P (H_s \leq H_{sm})$	probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke-m
H_{sm}	tinggi gelombang urutan ke-m. (m)
H_{sr}	tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang TR (m)
M	nomor urut tinggi gelombang signifikan
NT	jumlah kejadian gelombang selama pencatatan
T_R	Periode ulang (tahun)
σ_{nr}	standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang
a_1, a_2, C, ϵ	koefisien empiris
σ_{Hs}	deviasi standar dari data tinggi gelombang signifikan
FDS	<i>Fully Developed Sea</i> / gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang sempurna
NFDS	<i>Non Fully Developed Sea</i> / gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang tidak sempurna
FL	pembentukan gelombang terbatas fetch (fetch limited)
DL	pembentukan gelombang terbatas durasi (duration limited)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Garis pantai adalah bentang alam yang sangat dinamis yang bervariasi dari waktu ke waktu dan ruang sebagai respons terhadap arus pasang surut, kejadian gelombang badai, variasi permukaan laut, tektonik, dan erosi-sedimentasi pantai (Thakur dkk., 2021). 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.

Menurut Margolita (2018) 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 Riswal Karamma mengenai “Analisis Angkutan Sedimen Searah Pantai di Muara Sungai Jeneberang dan Sungai Tallo Disebabkan Gelombang di Pantai dari Makassar”. Penelitian dilakukan melalui perhitungan numeris *fetch* dan 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 (2014).

Pantai Kapota Kab.Wakatobi Sulawesi Tenggara merupakan salah satu pantai yang terletak di Pulau Kapota Wakatobi dan berbatasan langsung dengan perairan di pulau Wangi-Wangi. Daerah pantai mudah mengalami proses perubahan alami yaitu abrasi maupun akresi di sepanjang garis pantai tidak terkecuali Pantai Kapota. Abrasi dan akresi yang terjadi merupakan akibat adanya proses transport sedimen yang menyebabkan perubahan garis pantai di pantai Kapota. Perubahan garis pantai yang terjadi menyebabkan peristiwa bahu jalan atau plengsengan (batas antara air dan pembatas jalan) di daerah Desa Kapota mengalami kerusakan karena hantaman ombak pasang dan abrasi oleh gelombang laut yang menggerus terus menerus

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 system 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 serta memodelkan transport sedimen jika terdapat adanya bangunan pengaman pantai.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka peneliti merasa tertarik ingin melakukan penelitian lebih jauh mengenai **“Analisis Perubahan Garis Pantai Di Desa Kapota Kabupaten Wakatobi dan Alternatif Penanganannya”** dengan melakukan deteksi perubahan garis pantai dalam 10 tahun terakhir (2012-2021) dan memprediksi kecenderungan perubahan garis pantai untuk 10 tahun kedepan (2030), serta membandingkan beberapa alternatif penanganan yang di timbulkan yakni bangunan pemecah gelombang maupaun bangunan pengendali sedimen. Dengan harapan penelitian ini dapat memberikan informasi tentang pola perubahan garis pantai serta memberikan informasi tentang alternatif-alternatif yang di pilih terhadap penanganan di pantai yang nantinya bisa secara optimal mampu mengatasi masalah yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dirumuskan masalah yaitu:

- Bagaimana tinggi gelombang *time series* di perairan Kapota ?
- Bagaimana perubahan garis pantai di Pulau Kapota dengan ada dan tidaknya alternatif- alternatif bangunan pengaman pantai dengan menggunakan model numerik CEDAS-NEMOS ?
- Alternatif apa yang lebih optimal untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan pada pantai Kapota ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

- Menganalisis tinggi gelombang *time series* di Pulau Kapota.
- Memodelkan perubahan garis pantai di Pulau Kapota dengan ada dan tidaknya alternatif bangunan pengaman pantai dengan menggunakan model numerik CEDAS-NEMOS.
- Menemukan alternatif penanganan terbaik untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan pada pantai Kapota

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mampu memprediksi daerah yang mengalami erosi dan sedimentasi sehingga dapat dilakukan proteksi.
- Mampu memprediksi perubahan garis pantai (*Shoreline*) Kapota dengan ada dan tidaknya alternatif bangunan pengaman pantai
- Mampu memilih alternatif yang lebih optimal untuk mengatasi permasalahan yang di timbulkan dari perubahan garis pantai di pantai Kapota

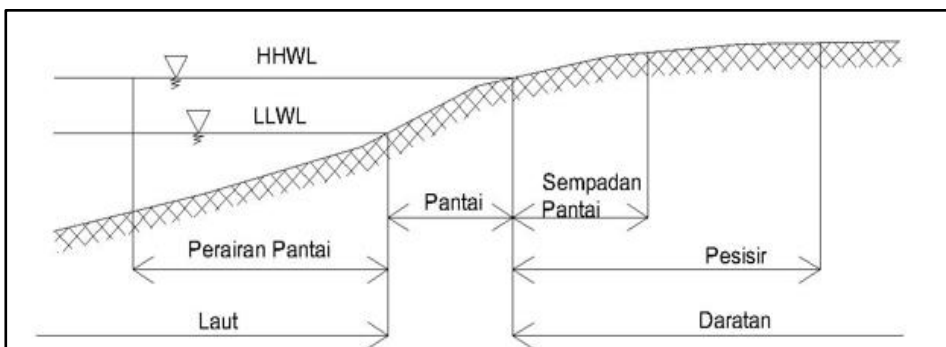
1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada :

- Penelitian ini dilaksanakan di wilayah pantai Pulau Kapota Kabupaten Wakatobi.
- Penelitian menggunakan data gelombang yang dibangkitkan oleh angin hasil dari peramalan gelombang menggunakan data angin 15 tahun
- Tidak memperhitungkan gelombang tsunami
- Tidak melakukan analisis prediksi pasang surut
- Tidak memperhitungkan *tidal current*.
- Karakteristik sedimen ditunjukkan oleh ukuran diameter rerata (D_{50})

1.6 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 berikut ini.

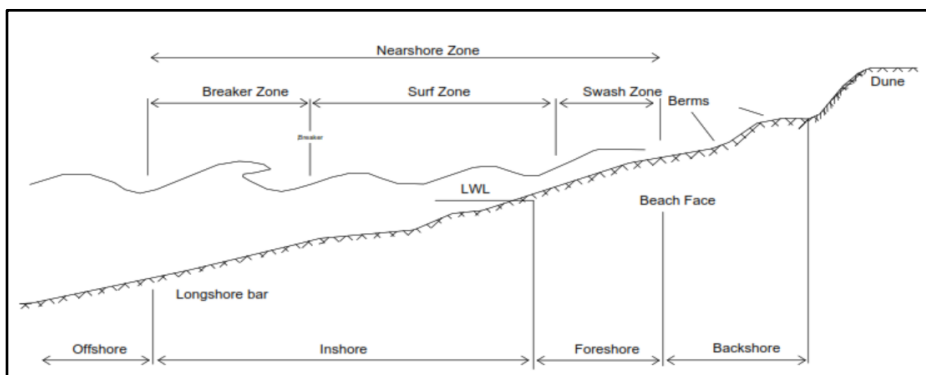


Gambar 1 Definisi dan batasan pantai
(Sumber :Triatmodjo, 1999)

- 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 daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas dari *uprush* pada saat air pasang tinggi. *Inshore* merupakan daerah dimana terjadinya gelombang pecah, memanjang dari sudut 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 (Triatmodjo, 1999:3).

Penjelasan mengenai profil pantai dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2 Profil pantai
(Sumber : Triatmodjo, 1999:3)

1.7 Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai merupakan salah satu proses yang dinamis, jika proses ini terus berlanjut maka akan mengganggu aktifitas disekitar pantai karena proses ini akan menyebabkan erosi ataupun abrasi di kawasan pantai tersebut (Christina, 2005). Perubahan garis pantai dapat terjadi sebagai akibat dari aktivitas alami maupun buatan manusia (CZI, 2012; Natesan et al., 2015).

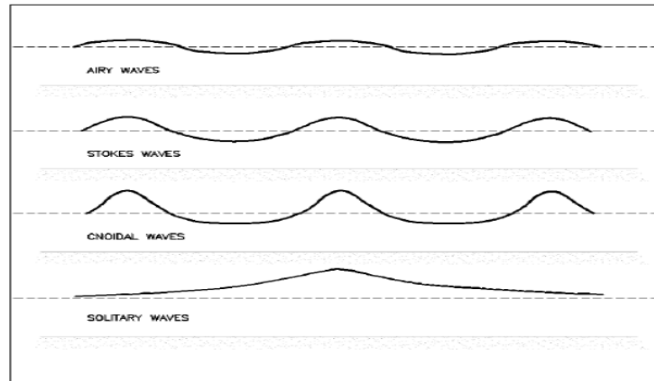
Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh littoral transport. Littoral transport adalah gerak sedimen di daerah dekat pantai oleh gelombang dan arus. Littoral transport dibagi menjadi dua yaitu transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) dan transpor tegak lurus pantai (*oshore-offshore transport*). Transpor tegak lurus dipengaruhi oleh kemiringan gelombang, ukuran sedimen, dan kemiringan pantai. Transpor sepanjang pantai tergantung pada sudut datang gelombang, durasi dan energi gelombang (Triatmodjo, 1999:160). Sedangkan menurut Pranoto dan Atmodjo, (2016) parameter-parameter fisik yang mempengaruhi transportasi sedimen adalah arus sepanjang pantai, laju sedimentasi, pasang surut dan gelombang.

1.8 Teori Gelombang Dasar

Bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam. Untuk menjelaskan fenomena gelombang laut para ilmuwan telah mengembangkan beberapa teori gelombang, antara lain sebagai berikut :

1. Teori gelombang linier (*Airy Wave Theory, Small-Amplitude Wave Theory*)
2. Teori gelombang non linier (*Finite-Amplitude Wave Theories*), diantaranya :
 - a. Gelombang Stokes orde 2, orde 3, orde 4 dan seterusnya.
 - b. Gelombang Cnoidal
 - c. Gelombang Dean Stream Function
 - d. Gelombang Solitary

Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. Teori gelombang Airy merupakan gelombang amplitudo kecil, sedang teori yang lain adalah gelombang amplitudo terbatas (*finite amplitudo waves*). Perbandingan profil gelombang untuk berbagai teori gelombang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Perbandingan bentuk profil gelombang
(Sumber : *Coastal Engineering Manual Part II*, 2008)

Teori yang paling sederhana dan mudah dipahami adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitude kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Airy tahun 1845, yang selanjutnya dikenal dengan teori gelombang Airy. Didalam teori gelombang Airy dianggap bahwa tinggi gelombang adalah sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalamannya. Untuk menentukan teori yang paling sesuai dengan permasalahan yang dihadapi, berikut ini diberikan batasan pemakaian dari masing-masing teori gelombang pada Gambar 4. Dalam gambar penerapan teori gelombang didasarkan pada nilai perbandingan H/d dan d/L (Triatmodjo, 1999).

1.9 Angin

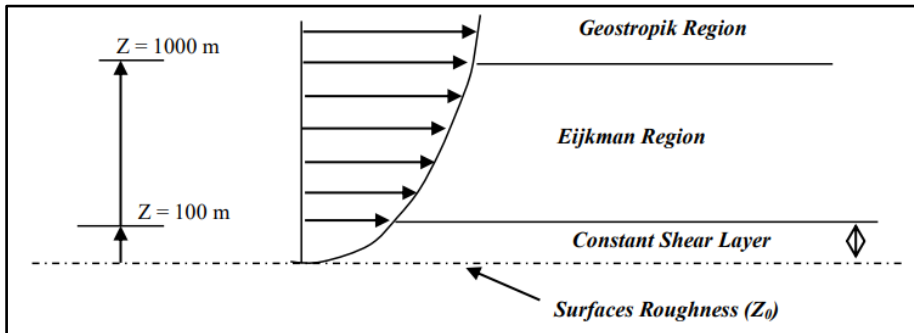
Angin merupakan salah satu faktor meteorologis yang penting dalam perencanaan dan perancangan bangunan pantai. Gelombang laut dapat dibangkitkan oleh beberapa hal yaitu angin, pasang surut, gempa, letusan gunung berapi, tanah longsor dan kapal yang bergerak. Di antara pembangkit gelombang tersebut, angin merupakan pembangkit dominan yang sepanjang waktu dapat menimbulkan gelombang sehingga peramalan tinggi gelombang dapat dilakukan dengan mengolah data angin (Wahyu Widiyanto, 2013).

Untuk dapat membangkitkan gelombang, kecepatan angin harus cukup besar dan cukup lama bertiup (durasi angin). Angin kategori calm (Beaufort Scale 0 – 0,51 m/s) sampai 'angin lemah' (gentile breeze 3,5 – 5,1 m/s) tidak dapat membangkitkan gelombang yang berarti meskipun durasinya cukup lama, sebaliknya meskipun terjadi angin yang besar tetapi durasinya sangat singkat tidak dapat pula terjadi gelombang (Frans Rabung, 2016).

1.9.1 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 100 m. 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).

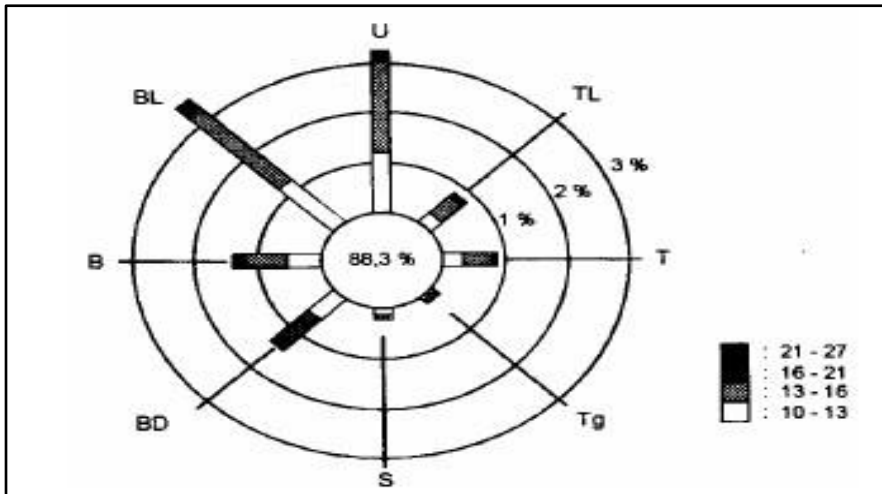


Gambar 4 Distribusi kecepatan angin pada arah vertikal
(Sumber : CERC, 1984)

1.9.2 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 $1 \text{ knot} = 1.852 \text{ km/jam} = 0.514 \text{ m/d}$. Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Dengan pencatatan angin jam-jaman tersebut dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata (Triatmodjo, 1999:151).

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 mawar angin yang dibuat berdasarkan data angin disajikan dalam bentuk mawar angin dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5 Mawar Angin
(Sumber : Triatmodjo, 1999:153)

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 presentase kejadian angin dalam periode waktu pengukuran.

1.9.3 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. Jika data angin yang dimiliki adalah data angin pengukuran di darat, perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai kecepatan angin dilaut (Mulyabakti, 2016).

Adapun koreksi – koreksi data angin adalah sebagai berikut (SPM, 1984:3-36) :

1. Koreksi Berdasarkan Elevasi

Wind stress factor dihitung dari kecepatan angin yang diukur dari ketinggian $y = 10$ m di atas permukaan. Apabila angin tidak diukur pada elevasi $y = 10$ m, maka perlu dikonversi pada kecepatan tersebut. Persamaan yang digunakan yaitu :

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (1)$$

dengan :

U_{10} = kecepatan angin hasil koreksi elevasi (m/det),

U_z = kecepatan angin yang tidak diukur pada ketinggian 10 m (m/det),

z = elevasi atau ketinggian alat ukur di atas permukaan laut (m).

2. Koreksi Durasi

Data angin yang tersedia biasanya tidak disebutkan durasinya atau merupakan data hasil pengamatan sesaat. Kondisi sebenarnya kecepatan angin adalah selalu berubah-ubah meskipun pada arah yang sama. Untuk melakukan peramalan gelombang diperlukan juga durasi angin bertiup, dimana selama dalam durasi tersebut dianggap kecepatan angin adalah konstan. Oleh karena itu, koreksi durasi ini dilakukan untuk mendapatkan kecepatan angin rata-rata selama durasi angin bertiup diinginkan. Berdasarkan data hasil pengamatan angin sesaat, dapat dihitung kecepatan angin rata-rata untuk durasi angin tertentu, dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Diketahui kecepatan angin sesaat adalah U_{10} , akan ditentukan dengan durasi detik (U_t).

$$t_i = \frac{1609}{U_{10}} \quad (2)$$

- b. Menghitung U_{3600}

$$\frac{U_{10}}{U_{3600}} = C_1$$

- c. $U_{3600} = \frac{U_{10}}{C_1} \quad (3)$

Dengan nilai C_1 adalah sebagai berikut :

untuk $1 < t_i < 3600$ det

$$C_1 = 1,277 + 0,296 \tanh \left(0,9 \log \left(\frac{45}{t_i} \right) \right) \quad (4)$$

untuk $3600 < t_i < 360000$ det

$$C_1 = -0,15 \log t_i + 1,5334 \quad (5)$$

- d. Menghitung $U_t = U_d$ = durasi angin yang ditentukan berdasarkan data

$$\frac{U_1}{U_{3600}} = C_d$$

$$U_1 = U_{3600} \times C_d \quad (6)$$

Dengan nilai C_d adalah sebagai berikut :

untuk $1 < t_i < 3600$ det

$$C_d = 1,277 + 0,296 \tanh \left(0,9 \log \left(\frac{45}{t_i} \right) \right) \quad (7)$$

Untuk $3600 < t_i < 36000$ det

$$C_d = -0,15 \log t_i + 1,5334 \quad (8)$$

Dengan :

U_t = kecepatan angin untuk durasi angin yang diinginkan (m/det)

t_i = durasi angin yang diinginkan (detik)

3. Koreksi Kestabilan dan Koreksi Lokasi Pengamatan

Koreksi stabilitas (R_T) diperlukan karena adanya perbedaan temperatur antara udara dan laut. Apabila data temperatur tidak diketahui, maka CERC (1984) menyarankan penggunaan $R_T = 1,1$. Sedangkan koreksi lokasi

pengamatan dilakukan karena data angin yang digunakan adalah data angin daratan sehingga perlu adanya koreksi lokasi untuk menjadikan data angin daratan menjadi data angin pengukuran di laut. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk koreksi stabilitas :

$$U_L = R_T \cdot U_t \quad (9)$$

Sedangkan untuk menentukan kecepatan angin di laut, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$U_w = R_L \cdot U_L \quad (10)$$

dengan :

U_t = kecepatan angin hasil koreksi durasi (m/det),

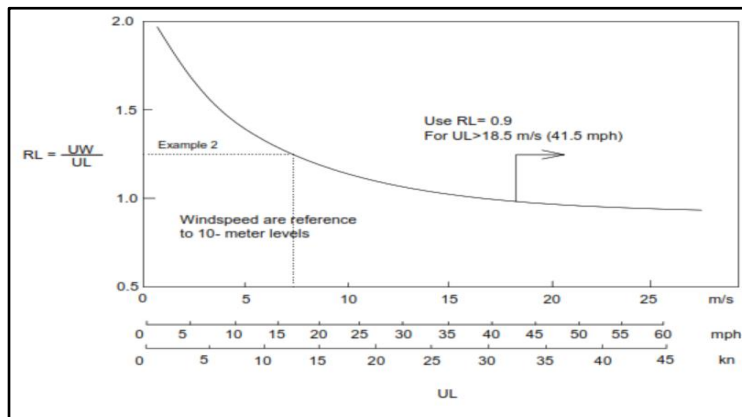
R_T = rasio amplifikasi, ($R_T = 1,1$),

U_L = kecepatan angin di daratan (m/det),

R_L = rasio kecepatan angin di atas laut dengan daratan, diperoleh dari kurva,

U_w = kecepatan angin di laut (m/det).

Adapun kurva rasio kecepatan angin di atas laut dengan di daratan, ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 6 Kurva rasio kecepatan angin di atas laut dengan di daratan
(Sumber : CERC, 1984)

4. Koreksi Koefisien Seret

Setelah data kecepatan angin melalui koreksi-koreksi di atas, maka data kecepatan tersebut dikonversi menjadi *wind stress factor* (U_A) dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$U_A = 0,71 U_w^{1,23} \quad (11)$$

dengan :

U_w = kecepatan angin di laut ((m/det),

U_A = *wind stress factor* (m/det).

1.9.4 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. Untuk keperluan peramalan gelombang, fetch efektif juga dapat dihitung dengan menggunakan Saville's Method (1962) atau dalam buku teknik pantai Bambang Triatmodjo (1999) dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

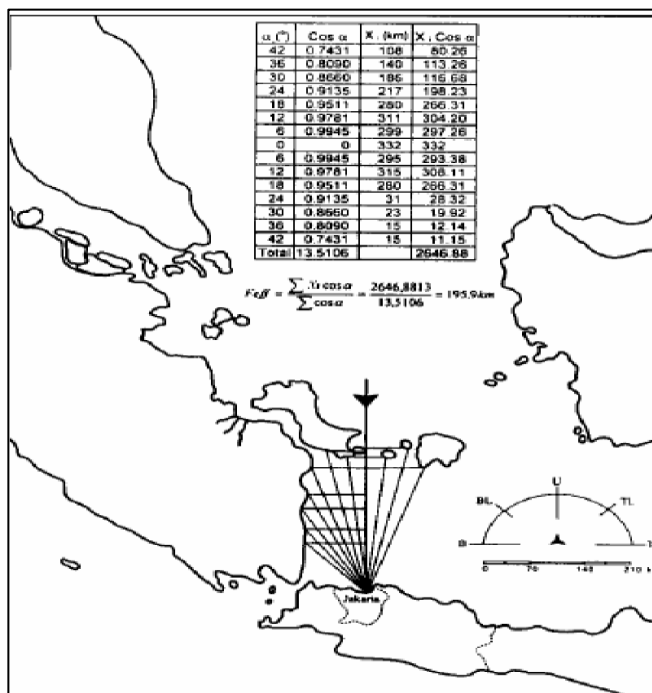
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum F_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (12)$$

dengan :

F_{eff} = fetch efektif,

F_i = panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch,

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



Gambar 7 Fetch gelombang

1.10 Gelombang

Deskripsi tentang sebuah gelombang hingga kini masih belum jelas dan akurat, oleh karena permukaan laut merupakan suatu bidang yang kompleks dengan pola yang selalu berubah dan tidak stabil (Garrison, 1993). Gelombang merupakan fenomena alam naik dan turunnya air secara periodik dan dapat dijumpai di semua tempat di seluruh dunia. Gross (1993) mendefenisikan gelombang sebagai gangguan yang terjadi di permukaan air. Sedangkan Sverdrup dkk, (1946) mendefenisikan gelombang sebagai sesuatu yang terjadi secara periodik terutama gelombang yang disebabkan oleh adanya peristiwa pasang surut.

1.10.1 Klasifikasi Gelombang Linier

Gelombang yang menjalar dari laut dalam adalah gelombang sinusoidal. Penjalaran gelombang di laut dalam tidak dipengaruhi oleh kedalaman dasar (d), tetapi untuk gelombang di laut transisi dan laut dangkal, penjalaran dipengaruhi oleh kedalaman dasar. Di zona ini, apabila ditinjau suatu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di kedalaman yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan lebih kecil daripada bagian yang menjalar di kedalaman yang lebih besar.

Berdasarkan kedalaman relative (d/L), yaitu perbandingan antara kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L). Gelombang dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) macam yaitu :

- Gelombang di laut dalam jika $d/L \geq 0,50$
- Gelombang di laut transisi jika $0,05 < d/L < 0,50$
- Gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 0,05$.

Untuk gelombang di laut dalam, apabila kedalaman relatif d/L lebih besar dari 0,50, maka nilai $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56T \quad (13)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2 \quad (14)$$

Dengan :

C_0 = Kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/det)

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam (m)

G = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/det}^2$).

Untuk gelombang di laut transisi, dengan nilai $0,05 < d/L < 0,50$, maka kecepatan rambat gelombang dan panjang gelombang adalah :

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (15)$$

Untuk gelombang di laut dangkal, apabila kedalaman relatif $d/L \leq 0,05$, maka nilai $\tanh(2\pi d/L)$:

$$C = \sqrt{gd} \quad (16)$$

$$L = \sqrt{gd} \quad T = CT \quad (17)$$

1.10.2 Gelombang Representatif

Gelombang merupakan faktor penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (*tsunami*), kapal yang bergerak dan sebagainya. Data gelombang representatif adalah data yang telah didapatkan dari pengamatan lapangan diurutkan dari data yang tertinggi sampai yang terendah. Gelombang representatif yang digunakan adalah gelombang maksimum hasil pengukuran di lapangan atau yang mewakili (Sugianto, 2017)

Menurut Triatmodjo (1999:131), gelombang representatif merupakan tinggi dan perioda gelombang individu gelombang yang mewakili suatu spectrum 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 :

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + H \dots H_n}{n} \quad (18)$$

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + T \dots T_n}{n} \quad (19)$$

$$n = 33\% \times \text{Jumlah data}$$

Dengan :

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

T_s = Periode gelombang signifikan (detik)

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

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

1.10.3 Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi, panjang, periode, arah dan sebagainya akibat pengaruh perubahan kedalaman dasar laut, adanya hambatan pulau-pulau atau tanah meninggi di

dasar laut, kemiringan dasar laut yang tidak sejajar dengan arah datangnya gelombang, dan lain-lain (Rabung dkk, 2015).

1. Gelombang Laut Ekuivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, 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 ekuivalen dapat dihitung pada persamaan berikut (Triadmodjo, 1999)

$$H'_0 = H_0 \times K_r \times K' \quad (20)$$

dalam hal ini :

H'_0 = Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

H_0 = Tinggi gelombang laut dalam

K' = Koefisien difraksi

K_r = Koefisien refraksi

2. Refraksi Gelombang

Refraksi merupakan salah satu bentuk deformasi gelombang terhadap perubahan kedalaman dasar laut dan merupakan salah satu parameter penting pada perencanaan bangunan pelindung pantai (A I D Puspita dkk, 2019) Gambar 10 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 (Triadmodjo, 1999) :

$$H = H_0 \times K_s \times K_r \quad (21)$$

dimana :

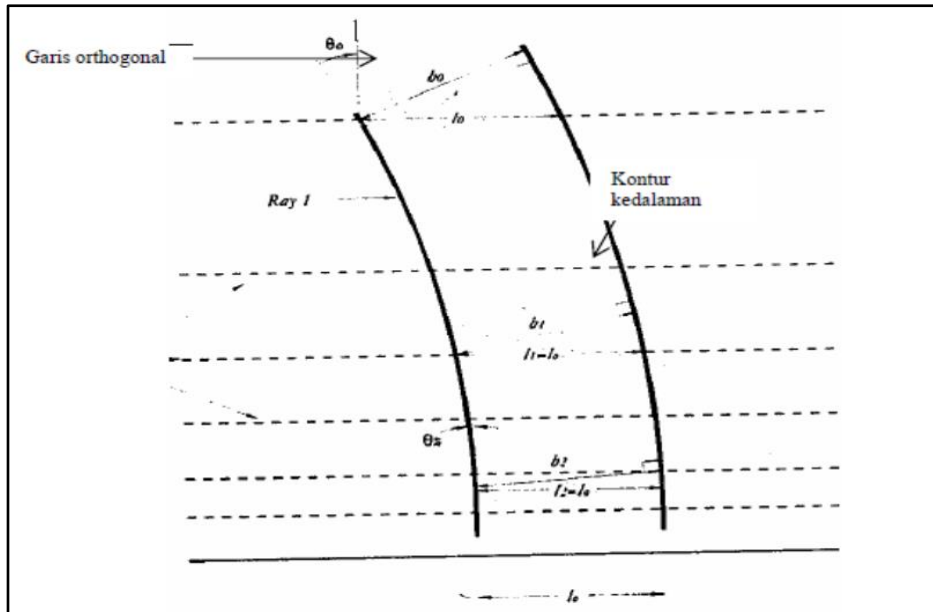
K_s = Koefisien pandangkalan; merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air, dapat di ambil pada table L-1 (lampiran)

K_r = Koefisien refraksi = $\sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b}}$

H_0 = Tinggi gelombang di laut dalam

α_0 = sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai

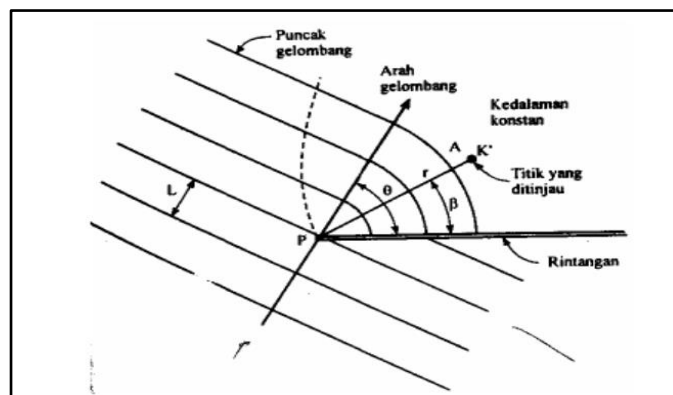
α = sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut dititik yang di tinjau, $\sin \alpha = \frac{c}{c_0} \sin \alpha_0$



Gambar 8 Refraksi gelombang
(Sumber : Triadmodjo, 1999)

3. Difraksi Gelombang

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 11. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Ini sejalan dengan pernyataan dari Daniel, dkk (2013) menyatakan bahwa difraksi gelombang yakni peristiwa berpindahnya energi disepanjang puncak gelombang ke arah daerah yang terlindung.



Gambar 9 Difraksi gelombang
(Sumber : Triadmodjo, 1999)

Garis puncak gelombang dibelakang 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.

4. Gelombang Pecah

Ketika gelombang semakin mendekati perairan dangkal maka puncak gelombangnya akan semakin tajam dan arah gelombangnya semakin datar. Selain itu, kecepatan dan panjang gelombang akan berkurang secara bertahap seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang dan kemudian pecah (Riswal Karamma, dkk, 2020). Pada saat itu partikel air di puncak gelombang mendahului bentuk gelombang atau puncaknya sehingga gelombang tidak stabil dan pecah. CERC (1984) menyatakan bahwa gelombang pecah di air dangkal terjadi pada $H_b/d_b = 0,78$ dengan angka 0,78 merupakan koefisien tinggi relatif gelombang pecah atau koefisien gelombang pecah.

Ada beberapa persamaan empiris dalam menentukan tinggi gelombang pecah, salah satunya adalah rumus empiris yang ditemukan oleh Kaminski dan Kraus (1993) dalam Muriadin (2010) yakni sebagai berikut :

$$\frac{H_b}{H_0'} = 0,46 \left[\frac{H_0'}{L_0} \right]^{-0,28} \quad (22)$$

Dengan :

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

H_0' = tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)

L_0 = panjang gelombang di laut dalam (m).

Penggunaan Persamaan (21) di atas untuk memperkirakan tinggi gelombang pecah sedangkan untuk memperkirakan letak kedalaman gelombang pecah, menggunakan kriteria yang dikembangkan oleh Weggel (1972) dalam Muriadin (2010) dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} = b' - a \frac{H_b}{gT^2} \quad (23)$$

Triatmodjo (1999) menyarankan menggunakan grafik untuk menghitung tinggi dan kedalaman pecah pada kedalaman tertentu, yang dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b' \left(\frac{a'H_b}{gT^2} \right)} \quad (24)$$

Dengan :

$$a = 43,75 (1) - e^{-19 \tan \beta}$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19 \tan \beta})}$$

a dan b merupakan fungsi kemiringan dasar pantai ($\tan \beta$)

d_b adalah kedalaman gelombang pecah.

Penentuan tinggi dan kedalaman gelombang pecah dapat pula dilakukan dengan cara membuat grafik superposisi antara tinggi gelombang yang dipengaruhi oleh proses shoaling dan refraksi dengan grafik tinggi gelombang yang dipengaruhi oleh kedalaman air (USACE, 2002), dengan indeks gelombang pecah diasumsikan adalah 0,78.

1.10.4 Gelombang dengan Kala Ulang

Dari 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. Ada beberapa distribusi yang digunakan untuk prediksi gelombang dengan kala ulang, namun ada dua metode yang sering digunakan untuk memprediksi gelombang dengan periode ulang tertentu, yaitu distribusi Gumbel (*Fisher-Tippett Type I*) dan distribusi *Weibull* (CERC, 1992). Kedua distribusi tersebut mempunyai bentuk sebagai berikut (Triatmodjo 1999 : 140) :

1. Distribusi *Fisher-Tippett Type- I*

Dalam *Metode Fisher Tippet-1*, data probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut:

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0,44}{N_T+0,12} \quad (25)$$

Dengan:

$P(H_s \leq H_{sm})$ = probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke-m

H_{sm} = tinggi gelombang urutan ke-m. (m)

H_{sr} = tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_R (m)

M = nomor urut tinggi gelombang signifikan.

NT = jumlah kejadian gelombang selama pencatatan.

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus sebagai berikut dengan $\hat{A}$ dan $\hat{B}$ adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linear:

$$H_{sm} = A \cdot Y_m + B \quad (26)$$

$$H_{sr} = A \cdot Y_r + B \quad (27)$$

$$Y_r = -\ln \cdot \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{L \cdot T_r} \right) \right] \quad (28)$$

$$y_m = -\ln \{ -\ln P(H_s \leq H_{sm}) \} \quad (29)$$

$$\hat{A} = \frac{n \cdot \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \cdot \sum y_m}{n \cdot \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \quad (30)$$

Dengan:

H_{sm} : tinggi gelombang urutan ke-m. (m)

H_{sr} : Tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_R (m)

T_R : Periode ulang (tahun)

K : Panjang data (tahun)

L : Rerata jumlah kejadian pertahun $= N_T / K$

2. Distribusi Weibull

Rumus probabilitas yang digunakan untuk Metode Weibull adalah sebagai berikut:

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,22 \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}} \quad (31)$$

Dengan:

$P(H_s \leq H_{sm})$ = probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke-m yang tidak dilampaui.

H_{sm} = tinggi gelombang urutan ke-m. (m)

m = momor urut tinggi gelombang signifikan.

N_T = jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

k = parameter bentuk dalam laporan ini dipakai $k=0,75$

Perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linier dapat dihitung menggunakan Persamaan 33 dan 34 sementara nilai y_m diberikan oleh bentuk berikut:

$$Y_m = -\ln \cdot [1 - P(H_s \leq H_{sm})]^{1/k} \quad (32)$$

Sedangkan y_r diberikan oleh bentuk berikut:

$$Y_r = [\ln(L \cdot T_r)]^{1/k} \quad (33)$$

$$\hat{A} = \frac{n \cdot \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \cdot \sum y_m}{n \cdot \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \quad (34)$$

Dengan:

H_{sr} : tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_R (m)

T_r : periode ulang (tahun)

K : panjang data (tahun)

L : rata - rata jumlah kejadian per tahun $= N_T / K$

Perkiraan interval keyakinan adalah penting dalam analisis gelombang ekstrim. Hal ini mengingat bahwa biasanya periode pencatatan gelombang adalah pendek, dan tingkat ketidak-pastian yang tinggi dalam perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya tergantung pada deviasi standar (Triatmojo B., 1999). Untuk perkiraan deviasi standar dari nilai ulang. Deviasi standar yang dinormalkan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot [1 + \alpha \cdot (Y_r - c + \varepsilon \cdot \ln v)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (35)$$

Dengan:

σ_{nr} : standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang

N : jumlah data tinggi gelombang signifikan

$a_1, a_2, c, \varepsilon, k$: koefisien empiris yang diberikan oleh Tabel 1

Tabel 1 Koefisien untuk menghitung deviasi standar

Distribusi	a_1	a_2	k	C	ε
FT-1	0,64	9,0	0,93	0,0	1,33
Weibull ($k=0,75$)	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15
Weibull ($k=1,0$)	1,92	11,4	0,00	0,3	0,90
Weibull ($k=1,4$)	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull ($k=2,0$)	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

(Sumber: Triatmojo, 1999)

Besaran absolut dari deviasi standar dari tinggi gelombang signifikan dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_{Ts} = \sigma_{nr} \cdot \sigma_{Hs} \quad (36)$$

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot [1 + \alpha \cdot (Y_r - c + \varepsilon \cdot \ln v)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$

$$\alpha = \alpha_1 \cdot e^{\alpha_2 \cdot N^{-1,3} + k \cdot \sqrt{-\ln v}} \quad (38)$$

$$v = \frac{N}{N_T} \quad (39)$$

Dengan:

σ_{nr} : Kesalahan standar dari ketinggian gelombang signifikan dengan periode ulang

σ_{Hs} : deviasi standar dari data tinggi gelombang signifikan

N : Jumlah data

Interval keyakinan dihitung dengan anggapan bahwa perkiraan tinggi gelombang signifikan pada periode ulang tertentu terdistribusi normal terhadap fungsi distribusi yang diperkirakan. Batas interval keyakinan terhadap H_{sr} dengan berbagai tingkat keyakinan diberikan dalam Tabel 2 Perlu diingat bahwa lebar interval keyakinan tergantung pada fungsi distribusi, N dan v , tetapi tidak berkaitan dengan seberapa baik data mengikuti fungsi distribusi.

Tabel 2 Batas interval keyakinan tinggi gelombang signifikan ekstrim

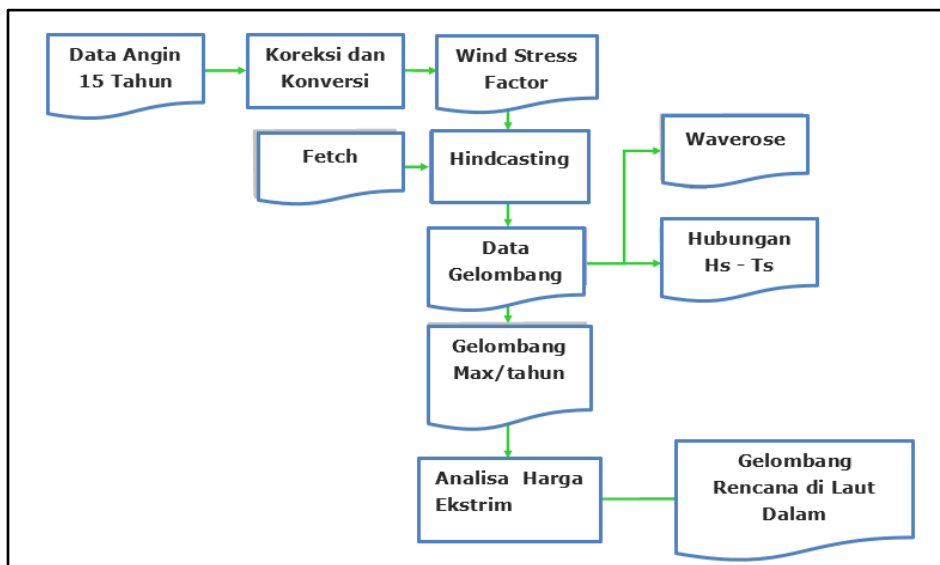
Tingkat keyakinan (%)	Batas interval keyakinan terhadap	Probabilitas batas atas terlampaui (%)
80	$128 \sigma_r$	10
85	$1,44 \sigma_r$	7,5
90	$1,65 \sigma_r$	5,0
95	$1,96 \sigma_r$	2,5
99	$2,58 \sigma_r$	0,5

(Sumber: Triatmojo, 1999)

1.10.5 Peramalan Gelombang

Dalam merencanakan bangunan pantai, kebutuhan informasi data gelombang sangat diperlukan. Untuk mendapatkan data gelombang dengan waktu yang cukup panjang di lokasi rencana studi sangatlah sulit bahkan ketersediaan data gelombang tidak ada, maka untuk mendapatkan data gelombang, dilakukan dengan cara peramalan data angin menjadi data gelombang. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah peramalan gelombang di laut dalam dengan metode CERC (1984) dan dibeberapa literatur biasa ditulis dengan metode SPM (1984).

Pada gambar berikut ditunjukkan bagan alir penentuan gelombang rencana di laut dalam.



Gambar 10 Bagan alir penentuan gelombang rencana berdasarkan data angin

1. Peramalan/ *Hindcasting* Gelombang di Laut Dalam

Pembentukan gelombang di laut dalam, dianalisa dengan formula-formula empiris yang diturunkan dari model parametrik berdasarkan spektrum gelombang **JONSWAP**(*Joint North Sea Wave Project*) (CERC, 1984). Prosedur peramalan tersebut berlaku baik untuk kondisi *fetch* terbatas (*fetch limited condition*) maupun kondisi durasi terbatas (*duration limited condition*).

Pada kondisi *fetch* terbatas, angin bertiup secara konstan cukup jauh untuk tinggi gelombang di ujung *fetch* dalam mencapai keseimbangan sedangkan pada kondisi durasi terbatas, tinggi gelombang dibatasi waktu setelah angin bertiup/berhembus. Spektral tinggi gelombang signifikan (H_0) dan periode puncak spektrum (T_p) adalah parameter yang diramalkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_0 = 0,0016 \frac{U_A^2}{g} \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad (40)$$

$$T_P = 0,2857 \frac{U_A^2}{g} \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (41)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left(\frac{g F_{eff}}{U_A} \right)^{2/3} \quad (42)$$

$$\frac{gt}{U_A} = \leq 7,15 \times 10^4 \quad (43)$$

Prosedur peramalan gelombang laut dalam adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan analisis perbandingan hasil hitungan Persamaan (42) dengan Persamaan (43). Jika tidak memenuhi Persamaan (43), maka gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang sempurna atau *Fully Developed Sea* (FDS). Penghitungan tinggi dan periode gelombangnya menggunakan persamaan berikut:

$$H_0 = 0,2433 \frac{U_A^2}{g} \quad (44)$$

$$T_P = 8,134 \frac{U_A}{g} \quad (45)$$

- b. Jika hasil analisis perbandingan memenuhi Persamaan (42), maka gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang tidak sempurna atau *Non Fully Developed Sea* (NFDS). Pembentukan gelombang tidak sempurna ini terdiri dari dua jenis, yaitu pembentukan gelombang terbatas *fetch* (*fetch limited*) dan terbatas durasi (*duration limited*). Untuk membedakannya perlu dihitung terlebih dahulu durasi minimum (t_{min}), sebagai berikut:

$$t_{min} = \frac{68,8 U_A}{g} \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad (46)$$

- c. Memeriksa durasi angin aktual yang ditentukan (t_d), lalu membandingkan terhadap durasi hasil hitungan (t_{min}).

- i. Jika $t_d > t_{min}$, maka gelombang yang terjadi merupakan gelombang hasil pembentukan terbatas *fetch*. Pada pembentukan jenis ini, durasi angin

yang bertiup cukup lama. Penghitungan tinggi dan periode gelombangnya dilakukan dengan menggunakan Persamaan (40) dan (41).

- ii. Jika $t_d < t_{min}$, maka gelombang yang terjadi merupakan gelombang hasil pembentukan terbatas durasi. Pada pembentukan ini, durasi angin yang bertiup tidak cukup lama. Penghitungan tinggi dan periode gelombangnya dilakukan dengan menggunakan Persamaan (40) dan (41) dengan terlebih dahulu mengganti panjang F_{eff} dengan F_{min} berikut ini:

$$F_{min} = \frac{U_A^2}{g} \left(\frac{gt_d}{68,8U_A^2} \right)^{2/3} \quad (47)$$

Dengan :

F_{eff} = panjang *fetch* efektif (m)

H_0 = tinggi gelombang signifikan menurut teori spektral energi (m)

T_p = periode puncak spektrum (detik)

g = percepatan gravitasi = 9.81 (m/det²)

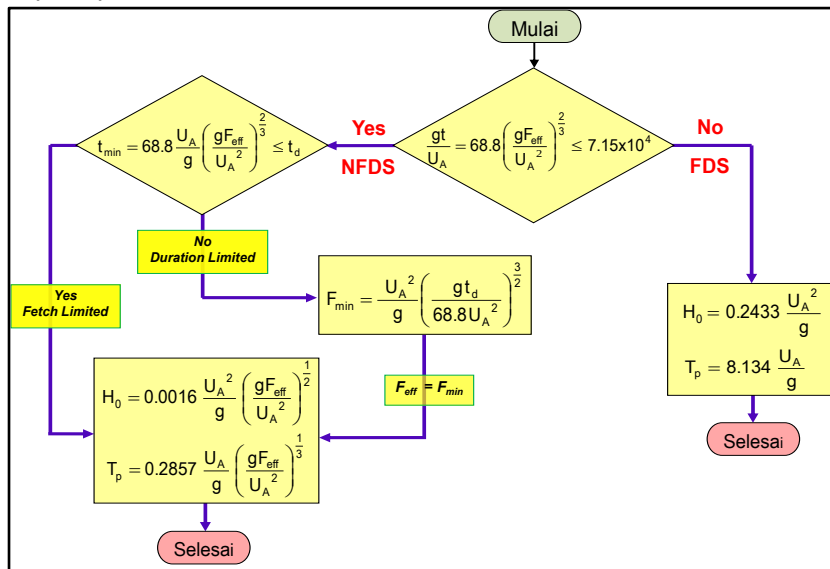
U_A = *wind stress factor* (m/det)

t_a = durasi angin (detik)

t_d = durasi angin aktual yang ditentukan (detik)

t_{min} = durasi angin kritik/minimum (detik).

Berikut ini adalah bagan alir proses peramalan gelombang dengan metode CERC (1984) :



Gambar 11 Flowchart peramalan gelombang di laut dalam metode cerc (1984).
(Sumber : SPM 1984, vol 1-1)

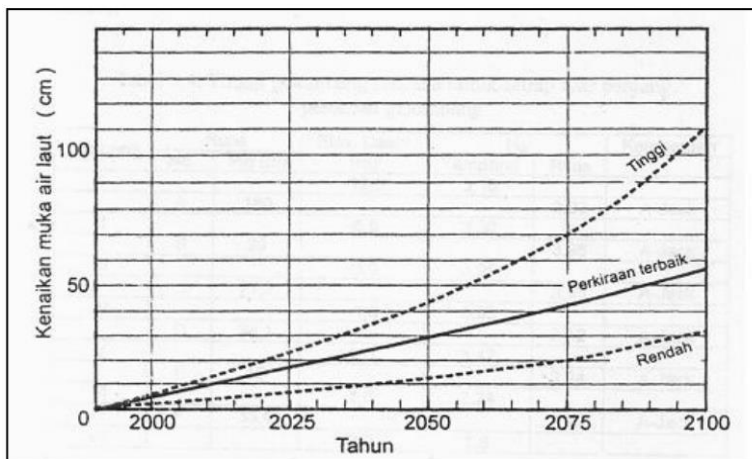
Keterangan dari persamaan pada bagan alir di atas sebagai berikut :

- F_{eff} = panjang *fetch* efektif (m),
- H_0 = tinggi gelombang signifikan menurut teori spektral energi (m),
- T_p = periode puncak spektrum (det),
- g = percepatan gravitasi = 9,81 (m/det²),
- U_A = *wind stress factor* (m/det),
- t_d = durasi angin aktual yang ditentukan (det),
- t_{min} = durasi angin kritik/minimum (det).

1.11 Kenaikan Muka Air Laut (*Sea Level Rise*)

Kenaikan muka air laut merupakan fenomenanaiknya muka air laut akibat pertambahan volumeair laut. Perubahan tinggi permukaan air laut dapat dilihat sebagai suatu fenomena alam yang terjadi secara periodik maupun menerus (Suntoyo et al, 2012). Sedangkan menurut Sambodho (2012), kenaikan muka air laut (*Sea Level Rise*) adalah fenomena naiknya muka air laut sebagai akibat dari perubahan iklim yang merupakan isu penting saat ini.

Adapun perkiraan kenaikan muka air laut karena pemanasan global dapat dilihat di grafik berikut :



Gambar 12 Perkiraan kenaikan muka air laut akibat pemanasan global
(Sumber : Triatmodjo, 1999:120)

1.12 Pasang Surut

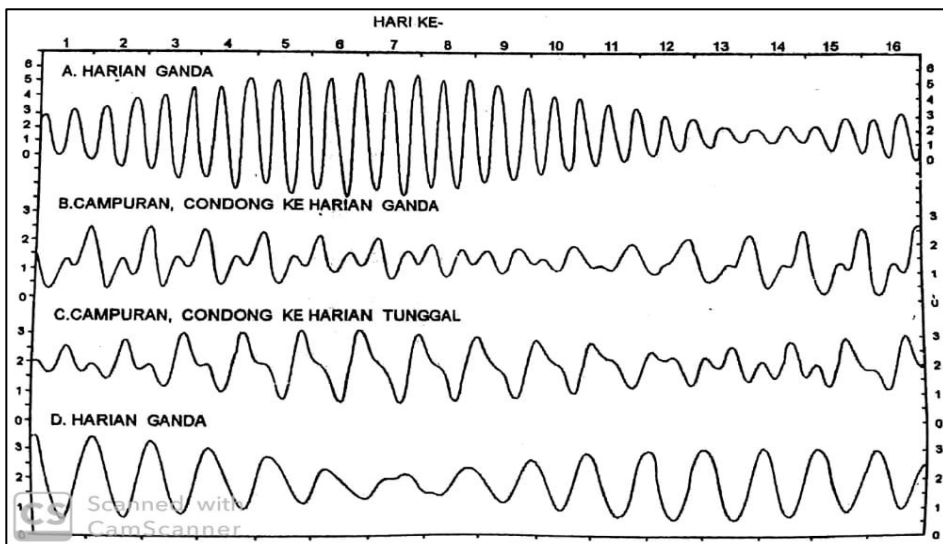
Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari (Triatmodjo, 2010).

1.12.1 Tipe Pasang Surut

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu :

- Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)
Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut.
- Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)
Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan satu kali air surut , tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
- Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode berbeda.



Gambar 13 Tipe pasang surut
(Sumber : Triatmodjo, 1999:120)

Yuwono. N. 1982, menyatakan tipe-tipe pasang surut di atas dapat diketahui dengan menggunakan angka pasang surut (*tide of number*) atau bilangan *Formzhal* (F) :

$$F = \left(\frac{AK1 - A01}{AM2 + AS2} \right) \quad (48)$$

Dimana:

F : Angka Pasang Surut (Bilangan *Formzhal*)

- AK₁ : Amplitudo Dari Komponen Pasang Surut K₁
 AO₁ :Amplitudo Dari Komponen Pasang Surut O₁
 AM₂ :Amplitudo Dari Komponen Pasang Surut M₂
 AS₂ :Amplitudo Dari Komponen Pasang Surut S₂

Klasifikasi pasang surut dilakukan sebagai berikut :

$F \leq 0,25$ = Pasang Surut Harian Ganda (*Semidiurnaltide*) atau dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan ketinggian hampir sama.
 $0,25 < F < 1,50$ = Pasang Surut Campuran Condong Harian Ganda atau dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan ketinggian yang berbeda.
 $1,50 < F < 3,00$ = Pasang Surut Campuran Condong Harian Tunggal atau dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dan kadang – kadang terjadi dua kali air pasang dalam satu hari yang besar pada tinggi dan waktu. $F \geq 3,0$ = Pasang Surut Harian Tunggal (*Diurnal Tide*) atau dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut

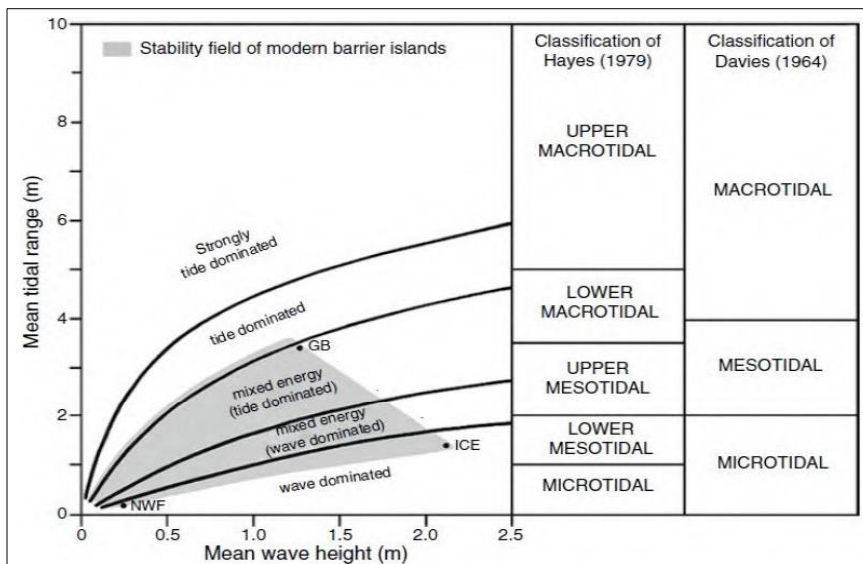
1.12.2 Beberapa Definisi Elevasi Muka Air

Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu bangunan pantai. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut :

- Muka air tinggi (*high water level, HWL*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut
- Muka air rendah (*low water level, LWL*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut
- Muka air tinggi rerata (*Mean high water level, MHWL*), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun
- Muka air rendah rerata (*mean low water level, MLWL*), adalah rerata air dari muka air rendah selama periode 19 tahun
- Muka air rerata (*mean sea level, MSL*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan
- Muka air tertinggi (*highest high water level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
- Muka air terendah (*Lowest low water level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
- Higher high water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut campuran
- Lower low water level*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

1.13 Hubungan Pasang Surut dan Gelombang Terhadap Pembentukan Pantai

Perubahan pada lingkungan pantai terjadi secara cepat ataupun lambat yang dipengaruhi oleh topografi, gelombang, pasang surut, dan angin (Opa, 2011). Perubahan garis pantai dipengaruhi oleh gelombang, angin dan pasang surut (Angkotasari et al., 2012). Hayes (1979) mengusulkan klasifikasi pasang surut dalam lima subdivisi yaitu (<1 m: microtidal; 1-2 m: lower mesotidal; 2-3,5 m : upper mesotidal; 3,5-5,0 m : lower macrotidal; >5.0 m: upper macrotidal). Hal ini merupakan penyempurnaan dari klasifikasi yang umum digunakan yaitu klasifikasi menurut Davies (1964) yang hanya membedakan tiga kategori (<2 m : microtidal; 2-4 m : mesotidal; > 4 m : macrotidal). Hubungan antara tinggi gelombang rata-rata (mean wave height) dan tunggang pasang surut rata-rata (mean tidal range) dijelaskan oleh Davies dan Hayes pada Gambar 14. Sebagai contoh pesisir teluk barat laut Florida (NWF), dimana perairannya memiliki karakteristik gelombang dan pasang surut yang rendah (low wave/low tidal), German Bright (GB) yang memiliki karakteristik perairan bergelombang sedang (intermediate wave) dan pasang surutnya tinggi (high tidal) serta pantai penghalang bagian tenggara Islandia (ICE) yang perairannya bergelombang tinggi (high wave) dengan pasang surut sedang (intermediate tidal) (Davis, 2012).



Gambar 14 Hubungan antara gelombang dan pasang surut berdasarkan klasifikasi Davies (1964) dan Hayes (1979) (Davis, 2012)

1.14 Koreksi Garis Pantai

Koreksi garis pantai ini bertujuan untuk meminimalisir kesalahan saat melakukan perekaman citra terhadap pasang surut. Proses pengkoreksian ini dimulai dengan penentuan kemiringan rata-rata profil pantai dari garis pantai sampai batas kontur batimetri yang di tinjau.

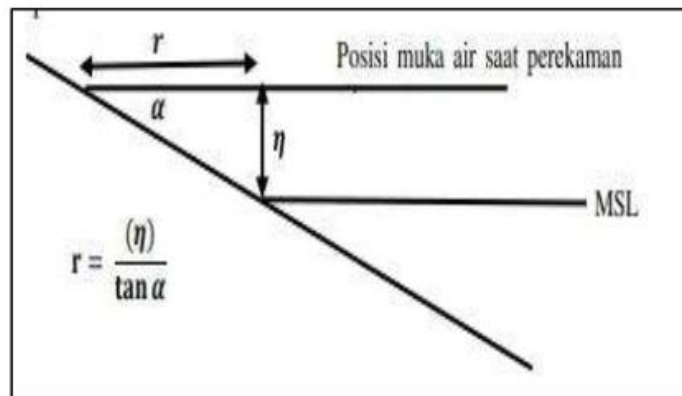
$$\tan \alpha = \left(\frac{d}{x} \right) \quad (48)$$

Keterangan:

d = Kedalam perairan (m)

x = Jarak titik pengukuran kedalaman (m)

Kemudian selanjutnya mencari selisih jarak muka air (η) pada saat citra direkam terhadap Mean Sea Level (MSL), sehingga diperoleh jarak garis pantai seperti pada gambar 1 (Indri et al.,2021).



Gambar 15 Posisi tinggi muka air pada saat perekaman citra

1.15 Peta Bathimetri

Batimetri atau kedalaman air laut merupakan ukuran kedalaman daerah perairan laut yang diukur dari atas permukaan air ke dasar laut. Peta batimetri adalah data spasial yang berisi informasi kedalaman suatu daerah perairan. Informasi batimetri dapat menggambarkan tentang kondisi struktur dan bentuk dasar perairan dari suatu daerah (Setiawan, 2013).

1.16 Sedimentasi

Sedimen merupakan material bahan padat, berasal dari batuan yang mengalami proses pelapukan, peluluhan, diangkut oleh air, angin dan gaya gravitasi, serta pengendapannya di proses oleh alam sehingga membentuk lapisan-lapisan di permukaan bumi (Bates & Jackson 1987 dalam Piranto et al., 2019). Segala sesuatu yang terbawa oleh air laut umumnya dikategorikan sebagai sedimen. Menurut (Bayhaqi & Dunga, 2015) sedimen pada umumnya

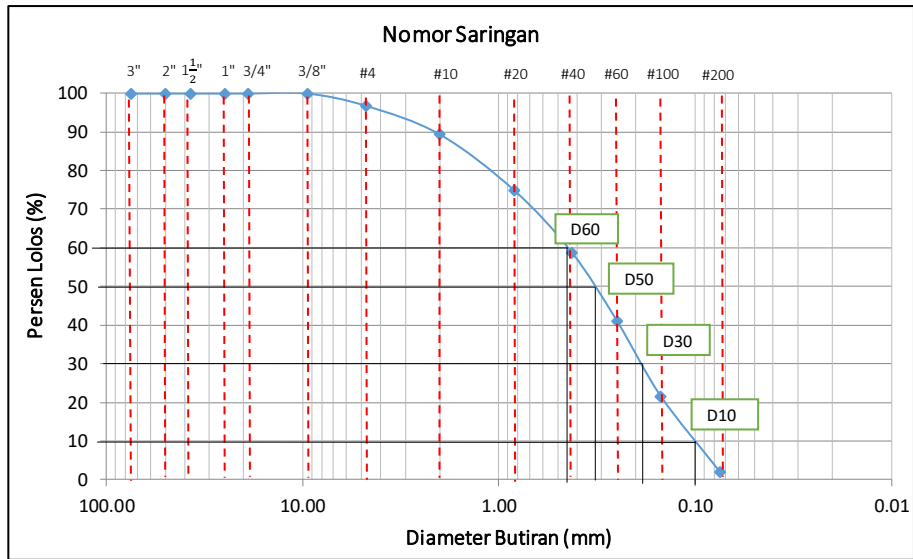
berupa partikel yang berasal dari pecahan cangkang, sisa kerangka organisme maupun pembongkaran bebatuan.

Sedimen yang tersusun dari batuan, mineral, dan material organik, secara alamiah selalu ada dalam sungai, danau, estuary, dan air laut. Sedimen ini terbawa oleh aliran air dari satu tempat ke tempat yang lain sampai mengendap pada lokasi tertentu dan berujung pada air laut. (Rachman, 2019) menjelaskan arus yang ditimbulkan oleh pasang surut membawa material sedimen dalam jumlah yang cukup besar. Selain dari pengaruh arus, energi gelombang juga sangat berpengaruh terhadap distribusi sedimen. Sedimentasi merupakan peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin (Khatib, 2013). Sedimentasi dapat diartikan sebagai proses terangkutnya/ terbawanya sedimen oleh suatu limpasan/ aliran air yang diendapkan pada suatu tempat yang kecepatannya melambat atau terhenti seperti pada saluran sungai, waduk, danau maupun kawasan tepi teluk / laut (Hidayah, 2017).

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. Diantara beberapa sifat tersebut, distribusi ukuran butir adalah yang paling penting.

1.16.1 Ukuran Partikel Sedimen

Klasifikasi sedimen pantai menurut Wentworth, diklasifikasikan berdasarkan 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 3 Distribusi ukuran butir biasanya dianalisis dengan saringan dan dipresentasikan dalam bentuk kurva presentase berat kumulatif seperti pada gambar berikut ini. Ukuran butir median D_{50} adalah ukuran butir yang sering digunakan sebagai ukuran butir pasir.



Gambar 16 Distribusi ukuran butir

Tabel 3 Klasifikasi Ukuran Butir dan Sedimen

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 Halu	0,125	3
Lumpur	Kasar	0.063	4
	Sedang	0,031	5
	Halus	0,015	6

Lempung	Sangat Halus	0,0075	7
	Kasar	0,0037	8
	Sedang	0,0018	9
	Halus	0,0009	10
	Sangat Halus	0,0005	11
		0,0003	12

(Sumber : Triatmodjo, 1999:167)

1.16.2 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 sedimen menuju dan meninggalkan pantai, (*onshore-offshore transport*) yang 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 lainnya terjadi sedimentasi (Triatmodjo, 1999).

Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = K P_i^n \quad (49)$$

$$P_i = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (50)$$

Dengan :

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)

K, n = Konstanta

Rumus angkutan sedimen sepanjang pantai menurut CERC (*Coastal Engineering Research Center*) sebagai berikut

$$Q_s = 0,014 P_i \quad (51)$$

Dengan Q_s mempunyai satuan $m^3/detik$. Apabila dikehendaki Q_s dalam $m^3/tahun$ maka persamaan tersebut menjadi

$$Q_s = 0,44 P_i \quad (52)$$

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.

1.16.3 Angkutan Sedimen Menuju-Meninggalkan Pantai

Gerak air didekat dasar menimbulkan tegangan geser pada sedimen dasar nilai tegangan geser dasar τ_b lebih besar dari tegangan kritik erosi τ_{bc} , partikel sedimen mulai bergerak. Dianggap bahwa berat terendam partikel sedimen yang bergerak tiap satuan luas adalah sebanding tegangan geser,

$$N \frac{\pi}{6} (\rho_s - \rho) g D^3 = k_1 \tau_b \quad (53)$$

dengan N adalah jumlah partikel yang bergerak tiap satuan luas, ρ_s dan D adalah rapat massa dan diameter partikel, ρ adalah rapat massa air, g adalah percepatan gravitasi dan k_1 adalah konstanta tak berdimensi. Selanjutnya dianggap bahwa partikel sedimen transport dengan kecepatan yang sebanding dengan kecepatan di dekat dasar u_b . Transport sedimen tiap satuan lebar, i_s , dalam arah u_b diberikan oleh:

$$i_s = N \frac{\pi}{6} (\rho_s - \rho) g D^3 k_2 u_b = k_1 k_2 \tau_b u_b \quad (54)$$

dengan k_2 juga koefisien tak berdimensi.

1.17 Pemodelan Perubahan Garis Pantai

1.17.1 NEMOS

NEMOS (*Nearshore Evolution Modeling System*) merupakan seperangkat program/software yang digunakan sebagai suatu sistem untuk mensimulasikan perubahan pantai dalam jangka waktu yang panjang sebagai reaksi terhadap kondisi gelombang, Struktur pantai dan kegiatan teknik di pantai. Program ini 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*, *breakwaer* terpisah, dinding dan juga pengerukan pantai), RCPWAVE (model 2D gelombang tetap, model *finite difference* untuk mensimulasikan penyebaran gelombang sepanjang kondisi bathimetri di luar area gelombang/ *surfzone*) dan STWAVE (menggunkan 2D *finite diffrence* menggunakan bentuk sederhana persamaan keseimbangan spektrum untuk mensimulasikan daerah pantai dengan waktu tak terbatas penyebaran spektrum energi gelombang). NEMOS sendiri merupakan bagian dari beberapa

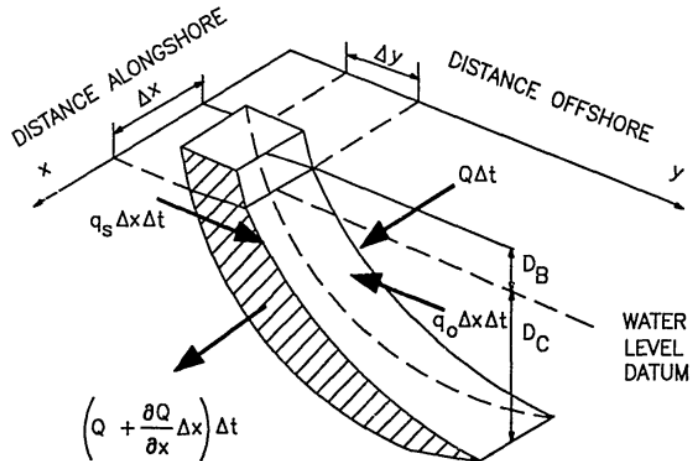
program analisis pantai yang disebut dengan CEDAS (*Coastal Engineering Design & Analysis System*)(Hanson & Kraus, 1989).

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

- a. RCPWAVE (*Regional Coastal Processes Wave*) merupakan program untuk mensimulasikan penjalaran gelombang dan perubahan bentuk gelombang akibat adanya perubahan kontur dasar laut (bathimetri).
- b. 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.
- c. SPECGEN (*Spectrum Generator*) merupakan sub program untuk import data membangun dan menampilkan spektrum gelombang untuk STWAVE.
- d. GRIDGEN (*Grid Generator*) merupakan sub program dalam NEMOS untuk membangun spasial domain dari wilayah kajian.
- e. WMV (*Wave Model Visualization*) merupakan suatu aplikasi untuk menampilkan hasil simulasi dalam bentuk gambar maupun grafik.
- f. 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.
- g. WWWL Data (*Wave, Winds and Water Level Data*) yang digunakan untuk editing data gelombang, dan tinggi muka air.
- h. WISPH3 (*Wave Information Study Phase 3*) merupakan sub program untuk transformasi spektral data gelombang.
- i. GENESIS (*GENERalized model for SImulating Shoreline Change*) merupakan sub program untuk memodelkan perubahan garis pantai.

1.17.2 GENESIS

Persamaan perubahan garis pantai berasal dari persamaan transport volume. Di mana berdasarkan sumbu kartesian, sumbu-y merupakan arah lepas pantai sedangkan sumbu-x merupakan memanjang paralel terhadap pantai.



Gambar 17 Pembagian pantai menjadi sejumlah sel
(Sumber : Komar, 1983)

Diasumsikan bahwa profil pantai berubah sesuai pada arah lepas pantai dan searah pantai dengan bentuk yang tetap ketika sejumlah transport pasir masuk atau keluar dari pias tersebut selama selang waktu Δt . Perubahan pada posisi pantai adalah Δy , sementara panjang pias pantai Δt , dan profil bergerak pada arah vertikal sampai pada kedalaman gelombang pecah.

Perubahan pada volume pias diberikan sebagai $\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C)$ dan dipengaruhi oleh jumlah transport pasir yang masuk dan keluar dari pias. Perubahan volume terjadi karena ada perbedaan ΔQ pada *longshore sand transport rate* Q pada arah lateral dari pias. Perubahan volume yang terjadi adalah $\Delta Q \Delta t = (\partial Q / \partial x \Delta x \Delta t)$. Penyebab yang lain dapat timbul dari pasir yang berasal dari darat q_s atau dari arah *offshore* q_o . Yang diberikan dengan persamaan $q = q_s + q_o$. Hal ini memberikan perubahan volume sebesar $\Delta q \Delta t$. Dengan menyertakan hal tersebut, dan mengambil limit $\Delta t \rightarrow 0$. Persamaan perubahan garis pantai :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(d_b + d_c)} \left[\frac{\partial Q}{\partial x} q \right] = 0 \quad (55)$$

Perubahan garis pantai merupakan fenomena alam yang terjadi terus menerus (dinamis). Model yang digunakan dalam GENESIS mengacu pada persamaan yang diberikan oleh Komar (1984) berikut ini :

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{1}{db} \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (56)$$

di mana :

y = Jarak antara garis pantai dan garis referensi

db = kedalaman air saat gelombang pecah

Qs = Transpor sedimen sepanjang pantai

t = Waktu

x = Abis searah garis pantai.

Sedangkan rumus hubungan yang sederhana antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai dalam bentuk :

$$Q_s = K P_1^n \quad (57)$$

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (58)$$

Dimana :

Qs = angkutan sedimen sepanjang pantai (m³/hari)

P₁ = komponen fluks energi gelombang pada saat pecah

ρ = rapat massa air laut

H_b = tinggi gelombang pecah

C_b = cepat rambat gelombang pecah (m/d)

α_b = sudut datang gelombang pecah

K, n = konstanta

Sedangkan dalam GENESIS persamaan tersebut diubah menjadi seperti berikut (H Hanson, 1989) :

$$Q = (H_b^2 C_b) \left[a_1 \sin^2 \alpha_b - a_2 \cos \alpha_b \frac{\partial H_b}{\partial x} \right] \quad (59)$$

Dengan :

$$a_1 = \frac{k_1}{16 (S-1)(1-P)(1,416)^{5/2}} \quad (60)$$

$$a_2 = \frac{k_2}{8 (S-1) \tan \beta (1,416)^{7/2}} \quad (61)$$

k₁ = Koefisien empiris, parameter kalibrasi pertama dalam genesis, adalah besarnya laju angkutan sedimen (K₁>0, antara 0,1-1)

k₂ = Koefisien empiris, parameter kalibrasi pertama dalam genesis, adalah distribusi sedimen dalam daerah yang diperhitungkan

- S = p_s/p
 ρ_s = Massa jenis sedimen/tanah ($2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ untuk kuarsa tanah/sedimen)
 ρ = Rapat massa air laut ($1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
 p = porositas pasir di dasar laut
 $\tan \beta$ = Rata-rata kemiringan dasar dari garis pantai ke kedalaman aktif laju angkutan sedimen sepanjang pantai.

1.18 Kalibrasi Model

Proses kalibrasi merupakan prosedur berulang untuk mencocokkan keluaran model sedekat mungkin dengan perubahan garis pantai yang diukur atau laju perubahan garis pantai. Masalah yang paling umum dalam proses kalibrasinya adalah kurangnya posisi historis garis pantai yang diukur, namun dengan pesatnya perkembangan teknologi penginderaan jauh, posisi historis garis pantai dapat dianalisis untuk proses kalibrasi (Sukitno & Keisuke Murakami, 2015).

Dalam mempersiapkan model GENESIS untuk simulasi adalah melakukan kalibrasi model pada daerah studi. Hal ini dilakukan dengan memilih posisi garis pantai di dua kondisi waktu tertentu, dan menjalankan model GENESIS untuk menghitung perubahan yang terjadi terhadap garis pantai awal. Kedua koefisien kalibrasi GENESIS k_1 dan k_2 disesuaikan pada setiap menjalankan model dalam prosedur iterasi, untuk mencocokkan keluaran model sedekat mungkin dengan garis pantai hasil pengukuran atau hasil analisis tingkat perubahan garis pantai selama periode kalibrasi (Sukitno dkk, 2015). Hal ini sejalan dengan pernyataan dari Dwi Puspo Handoyo (2014) menyatakan bahwa dalam kalibrasi Genesis yakni menggunakan metode trial and error dalam memasukkan nilai k_1 dan k_2 hingga memperoleh prosentase kesalahan terkecil.

Untuk penyesuaian koefisien kalibrasi, Hanson (1989) dalam Sukitno dkk (2015) merekomendasikan untuk pantai berpasir bahwa nilainya kalibrasi geneisi biasanya berada pada kisaran $0,1 < k_1 < 1,0$ dan $0,5 k_1 < k_2 < 1,0 k_1$.

Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan dua hasil pengukuran dan simulasi yang dapat dilihat pada persamaan berikut (Handoyo et. al, 2014):

$$\text{Kesalahan Relatif} = \left[\frac{X - X_i}{X} \right] 100\% \quad (62)$$

Dalam hal ini :

- X = Garis pantai hasil Pengukuran
 X' = Garis pantai hasil pemodelan GENESIS

1.19 Konsep Perlindungan dan Penanganan Daerah Pantai

Menurut Permen PUPR No 7 tahun 2015 Tentang Pengama Pantai mengatakan “Pengamanan Pantai” adalah upaya untuk melindungi dan mengamankan daerah pantai dan muara sungai dari kerusakan akibat erosi, abrasi, dan akresi.

Konsep pengamanan dan perlindungan daerah pemukiman pantai menurut Nur Yuwono, 1997 mempunyai tingkat pengamanan dan perlindungan pemukiman yaitu masyarakat yang tinggal di sepanjang pantai dari ancaman gelombang merupakan prioritas pertama untuk dicegah dari kerusakan pantai.

Kegiatan perlindungan dan penanganan pantai bertujuan terutama untuk melindungi dan mengamankan :

- masyarakat yang tinggal di sepanjang pantai dari ancaman gelombang,
- fasilitas umum yang berada di sepanjang pantai diantaranya adalah jalan raya, rumah ibadah, pasar, kompleks pertokoan dan kawasan rekreasi,
- dataran pantai terhadap ancaman erosi dan abrasi,
- perlindungan alami pantai (hutan mangrove, terumbu karang, sand dunes) dari kerusakan akibat kegiatan manusia,
- terhadap pencemaran lingkungan perairan pantai, yang pada akhirnya pencemaran ini dapat merusak kehidupan biota pantai.

Dalam menentukan kegiatan pengamanan, prioritas akan diberikan kepada perlindungan dan pengamanan yang menyangkut tingkat kepentingan yang lebih tinggi yaitu yang berkaitan dengan jiwa dan perekonomian daerah yang vital. Urutan tingkat kepentingan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut (Hidayat, 2006) :

Tabel 4 Urutan tingkat prioritas perlindungan dan pengamanan pantai

Peringkat 1	: Tempat usaha, tempat ibadah, industri, cagar budaya dan suaka alam, kawasan wisata yang mendatangkan devisa negara, jalan negara, daerah perkotaan, dsb.
Peringkat 2	: Desa, jalan provinsi, pelabuhan laut/sungai, bandar udara dsb.
Peringkat 3	: Tempat wisata domestik, lahan pertanian dan atau tambak intensif
Peringkat 4	: Lahan pertanian dan atau tambak tradisional
Peringkat 5	: Hutan lindung, hutan bakau
Peringkat 6	: Sumber material, bukit pasir dan tanah kosong.

1.19.1 Kontruksi Bangunan Laut dan pantai

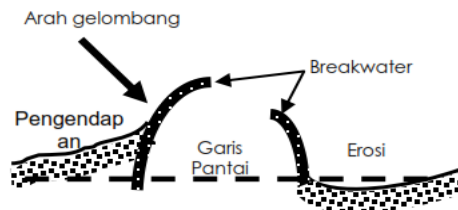
1. *Breakwater* (Mengurangi energigelombang yang mengenai pantai)

Pengurangan tenaga gelombang yang menghantam pantai dapat dilakukan dengan membuat bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (*Offshore Breakwater*). dengan adanya breakwater gelombang yang datang akan menghantam pantai sudah pecah pada suatu tempat yang agak jauh dari pantai,

sehingga energi gelombang yang sampai di pantai cukup kecil. Breakwater juga digunakan untuk menahan sedimen yang kembali ke laut yang disebabkan oleh arus laut (*onshore-offshore transport*). Lama kelamaan sedimen yang tertahan tersebut menumpuk dan membentuk tombolo, tombolo ini nantinya berfungsi sebagai penahan sedimen sejajar pantai, tapi pembentukan tombolo ini memakan waktu yang lama. Pemecah gelombang (*breakwater*) dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang lepas pantai dan pemecah gelombang sambung pantai (Triadmodjo:137, 2011)



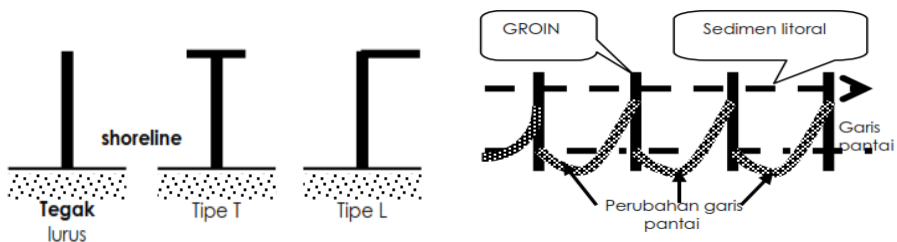
Gambar 18 Offshore breakwater dan pembentukan tombolo pada pantai yang dipasang breakwater



Gambar 19 Shore connected Breakwater dan Pengaruhnya terhadap Garis Pantai

2. Groyne (Mengubah laju angkutan sedimen sejajar pantai dengan)

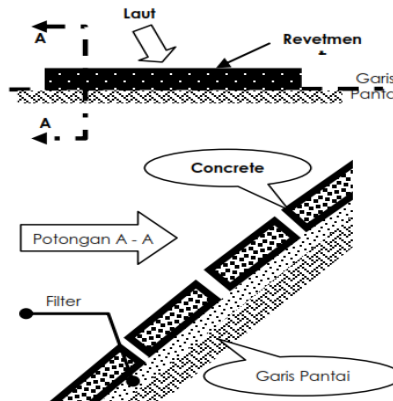
Efektifitas suatu groyne dalam mengatur angkutan pasir sepanjang pantai sangat tergantung pada tinggi, panjang dan jarak groyne tersebut. Kelemahan sistem groyne adalah terjadinya erosi di bagian hilir (*down drift*) groyne, sehingga untuk melindungi pantai secara menyeluruh harus dipertimbangkan sejauh mana garis pantai harus dipasang groyne tersebut. Groyne cukup efektif untuk pantai berpasir dan kurang efektif untuk pantai berlumpur.



Gambar 20 Beberapa tipe groyne dan groyne yang berfungsi sebagai penghalang sediment litoral

3. *Revetment* (Memperkuat tebing pantai)

Konstruksi perkuatan tebing pantai ini berfungsi untuk melindungi tanah atau bangunan di belakang dinding/revetmen tersebut dari gempuran gelombang, sehingga tanah tidak tererosi. Revetmen digunakan untuk perlindungan terhadap gelombang yang relatif kecil.



Gambar 21 *Revetment*

4. *Seawall* (Memperkuat tebing pantai)

Adalah struktur perlindungan pantai yang diletakkan sejajar garis pantai yang berfungsi menahan gelombang penuh dan sebagai penahan timbunan tanah. Seawall biasanya digunakan untuk melindungi pantai terhadap gelombang yang cukup besar.

1.19.2 Strategi Penanganan

Pemilihan jenis perlindungan pantai yang strategis sangat dipengaruhi oleh lokasi dan karakteristik daerah yang hendak dilindungi. Strategi penanganan dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Tidak dilakukan penanganan (*do nothing*)
Hal ini dipilih apabila kerusakan di area pantai tidak menimbulkan dampak negatif ditinjau dari aspek sosial, ekonomi serta lingkungan, misalnya areal perladangan, hutan dan tanah kosong atau apabila dilakukan penanggulangan akan memakan biaya yang sangat besar sehingga ditinjau dari aspek ekonomi tidak menguntungkan. Pada pantai semacam ini erosi dibiarkan berlangsung terus sampai tercapai keseimbangan.
2. Mempertahankan garis pantai yang ada
Pilihan ini dilakukan apabila pantai yang mengalami kerusakan merupakan pantai yang relatif menguntungkan ditinjau dari aspek sosial, budaya, ekonomi maupun lingkungan. Ditinjau dari aspek sosial misalnya area pemukiman penduduk, dari aspek budaya misalnya tempat peribadatan dan peninggalan bersejarah, dari aspek ekonomi misalnya pertambakan atau persawahan, sedang dari aspek lingkungan misalnya hutan mangrof.
3. Mengembalikan garis pantai pada kedudukan sebelum terjadi erosi.

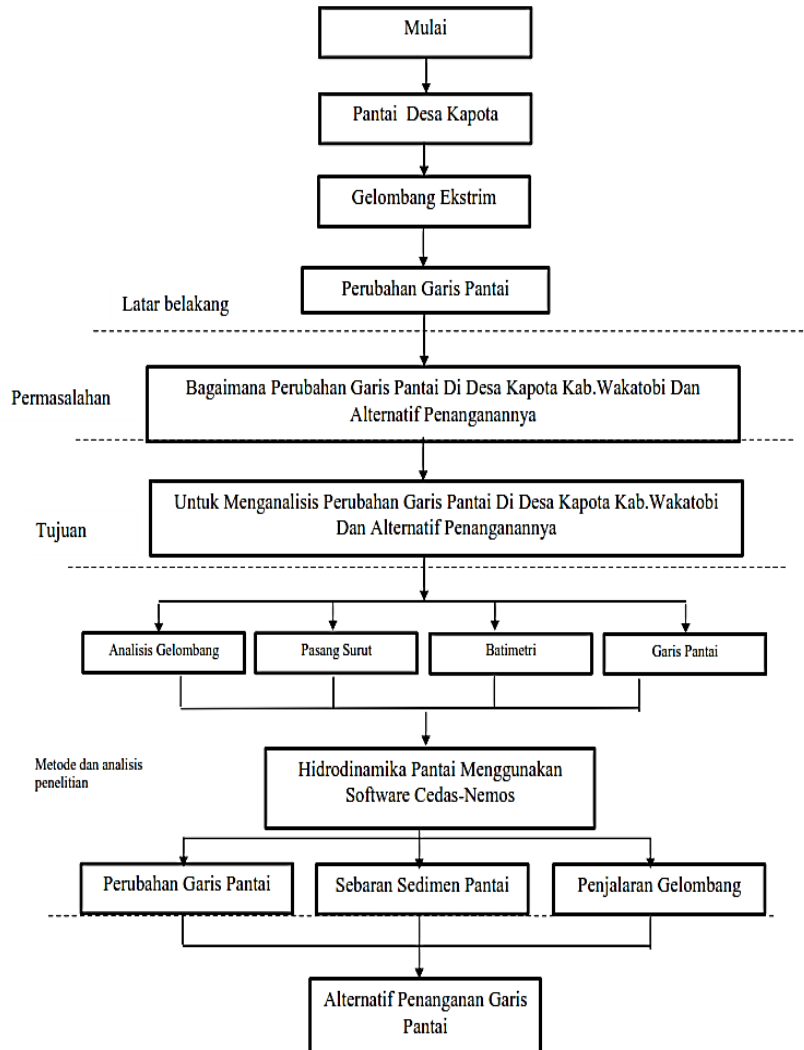
Pilihan ini dilakukan apabila kerusakan pantai terjadi pada area yang kemunduran pantainya menyebabkan luas manfaat pantai untuk kepentingan umum.

Strategi 2 dan 3 adalah strategi pengamanan pantai terhadap permasalahan yang terjadi. Masing-masing pilihan strategis harus dipertimbangkan dengan dampak yang mungkin terjadi. Semua ini harus didasarkan pada tujuan yang telah ditetapkan dan pengkajian terhadap keuntungan dan biaya dari pilihan strategis tersebut harus dilakukan untuk menetapkan kelayakan secara ekonomi. Pilihan strategis yang ditetapkan harus dilakukan secara berkesinambungan dan dampak negatif sekecil mungkin.

Aspek yang perlu dipertimbangkan dalam penanganan kerusakan pantai antara lain :

- a. Identifikasi faktor yang menjadi penyebab terjadinya permasalahan.
- b. Usaha yang perlu dilakukan untuk menangani permasalahan tersebut.
- c. Kedua aspek tersebut harus dilakukan secara simultan, sebab mengetahui faktor pertama tidak mengatasi permasalahan, sedang mementingkan faktor kedua tanpa mengetahui faktor pertama akan memperoleh hasil yang tidak sesuai dan akan menimbulkan permasalahan baru.

1.20 Bagan Alir Kerangka Pikir



Gambar 22 Bagan Alir Kerangka Pikir

1.21 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan upaya penulis untuk memperoleh bahan perbandingan, dan referensi yang dapat memperkaya materi penulisan sehingga penulis lebih fokus terhadap cara penyelesaian masalah yang dikembangkan. Penelitian terdahulu dapat memberikan referensi berupa kajian tentang perubahan garis pantai, alternatif pengangan serta perhitungan dan kemiripan kondisi atau karakter lokasi, sehingga lebih dapat dikembangkan pada objek penelitian penulis. Meskipun demikian, penelitian terdahulu yang memiliki judul atau tujuan yang mirip tapi kondisi objek penelitian, metode perhitungan ataupun skenario penanganan masalah yang berbeda disebabkan oleh karakteristik lokasi yang sangat berbeda ataupun sebaliknya. Sehingga kolaborasi berbagai referensi diharapkan dapat memberikan referensi secara utuh. Penelitian terdahulu yang telah meneliti terkait dengan perubahan garis pantai yang di sebabkan gelombang laut antara lain:

Tabel 5 Penelitian terdahulu

No	Judul	Penulis (Tahun)	Tujuan	Metode	Hasil
1	2D modeling of current patterns and sediment patterns on Pasir Beach, Kebumen	AID Puspita, Muh. Arsyad Thaha, B Hidayah (2022)	Menentukan pola arus dan pola sedimentasi di pantai Pasir khususnya di Kawasan Pelabuhan pendaratan ikan dengan pemodelan 2D.	Pemodelan 2 dimensi menggunakan software RMA2 dan SED2D. Mensimulasikan sebaran konsentrasi sedimen selama 10 hari di lokasi Pelabuhan pendaratan ikan.	Fluktuasi kecepatan arus tidak signifikan karena kecepatannya kecil. Peningkatan kecepatan pada arus lebih dominan disebabkan oleh pengaruh lebar yang sempit dari mulut Pelabuhan, badan air menyebar sehingga kecepatan arus juga akan menyebar.
2	Analysis of Longshore Sediment Transport at Theestuaries of Jeneberang River and Tallo River Caused by Waves on Coast of Makassar	Riswal Karamma, M. Saleh Pallu, M. Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta,A. Subhan Mustari, Ahmad Syarif Sukri (2020)	untuk mengetahui arah transport sedimen di sepanjang pantai pada muara Suangai Jeneberang dan Sungai Tallo yang di akibatkan oleh gelombang di Pantai Makassar	Deskripsi Kualitatif, hasil penelitan dan analisis. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisi arah dan kecepatan angin, analisis effective fetch, peramalan gelombang, analisis gelombang pecah dan analisis transport sedimen	longshore sediment transport di muara Sungai Tallo relatif mengarah ke utara atau menjauhi Pantai Makassar sedangkan pada sungai Jeneberang relatif mengarah ke utara atau menuju ke pantai Makassar
3	Perencanaan Alternatif Bangunan Pengaman Pantai Namrole Kab.Buru Selatan - Maluku	Muhammad Aldin, Muh. Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta (2015)	untuk mengetahui alternatif bangunan pengaman pantai yang sesuai untuk menangani permasalahan dari mundurnya atau tererosinya pantai Namrole akibat hantaman gelombang laut	Peramalan gelombang menggunakan metode Hindcasting dan pemilihan bangunan pantai dilakukan dengan metode studi alternatif dan pemodelan bangunan pantai dengan bantuan aplikasi CEDAS NEMOS, dari beberapa model bangunan pantai yang dimodelkan	Hasil simulasi perubahan garis pantai menggunakan program CEDAS-NEMOS dengan membandingkan kondisi existing, penambahan tembok laut (seawall), detached breakwater dan penambahan groin, dipilih seawall sebagai solusi bangunan pengaman pantai.
4	Development of Coastal Protection Structure in Karawang Coastal Area of Indonesia	Eny Budi Sri Haryani, Roberto Pasaribu, Liliek Soeprijadi,Anthony Anthonny	untuk merencanakan struktur pengam pantai Karawang dan menentukan jenis bangunan yang sesuai untuk Pantai Karawang	penentuan jenis struktur pelindung pantai dengan cara mengumpulkan dan menganalisis data lokasi yang telah mengalami kerusakan, dimana bathimetri, gelombang, garis pantai,pasang	Analisi melalui simulasi dan penentuan struktur pantai yang terpilih, dengan hasil bahwa struktur pelindung pantai yang sesuai adalah pemecah gelombang dan groin karena dapat meredam limpahan

		Djari, Chrisoetanto P.Pattirane (2021)		surut dan arus di validasi dengan melakukan Ground Check Point (GCP) di sepanjang pantai dan prediksi perubahan garis pantai menggunakan aplikasi CEDAS NEMOS Modul GENEISI	gelombang yang terjadi, sehingga pantai terlindung dari gempuran gelombang yang merusak
5	Model Numerik Untuk Simulasi Alternatif Perlindungan Pantai Berbasis Sistem Informasi Geografis	Sigit Sutikno, Dwi Puspo Handoyo, Manyuk Fauzi, dan Keisuke Murakami (2015)	Penelitian ini melakukan simulasi numerik alternatif perlindungan pantai dalam rangka untuk mitigasi fenomena abrasi di Pantai Tanjung Motong Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GENESIS (GENERalized model for Simulating Shoreline change).	Data-data yang dipakai untuk pemodelan adalah data topografi, bathimetri, angin dan jenis tanah. Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan data angin setiap jam selama 12 tahun (2001 – 2012) untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang rencana. Data garis pantai dianalisis berbasis sistem informasi geografis dengan menggunakan DSAS (Digital Shoreline Analysis System) untuk mendapatkan laju perubahan garis pantai pada kurun waktu tersebut. Tujuan utama proses kalibrasi adalah untuk mendapatkan nilai koefisien K1 dan K2 dari model numerik sedemikian sehingga tingkat perubahan garis pantai memiliki korelasi yang baik dengan hasil analisis data satelit.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa fenomena abrasi akan terus berlanjut jika tidak ada penanganan secara struktural. Skenario perlindungan pantai baik berupa seawall maupun detach breakwater bisa mencegah terjadinya fenomena abrasi di Pantai Tanjung Motong.
6	Calibration of Numerical Model for Shoreline Change Prediction Using Satellite Imagery Data	Sigit Sutikno, Keisuke Murakami , Dwi Puspo Handoyo, and Manyuk Fauzi (2015)	menyajikan metode kalibrasi model numerik untuk memprediksi perubahan garis pantai menggunakan data citra satelit pada pantai berlumpur (Pantai Tanjung Motong) dengan perangkat lunak GENESIS	perbandingan laju perubahan garis pantai antara keluaran model GENESIS dengan hasil analisis DSAS (Digital Shoreline Aanalysis System	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prediksi perubahan garis pantai memiliki korelasi yang baik dengan data historis di pantai Tanjung Motong. Hal ini menunjukkan bahwa program GENESIS tidak hanya dapat digunakan untuk memprediksi garis

			(GENERALized Model for Simulating Shoreline Change) yang telah banyak digunakan di banyak studi kasus perubahan garis pantai berpasir		pantai berpasir tetapi juga pantai berlumpur.
7	Analisis Pengaruh Breakwater Terhadap Transpor Sedimen Pantai Sindulang 1 Sampai Tumumpa 2	Merry Kristin Manansang, Liany A Hendratta, Ariestides K.T. Dundu (2018)	Mengetahui dan memahami konfigurasi bangunan pantai yang tepat sehubungan dengan transport sedimen dan mengetahui sejauh mana pengaruh breakwater terhadap jumlah sedimen yang terangkut.	Pemodelan garis pantai dengan Software CEDAS-GENESIS dengan beberapa variasi penempatan breakwater, dimana data gelombang diperoleh dari data angin yang dianalisa dengan metode SMB	bangunan dengan Variasi II (Breakwater yang dipasang sebanyak 2 buah, masing-masing ditempatkan pada grid 20- 22, 30 - 60, 66 -70 , 80 - 115. Panjang breakwater berurutan adalah 100 m. adalah konfigurasi yang paling tepat untuk dapat dijadikan sebagai alternatif pemasangan bangunan pantai, karena mampu memajukan garis pantai yang paling besar yaitu 476 m dalam kurun waktu 11 tahun
8	Alternatif Bangunan Pengaman Pantai Di Desa Saonek, Kabupaten Raja Ampat	Merry Kristin Manansang, Liany A Hendratta, Ariestides K.T. Dundu (2019)	bertujuan menghasilkan uraian mendalam terkait bangunan pengaman pantai di pesisir Pulau Saonek dengan penerapan ilmu teknik sipil dengan menggunakan bantuan software pemodelan GENESIS-CEDAS	pemodelan garis pantai dengan Cedas Genesis yakni menambahkan breakwater, groin dan seawall dan data gelombang diperoleh dari analisis data angin dari BMKG Kota Sorong Satsiun Segun,serta data bathimetri pada software Navionics	Setelah melakukan pemodelan peramalan dengan menambahkan 3 bangunan pengaman pantai pada daerah tinjauan dan analisa data output, daerah yang ditinjau mengalami pengurangan garis pantai dan penambahan akibat endapan sedimentasi yang variatif pada masing-masing hasil running pemodelan.
9	Analisis Karakteristik Sedimen Sungai Bialo Dengan Aplikasi Surface Water Modeling System	Rita Tahir Lopa, Riswal Karamma, Andi Sarimai (2017)	Analisa kerakertistik sedimen dilakukan untuk mengetahui jenis sedimen dan serta untuk menggambarkan pemodelan sebaran sedimen	Deskripsi Kualitatif, hasil penelitian dan analisis. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisi diameter butiran sedimen, Berat Jenis sedimen dan data aliran, topografi serta geometri sungai	Hasil Pengujian karakteristik sedimen diperoleh jenis sedimen yaitu lempung organik (organic clay). Besar diameter sedimen (D90) pada downstream sungai Bialo adalah 1,28 mm dan (D50) adalah 0,23 mm. Untuk tampungan

			menggunakan aplikasi SMS 8.1.	sebagai input data SMS (Surface water modeling system)	sedimen pada sungai bialo sebesar 536143536 ton/tahun dan tersebar pada titik titik pada sungai bialo sebesar 536143536 ton/tahun dan tersebar pada titik titik tertentu sesuai dengan gambar hasil simulasi SMS 8.1.
10	Pemodelan Perubahan Garis Pantai Ujung Tape Kabupaten Pinrang	Irwan , Muhammad Ihsan (2020)	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui magnitudo erosi dan sedimentasi garis pantai Ujung Tape dalam proyeksikan lima tahunan dan di mana letak bangunan pelindung pantai yang bisa diterapkan di lokasi tersebut.	Metode penelitian yang digunakan adalah memodelkan gelombang dan garis pantai pada software STWAVE dan GENESIS yang berbasis model numerik. Kalibrasi model dilakukan dengan memodelkan garis pantai terukur (measured shoreline) dan garis pantai awal (initial shoreline) untuk mendapatkan koefisien kalibrasi (k1 dan k2). Nilai k1 dan k2 yang memiliki kesalahan error (ϵ_c) yang terkecil dan memiliki tren yang lebih mendekati perubahan garis pantai di lokasi digunakan sebagai variabel bebas terpilih untuk mensimulasikan garis pantai dalam lima tahun ke depan.	Hasil simulasi dari tahun pertama sampai tahun kelima menunjukkan garis pantai dominan mengalami erosi walaupun di beberapa grid mengalami sedimentasi. Sel grid ke 480 sampai 2640 mengalami erosi dimana yang terbesar adalah sel grid ke 1540 dengan erosi -7331.99 m3. Bentuk perlindungan garis pantai Ujung Tape yang dapat mencegah erosi adalah melalui model breakwater dengan tangkapan sedimen sebesar 509.583 m3/tahun (skenario A) dan 463.370 m3/tahun (skenario B).
11	Analisa Perubahan Garis Pantai Akibat Bangunan Pengaman Pantai (Groin) Di Pantai Salido Pesisir Selatan Sumatera Barat	Wazer El Hamidi, Junaidi, Ahmad Junaidi, Abdul Hakam (2019)	Untuk meneliti apakah pembangunan groin berdampak pada daerah yang tidak dibangun dan apakah groin efektif untuk mengatasi ketidakstabilan garis pantai, dengan mensimulasikan perubahan garis pantai dalam 10 tahun ke depan.	Peramalan gelombang menggunakan metode Hindcasting dan pemodelan bangunan pantai dengan bantuan aplikasi CEDAS NEMOS	Hasil studi menunjukkan bahwa groin efektif untuk menjaga kestabilan garis pantai Salido. Sedangkan dampak groin di daerah yang tidak dibangun adalah abrasi di sisi hilir yang berbatasan dengan garis pantai Sago ± 78 meter, dan kemunduran garis pantai ± 18 meter dengan simulasi 10 tahun ke depan.

12	Analisis Sedimentasi Dan Alternatif Penanganannya Di Pelabuhan Selat Baru Bengkalis	Anwar Khatib, Yolly Adriati dan Angga Endy Wahyud (2013)	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis endapan sedimen yang menyebabkan pendangkalan di pelabuhan Selat Baru serta menganalisis alternatif penanganan sebagai salah satu sarana pengembangan dan pemanfaatan wilayah pelabuhan tersebut	Metode yang dapat digunakan menghitung transpor sedimen yaitu metode Ijama, Sato. Dalam menggunakan metode tersebut dilakukan peramalan gelombang berdasarkan data angin.	Transpor sedimen total yaitu 203,679 m ³ /hari dalam luasan alur pelayaran seluas 161.264,376 m ² , dengan tinggi sedimen yang mengedap berkisar 0,1 cm/hari. Untuk menangani masalah sedimentasi di pelabuhan Selat Baru dipilih jetty panjang sebagai alternatif penanganan masalah.
13	Pemodelan Perubahan Garis Pantai Watu Dodol Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Model Numerik CEDAS-NEMOS	Margolita, M. (2018).	Penelitian dilakukan pada garis pantai Watu Dodol untuk mengetahui perubahan garis pantai dan memprediksi sedimentasi serta memodelkan perubahan garis pantai Watu Dodol.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, analisis, dan metode simulasi. Metode observasi dilakukan dengan survei 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 pemodelan garis pantai Watu Dodol menggunakan CEDAS-NEMOS menunjukkan perubahan garis pantai menunjukkan bahwa pantai Watu Dodol lebih dominan mengalami abrasi. Prediksi garis pantai Watu Dodol dilakukan mulai tanggal 01 Januari 2016 sampai dengan 31 Desember 2025 dengan program CEDAS-NEMOS subprogram GENESIS, hasil simulasi menunjukkan bahwa pantai lebih dominan mengalami abrasi. Rata-rata transpor sedimen kotor (Qg) pertahun 122276,1 m ³ dan 95250 m ³ untuk transpor sedimen bersih (Qn).

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

2.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian berada di Kabupaten Wakatobi merupakan wilayah bagian provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Ibu kota kabupaten ini terletak di Wangi – wangi, di bentuk berdasarkan Undang undang No. 29 tahun 2003, tanggal 18 desember 2003. Secara geografis Kabupaten Wakatobi terlatak pada koordinat $5^{\circ}19' 20''\text{S}$ dan $123^{\circ}35' 25''\text{E}$. Dengan batas-batas wilayahnya sebagai berikut:

1. Sebelah Utara : berbatasan dengan Kabupaten Buton dan Buton Utara.
2. Sebelah Selatan : berbatasan dengan Laut Flores.
3. Sebelah Barat : berbatasan dengan Kabupaten Buton.
4. Sebelah Timur : berbatasan dengan Laut Banda.

Wangi- wangi merupakan salah satu Kecamatan di Wakatobi yang dengan luas 23.359 km². Secara geografis dibagi dalam 14 desa dan 6 kelurahan. Pulau – pulau yang mengelilingi pulau ini diantaranya adalah Kapota, Kampenaua, Timu, Sumangga dan Ottoue. Di antara pulau – pulau tersebut hanya pulau kapota saja yang didiami oleh penduduk.

Pulau Kapota Kecamatan Wangi – wangi Kabupaten Wakatobi Provinsi Sulawesi Tenggara. Dengan posisi titik koordinat geografis $5^{\circ} 20' 26''\text{S}$ dan $123^{\circ} 30' 04''\text{E}$. Lokasi penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 23 Peta lokasi penelitian pantai pulau Kapota

2.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini akan dilaksanakan pada tahun 2023, yaitu persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian di lapangan, pengolahan data dan penyajian hasil.

2.2 Parameter dan Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2009) variabel penelitian pada dasarnya adalah sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. Menurut Subiyakto Haryono (1994) parameter adalah data yang harus dicari dalam penelitian dengan melakukan pengambilan data. Parameter populasi adalah ukuran – ukuran tertentu yang digunakan sebaebagai penggambaran suatu populasi.

Tabel 6 Parameter dan variabel

Parameter	Keterkaitan dalam analisis	Jenis data
Peta Bathimetri	untuk mengetahui kontur dasar laut	Data Sekunder
Data Sedimen	Untuk mengetahui diameter butiran dari sedimen	Data Primer
Kondisi Pantai	Kawasan terdampak	Data Primer
Variabel	Keterkaitan dalam analisis	Jenis data
Angin	Penulusuran kecepatan dan arah angin	Data sekunder
Pasang Surut	Naik turunnya muka air laut	Data sekunder
Tinggi dan periode gelombang	Simulasi gelombang dan arah gelombang	Hasil analisis
Abrasi dan sedimentasi	Simulasi maju mundurnya garis pantai	Hasil analisis

2.3 Pengambilan Data Sekunder

Menurut Sugiyono (2018) data sekunder yaitu sumber data yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau lewat dokumen. Sumber data sekunder seperti bentuk publikasi ilmiah, jurnal, buku, dokumen dan sebagainya. Adapun data sekunder yang dikumpulkan sebagai berikut:

- a. Data Angin
Data angin yang digunakan adalah data angin jam-jaman selama 15 tahun yaitu dari tahun 2008 hingga tahun 2022 yang bersumber dari Citra Satelit yaitu Nasa (<https://power.larc.nasa.gov>)
- b. Peta Administrasi
Peta administrasi Kabupaten Wakatobi diperoleh dari situs resmi pemerintah Kabupaten Wakatobi.
- c. Data Garis Pantai 2012
Data garis pantai tahun 2012 diperoleh dari pengolahan citra satelit
- d. Peta Bathimetri
Peta bathimetri untuk mengetahui kontur dasar laut pantai Kapota.
- e. Pasang Surut
Data pasang surut, data pasang surut adalah data yang menggambarkan naik turunnya muka air laut. Data pasang surut dilakukan pada Desember 2021.
- f. Topografi
Data Topografi adalah data yang menggambarkan kontur tanah di lokasi untuk penempatan bangunan pantai. Data topografi ini diperoleh survei yang dilakukan pada Desember 2021.

2.4 Pengambilan Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari subjek penelitian. Pengumpulan data primer merupakan bagian internal dari sebuah penelitian dan yang seringkali diperlukan untuk tujuan pengambilan keputusan. Data primer dianggap lebih akurat, karena data yang disajikan secara terperinci (Indriantoro, 2010).

2.4.1 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 direncanakan proses pengambilan sampel tepat berada di garis pantai yakni daerah yang masih dipengaruhi pasang surut air laut dan gerak gelombang dengan jarak pengambilan sampel per 250 m, yang kemudian diteliti di laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil dan Teknik lingkungan UNHAS. Sampel sedimen diolah dengan metode analisis ukuran butir dan jenis sedimen menggunakan metode ayak kering pada saringan bertingkat (*sieve analysis*) serta analisis grain size.

2.5 Tahapan Pengolahan Data

2.5.1 Analisa Data Angin

Pengolahan data angin yang dimaksud untuk mendapatkan data peramalan gelombang. Data angin yang digunakan adalah data angin selama 15 tahun yaitu dari tahun 2008 hingga tahun 2022 dengan durasi per jam. Adapun langkah-langkah pengolahan data angin yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

- a. 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.
- b. Melakukan perhitungan fetch efektif dari arah angin dominan. Sebelum menghitung fetch efektif, harus menggambar garis fetch efektif dengan jarak sudut 6° sejumlah 7 garis setiap arah. 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.
- c. Menghitung koreksi elevasi, koreksi kestabilan, koreksi efek lokasi untuk mengubah data angin darat menjadi data angin permukaan laut.
- d. Menghitung faktor tegangan angin (UA) untuk digunakan pada pengolahan data peramalan gelombang.

2.5.2 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 :

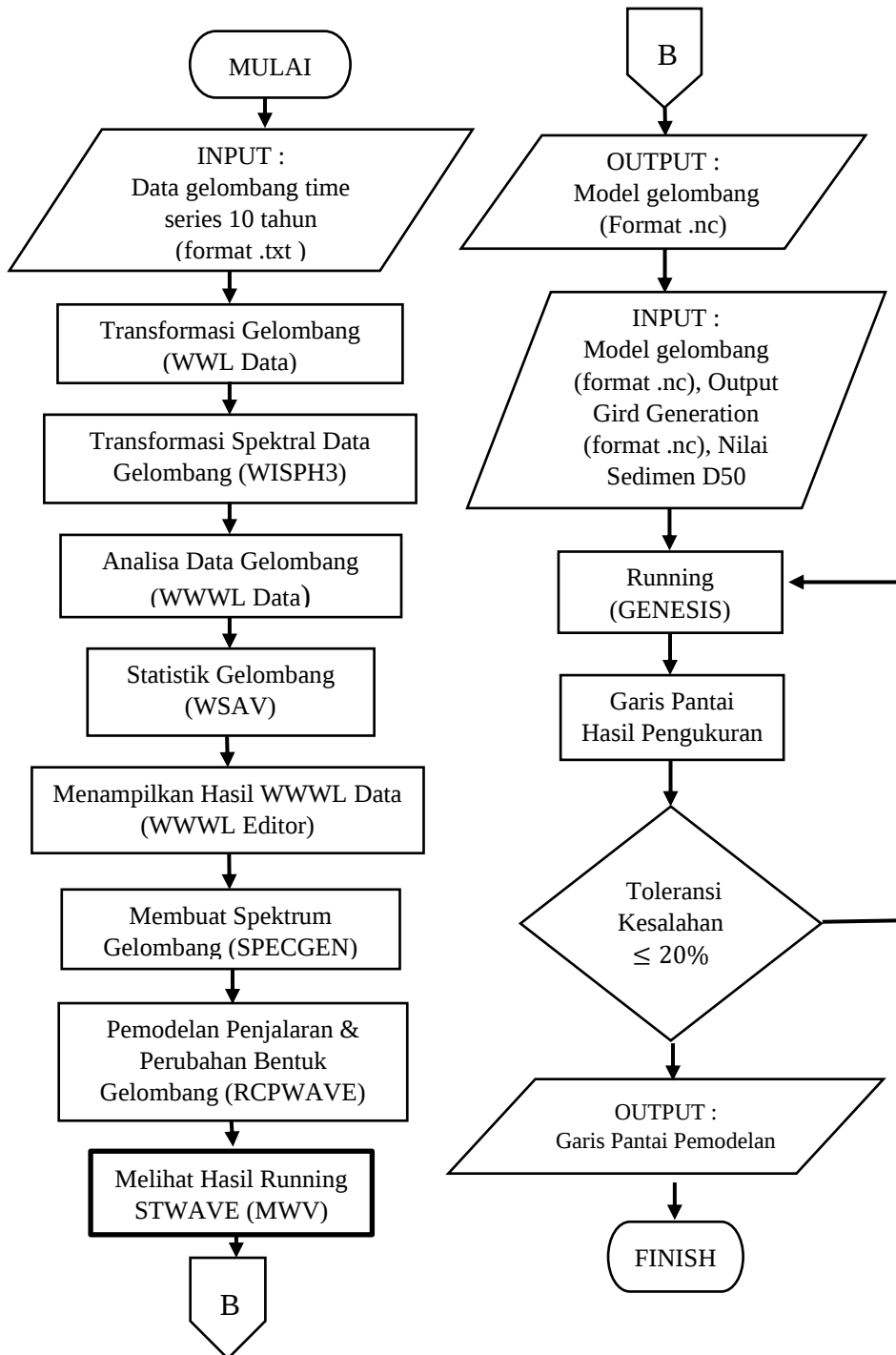
- a. Melakukan peramalan gelombang menggunakan metode CERC, 1984
- b. Menghitung gelombang representative
- c. Melakukan perhitungan gelombang pecah untuk mendapatkan tinggi dan kedalaman gelombang pecah.
- d. Pemodelan Menggunakan CEDAS-NEMOS

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, 1989).

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

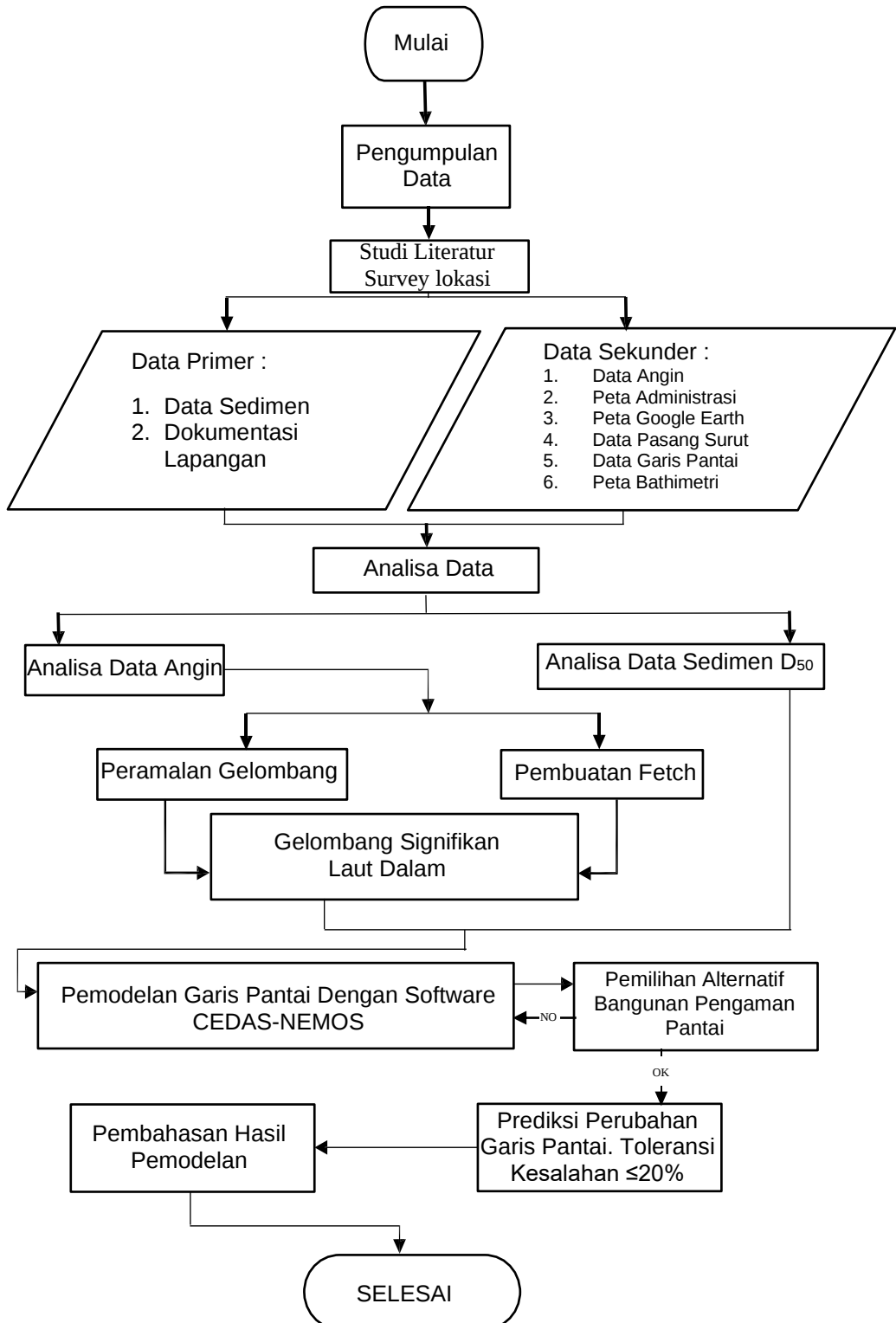
- a. Mempersiapkan data-data yang digunakan pada pemodelan yaitu data gelombang, data garis pantai dan data batimetri yang sudah diubah menjadi bentuk file teks (*.txt)
- b. Menentukan dan membuat grid region dan domain boundary menggunakan Grid Generator. Daerah model dibagi menjadi sejumlah sel (grid) 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.
- c. Menentukan lokasi dan kedalaman grid stasiun gelombang sebelum gelombang pecah yang akan menghubungkan dengan grid GENESIS.
- d. Mempersiapkan data gelombang yang akan digunakan dalam NEMOS, dengan membangun NETCDF menggunakan WWWL data Editor.
- e. 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.
- f. Membuat model WHISP3 yang digunakan untuk menyesuaikan sudut gelombang input dengan garis pantai pada model.
- g. 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*).
- h. Running SPECGEN. Langkah ini dilakukan untuk menampilkan spektrum gelombang yang terjadi di perairan lokasi penelitian.
- i. 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 divisualisasikan hasil STWAVE pada WMV. Dalam model WMV ini akan terlihat refraksi gelombang dan besarnya gelombang pada masing-masing kedalaman.
- j. 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.

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



Gambar 24 Diagram alir pemodelan perubahan garis pantai dengan GENESIS dalam CEDAS-NEMO

Berikut ini merupakan alur penelitian yang dimulai dari persiapan hingga pada akhirnya akan didapatkan hasil akhir yang ingin dituju dari penelitian ini



Gambar 25 Diagram alir penelitian