

**ANALISA PENANGGULANGAN ABRASI DAN SEDIMENTASI
PANTAI TIMUR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN
BANGUNAN *BREAKWATER***

(SKRIPSI)

Oleh

FIT HARYONO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

ANALISA PENANGGULANGAN ABRASI DAN SEDIMENTASI PANTAI TIMUR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN BANGUNAN *BREAKWATER*

Hutan mangrove merupakan *greenbelt* alam yang berfungsi untuk melindungi pantai dari bahaya gelombang laut, arus, maupun kombinasi antara gelombang dan arus. Perubahan fungsi lahan dari hutan mangrove menjadi lahan tambak udang yang dilakukan masyarakat mulai tahun 1986 di Desa Sriminosari dan desa sekitarnya telah berakibat terjadinya abrasi pantai yang cukup besar. Untuk menunjang keberhasilan reboisasi hutan mangrove ini, maka diperlukan penanggulangan abrasi dan sedimentasi pada Pantai Timur Lampung yaitu dengan menggunakan *breakwater* (bangunan pemecah gelombang). Hasil pemodelan garis pantai dari tahun 2002 sampai dengan 2012 menunjukkan kemunduran posisi garis pantai sejauh 195 m atau rata-rata 20 m pertahun. Hasil simulasi penanggulangan abrasi dan sedimentasi pada Pantai Timur Lampung dengan menggunakan *breakwater*, yang dipasang secara seri berjarak 2 km antar *breakwater* dan 2,7 km dari garis pantai, menunjukkan tidak terjadi proses abrasi dan adanya proses sedimentasi sehingga terjadi penambahan garis pantai ke arah laut sejauh 12 m pertahun.

Kata kunci : *breakwater*, abrasi, sedimentasi, garis pantai, Pantai Timur Lampung

ABSTRACT

MITIGATION ANALYSIS OF ABRASION AND SEDIMENTATION THE EASTERN COAST OF LAMPUNG USING BREAKWATER

The mangrove forest is the greenbelt nature that serves to protect the coast of waves, currents, as well as the combination of waves and currents. Change the function of the land from mangrove forests to become land farmed shrimp do society of the year 1986 in the village of Sriminosari and other villages have resulted in occurrence of abrasion of the beach. To support the success of the reforestation of mangrove forests, then the necessary countermeasures abrasion and sedimentation on the eastern coast of Lampung using breakwater. The results of modeling the coastline from the year 2002 up to 2012 shows decline the position of the coastline long the 195 meters or an average 20 meters /year. The results of the simulations abrasion prevention of sedimentation on the eastern coast of Lampung with the use of a breakwater, placed in series is 2 kilometers between the breakwater and 2.7 kilometers of coastline, the show did not occur and the abrasion process process so the addition of sedimentation coastline towards the sea as far as 12 meters /year.

Key Words : breakwater, abrasion sedimentation, the coastline, East Coast Lampung

**ANALISA PENANGGULANGAN ABRASI DAN SEDIMENTASI
PANTAI TIMUR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN
BANGUNAN *BREAKWATER***

Oleh

Fit Haryono

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul skripsi : **ANALISA PENANGGULANGAN ABRASI
DAN SEDIMENTASI PANTAI TIMUR
LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN
BANGUNAN BREAKWATER**

Nama Mahasiswa : **Fit Haryono**

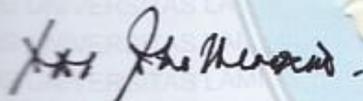
Nomor Pokok Mahasiswa : **0445011023**

Program Studi : **S1 Teknik Sipil**

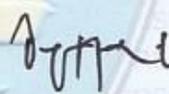
Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dwi Joko Winarno ,S.T., M. Eng
NIP.196903211995121001



Dr. Dyah Indriana K.,S.T.,M.Sc
NIP.196912191995122001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

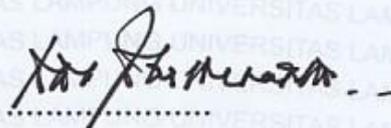


Gatot Eko Susilo,S.T.,M.Sc.,Ph.D
NIP.197009151995031 006

MENGESAHKAN

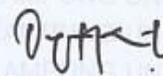
Tim Penguji

Ketua : **Dwi Joko Winarno, S.T.,M.Eng**



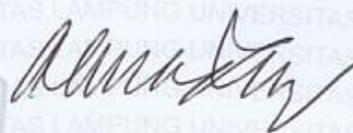
Sekretaris

: **Dr.Dyah Indriana K ,S.T.,M.Sc**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir.Ahmad Zakaria, M.T.,P.hD**



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Dr. Suharno, M.Sc.

NIP.196207171987031002

Tanggal Lulus Ujian skripsi : **23 Oktober 2017**

SURAT PERNYATAAN

KIWAYAT BUDIP

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai peraturan hukum yang berlaku

Bandar lampung, Oktober 2017



FIT HARYONO

FIT HARYONO

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 04 September 1978, Sebagai anak kedua dari empat bersaudara, dari keluarga pasangan Bapak Sayuti Rozak (Alm) dan Ibu Sumiyati.

Dengan rahmat Tuhan Yang Maha Esa penulis menyelesaikan pendidikan pertama di Taman Kanak – kanak Bhayangkari Tanjung Karang pada tahun 1985, Pendidikan Sekolah Dasar Negeri 4 Durian Payung pada tahun 1990, Sekolah Menengah Pertama PGRI III Tanjung Karang pada tahun 1993, Sekolah Teknologi Menengah (STM) Taman Siswa Jurusan Bangunan pada tahun 1996, pada tahun 1997 – 2000 penulis bekerja pada perusahaan jasa konstruksi CV.NUTRACO. di Jakarta sebagai Staf Teknik , Tahun 2001 – 2003 bekerja Perusahaan Konsultan Teknik CV.SUMBER TEKNIK di Bandar Lampung sebagai Staf Teknik, Tahun 2003 – 2012 bekerja Perusahaan Konsultan PT.Bina Buana Raya di Bandar Lampung Sebagai Staf Teknik, Tahun 2013 – 2017 bekerja Pegawai Non PNS Kemeterian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung sebagai Staf Teknis Perencanaan Irigasi dan Rawa III, Pada Tahun 2004 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Lampung Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Non Reguler

Penulis

FIT HARYONO

HALAMAN PERSEMBAHAN

Teriring Do'a dan Cinta

Untuk :

Istriku Aslinda Wardani ,S.T.,M.T, dan Alif,Ratna dan Raihan

Karya Sederhana ini ku persembahkan sebagai hasil atas semua

dukungan dan rasa cinta yang telah diberikan selama ini.

Untuk :

Teman – teman yang selalu memberikan bantuan dan

semangat dalam penyelesaian Karya Sederhana, ku ucapkan

terima kasih.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah- Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “**ANALISA PENANGGULANGAN ABRASI DAN SEDIMENTASI PANTAI TIMUR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN BANGUNAN *BREAKWATER*** “ adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril, maupun spiritual. Banyak pengalaman dan masukan yang didapat penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Dengan teriring salam dan doa serta ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung;
4. Bapak Dwi Joko Winarno, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;

5. Ibu Dr. Dyah Indriana K.,S.T.,M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Ir. Ahmad Zakaria,M.T.,Ph.D.,selaku dosen penguji utama pada ujian skripsi. Terima kasih untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal dan seminar hasil;
7. Bapak Ir. Idharmahadi, M.T., selaku dosen pembimbing akademik;
8. Ibu Dr. Ratna Widiyawati S.T.,M.T. atas bantuan dan bimbingannya;
9. Seluruh Bapak / Ibu dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan segenap ilmu pengetahuannya kepada penulis dan dapat berguna bagi penulis;
10. Segenap Pimpinan, Karyawan, rekan – rekan mahasiswa 2004-2012 Teknik Sipil Non Reguler dan Keluarga besar Fakultas Teknik Universitas Lampung;
11. Ir. Safrudin, M.Sc., selaku Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung penulis ucapkan terima kasih telah memberikan dorongan dan waktu dalam menyelesaikan studi S1 di Universitas Lampung;
12. Ir. Komang Sudana, M.T selaku Kasatker PJPA penulis ucapkan terima kasih telah memberikan dorongan dan waktu dalam menyelesaikan studi S1 di Universitas Lampung;
13. Lidia Virgianti ,S.P.,M.T., selaku Pimpinan Kegiatan Irigasi dan Rawa III dengan ucapan terima kasih yang tak terhingga telah memberikan dorongan dan waktu dalam menyelesaikan studi S1 di Universitas Lampung;

14. Rekan – rekan sejawat di BBWS Mesuji Sekampung
 15. Bapak Gatot Eko Susilo, terima kasih
 16. Istriku tercinta Aslinda Wardani, S.T.,M.T, Anakku Alif Aditiya Nugroho, Ratna Aurellia Cetta Fitriani, Raihan Aditiya Nugroho, yang telah memberikan dorongan, semangat, doa dan kasih sayangnya yang selalu memacu semangatku untuk menyelesaikan pendidikan S1;
 17. Papa Sayuti Rozak (Alm) dan Mama sumiyati, Yan Eka Permana, Doni Salasa dan Ade Saputra telah memberikan semangat dan dorongan;
 18. Mamak Ros dan Bapak Aliun, Kak Romli Oktariadi S.Sos, Alimudin S.Sos, M.Zaini, S.Kom, Siti Aisah dan Nuraini, S.T;
 19. Om Rahmad Faizin, Mama Sunarsih, Regina Fitriani, S.Spi ,
 20. Liona Dwi Sarisa S.T., M.T, Semoga Allah mengabulkan segala yang terbaik untukmu
 21. Ir. Rahman Soeroso yang telah memberikan semangat dan dorongan;
- Akhir kata, semoga segala bimbingan dan dorongan yang diberikan kepada penulis, mendapat balasan dan pahala-nya dari Allah SWT, Amin ya robbal alamin.

Bandar Lampung,Oktober 2017

FIT HARYONO

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum.....	7
2.2. Pantai	7
2.2.1. Gelombang dan Arus Dekat Pantai.....	9
2.2.2. Angkutan Sedimen Pantai.....	11
2.2.3. Faktor-Faktor Penyebab Erosi Pantai	13
2.2.4. <i>Littoral Currents</i>	16
2.3. Hidro-Oseanografi.....	17

2.3.1.	Pembangkitan Gelombang Akibat Angin	17
2.3.2.	Daerah Pembentukan Gelombang (<i>Fetch Efektif</i>)	21
2.3.3.	Analisa Pasang Surut	22
2.3.4.	Peramalan Gelombang.....	28
2.3.5.	Deformasi Gelombang.....	33
2.3.6.	Pengaruh Sedimentasi.....	49
2.4.	Dasar Perencanaan Breakwater	50
2.5.	Pemodelan Perubahan Garis Pantai.....	63
2.5.1.	Program Hidrodinamika	63
2.5.2.	Program Numerik	66
III.	METODOLOGI PENELITIAN.....	68
3.1.	Kondisi Daerah Studi	68
3.2.	Pengumpula Data.....	69
3.2.1.	Garis Pantai.....	69
3.2.2.	Gelombang dan Pasang Surut.....	70
3.3.	Metodologi Penelitian	70
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	74
4.1.	Analisa Data Angin	74
4.2.	Perhitungan Panjang Fetch Efektif.....	76
4.3.	Peramalan Gelombang.....	79

4.4. Hasil Pemodelan Hidrodinamika.....	81
4.5. Hasil Pemodelan Sedimentasi	91
4.6. Hasil Pemodelan Perubahan Garis Pantai	92
SIMPULAN DAN SARAN	107
DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Foto Citra landsat ETM 7 123_64.....	3
Gambar 2 Koefisien koreksi kecepatan terhadap perbedaan temperatur	19
Gambar 3. Koefisien Koreksi terhadap pencatatan kecepatan di darat.....	19
Gambar 4. Macam permukaan air laut yang digunakan sebagai datum referensi	26
Gambar 5. Refraksi Gelombang pada kontur lurus dan sejajar	38
Gambar 6. Difraksi Gelombang di belakang rintangan	41
Gambar 7. Pengaruh Sedimentasi di sekitar pelabuhan	50
Gambar 8. Jenis-jenis batu lapis pelindung buatan.....	54
Gambar 9. Peta rupa bumi Kabupaten Lampung Timur	68
Gambar 10. Kondisi garis pantai tahun 2012.....	69
Gambar 11. Bagan Alir Kegiatan Analisa pemodelan pantai	73
Gambar 12. Grafik <i>Windrose</i> data angin tahun 2002 – 2011.....	75
Gambar 13. Posisi lokasi penelitian Pantai Timur Lampung terhadap Stasiun BMG Bandara Raden Intan II	76
Gambar 14. Perhitungan Fetch pada arah 45° (dari Timur Laut)	77
Gambar 15. Perhitungan Fetch pada arah 90° (dari Timur).....	78

Gambar 16. Perhitungan Fetch pada arah 135° (dari Timur).....	78
Gambar 17. <i>Meshing</i> model <i>Bathimetry Model Hidrodinamika</i>	82
Gambar 18. Boundary Sungai.....	82
Gambar 19. Boundary laut.....	83
Gambar 20. Arah gelombang Timur Laut.....	84
Gambar 21. Arah gelombang Timur	85
Gambar 22. Arah gelombang Tenggara	85
Gambar 23. Arus menuju pasang tertinggi.....	86
Gambar 24. Arus saat pasang tertinggi.....	86
Gambar 25. Arus saat menuju surut terendah	87
Gambar 26. Arus saat surut terendah	87
Gambar 27. Arus saat kondisi menuju pasang.....	88
Gambar 28. Arus saat kondisi pasang tertinggi.....	89
Gambar 29. Arus saat kondisi menuju surut terendah.....	89
Gambar 30. Arus saat kondisi surut terendah.....	90
Gambar 31. <i>Bed Level change</i> model modifikasi groin selama 15 hari periode running	91
Gambar 32. <i>Suspended Load model</i> modifikasi groin selama 15 hari periode running	91
Gambar 33. Arah datang gelombang dalam Genesis	93

Gambar 34. Perubahan Garis pantai hasil running genesis tahun 2002 – 2012 tanpa breakwater	94
Gambar 35. Longshore transport rate 2002 – 2003.....	99
Gambar 36. Longshore transport rate 2003 – 2004.....	99
Gambar 37. Longshore transport rate 2004 – 2005.....	100
Gambar 38. Longshore transport rate 2005 – 2006.....	100
Gambar 39. Longshore transport rate 2006 – 2007.....	101
Gambar 40. Longshore transport rate 2007 – 2008.....	101
Gambar 41. Longshore transport rate 2008 – 2009.....	102
Gambar 42. Longshore transport rate 2009 – 2010.....	102
Gambar 43. Longshore transport rate 2010 – 2011.....	103
Gambar 44. Longshore transport rate 2011 – 2012.....	103
Gambar 45. Perubahan garis pantai dari tahun 2011 – 2012.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Koefisien untuk menghitung deviasi standar	32
Tabel 2	Batas interval keyakinan tinggi gelombang signifikan ekstrim	32
Tabel 3.	Pemakaian Bangunan pantai	48
Tabel 4.	Data pendukung yang digunakan	72
Tabel 5.	Distribusi Frekuensi Kejadian Angin Januari 2002 – Nopember 2012 (Distribusi Frekuensi dalam).....	74
Tabel 6.	Distribusi Frekuensi Kejadian Angin Januari 2002 – Desember 2011 ...	75
Tabel 7.	Rekapitulasi Panjang Fetch efektif Pantai Timur Lampung	78
Tabel 8.	Hasil Perhitungan Gelombang yang dibangkitkan dari data angin Bandara Raden Intan II	80
Tabel 9.	Boundary/batas model hidrodinamika	81
Tabel 10.	Input serial gelombang	96
Tabel 11.	Tabel peramalan gelombang metode Weibull	96

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pantai Timur Provinsi Lampung yang mempunyai garis Pantai sepanjang ± 270 km merupakan wilayah pesisir dengan beragam potensi yang dapat menunjang pembangunan. Kondisi Pantai Timur sebelum tahun 1970-an merupakan hutan mangrove dengan ketebalan mencapai ratusan meter, yang baik untuk menahan gelombang laut, arus, maupun kombinasi antara gelombang dan arus.

Pada tahun 1986, Keberadaan hutan mangrove mulai terusik dengan mulai dibangunnya tambak udang di Desa Sriminosari. Keberhasilan tambak udang sehingga memberikan keuntungan besar menginspirasi warga lainnya untuk membuka / membangun tambak udang yang baru . Pembukaan hutan tambak secara besar besaran yang dilakukan oleh warga desa Sriminosari dan desa lainnya (Desa Muara Gading Mas hingga Desa Karya Tani) mengakibatkan hutan mangrove berganti dengan hamparan tambak.

Eksploitasi hutan mangrove yang berlebihan dan tidak terkendali ini menyebabkan kerusakan hutan mangrove dan berkurangnya kemampuan untuk menahan gelombang laut. Gelombang laut yang cukup besar ini menyebabkan abrasi di sepanjang garis Pantai Timur Lampung. Abrasi yang cukup besar dan telah berlangsung cukup lama ini (mulai tahun 1990 hingga sekarang) telah mengakibatkan kemunduran garis Pantai yang cukup besar dan mulai mengancam

permukiman permukiman dan sarana serta prasarana umum (jalan lintas Timur Lampung). Pada Gambar 1 menggambarkan perubahan garis Pantai Timur dengan beberapa kondisi pada tahun yang berbeda dengan bantuan citra landsat ETM 7. Kerusakan hutan mangrove dan besarnya gelombang laut ini pun telah merusak tambak – tambak udang tersebut hingga terjadi gagal panen dan kebangkrutan pemilik tambak.

Kerusakan Pantai Timur Lampung sudah mulai diperbaiki dengan ditanam kembali tanaman bakau di kawasan ini. Pada tahun 2004 Universitas Lampung bekerja sama dengan Pemerintah Kabupaten Lampung Timur mengelola perbaikan hutan mangrove ini (Desa Margasari). Hutan mangrove inipun menjadi hutan pendidikan UNILA. Tim pengelola ini dikenal dengan Tim Lampung Mangrove Center (LMC). Luas areal hutan mangrove yang dikelola adalah \pm 700 ha (22 % dari ekosistem mangrove dunia dan peringkat ke-7 terbesar dunia).

Usaha pengembalian hutan mangrove di sepanjang Pantai Timur Lampung oleh masyarakat setempat, Universitas Lampung dan Dinas Kehutanan serta pihak lainnya ini sering mengalami kegagalan. Pada umumnya kegagalan penanaman hutan bakau diakibatkan oleh gelombang laut yang cukup besar dan mampu menyapu / mengabrasi bibit bakau yang telah ditanam.

Untuk meningkatkan prosentase keberhasilan penanaman hutan mangrove maka perlu dibangun bangunan penahan gelombang laut ini sehingga bibit bakau dapat tumbuh dan menjadi hutan bakau.



Citra Landsat tahun 2004



Citra Landsat tahun 2006



Citra Landsat tahun 2008



Citra Landsat tahun 2010

Gambar 1. Foto Citra landsat ETM 7 123_64

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Identifikasi dan inventarisasi daerah yang terkena abrasi gelombang pasang.
- b. Melakukan analisa bangunan pengaman Pantai sesuai kondisi lingkungan dan memperhatikan kearifan lokal.
- c. Melakukan kajian-kajian terhadap lingkungan, sosial ekonomi serta petunjuk pelaksanaan/Pengamanan Pantai dari gelombang pasang.
- d. Identifikasi kemunduran garis Pantai menggunakan bantuan citra landsat 2002,2004,2006,2008 ,2010 dan 2012.
- e. Melakukan analisa penanggulangan abrasi Pantai Timur Lampung.

1.3. Batasan Masalah

Lingkup pembahasan dalam skripsi ini dibatasi pada upaya penyusunan model numerik untuk mensimulasikan permasalahan abrasi dan sedimentasi di sepanjang Pantai Timur Lampung dengan menggunakan model numerik perubahan garis pantai dan dibandingkan dengan perangkat lunak pemodelan arus pada kondisi existing dan rencana penempatan bangunan pengamanan Pantai khususnya *breakwater* (bangunan pemecah gelombang). Untuk pelaksanaan tersebut diatas diperlukan data – data yang dibutuhkan untuk analisa sebagai berikut :

1. Data topografi dan bathimetri di sekitar Pantai Timur Lampung.
2. Data hidrologi , hidrometri ,dan hidrooseanografi
3. Melakukan perhitungan dimensi *breakwater* (alat pemecah ombak = APO)
4. Melakukan simulasi hidrodinamika

5. Penyusunan rekomendasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui perubahan garis Pantai Timur Lampung (dengan kondisi tanpa breakwater dan dengan dipasang breakwater) dengan menggunakan model numerik Perubahan garis pantai dan di bandingkan dengan perangkat lunak pemodelan arus .
2. Mengetahui tata letak dan dimensi *breakwater* yang tepat dan sesuai dipasang pada lokasi Pantai Timur Lampung sehingga dapat :
 - a. Memecah energi gelombang laut sehingga abrasi dan sedimentasi dapat dikendalikan.
 - b. Dengan adanya *breakwater* ini maka energi gelombang laut yang sampai di kawasan Pantai telah berkurang sehingga dapat meningkatkan keberhasilan penanaman mangrove di kawasan Timur Lampung

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui perubahan garis Pantai Timur Lampung dengan kondisi tanpa *breakwater* dan dengan dipasang *breakwater* setelah dilakukan pemodelan dengan menggunakan Perangkat lunak pemodelan numerik perubahan garis pantai dan perangkat lunak pemodelan arus, dimana hasil *generate* pemodelan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan

pengambilan keputusan oleh instansi- instansi terkait yang menangani masalah Pantai Timur Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Untuk melakukan analisis mengenai permasalahan abrasi dan sedimentasi yang terjadi Pantai Timur Lampung berdasarkan data mentah yang tersedia (berupa data angin jam-jaman, data batimetri, peta lokasi dan data seri waktu dari elevasi pasang surut di lokasi studi) diperlukan beberapa metoda pengolahan data untuk mendapatkan data yang siap digunakan dalam pemodelan numerik.

Berikut ini akan diuraikan beberapa teori yang mendasari metode pengolahan data dan analisis yang digunakan dalam penyusunan model numerik untuk permasalahan sedimentasi dan abrasi di Pantai Timur Lampung.

2.2. Pantai

Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang. Ada dua jenis tipe tanggapan pantai dinamis terhadap gerak gelombang normal dan tanggapan terhadap kondisi gelombang badai. Kondisi gelombang normal terjadi dalam waktu yang lebih lama dan energi gelombang mudah dapat dihancurkan oleh mekanisme pertahanan alami pantai. Pada saat badai terjadi gelombang yang mempunyai energi besar sering pertahanan alami pantai tidak mampu menahan serangan gelombang, sehingga pantai dapat tererosi setelah gelombang besar reda pantai akan kembali ke bentuk semula oleh pengaruh gelombang normal, Tetapi ada kalanya pantai yang tererosi tersebut tidak kembali ke bentuk semula dikarenakan material pembentuk pantai

berpindah terbawa arus ke tempat lain dan tidak kembali ke tempat semula, material yang terbawa arus tersebut akan mengendap di daerah yang lebih tenang seperti di muara sungai, teluk, pelabuhan sehingga mengakibatkan sedimentasi di daerah tersebut. (Triatmodjo, 1999).

Laju transpor sepanjang pantai tergantung pada sudut datang gelombang, durasi dan energi gelombang. Dengan demikian gelombang besar akan mengangkut material lebih banyak tiap satu satuan waktu dari pada yang digerakan gelombang kecil.

A. Erosi pantai

Erosi pantai adalah salah satu permasalahan di daerah pantai yang harus mendapatkan perhatian karena erosi pantai dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar dengan rusaknya kawasan permukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut. Untuk menanggulangi erosi pantai pertama-tama harus dicari penyebabnya terlebih dahulu, dengan demikian dapat dicari solusinya. Salah satu solusi untuk erosi adalah membangun bangunan pelindung pantai, bangunan tersebut digunakan untuk melindungi pantai dari serangan gelombang dan arus.

B. Perilaku pantai

Pantai merupakan interaksi yang dinamis antara air, angin dan material tanah. Air dan angin bergerak dari satu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan kemudian mengendapkannya sehingga terjadi perubahan garis pantai. Proses perubahan pantai merupakan proses yang dinamis, dan apabila hal ini berlanjut akan mengganggu aktivitas di sekitar pantai, karena akan terjadi

erosi dan atau akresi pada kawasan pantai tersebut. Menurut Kakisina (2004) perilaku pantai pada umumnya dapat dibedakan menjadi 3 tipe, yakni :

1. Pantai yang tererosi (*erosion coast*)

Erosi pantai berupa kemuduran garis pantai ke arah darat, yang dapat merusak kawasan permukiman dan prasarana kota. Erosi pantai bisa terjadi secara alami karena serangan gelombang atau karena adanya kegiatan manusia berupa penebangan hutan bakau, pengambilan karang pantai, pembangunan pelabuhan, reklamasi pantai dan lain– lain.

2. Pantai yang stabil (*stable coast*)

Pantai yang stabil pada dasarnya sama dengan pantai yang tererosi dimana perilaku pantai yang stabil adalah konstan. Hal ini berarti meskipun volume profil berfluktuasi, namun secara keseluruhan volumenya tidak berubah terhadap waktu.

3. Pantai yang akresi (*acresting coast*)

Mekanisme pantai yang akresi juga sama dengan pantai yang erosi maupun yang stabil, hanya garis pantainya bergerak ke arah laut. Ini berarti fluktuasi volume profil tersebut bertambah terhadap waktu.

2.2.1. Gelombang dan Arus Dekat Pantai

Gelombang yang menjalar dan mencapai daerah pantai sebagian energinya tercurahkan pada daerah *nearshore*. Pada beberapa daerah (*offshore zone*, *surf zone* dan *swash zone*) yang dilintasinya, perilaku gelombang dan arus menimbulkan efek yang berbeda. Di daerah lepas pantai (*offshore zone*) yaitu daerah yang terbentang dari lokasi gelombang pecah ke arah laut, gelombang

menimbulkan gerak orbit partikel air. Orbit lintasan partikel tidak tertutup sehingga menimbulkan Angkutan massa air. Angkutan massa tersebut dapat disertai dengan terangkutnya sedimen dasar dalam arah *onshore* dan meninggalkan pantai (*offshore*). Di *surf zone* yaitu daerah antar gelombang pecah dan garis pantai ditandai dengan penjalaran gelombang pecah setelah pecah ke arah pantai. (Triatmodjo, 1999)

Gelombang akan mengalami beberapa proses perubahan tinggi gelombang ketika merambat dari perairan dalam ke perairan dangkal, seperti proses perubahan arah perambatan dan tinggi gelombang (*Refraksi*), proses pemantulan gelombang (*refleksi*) dan proses pendangkalan (*hoaling*) sebelum gelombang tersebut pecah.

Gelombang yang pecah dan menjalar membentuk sudut terhadap garis pantai menimbulkan arus sejajar dengan garis pantai (*longshore current*). Di *swash zone*, gelombang yang sampai di garis pantai menyebabkan masa air bergerak ke atas dan kemudian turun kembali ke permukaan pantai disertai terangkutnya sedimen (Triatmodjo, 1999). Bila garis puncak gelombang sejajar dengan garis pantai, maka akan terjadi arus dominan di pantai berupa sirkulasi sel dengan *rip current* yang menuju ke laut. Bila sudut gelombang pecah terhadap garis pantai adalah $>50^\circ$, akan menimbulkan arus sejajar pantai di sepanjang pantai. Sedangkan yang umumnya terjadi adalah kombinasi dari kedua kondisi tersebut.

2.2.2. Angkutan Sedimen Pantai

Angkutan sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya, gerakan tersebut disebabkan oleh proses abrasi dan erosi juga pengendapan lumpur di muara sungai. Angkutan sedimen pantai dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu :

1. Angkutan sedimen menuju dan meninggalkan pantai (*Cross-shore sediment transport*) disebut juga *onshore-offshore* sediment Angkutan yaitu angkutan sedimen yang tegak lurus dengan garis pantai, dipengaruhi oleh gelombang, ukuran butir material, kemiringan pantai, hal ini sering dikaitkan dengan *storm waves* Untuk daerah pantai yang memiliki *tidal range* yang tinggi dengan kemiringan pantai yang kecil akan mempertimbangkan volume sedimen yang dipindahkan oleh aliran arus menuju dan meninggalkan pantai selama pasang surut. Untuk daerah pantai yang memiliki *tidal ranges* yang tinggi dengan kemiringan pantai yang rendah akan mempertimbangkan volume sedimen yang dipindahkan oleh aliran arus menuju dan meninggalkan pantai selama pasang surut.

Jika pantai dalam kesetimbangan, maka Angkutan sedimen menuju daratan (*landward transport*, Q_{land}) akan sama dengan Angkutan sedimen ke arah laut (*seaward transport*, Q_{sea}).

Hal ini diasumsikan dan dikembangkan oleh Jago dan Hardisty (1984) dalam bentuk persamaan berikut:

$$Q_{\text{land}} / Q_{\text{sea}} = Q_r = 1 \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$$Q_{\text{land}} = k U_{\text{land}}^3 (\tan(\phi) \tan(m))$$

$$Q_{\text{sea}} = k U_{\text{sea}}^3 (\tan(\phi) \tan(m))$$

U = aliran kecepatan dekat dasar

tan ϕ = sudut geder internal sedimen

k = koefisien proposionalitas

2. Angkutan sedimen sepanjang pantai (*long-shore sediment transport*)

Longshore Sediment transport adalah angkutan sedimen sepanjang pantai. Terjadi apabila sedimen terangkat oleh turbulensi yang disebabkan oleh gelombang pecah, hal ini dipengaruhi oleh gelombang ataupun arus pasang surut. Sedimen Angkutan sejajar dengan pantai dipengaruhi oleh arah gelombang dan sudut *wave crest* dengan garis pantai. *Longshore sediment transport* dapat menyebabkan terjadinya erosi dan akresi. Ada terdapat dua jenis sedimen yang diangkut yaitu *cohesive* dan *non cohesive*. *Sediment transport cohesive* sering dinamakan *suspended load transport* karena sifatnya yang melayang di air, sedangkan *non cohesive* dinamakan *bedload transport* (Komar,1978).

Perbandingan antara *bedload* dan *suspended load* dapat diprediksikan dengan menggunakan rumus sebagai berikut : Dean dan Dally (1984)

$$9,4 (W \sin m_b / (H_b^{0.5})) \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- W = kecepatan jatuh stokes
- M_b = kemiringan dasar pantai saat gelombang pecah
- H_b = tinggi gelombang pecah

2.2.3. Faktor-Faktor Penyebab Erosi Pantai

Informasi tentang faktor-faktor terjadinya erosi sangat berguna untuk mengatasi permasalahan yang terjadi di pantai. Dalam melakukan perencanaan bangunan pantai langkah pertama yang harus diambil adalah menganalisa sebab-sebab timbulnya permasalahan pantai tersebut. Menurut Stuktur Pelindung pantai (Pratikto, 1999) erosi pantai dapat terjadi oleh berbagai sebab, secara umum sebab erosi tersebut dapat dikelompokan menjadi dua hal, yaitu sebab alami dan sebab buatan (disebabkan oleh manusia).

1. Sebab-sebab alami erosi pantai meliputi :

a. Naiknya muka air laut

Naiknya muka air laut dalam jangka panjang banyak terjadi di banyak tempat di dunia. Kenaikan muka air laut relatif terjadi karena turunnya muka tanah (*Land Subsidence*) atau karena muka air laut yang naik secara *absolute*. Akibat dari naiknya muka air laut tersebut, garis pantai dapat mundur secara perlahan ke arah daratan

b. Perubahan suplai sedimen

Suplai sedimen ke daerah pantai dapat berasal dari daratan (*blastic sediment*) ataupun dari laut (*biogenic sediment*). Berubahnya sumber

sedimen tersebut bias disebabkan oleh proses alami pelapukan batuan di daratan ataupun karena berkurangnya debit sungai yang mengangkut sedimen. Berkurangnya suplai sedimen dari laut dapat disebabkan karena daerah karang yang rusak ataupun terhambatnya pertumbuhan karang.

c. Gelombang Badai

Gelombang badai dapat menyebabkan erosi pantai, hal ini disebabkan oleh pada saat badai terjadi arus tegak lurus pantai yang cukup besar mengangkut material pantai. Umumnya proses erosi yang terjadi akibat gelombang badai ini berlangsung dalam waktu yang singkat dan bersifat sementara , karena material yang tererosi akan tertinggal di *surf zone* dan akan kembali ke pantai pada saat gelombang tenang (*swell*). Namun apabila batimetri pantai tersebut terjal dan memiliki palung-palung pantai maka sedimen yang terbawa tidak bias kembali lagi ke pantai.

d. *Overwash* (limpasan)

Overwash terjadi apabila pasang tinggi yang disertai gelombang tinggi membentur pantai melimpas diatas lidah pasir (*dune*). Akibat *Overwash* tersebut lidah pasir pantai akan tererosi dan diendapkan di sisi dalam lidah pasir.

e. Angkutan sejajar pantai

Pemilihan (*sorting*) material pantai dapat berubah sesuai dengan gradasi butiran dan keadaan lingkungan gelombangnya hal ini

diakibatkan karena aktivitas gelombang. Perubahan tersebut dapat mengakibatkan berubahnya garis pantai ataupun erosi dan akresi pantai.

f. Angkutan oleh angin

Erosi pantai dapat disebabkan karena terangkutnya sedimen oleh angin darat. Angin berperan dalam mendistribusikan sedimen pantai ke arah sejajar pantai, apabila suplai sedimen lebih kecil daripada kapasitas angkutan angin maka erosi pantai dapat terjadi.

2. Sebab-sebab buatan erosi pantai meliputi :

a. Penurunan tanah

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

b. Penggalian pasir

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

c. Interupsi angkutan sejajar pantai

Hal ini dapat terjadi karena pembuatan bangunan tegak lurus pantai. Bangunan tegak lurus tersebut dapat menahan laju angkutan angkutan sedimen dari daerah hulu, sehingga pada bagian hilir kekurangan

sediment, akibatnya akan terjadi di bagian hulu terjadi akresi dan terjadi erosi di bagian hilir.

d. Pengurangan suplai sedimen ke arah pantai

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

e. Pemusatan energi gelombang di pantai

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

f. Perusakan pelindung alam

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

2.2.4. *Littoral Currents*

Littoral current meliputi aliran arus laut yang sejajar pantai maupun yang tegak lurus pantai, (Carter, 1987). Aliran arus sejajar pantai di *surf zone* biasanya disebut sebagai *longshore current*, yang timbul dari persyaratan kontinuitas dari massa momentum dan energi gelombang dekat pantai. *Littoral current* inilah yang

menyebabkan terjadinya Angkutan sediment pantai baik sejajar pantai maupun tegak lurus pantai.

2.3. Hidro-Oseanografi

2.3.1. Pembangkitan Gelombang Akibat Angin

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

Jumlah data angin yang disajikan dalam bentuk tabel biasanya merupakan hasil pengamatan beberapa tahun dan datanya begitu besar. Untuk itu data tersebut harus diolah dan disajikan dalam bentuk tabel ringkasan (diagram). Data angin dapat diperoleh dari pencatatan di permukaan laut dengan menggunakan kapal yang sedang berlayar atau pengukuran di darat yang biasanya di bandara (lapangan terbang). Pengukuran data angin dipermukaan laut adalah yang paling sesuai untuk peramalan gelombang. Data angin dari pengukuran dengan kapal perlu dikoreksi dengan menggunakan persamaan berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$U = 2,16 U_s^{7/9} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

U = kecepatan angin terkoreksi (knot)

U_s = kecepatan angin yang diukur oleh kapal (knot)

Biasanya pengukuran angin dilakukan didaratan, padahal dirumus-rumus pembangkit gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada dipermukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin diatas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut.

Kecepatan angin yang akan dipergunakan untuk peramalan gelombang adalah (Yuwono, 1992) :

$$U = RT \cdot RL (U_{10})L \dots\dots\dots (4)$$

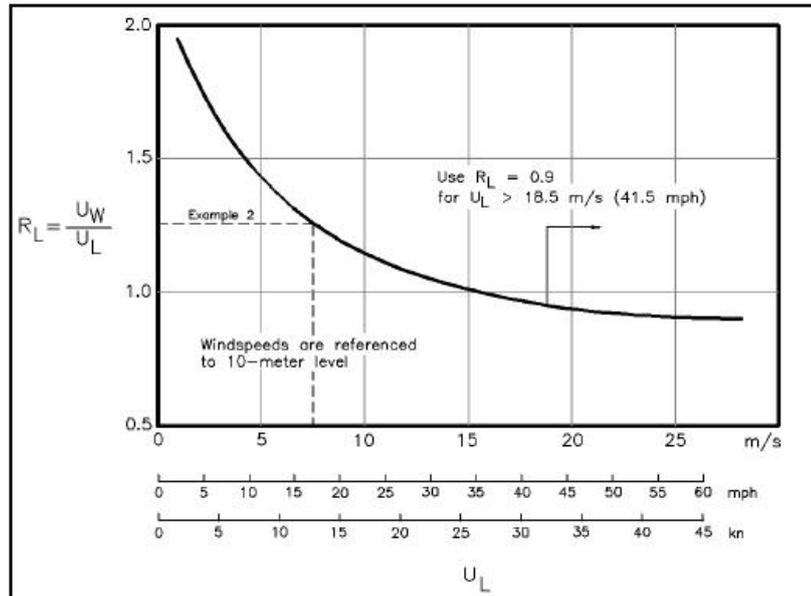
dimana :

RT = Koreksi akibat perbedaan temperatur antara udara dan air

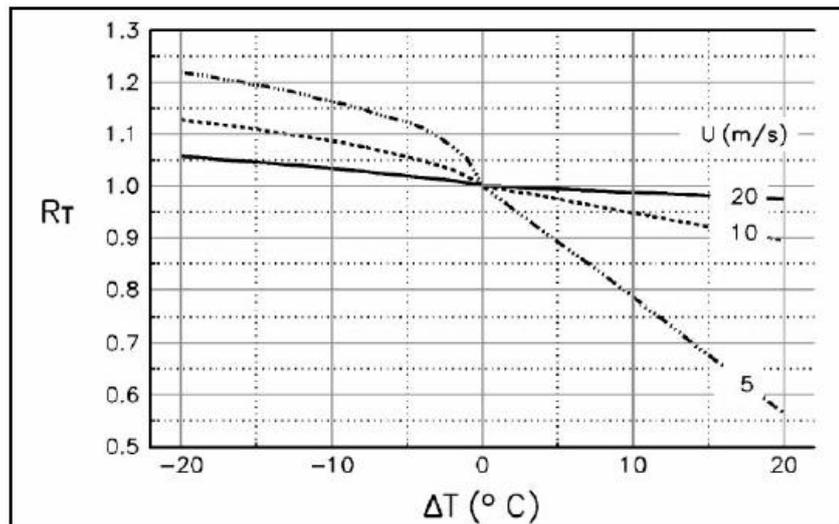
(Gambar. 2.)

RL = Koreksi terhadap pencatatan angin yang dilakukan di darat (Gambar.3)

(U₁₀)L = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas tanah (*land*).



Gambar 2 Koefisien koreksi kecepatan terhadap perbedaan temperatur



Gambar 3. Koefisien Koreksi terhadap pencatatan kecepatan di darat

Untuk menggunakan grafik yang ada pada buku *Shore Protection Manual (1984)*, kecepatan angin tersebut masih harus dirubah ke faktor tegangan angin U_A (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dengan rumus berikut (*Yuwono, 1992*) :

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

U = kecepatan angin dalam m/det.

U_A = faktor tegangan angin (*wind stress factror*)

Peramalan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s), dapat dilakukan dengan cara memasukkan nilai Wind Stress (U_A); panjang *fetch* (F); dan lama hembus (t) pada Grafik SPM, 1984 . Selain dengan cara grafik, tinggi dan periode tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$H_o = 5.112 \times 10^{-4} \times U_A \times F_{eff}^{0.5} \dots\dots\dots (6)$$

$$T_o = 6.238 \times 10^{-2} \times [U_A \times F_{eff}]^{0.5} \dots\dots\dots (7)$$

$$T = 3.2115 \times [F_{eff}^2 / U_a]^{1/3} \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

H_o = Tinggi gelombang

T_o = Periode gelombang

T = Durasi gelombang

F_{eff} = Panjang rerata efektif

U_A = Faktor tegangan angin

Sehingga dapat dihitung nilai H_s dan T_s menggunakan rumus berikut :

$$H_{rms} = n \times H_o \dots\dots\dots (9)$$

$$H_s = 1.416 \times H_{rms} \dots\dots\dots (10)$$

$$T_Z = n \times T_o \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

H_{rms} = H *root mean square*

H_s = H signifikan

T_s = T signifikan

n = Prosentase kejadian angin

H_o = Tinggi gelombang

T_o = Periode gelombang

2.3.2. Daerah Pembentukan Gelombang (*Fetch Efektif*)

Dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. *Fetch* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut (Triatmodjo, 1999)

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \gamma_i}{\sum \cos \gamma_i} \dots\dots\dots (12)$$

dimana :

F_{eff} = fetch efektif

Xi = panjang garis fetch

α_1 = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

2.3.3. Analisa Pasang Surut

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

Pengetahuan pasang surut sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pengaman pantai. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan pemecah gelombang, dermaga, dsb. Ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran/pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, yang tergantung pada tipe pasang surut. Periode pada muka air naik disebut pasang, sedang pada saat air turun disebut surut. Variasi muka air menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut, yang mengangkut massa air dalam jumlah sangat besar. Arus pasang terjadi pada waktu periode pasang dan arus surut terjadi pada periode air surut. Titik balik (*slack*) adalah saat dimana arus berbalik antara arus pasang dan arus surut. Titik balik ini bisa terjadi

pada saat muka air tertinggi dan muka air terendah. Pada saat tersebut kecepatan arus adalah nol.

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran.

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Tipe pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dengan periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevelailing semidiurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat diperairan Indonesia Timur.

4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevelailing diurnal tide*)

Pada tipe ini, dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

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

1. Muka air tinggi (*high water level*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water level*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*, MHWL), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
5. Muka air laut 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.
6. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level*, HHWL), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. Muka air rendah terendah (*lowest low water level*, LLWL), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

8. *Higher high water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
9. *Lower low water level*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

Pada umumnya sifat pasang surut di perairan ditentukan dengan menggunakan rumus Formzahl, yang berbentuk :

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \dots\dots\dots (13)$$

dimana nilai Formzahl,

- F = 0.00 – 0.25 ; pasut bertipe ganda (semi diurnal)
- F = 0.26 – 1.50 ; pasut bertipe campuran dengan tipe ganda yang menonjol (*mixed, mainly semi diurnal*)
- F = 1.51 – 3.00 ; pasut bertipe campuran dengan tipe tunggal yang menonjol (*mixed, mainly diurnal*)
- F > 3.00 ; pasut bertipe (*diurnal*)
- O₁ = unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- K₁ = unsur pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik matahari
- M₂ = unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- S₂ = unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Metode yang digunakan adalah metode Admiralty untuk mendapatkan konstanta harmonik pada melalui persamaan pasang surut :

$$A_{(t)} = S_n + A_{n=1}^{n=k} \cdot \cos(W - G_n) \dots\dots\dots (14)$$

dimana :

$A_{(t)}$ = Amplitudo

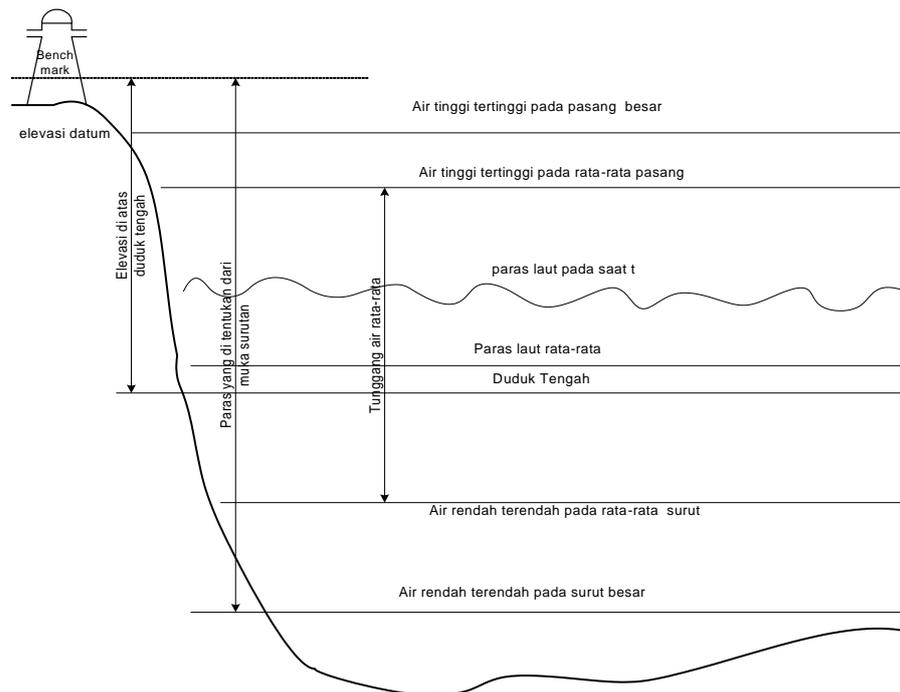
S_o = Tinggi muka laut rata-rata (MSL)

A_n = Amplitudo komponen harmonis pasang surut.

G_n = Phase komponen pasang surut

n = konstanta yang diperoleh dari hasil perhitungan astronomis

t = waktu



Gambar 4. Macam permukaan air laut yang digunakan sebagai datum referensi

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

$$\text{MSL} = Z_0 + 1,1 (M_2 + S_2) \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{DL} = \text{MSL} - Z_0 \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{MHWL} = Z_0 + (M_2+S_2) \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{HHWL} = Z_0+(M_2+S_2)+(O_1+K_1) \dots\dots\dots(18)$$

$$\text{MLWL} = Z_0 - (M_2+S_2) \dots\dots\dots(19)$$

$$\text{LLWL} = Z_0-(M_2+S_2)-(O_1+K_1) \dots\dots\dots(20)$$

$$\text{HAT} = Z_0 + \Delta A_i = Z_0 + (M_2 + S_2 + N_2 + P_1 + O_1 + K_1) \dots\dots(21)$$

$$\text{LAT} = Z_0 - \Delta A_i = Z_0 - (M_2 + S_2 + N_2 + P_1 + O_1 + K_1) \dots\dots(22)$$

dimana :

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

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

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

- MLWL = muka air rendah rerata (*mean low water level*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun
- LLWL = air rendah terendah (*lowest low water level*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
- DL = datum level
- HAT = tinggi pasang surut
- LAT = rendah pasang surut

2.3.4. Peramalan Gelombang

2.3.4.1. Fungsi Distribusi Probabilitas

Dua metode untuk memprediksi gelombang periode ulang tertentu yaitu metode distribusi Gumbel (*Fisher Tippett type 1*) dan metode distribusi Weibull (CERC,1992).

Dalam metode ini prediksi dilakukan untuk memperkirakan tinggi gelombang signifikan dengan berbagai periode ulang. Tidak ada petunjuk yang jelas untuk memilih salah satu dari kedua metode tersebut. Biasanya pendekatan yang dilakukan adalah mencoba beberapa metode tersebut untuk data tersedia dan kemudian dipilih yang memberikan hasil terbaik.

Kedua distribusi tersebut mempunyai bentuk berikut ini.

1. Distribusi Fisher-Tippett Type I

$$P(H_s \leq s) = e^{-e^{-\left(\frac{H_s - B}{A}\right)}} \dots\dots\dots (23)$$

2. Distribusi Weibull

$$P(H_s \leq s) = 1 - e^{-e^{-\left(\frac{H_s - B}{A}\right)}} \dots\dots\dots (24)$$

dimana :

$P(H_s \leq s)$ = Probabilitas bahwa s tidak dilampaui

H = Tinggi gelombang representatif

= Tinggi gelombang dengan nilai tertentu

A = Parameter skala

B = Parameter lokasi

K = Parameter bentuk

Data masukan disusun dalam urutan dari besar ke kecil. Selanjutnya probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut :

1. Distribusi Fisher-Tippett Type I

$$P(H_s \leq s_m) = 1 - \frac{m - 0.44}{N_T + 0.12} \dots\dots\dots (25)$$

2. Distribusi Weibull

$$P(H_s \leq s_m) = 1 - \frac{m - 0.2 - \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0.2 + \frac{0.23}{\sqrt{k}}} \dots\dots\dots (26)$$

dimana :

$P(H_s \leq s_m)$ = probabilitas dari gelombang representatif ke m
yang tidak dilampaui

s_m = Tinggi gelombang urutan ke m

m = nomor urut tinggi gelombang signifikan
 =1,2,3..N

N_T = Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan
 (bisa lebih besar dari gelombang representatif)

Parameter A dan B didalam Persamaan 25 dan 26 dihitung dari metode kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan. Hitungan didasarkan pada analisis regresi linier dari hubungan persamaan berikut :

$$H_m = A y_m + B$$

dimana y_m diberikan oleh bentuk berikut :

untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I :

$$y_m = - \ln \{ - \ln F(H_s \leq H_{sm}) \} \dots\dots\dots (2.25)$$

untuk distribusi Weibull :

$$y_m = - \ln \{ 1 - F(H_s \leq H_{sm}) \}^{1/k} \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan A dan B adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linier.

2.3.4.2. Periode Ulang

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus berikut ini :

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + B \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana y_r diberikan oleh bentuk berikut :

$$Y_r = \{\ln(LT_r)\}^{1/k} \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

H_{sr} =Tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

T_r = Periode ulang (tahun)

K = panjang data (tahun)

L = rerata jumlah kejadian per tahun = N_T/K

2.3.4.3. Interval Keyakinan

Perkiraan interval keyakinan adalah penting dalam analisis gelombang ekstrim. Hal ini mengingat bahwa biasanya periode pencatatan gelombang adalah pendek, dan tingkat ketidakpastian yang tinggi dalam perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya tergantung pada deviasi standar. Dalam laporan ini digunakan pendekatan yang dilakukan oleh Gumbel (1958) dan Goda (1988) dalam (CERC, 1992) untuk perkiraan deviasi standar dari nilai ulang. Deviasi standar yang dinormalkan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + r (y_r - c + v \ln v)^2 \right]^{1/2} \quad (2.29)$$

$$r = r_1 e^{-r_2 N^{-1.3} + k \sqrt{-\ln v}} \quad (2.30)$$

dimana :

σ_{nr} = standar deviasi yang di normalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

N = jumlah data tinggi gelombang signifikan

c, k, ϵ = koefisien empiris (dari tabel 1)

Tabel 1. Koefisien untuk menghitung deviasi standar

Distribusi	c	k	ϵ
FT - 1	0.64	9.0	0.93
Weibull (k=0.75)	1.65	11.4	-0.63
Weibull (k=1.0)	1.92	11.4	0.00
Weibull (k=1.4)	2.05	11.4	0.69
Weibull (k=2.0)	2.24	11.4	1.34

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

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma_{Hs} \quad (2.31)$$

Dimana

σ_r = kesalahan standar dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r .

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

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.

Tabel 2 Batas interval keyakinan tinggi gelombang signifikan ekstrim

Tingkat keyakinan(%)	Batas interval keyakinan terhadap H_{sr}	Probabilitas batas atas terlampaui (%)
80	1.28 σ_r	10.0
85	1.44 σ_r	7.5
90	1.65 σ_r	5.0

Tingkat keyakinan(%)	Batas interval keyakinan terhadap Hsr	Probabilitas batas atas terlampaui (%)
95	1.96 r	2.5
99	2.58 r	0.5

2.3.5. Deformasi Gelombang

Dalam perambatan gelombang menuju pantai, gelombang mengalami proses perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi gelombang dan panjang gelombang (Pratikto 1996). Ini terjadi karena proses pendangkalan (*wave shoaling*), proses refraksi, proses difraksi dan proses refleksi, sebelum gelombang tersebut akhirnya pecah.

Di laut dalam karakteristik gelombang tidak terpengaruh oleh kedalaman akan tetapi lebih sebagai fungsi dari kecepatan angin. Gesekan antara angin dan air laut menimbulkan gelombang (*swell*). Hubungan besaran-besaran pada laut dalam (Triatmodjo B, teknik pantai) sebagai berikut:

$$L_o = \frac{gT^2}{2\gamma} = CoT \dots\dots\dots (2.32)$$

dimana :

Lo = panjang gelombang dilaut dalam

T = periode gelombang

Co = cepat rambat dilaut dalam

= Fluktuasi muka air terhadap muka air diam

Didalam perambatannya menuju pantai kedalaman semakin berkurang yang menyebabkan kecepatan gerak gelombang semakin berkurang. Apabila arah gelombang relatif miring terhadap dari pada garis-garis kontur kedalaman akan

terjadi refraksi, yaitu pembelokan arah gelombang. Antara *shoaling* dan *refraksi* saling berpasangan. Persamaan gerak gelombang :

Untuk laut dangkal ($25d < L$) maka:

$$L = T\sqrt{gd} = CT \dots\dots\dots (2.33)$$

Untuk laut transisi ($25d < L < 2d$) maka:

$$L = \frac{gT^2}{2y} \tanh\left(\frac{2yd}{L}\right) \dots\dots\dots (2.34)$$

Di dalam perambatannya gelombang mengalami pecah di laut dalam atau dangkal, sesuai dengan persamaan berikut:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \tanh\left(\frac{2yd}{L}\right) \dots\dots\dots (2.35)$$

persamaan tersebut bisa disederhanakan jika untuk laut dalam:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \dots\dots\dots (2.36)$$

dan untuk laut dangkal disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \frac{2yd}{L} \dots\dots\dots (2.37)$$

dimana:

- d = kedalaman laut
- C = cepat rambat dilaut dangkal
- H = panjang gelombang dilaut dangkal

Run-up yaitu perjalanan gelombang pada kemiringan struktur. Tingginya run-up tergantung dari bentuk struktur, kekasaran, kedalaman struktur, kemiringan topografi di dasar laut, di depan struktur dan karakteristik gelombang yang datang.

2.3.5.1. Penentuan Kondisi Gelombang Pada Kedalaman Air Di Rencana Lokasi

Teori gelombang linier yang menjadi dasar dalam menganalisa distribusi gelombang. Keterangan yang paling mendasar dari gelombang sinusoidal yang menjadi acuan dari teori gelombang ini adalah gelombang panjang (L), tinggi gelombang (H), periode (T) dan kedalaman air (d). Diselidiki kondisi gelombang pada kedalaman air di rencana lokasi pemecah gelombang, yaitu apakah gelombang pecah atau tidak. Dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$d/L_o \dots\dots\dots (2.38)$$

dimana :

- d = kedalaman dasar laut
- L_o = panjang gelombang

Untuk nilai d/L_o dari tabel L-1 buku Teknik pantai (Triatmodjo 1999).

2.3.5.2. Gelombang Laut Dalam Ekuivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, yaitu tinggi gelombang di 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 dengan lebih mudah. Tinggi gelombang laut dalam ekivalen diberikan oleh bentuk :

$$H'_0 = K' K_r H_0 \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana :

H'_0 = tinggi gelombang laut dalam ekivalen

H_0 = tinggi gelombang laut dalam

K' = koefesien difraksi

K_r = koefesien refraksi

Konsep tinggi gelombang laut dalam ekivalen ini digunakan dalam analisis gelombang pecah, limpasan gelombang dan proses lain.

2.3.5.3. Refraksi Gelombang

Persamaan 2.39 menunjukkan bahwa kecepatan rambat gelombang tergantung pada kedalaman air dimana gelombang menjalar. Apabila cepat rambat gelombang berkurang dengan kedalaman, panjang gelombang juga berkurang secara linier. Variasi cepat rambat gelombang terjadi di sepanjang garis puncak gelombang yang bergerak dengan membentuk suatu sudut terhadap garis kedalaman laut, karena bagian dari gelombang di laut dalam bergerak lebih cepat daripada bagian di laut yang lebih dangkal. Variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut.

Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karekteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

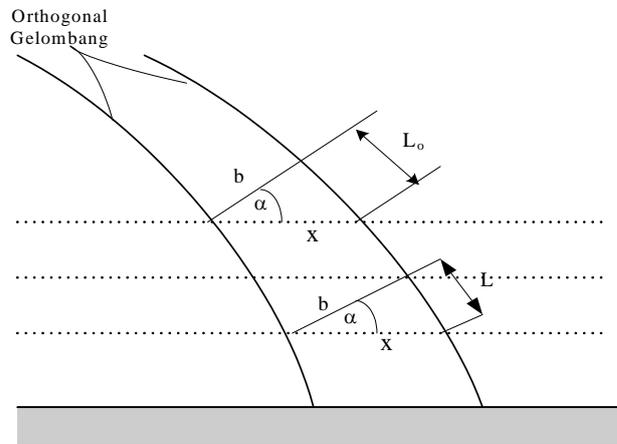
Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan konvergensi (pengucupan) atau *divergensi* (penyebaran) energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai.

Anggapan-anggapan yang digunakan dalam studi refraksi adalah sebagai berikut ini.

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

Gelombang berjalan dengan panjang gelombang pada laut dalam L_0 , mendekati pantai dengan puncak orientasi pada laut dalam yang paralel dengan lokasi garis pantai rata-rata.

Koefisien Refraksi (menurut gambar)



Gambar 5. Refraksi Gelombang pada kontur lurus dan sejajar

Apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau, maka :

$$\sin r = \left(\frac{C}{C_o} \right) \sin r_o \dots\dots\dots (2.40)$$

dimana :

α_o = sudut antara puncak gelombang dengan kontur dasar
 = sudut yang sama diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar

C_o = kecepatan gelombang pada kontur pertama

C = kecepatan gelombang pada kontur kedua

Seperti terlihat dalam gambar 5, jarak antara ortogonal di laut dalam dan disuatu titik adalah b_o dan b . Apabila kontur dasar laut adalah lurus dan sejajar maka jarak x di titik 0 dan di titik berikutnya adalah sama sehingga :

$$x = \frac{b_o}{\cos r_o} = \frac{b}{\cos r} , \text{ maka koefisien refraksi adalah :}$$

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \gamma_o}{\cos \gamma}} \dots\dots\dots (2.41)$$

dimana :

K_r = koefesien refraksi

2.3.5.4. Pendangkalan Gelombang (*Wave Shoaling*)

Jika suatu gelombang menuju perairan dangkal, maka terjadi perubahan karakteristik gelombang yang meliputi perubahan tinggi, panjang dan kecepatan gelombang. Dengan menganggap bahwa kemiringan perairan dapat diabaikan (Pratikto dkk, 1996). Proses pendangkalan gelombang (*shoaling*) adalah proses berkurangnya tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman. Kecepatan gerak gelombang juga berkurang seiring dengan pengurangan kedalaman dasar laut, sehingga menyebabkan puncak gelombang yang ada di air dangkal bergerak lebih lambat dibandingkan puncak gelombang yang berada di perairan yang lebih dalam. Koefisien *Shoaling* dapat dituliskan dalam bentuk :

$$K_s = \sqrt{\frac{C_o}{2\sqrt{gh}}} = \left[\frac{1}{8n} \frac{L_o}{h} \right]^{1/4} = 0,4464 \sqrt[4]{\frac{L_o}{h}} \quad \text{Atau}$$

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{n.L}} \dots\dots\dots (2.42)$$

dimana :

n_o = 0,5 (di dalam laut)

K_s = koefesien *shoaling* (diperoleh dari tabel L-1 buku Teknik pantai - Triatmodjo 1999).

Maka tinggi gelombang pada kedalaman H_0 akibat adanya *refraksi* dan *shoaling* adalah :

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \dots\dots\dots (2.43)$$

dimana :

- K_s = koefisien Shoaling
- K_r = koefisien Refraksi
- H_0 = tinggi gelombang di laut dalam.

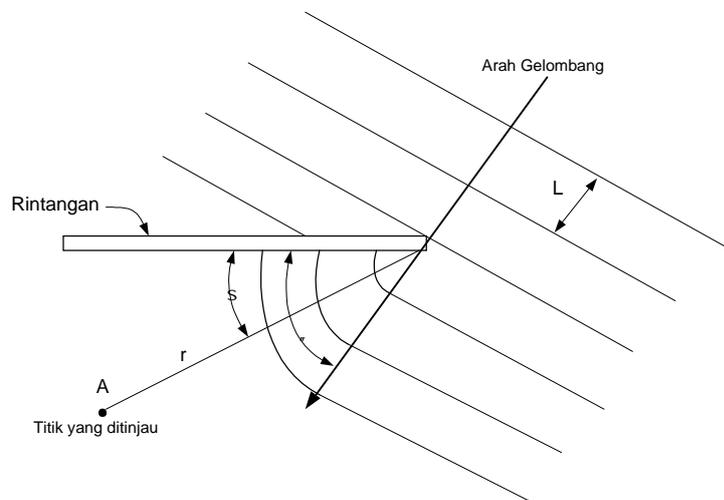
2.3.5.5. Difraksi Gelombang

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. Difraksi terjadi ketika terdapat perbedaan energi gelombang yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Pada awalnya kondisi di daerah yang terlindung penghalang cukup tenang (tidak terdapat gelombang), saat gelombang melintasi penghalang. Perairan yang jauh dari penghalang akan memiliki energi lebih banyak (energi gelombang awal) dibandingkan perairan di belakang penghalang yang semula tenang (tidak ada energi karena tidak ada gelombang), terjadilah proses pemindahan energi di panjang puncak gelombang tersebut ke arah daerah yang terlindung bangunan pantai.

Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk

busur linngkaran 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.

Ketika gelombang berjalan melewati sebuah struktur maka akan terjadi transfer energi gelombang sejalan dengan puncak gelombang ke balik struktur Gambar 6. Konsentrasi densitas energi akan menuju periode gelombang yang lebih tinggi dari spektrum. Dengan menentukan KD untuk jarak dari periode gelombang dan arah, salah satu dapat mengevaluasi karakteristik dari spektrum gelombang di suatu titik di daerah yang terlindung oleh struktur pantai guna perencanaan bangunan peredam gelombang.



Gambar 6. Difraksi Gelombang di belakang rintangan

Tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antar rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan S , dan sudut antara arah

penjalaran gelombang dan rintangan n , dan perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang (r/L) disebut koefisien difraksi K_d .

$$H_A = K_d \cdot H_P \dots\dots\dots (2.44)$$

2.3.5.6. Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang adalah pemantulan gelombang baik itu dipantulkan sebagian ataupun seluruhnya, refleksi disebabkan karena gelombang yang datang mengenai ataupun membentur suatu rintangan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak tenang di dalam perairan pelabuhan. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bias menyerap energi gelombang lebih banyak dibandingkan bangunan tegak dan masif.

Apabila refleksi sempurna maka koefisien refleksi (X) = 1, gelombang dengan tinggi gelombang H_i menurut teori gelombang amplitudo kecil fluktuasi muka air yang datang adalah :

$$y = H_i \cos kx \cos \uparrow t \dots\dots\dots (2.45)$$

Persamaan diatas menunjukkan fluktuasi muka air dari gelombang berdiri (*standing wave* atau *clapotis*) yang periodik terhadap waktu (t) dan terhadap jarak (x). Apabila $\cos kx = \cos \uparrow t = 1$ maka tinggi maksimum adalah $2H_i$, yang berarti bahwa tinggi gelombang didepan bangunan vertikal bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang.

2.3.5.7. Penentuan Jenis Aksi Gelombang (*Breaking Wave*)

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

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringan, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang dan panjang gelombang. Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tergantung pada kedalaman relatif d/L dan kemiringan dasar laut. Gelombang laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu. Munk 1949 dalam CERC 1984, memberikan rumus untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut:

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3.3 \left[\frac{H_0}{L_0} \right]^{\frac{1}{3}}} ; d_b = 1.28 H_b \dots\dots\dots (2.46)$$

dimana :

d_b = kedalaman gelombang pecah

H_b = tinggi gelombang pecah

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe sebagai berikut :

1. *Spilling*

Spilling biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang selama mengalami pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang.

2. *Plunging*

Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah , gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam *turbulensi*, sebagian kecil dipantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal.

3. *Surging*

Surging terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Gelombang pecah tipe *surging* ini mirip dengan *plunging*, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.

Pada umumnya langkah-langkah yang direncanakan untuk memberikan stabilitas terhadap pantai dibedakan kedalam dua kelas (CERC, SPM, Vol 1, 1984). Yang pertama adalah struktur yang dipergunakan untuk menjaga agar gelombang yang besar tidak menjangkau kawasan pantaim dermaga ataupun pelabuhan. Contoh

struktur ini adalah *breakwater*, *seawall*, *bulkheads* dan *revetment*. Yang kedua struktur buatan yang digunakan untuk mengurangi laju sedimen Angkutan sepanjang pantai, baik yang sejajar dengan garis pantai maupun pada arah yang tegak lurus garis pantai. Contoh dari struktur ini adalah *groin* dan *jetties*. Untuk pelabuhan sendiri yang paling penting adalah bangunan berikut ini :

a). Breakwater

Breakwater adalah struktur yang dibangun untuk melindungi kawasan pantai dan pelabuhan. Biasanya dibangun berupa *rubble mound*, struktur beton, *sheet -piling* dan sebagainya, atau dapat juga berupa struktur *floating*.

Breakwater adalah struktur yang dirancang untuk melindungi daerah sepanjang garis pantai dari hempasan gelombang laut. Biasanya dibangun secara paralel terhadap pantai dan berada di lepas pantai pada jarak tertentu (CERC,SPM,Vol 1, 1984). Konstruksi ini dirancang untuk melindungi dermaga atau daerah pantai yang tidak dikehendaki terjadi erosi. Pada dasarnya *breakwater* beroperasi dengan mereduksi energi yang menyertai terjadinya gelombang di pantai. Struktur tersebut memantulkan gelombang dan memindahkan energi gelombang dalam bentuk difraksi gelombang setelah terjadi tumbukan (CERC, SPM Vol11, 1984). Hasil reduksi energi gelombang ini akan mengurangi pula perpindahan sedimen ke lepas pantai yang diakibatkan oleh pengaruh gelombang. Dengan demikian sedimen akan dipindahkan dari daerah tersebut hanya pada arah sejajar garis pantai atau akan mengumpul dibalik struktur akan semakin besar. Sedimen yang menendap dibalik struktur ini akan membentuk tembolo.

Jenis – jenis material penyusun *vertikal wall break water* terbuat dari :

1. Balok beton (*concrete block*)
2. *Concrete / steel caissons*
3. *Rock fill – steel sheet pile cell.*
4. *Rock fill timber crib.*
5. *Perforated concrete crib*
6. *Concrete atau steel sheet – pile walls.*

Ada dua jenis *breakwater* yang biasa di bangun (CERC, SPM, vol 1, 1984), yaitu *Shore-connected Breakwater* dan *offshore breakwater*. *Shore-connected Breakwater* dicirikan bahwa struktur ini berhubungan langsung dengan daratan. Sedangkan *offshore breakwater* sebaliknya tidak berhubungan secara fisik dengan daratan, keduanya hampir dapat dipastikan mempunyai kesamaan dalam kegunaanya.

b). Groin

Groin adalah salah satu jenis struktur pengaman pantai yang didesain pada sepanjang pantai untuk memangun pantai yang stabil. Biasanya groin dibangun dengan material batu alam, tribar, dolos dan sebagainya. Secara operasional groin ditentukan oleh beberapa ketentuan (CERC, SPM Vol 1, 1984) yaitu :

1. Groin hanya dapat digunakan terhadap kondisi *longshore transport*.
2. Penyesuaian keadaan pantai disekitar groin akan bergantung pada jarak dan arah *longshore transport*.
3. Hasil akumulasi *longshore transport* oleh groin pada pantai akan mengubah profil pantai.

4. Gelombang yang menempa groin kadang-kadang akan dipantulkan ke lepas pantai sepanjang sisi groin.
5. Prosentase *longshore transport* yang melalui groin akan bergantung pada dimensi groin, material pengisi groin, water level dan iklim gelombang.

c). Jetty

Jetty adalah suatu struktur yang dibangun memanjang ke perairan dan ke arah batas sungai atau aliran pasang-surut. Jetty dibangun untuk mencegah terjadinya pendangkalan karena pengendapan material lotoral. Jetty biasanya ditempatkan pada sekitar muara sungai, untuk melindungi terhadap aksi gelombang dan arus (CERC, SPM Vol 1, 1984).

d). Revertment

Revertment biasa di sebut “*slope protection*” adalah merupakan bangunan pelindung tebing pantai terhadap gelombang yang relatif kecil, misalnya pada kolam pelabuhan, bendungan ataupun pantai dengan gelombang kecil. Ada dua tipe revertment yaitu “*permiabile revertment*” dan “*impermiabile revertment*” (Pratikto,1996).

e). Sea Wall

Merupakan pelindung tebing pantai terhadap gelombang yang cukup besar. Secara kasar profil *sea wall* dapat dikelompokkan dalam bentuk : vertikal, miring, lengkung cembung dan lengkung cekung.

f). Bulk head

Fungsi utama *bulkhead* adalah untuk menahan terjadinya *sliding* tanah, selain melindungi tanah dari kerusakan akibat gelombang. Menurut Quin (1972) *sheet*

pile bulkhead dapat terbuat dari kayu, baja, atau beton yang di dukung *tie rod* yang dihubungkan dengan *anchored wall* atau *anchored pile* yang terletak pada jarak yang aman di balik (sisi belakang) *bulkhead*.

g). Concrete block

Banyak digunakan di Eropa untuk konstruksi *break water* vertikal. Sebagai contoh dari desain ini adalah *break water Granili* yang di bangun pada 1960 sebagai pelindung dock dan pelabuhan Naples, Italy. Bangunan ini di design paralel dengan pantai dengan jarak 600 m dan panjang 1000 m.

Tabel 3. Pemakaian Bangunan pantai

upaya	Statis (hard)	Dinamis (soft)	sementara
armoring	seawall bulkhead revetment	gravel revetment	geotextile bags geotextile mats
moderation	rock groin sills breakwater	vegetation dune fixents	floating breakwater beach drain dune fencing geotextile bags
restoration	fixed by passing plant	dredging beach fill dune building nearshore berms	-
abstention	-	-	-
adaptation	-	-	-

Sedangkan yang mendukung pelabuhan sendiri agar bisa berjalan dengan lancar, antara lain :

- 1). Alur pelayaran, yang berfungsi untuk mengarahkan kapal – kapal yang akan keluar/ masuk ke pelabuhan. Alur pelayaran harus mempunyai

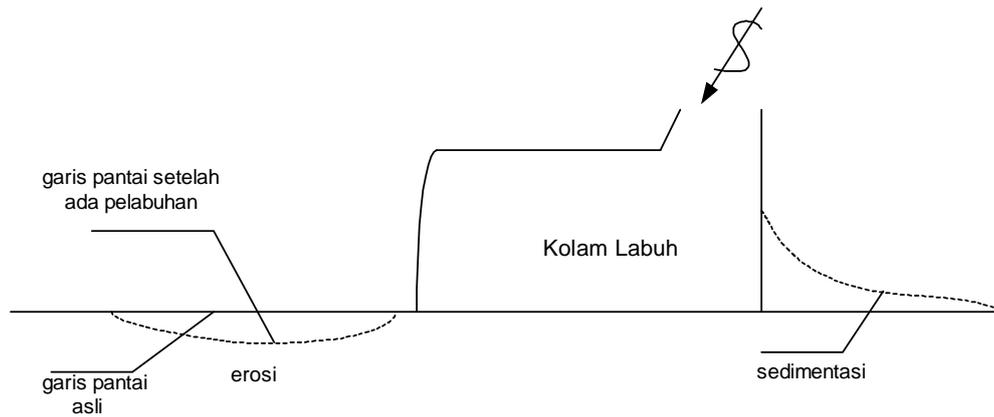
kedalaman dan lebar yang cukup untuk bisa dilalui kapal – kapal yang menggunakan pelabuhan. Apabila laut dangkal maka harus dilakukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang diperlukan.

- 2). Kolam pelabuhan, merupakan daerah perairan di mana kapal berlabuh untuk melakukan bongkar muat, melakukan gerakan untuk memutar (di kolam putar), dsb. Kolam pelabuhan harus terlindungi dari gangguan gelombang dan mempunyai kedalaman yang cukup. Di laut yang dangkal diperlukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang direncanakan.

2.3.6. Pengaruh Sedimentasi

Pembangunan pelabuhan pada pantai terbuka dengan bangunan pemecah gelombang yang menjorok ke laut akan menyebabkan sedimentasi. Bangunan tersebut menyebabkan terhalangnya transpor sedimen sepanjang pantai, dan menyebabkan pengendapan sedimen pada daerah pelabuhan dan mengalami erosi pada daerah lainnya. Dan sedimen yang masuk dalam kolam labuh dapat mempengaruhi aktivitas kapal melakukan bongkar muat.

Untuk mengatasi daerah pantai yang mengalami erosi, perlu dibuat bangunan pelindung pantai berupa dinding pantai (*revetment*), groin. Berikut ini jenis bangunan pelindung pantai yang akan menahan pantai dari erosi karena serangan gelombang, dan groin akan menahan/menangkap angkutan sedimen sepanjang pantai.



Gambar 7. Pengaruh Sedimentasi di sekitar pelabuhan

Untuk itu di dalam perencanaan pelabuhan harus ditinjau permasalahan sedimentasi. Proses erosi dan sedimentasi tergantung pada sedimen dasar dan pengaruh hidrodinamika gelombang dan arus. Sedimen yang diangkut biasanya tersebut biasanya berupa *bed load* (menggeling, menggeser di dasar laut) seperti misalnya pasir atau melayang untuk sedimen suspensi (lumpur, lempung). Proses sedimentasi ini sulit ditanggulangi, oleh karena itu masalah ini harus diteliti dengan baik untuk dapat memprediksi resiko pengendapan, sedimen suspensi biasanya berasal dari sungai-sungai yang bermuara di pantai.

2.4. Dasar Perencanaan Breakwater

Secara alamiah sebenarnya pantai telah memiliki mekanisme perlingkungannya sendiri, yaitu berupa kemiringan pantai dan bukit-bukit pasir yang terdapat di sepanjang pantai (CERC, SPM. Vol 1, 1984). Kemiringan pantai merupakan garis terluar pertahanan untuk meredam energi gelombang. meskipun tetap akan terjadi pengikisan pada pantai, tetapi seringkali bukit-bukit pasir tersebut akan dapat secara alamiah terbentuk kembali. Dengan demikian akan mampu melindungi

tanah daratan yang ada di belakangnya. Pembentukan kembali bukit-bukit pasir tersebut terjadi dalam suatu periode kurun waktu tertentu. Dalam hal ini sedimen yang terkikis akan dapat digantikan oleh adanya endapan pada daerah tersebut. Hal ini biasanya disebut pantai yang stabil atau seimbang. Stabilitas pantai tergantung pada kecepatan debit sedimen yang terendapkan dan terpindahkan dari suatu kawasan pantai. Perpindahan sedimen terjadi karena interaksi gelombang, angin, arus, pasang-surut dan gaya lingkungan lainnya.

Seiring dengan perkembangan kemajuan peradapan manusia dimana terjadi perkembangan pembangunan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhannya, maka seringkali kestabilan pantai terganggu oleh perilaku manusia tersebut. Pembangunan perumahan mewah, jalan, sarana pariwisata serta penambangan material yang sembarangan dan masih diperdebatkan dengan adanya penebangan tanaman pantai secara liar dan sebagainya merupakan awal dari kerusakan pantai itu sendiri oleh tangan manusia. Akibatnya mekanisme keseimbangan erosi dan pengendapan pada pantai yang merupakan syarat terbentuknya pantai yang stabil akan terganggu pula.

Pada saat sistim perlindungan pantai yang alami mulai terganggu, langkah pertama yang harus dilakukan adalah dengan memakai metode quasi natural atau metode yang meniru perilaku alam, misalnya dengan membuat bukit pasir tiruan yang berupa sand dune untuk mengatasi permasalahan diatas. Selama metode tersebut masih mampu mengatasi kondisi permasalahan maka akan tetap dipakai tanpa perlu menggunakan metode perlindungan pantai dalam bentuk lain. Apabila sudah tidak dimungkinkan metode ini dimana erosi dan angkutan sedimen masih

terjadi serta dapat merusak kondisi lingkungan kawasan pantai, maka selanjutnya diperlukan konstruksi buatan untuk melindungi kawasan pantai.

2.4.1 Perencanaan Dimensi Breakwater

Pemecah gelombang tumpukan batu (*Rubble mount break water*) yaitu suatu struktur yang terdiri dari lapisan bawah (*bedding layer*) dan inti (*core*) yang terdiri batu pecah (*quarry stone*) yang ditutupi satu atau dua lebih lapisan batu yang lebih besar, bisa batu pecah atau cetakan beton (*concrete armor unit*). Ada beberapa pertimbangan penting dalam perencanaan *breakwater*

2.4.2 Penentuan Elevasi Puncak Breakwater

Penentuan elevasi puncak pemecah gelombang sangat tergantung pada tinggi muka air maksimum, tinggi gelombang rencana pada lokasi *breakwater*, *wave run-up* dan *overtopping*. *Wave run-up* adalah peristiwa merayap / melompatnya gelombang sepanjang tepi struktur tersebut. Adapun tinggi rayapan tersebut tergantung pada bentuk struktur, kekasaran permukaan kedalaman ujung bawah *brekwater*, karakteristik gelombang datang, bila gelombang yang mengenai *breakwater* adalah gelombang pecah.

Elevasi puncak *breakwater* dengan memperhitungkan tinggi kebebasan 0.5 meter adalah :

$$El_{\text{pemecah gelombang}} = \text{HWL} + \text{tinggi kebebasan}$$

Dari elevasi puncak gelombang, maka dapat dihitung tingginya pemecah gelombang yaitu dengan persamaan:

$$H_{\text{pemecah gelombang}} = E_{\text{pemecah gelombang}} + E_{\text{dasar laut}}$$

2.4.3 Berat Butir Lapis Pelindung

Stabilitas *breakwater* tergantung berat satuan dan bentuk dari masing-masing batu pelindung. Hal ini karena *breakwater* merupakan struktur gravitasi, yaitu struktur yang bekerja berdasarkan beratnya sendiri. Syarat perluasan ke bawah ke arah kaki struktur berdasarkan pada kedalaman air relatif terhadap tinggi gelombang. Oleh karena itu instabilitas dapat terjadi pada perpotongan antara lapisan dan sediman (Bagian bawah konstruksi) dan dapat pula dimulai pada ujung lapisan puncak.

Untuk *breakwater type rubble mound* yang terdiri dari batuan-batuan yang disusun bertumpuk yang memungkinkan batuan-batuan ini akan dapat terlepas dari susunannya. Untuk mencegah adanya hal ini maka bidang datar pemecah gelombang harus cukup lebar.

Lebar puncak pemecah gelombang ditentukan berdasarkan jumlah armor unit yang akan diletakkan pada puncaknya untuk $n=3$ (minimum) (SPM Vol 2, 1984) .

Berat batu lapis pelindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini:

$$W = \frac{\gamma_r (H_0)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot g_n} ; S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

Dimana :

W = berat rerata butir batu (ton)

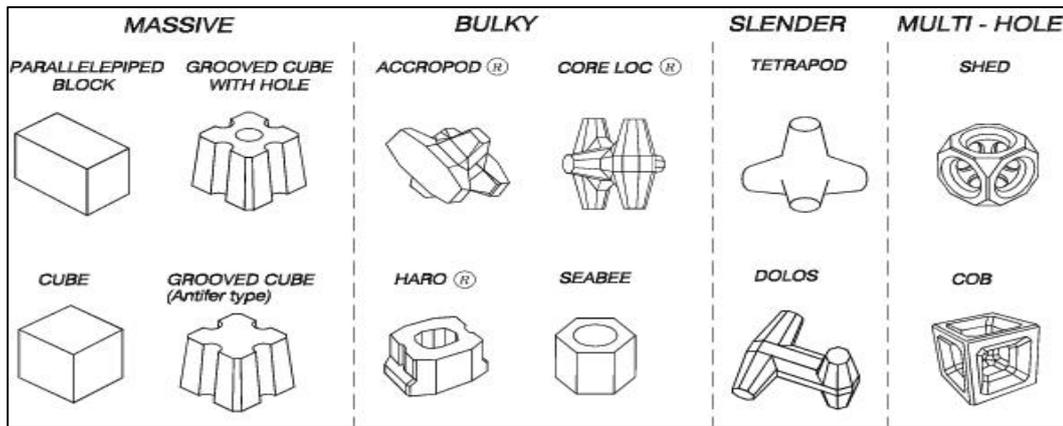
γ_r = Berat jenis batu (ton/m³)

H = tinggi gelombang rencana (m)

S_r = perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air

$$\text{laut} = \gamma_r / \gamma_a$$

Batu lapis pelindung dapat berupa batuan, blok beton ataupun batu buatan. Jenis-jenis batu buatan seperti berikut :



Gambar 8. Jenis-jenis batu lapis pelindung buatan

2.4.4 Lebar Puncak Breakwater

$$B = n \cdot k_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3}$$

Dimana :

B = lebar puncak

n = jumlah butir batu ($n_{\text{minimum}} = 3$)

k_{Δ} = koefisien lapis

W = berat butir batu pelindung

γ_r = berat jenis batu pelindung

2.4.5 Tebal Lapis Pelindung

Tebal lapis pelindung $n = 2$ dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$t = n \cdot k_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Dimana :

t = tebal lapis pelindung

n = jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

k_{Δ} = koefisien lapis

W = berat butir batu pelindung

γ_r = berat jenis batu pelindung

2.4.6 Jumlah Butir Batu Pelindung

Jumlah batu pelindung tiap satuan luas dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N = A \cdot n \cdot k_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Dimana :

n = jumlah butir batu untuk tiap satuan luas permukaan A

n = jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

k_{Δ} = koefisien lapis

γ_r = berat jenis batu pelindung

A = luas permukaan

P = porositas rerata lapis pelindung

Penentuan luas penampang lapisan pelindung, dengan kemiringan 1:2

2.4.7 Lapisan Utama

Lapisan ini berada paling luas dari struktur pemecah gelombang dan lapisan ini yang menentukan luas daerah yang dilindungi oleh pemecah gelombang. Agar diperoleh struktur yang stabil maka harus diusahakan agar setiap armor unit yang dipasang satu sama lainnya harus cukup kuat untuk menerima energi gelombang yang datang menghantamnya. Setiap armor unit yang dipasang satu dengan yang lainnya harus saling mengait (*interlocking*), sehingga struktur tersebut terhindar dari keruntuhan. Untuk itu juga harus diperhatikan berat dari masing-masing unit lapisan utama yang akan dipasang.

2.4.8 Lapisan Pendukung

Lapisan ini terletak di antara lapisan inti dengan lapisan utama, dan berfungsi untuk mencegah hanyutnya batuan inti melalui pori-pori batuan dan untuk memberikan nilai permeabilitas pada struktur. *Breakwater* harus dapat stabil selama pembangunannya dan setelah selesainya. Dan merupakan hal yang penting bahwa lapisan yang berada di sebelah dalam di bawah lapisan utama besarnya diukur sedemikian rupa sehingga dapat menahan gelombang yang mungkin terjadi selama periode pembangunannya.

2.4.9 Lapisan Inti

Lapisan inti terletak paling dalam pada struktur *breakwater* dan memiliki fungsi utama untuk mendukung penempatan uniy-unit armor agar terletak pada posisinya yang sebenarnya, sehingga akan menambah stabilitas dan memberi bentuk pada struktur. Fungsi lainnya adalah menentukan struktur tersebut apakah harus menutup rapat pasir (kondisi *sand tight*), sehingga lapisan inti cukup beralasan

untuk dibuat *impermeable*. Artinya bahwa struktur tersebut tidak dapat dilewati oleh pasir, tetapi air masih mengalir melalui inti. Untuk lapisan inti ini bisa menggunakan material penyusun batu alam dengan syarat kedap air, tetapi tidak menutup kemungkinan juga untuk menggunakan material batuan, mengingat batu alam sulit didapat disekitar lokasi pembangunan struktur tersebut.

2.4.10 Stabilitas Pemecah Gelombang

Menurut Yuwono (1982) penyebab kegagalan utama bangunan pemecah gelombang monolit adalah :

- a) Hilangnya daya dukung pasir akibat getaran (*quick – sand, liquefaction of sandy soil*).
- b) Penggeseran arah horisontal (*horisontal sliding*).
- c) Penggulingan (*overturning*).
- d) Kegagalan pondasi bangunan : penggeseran (*circular sliding*), daya dukung ijin tanah terlampaui, gerusan (*scouring*).

Gerusan dapat disebabkan karena adanya arus horisontal ataupun pusaran di depan dinding pemecah gelombang. Dengan adanya gerusan di depan bangunan ini konstruksi menjadi tidak stabil dan dapat runtuh.

Gaya gelombang *clapotis*/gelombang pecah yang bekerja cukup lama dapat menyebabkan konstruksi terguling atau tergeser.

Quick sand dapat disebabkan karena adanya gempa bumi ataupun getaran yang disebabkan oleh gaya kejut gelombang. Meskipun cukup singkat gaya ini dapat mengakibatkan gagalnya konstruksi. Tanah dasar yang berupa pasir halus biasanya banyak menimbulkan masalah pada pemecah gelombang monolit.

Bilamana tanah tersebut mendapat variasi beban yang sangat cepat, seperti gempa dan gaya kejut gelombang maka tanah dasar ini seakan – akan cair dan daya dukungnya menjadi sangat kecil. Hal ini dapat menyebabkan konstruksi terbenam ke dalam tanah. Salah satu cara untuk menghindari ini adalah dengan membuat filter di bawah konstruksi tersebut. Kadang – kadang konstruksi filter tersebut di atas masih belum memadai dan *quick sand* masih dapat terjadi di lapisan bagian bawah, untuk menghindari ini dapat dilakukan beberapa cara diantaranya :

- a) Membuat konstruksi drainase vertikal.
- b) Perbaiki tanah dasar
- c) Pemakaian pondasi tiang.

2.4.11 Penurunan Tanah (*Settlement*)

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori atau air didalam tanah tersebut. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) (Braja M. Das, 1995).

Penurunan segera (*immediate settlement*) yaitu penurunan pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering atau tak jenuh terjadi dengan segera sesudah menerima beban langsung. Penurunan segera terjadi dengan cepat pada saat pembebanan awal konstruksi, sehingga tidak membahayakan struktur. Penurunan segera merupakan bentuk penurunan elastis. Penurunan segera banyak

diperhatikan pada kondisi bangunan yang terletak pada tanah granuler atau tanah berbutir kasar.

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak dibawah muka air. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya. Penurunan konsolidasi dapat dibagi dalam tiga fase,yaitu:

Fase awal, yaitu fase dimana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Disini, penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanahnya. Pada lempung jenuh kemungkinan ini sangat kecil. Tetapi dalam lempung tak jenuh hal ini pengaruhnya sangat besar terhadap penurunan.

Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat adanya tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanahnya seperti permeabilitas, kompresibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horisontal dari zona mampat, dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

Fase konsolidasi sekunder merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, dimana prosesnya sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya sangat kecil. Kecuali, pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung tak organis yang sangat mudah mampat.

Maksud dari analisa stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Beberapa anggapan yang dipakai dalam analisa stabilitas lereng yaitu:

- a) kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
- b) Massa tanah longsor dianggap benda yang masif.
- c) Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
- d) Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar satu.

Rumus Settlement yang di berikan oleh Braja adalah :

$$S = \frac{C_s \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \left[\frac{P_0 + \Delta p}{P_c} \right]$$

Dimana :

S = Settlement (m)

Cc = Indeks penyusutan

Pc = Tegangan prakonsolidasi (Ton/m²)

Po = Tegangan efektif (Ton/m²)

H = Tinggi tanah pada saat tegangan efektif bekerja

e_o = Angka pori awal

p = Penambahan tegangan (Ton/m²)

Cs = 1/5 x Cc

2.4.12 Kelongsoran Tanah (*Sliding*)

Pada permukaan tanah tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikembangkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi longsor. Analisa stabilitas tanah pada permukaan yang miring ini, biasanya disebut dengan analisa stabilitas lereng.

Penyebab kelongsoran lereng akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh dalam (*internal effect*), yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori didalam lerengnya. Dan pengaruh luar (*external effect*) yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser dari tanahnya.

Maksud dari analisa stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Beberapa anggapan yang dipakai dalam analisa stabilitas lereng yaitu:

- a) kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
- b) Massa tanah longsor dianggap benda yang pasif.
- c) Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.

Perumusan untuk menghitung pergeseran tanah dasar (*sliding*) tersebut diberikan oleh Bishop maupun Fellenius dengan indikasi adanya angka keamanan (SF) yang di hitung dengan metode irisan (*slice method*), seperti rumus berikut ini :

$$\frac{\sum_{n=1}^{n=p} (C \cdot B_n + W_n \cdot \tan \phi) \cdot \frac{1}{m \cdot \alpha \cdot (n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha} \geq SF$$

Dimana :

SF = Faktor keamanan

C = Cohesi tanah (kN/m²)

B_n = Lebar irisan (m)

W_n = Berat tanah dalam tiap irisan (kN)

= Sudut geser tanah

= Sudut antara titik gelincir dengan titik berat irisan

SF < 1 (*Breakwater* dalam keadaan tidak stabil)

SF = 1 (*Breakwater* dalam keadaan kritis)

SF > 1 (*Breakwater* dalam keadaan stabil)

Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, faktor aman hasil hitungan lebih besar 1(satu).

2.5. Pemodelan Perubahan Garis Pantai

Pemodelan perubahan garis pantai dimaksud untuk mengetahui perubahan garis Pantai Timur Lampung dalam kurun waktu tertentu. Perubahan garis pantai pada lokasi studi ini dilakukan dengan pemodelan numerik yang digunakan untuk mengasumsikan perubahan garis pantai pada perairan terbuka dimana sangat cocok untuk perairan Pantai Timur Lampung, pemodelan *GENESIS* dapat menghasilkan data perubahan garis pantai yang disebabkan oleh dinamika angkutan sedimen sejajar pantai(*longshore sediment transport*). *GENESIS* merupakan bagian dari sistem pemodelan terstruktur SMS (*Shore Modelling System*) yang elah dikembangkan oleh Hans Hanson, Nicolas C Kraus dan Mark B Gravens dari CERC (*Costal Engineering Research Cener*).

2.5.1. Program Hidrodinamika

Program Hidrodinamika adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer untuk *2D free-surface flows*. Program Hidrodinamika dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, danau, estuari, teluk, pantai dan laut. terdiri dari beberapa modul, diantaranya adalah sebagai berikut :

Hydrodynamic (HD) Modul

hydrodynamic (HD) module adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*.

Hydrodynamic module mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai. Efek dan fasilitas yang termasuk di dalamnya yaitu:

- *bottom shear stress*
- *wind shear stress*
- *barometric pressure gradients*
- *Coriolis force*
- *momentum dispersion*
- *sources and sinks*
- *evaporation*
- *flooding and drying*
- *wave radiation stresses*

Model hidrodinamik adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Model ini mensimulasi aliran dua dimensi dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen). Persamaan berikut, konservasi massa dan momentum, menggambarkan aliran dan perbedaan muka air:

$$\frac{\partial'}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial'}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\dots_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\ddagger_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\ddagger_{xy}) \right]$$

$$- \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\dots_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

(2)

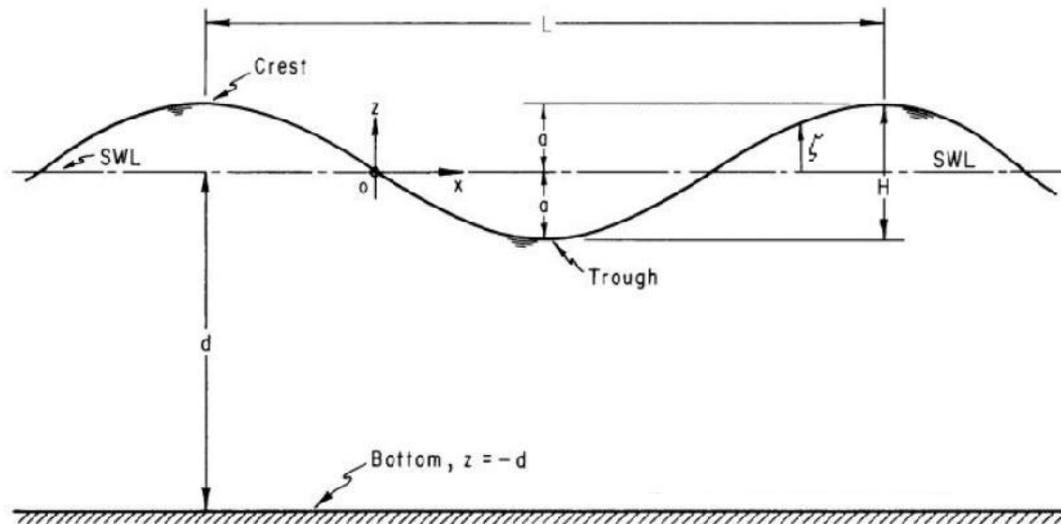
$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial'}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\dots_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\ddagger_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\ddagger_{xy}) \right]$$

$$-\Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\dots_w} \frac{\partial}{\partial xy}(p_a) = 0$$

(3)

Dimana:

$h(x, y, t)$	= kedalaman air
$d(x, y, t)$	= kedalaman air dalam berbagai waktu (m)
$'(x, y, t)$	= elevasi permukaan (m)
$p, q(x, y, t)$	= <i>flux density</i> dalam arah x dan y ($m^3/s/m$) = (uh, vh); (u, v) = <i>depth averaged velocity</i> dalam arah x dan y
$C(x, y)$	= tahanan Chezy ($m^{1/2}/s$)
g	= kecepatan gravitasi (m/s^2)
$f(V)$	= faktor gesekan angin
$V, V_x, V_y, (x, y, t)$	= kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s)
$\Omega(x, y)$	= parameter Coriolis (s^{-1})
$p_a(x, y, t)$	= tekanan atmosfer (kg/m^2)
\dots_w	= berat jenis air (kg/m^3)
x, y	= koordinat ruang (m)
t	= waktu (s)
$\ddagger_{xx}, \ddagger_{xy}, \ddagger_{yy}$	= komponen <i>effective shear stress</i>



Gambar 2.3 Sketsa muka air (SPM, 1984)

2.5.2. Program Numerik

Pemrograman Numerik dikembangkan untuk mensimulasikan perubahan garis pantai dalam jangka panjang pada perairan terbuka dan sejajar garis pantai akibat gelombang pecah.

Perkiraan awal yang digunakan untuk pemodelan garis pantai :

1. Angkutan sedimen terjadi akibat gelombang pecah dan terjadi di *surf zone*
2. Bentuk profil pantai yang tetap
3. Perubahan garis pantai terjadi dalam waktu yang lama.

Kelebihan program numerik yaitu :

1. Mampu memodelkan kecenderungan perubahan jangka panjang dari garis pantai untuk sebuah kawasan yang cukup luas.
2. Dapat dikombinasikan dengan bangunan – bangunan pelindung pantai seperti groin, jetty, seawall, timbunan pantai dan breakwater, juga dengan struktur – struktur campuran seperti bentuk T, bentuk Y.

3. Tinggi, perioda dan arah gelombang laut dapat diubah – ubah.
4. Pada breakwater terjadi transmisi gelombang.
5. Difraksi terjadi pada pemecah gelombang, jetty, dan groin

Kekurangan program numerik adalah :

1. Tidak terjadi pantulan (refleksi gelombang pada struktur).
2. Tidak dikembangkan untuk pembentukan tombolo (garis pantai tidak dapat menyentuh breakwater).
3. Perlu sedikit pembatasan pada penempatan bentuk dan orientasi struktur.
4. Tidak dipersiapkan untuk perubahan elevasi pasang surut.
5. Penyederhanakan perhitungan yang digunakan dalam teori pemodelan perubahan garis pantai.

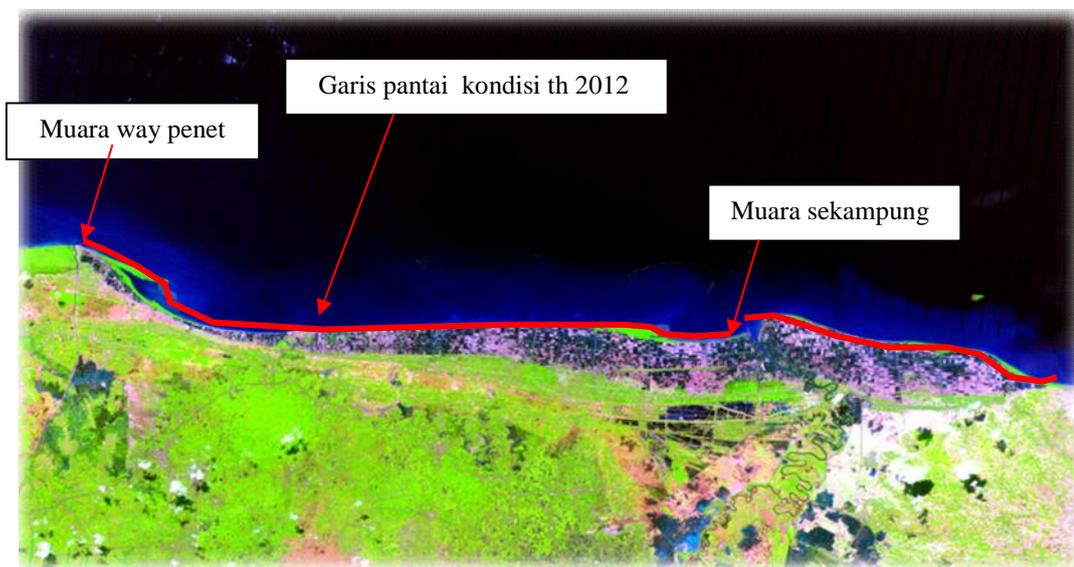
Dapat dilihat bahwa untuk menjalankan perangkat lunak diperlukan beberapa file input, kemudian file input ini dieksekusi sehingga kita mendapatkan file output.

3.2. Pengumpula Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data sekunder, berikut ini data yang telah diperoleh :

3.2.1. Garis Pantai

Penentuan garis pantai dilakukan dengan cara tracking sepanjang garis pantai dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Selain itu acuan untuk melihat perubahan garis pantai digunakan data sekunder yang berasal dari peta rupa bumi dan batimetri serta citra satelit landsat ETM 7 dengan kisaran waktu yang berbeda. Citra yang digunakan memiliki waktu berbeda ini sebenarnya mengacu dari pendapat-pendapat yang telah disampaikan dari awal bahwa perubahan garis pantai selain dilihat berdasarkan skala ruang juga harus dilihat berdasarkan skala waktu. Adapun garis pantai bulan Agustus tahun 2012 sebagai acuan kondisi awal dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kondisi garis pantai tahun 2012

3.2.2. Gelombang dan Pasang Surut

Pengukuran gelombang dan pasang surut dengan alat *Tide Guage* yang memakai metode mooring. Data gelombang diukur per 5 menit dan interval waktu pengukuran per 3 jam. Sedangkan pasang surut diukur per 24 jam. Lama waktu pengukuran di lapangan adalah selama 6 hari. Hasil rekaman langsung ditransfer ke komputer. Untuk gelombang beberapa komponen yang tercatat diantara, tinggi, periode dan panjang gelombang. Sedangkan pasang surut adalah data beda tinggi air setiap jam. Selain itu untuk kedua data ini, digunakan juga data sekunder.

Untuk data angin (Tahun 1993 – 2007) diperoleh dari Bandara Raden Intan II dan data pasang surut (bulan Maret dan Juli 2007) dari Dishidros TNI AL.

3.3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan data pengamatan untuk Pantai Timur Lampung di kabupaten Lampung Timur. Data yang digunakan merupakan data sekunder, kemudian data tersebut dilakukan perhitungan untuk mengetahui perubahan garis Pantai Timur Lampung dengan kondisi tanpa breakwater dan dengan dipasang *breakwater*. Adapun secara umum proses pengerjaannya meliputi :

1. Studi literatur

Studi dan pengumpulan literatur sebagai bahan-bahan acuan dan sumber teori-teori yang diperlukan dalam perencanaan bangunan pelindung pantai.

2. Kegiatan persiapan

Kegiatan persiapan ini adalah berupa pengumpulan data hidroocenografi yang meliputi :

- Data Angin;
- Data Pasang Surut;
- Peta Batimetri;
- Data Tanah.

3. Peramalan gelombang, proses ini meliputi perhitungan :

- Pembuatan *windrose*;
- *Fetch* efektif;
- Koreksi angin dan *wave design*;
- Periode ulang;
- *Refraksi dan shoaling*;
- Gelombang pecah;
- Difraksi;

4. Analisis pasang surut dan sedimentasi, meliputi perhitungan :

- Konstanta pasang surut;
- Tunggang air pasang surut;
- *Transport sedimen*;
- Perubahan garis pantai.

5. Analisis stabilitas, yang meliputi :

- Analisa *settlement*;
- Analisa stabilitas.

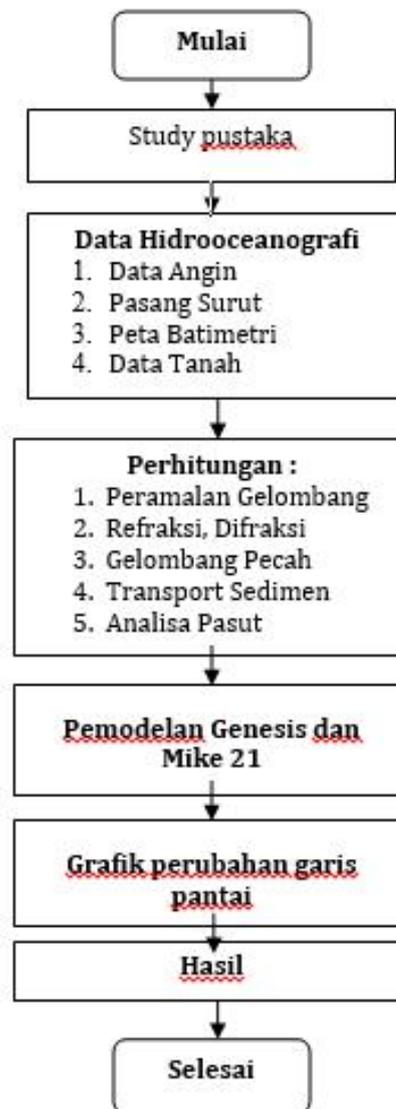
6. Lay out, proses ini adalah berupa penempatan bangunan yang direncanakan.

Tabel 4. Data pendukung yang digunakan

No	Input Data	Proses	Output
1	Garis Pantai	Merupakan pengukuran lapangan menggunakan GPS yang kemudian di sesuaikan dengan peta rupa bumi dan citra satelit yang baru	Pola perubahan garis pantai yang mengarah kepada perubahan bentuk dan morfologi (abrasi atau akresi)
2	Sedimen	Data hasil ayakan sampel sedimen diolah dengan menggunakan program Microsoft Excel.	Arah gerak transport massa air, besarnya angkutan yang terangkut sepanjang pantai, distribusi sedimen tegak lurus pantai dan struktur serta sedimen yang berada sepanjang pantai serta sudut datang gelombang
3	Pasang surut	Analisa menggunakan Microsoft exel untuk melihat perubahan muka air	Tipe pasang surut
4	Batimetri	Dari peta rupa bumi untuk melihat kontur perairan.	Perubahan – perubahan kedalaman perairan
5	Gelombang	Menggunakan data sekunder yang telah ada dan dihitung menggunakan program Microsoft Excel.	Tinggi gelombang, besar energy gelombang dan kecepatan arus yang ditimbulkan oleh

No	Input Data	Proses	Output
			gelombang yang tiba di pantai dan berdampak pada abrasi atau akresi

Secara umum Bagan Alir pelaksanaan penelitian ini seperti di bawah ini:



Gambar 11. Bagan Alir Kegiatan Analisa pemodelan pantai

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Secara keseluruhan, hasil dari simulasi program *GENESIS* adalah sebagai berikut;

1. Posisi garis pantai awal tahun 2002 dan posisi garis pantai pada tahun 2012 tergantung waktu simulasi yang diinginkan
2. Besarnya perubahan garis pantai yang terjadi 2002 -2012 tergantung waktu simulasi yang diinginkan
3. Dalam pemodelan ini, kawasan yang dimodelkan sangat luas sehingga nilai $D50 = 0,025$ mm
4. Volume *sediment transport* ($m^3/tahun$) yang terjadi setelah tahun 2002 - 2012 , termasuk didalamnya volume transpor sedimen ke arah kanan, volume transport sedimen ke arah kiri, volume transpor bersih (*net*) ataupun volume transpor kotor (*gross*)
5. Posisi garis pantai akhir simulasi dari tahun 2002 – 2012 dalam pemodelan ini, hasil yang akan dianalisis hanya transpor sejajar pantai yang digunakan untuk memperlihatkan besarnya volume transpor sedimen dan arahnya dalam daerah yang dimodelkan. Hasilnya yang bernilai positif (+) menandakan arah pergerakan sedimen kearah sumbu x (baseline) positif sedangkan nilai negatif(-) menunjukkan arah transpor sedimen sebaliknya, yaitu kearah sumbu x negatif.
6. Hasil pemodelan dihasilkan kemunduran garis pantai akibat abrasi sepanjang 20 m pertahun, dalam penelitian ini dilakukan pemodelan dari

tahun 2002 s/d 2012 didapatkan hasil dari pemodelan tidak ada bangunan *breakwater* terjadi kemunduran garis pantai sepanjang 195 m,

7. Dalam pemodelan menggunakan *breakwater* secara seri dengan jarak 2000 tiap *breakwater* sejajar garis pantai. Dari hasil pemodelan didapatkan penambahan garis pantai ke arah laut 12 m pertahun.

A. Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, maka penulis merekomendasikan berupa saran-saran sebagai berikut :

1. Dalam kajian ini masih dapat dilanjutkan dengan menggunakan bangunan lainya seperti *jetty*, *groin* , APO, dan bangunan lainya.
2. Pemodelan numerik pemodelan gelombang dan arus ini menggunakan perangkat lunak genesis dibatasi sampai tahun 2012, dapat dilanjutkan pemodelan sampai tahun berikutnya untuk mendapatkan perubahan garis pantai yang lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo, 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Carter, R., *et al.* 1988. Literature and the Learner Methodological Approaches. Hongkong : Morgan Westley.
- CERC, 1991, GENESIS : Generalized Model For Simulating Shoreline Change, US Army Coastal Engineering Research Center, Mississippi.
- CERC, 1984, Shore Protection Manual Volume I, US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- CERC, 1984, Shore Protection Manual Volume II, US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Dally, W. R ., Dean, R. G., and Dalrymple, R. A. (1984), Modeling Wave Transformation in the Surf Zone, Miscellaneous Paper CERC-84-8
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Def Quinn, Alfonso, 1972, Design and Construction of Ports and Marine Structure, Mc Graw Hill Book Company, New York
- Kakisina, T.J. (2009) Desain Groin Untuk Mengatasi Erosi Kawasan Pesisir Pantai Utara Teluk Baguala Ambon; Jurnal Ilmu-ilmu Teknik dan Sains Teknologi ISSN 1693-9425 Vol. 6 Nomor 1 April 2009
- Komar, P.D., 1976, Beach Processes and Sedimentation. Prentice Hall, New Jersey, 429 h.

- Kramadibrata, Soedjono. 1985. *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung : Ganeca Exact.
- Pratikto, W. A. dkk. 1996. *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. Yogyakarta : BPFE.
- Quinn, Alonzo Def.1972. *Design and Construction of Port and Marine Structures*. New York : Mc Graw Hill Book Company.
- U.S. Army Corp Engineering. 1984. *Shore Protection Manual*. Missisipi, 4th Ed.Vol. I
- Wahyudi, H. 1997. Teknik Reklamasi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – ITS, Surabaya.
- Yuwono, Nur.1982. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta : Biro Penerbit FT UGM
- Dwi Joko Winarno. 2007 Analisis Kondisi Batas Alam Pada Abrasi Di Pantai Lampung. Lembaga Penelitian, 7 juni 2009, <http://digilib.unila.ac.id/go.php?id=laptunilapp-gdl-res-2007-dwijokowin-1112>. Di akses pada januari 2013.
- DHI Water & Environment. Mike 21 & Mike 3 Flow Model Fm, Denmark, www.dhi.dk
- BBWS Mesuji Sekampung, 2011. SID Pengaman Pantai Karya Tani, Bandar Lampung.
- BBWS Mesuji Sekampung, 2012. SID Pengaman Pantai Margasari, Bandar Lampung.