

SKRIPSI

**PERENCANAAN PEMECAH GELOMBANG
DI PULAU LAE LAE**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD AQZALIL MAQDIZA
D011 19 1041**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERENCANAAN PEMECAH GELOMBANG DI PULAU LAE LAE

Disusun dan diajukan oleh

MUH. AQZALIL MAQDIZA
D011 19 1041

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ir. Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng., IPM
NIP. 197605312005011004

Pembimbing Pendamping,

Ir. Silman Pongmanda, S.T., M.T.
NIP. 197210102000031001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Aqzalil Maqdiza

NIM : D011 191 041

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Perencanaan Pemecah Gelombang di Pulau Lae Lae}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 4 Juli 2023

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink is written over a 10,000 Rupiah postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPULUH RIBU RUPIAH', 'TELURAI TEL', and 'KORSAK 517381460'. The signature is written in a cursive style.

Muhammad Aqzalil Maqdiza

KATA PENGANTAR

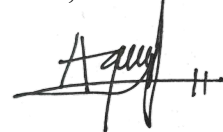
Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Perencanaan Pemecah Gelombang di Pulau Lae Lae**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Prof Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli ST., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof . Dr. H. M Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Silman Pongmanda, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Seluruh **Dosen Departemen Teknik Sipil** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kedua orang tua, **Bapak Budianto** dan **Ibu Jumiati** atas doa, kasih sayang, motivasi, dan segala dukungan selama ini, baik moral maupun material yang diberikan.
7. Pemilik stambuk **15120230073** yang selama ini selalu menemani serta menjadi penyemangat penulis hingga saat ini yang telah memberikan dukungan dengan tulus untuk berjuang menyelesaikan skripsi ini hingga tuntas.
8. Teman-Teman **Distributor Kopi Toraja** yang senantiasa memberikan warna selama perkuliahan, dukungan tiada henti serta semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan di **KKD KEAIRAN 2019** yang senantiasa membantu serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
10. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah mendukung penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Gowa, 4 Juli 2023



Penulis

ABSTRAK

MUHAMMAD AQZALIL MAQDIZA. *Perencanaan Pemecah Gelombang Di Pulau Lae Lae* (dibimbing oleh Andi Subhan Mustari dan Silman Pongmanda)

Kota Makassar merupakan salah satu kota dari 30 kota pantai di Indonesia yang diperkirakan potensial terkena dampak kenaikan muka air laut. Salah satu pulau yang berada dekat dengan kota Makassar adalah Pulau Lae Lae, Dekatnya pulau ini menjadikannya salah satu pulau yang memiliki potensi terkena abrasi. Pemilihan jenis bangunan pemecah gelombang ditinjau dari berbagai aspek, maka dipilih bangunan pemecah gelombang terendam dengan bahan kubus berongga agar kedepannya dapat digunakan sebagai terumbu karang buatan. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dan data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder, kemudian dilakukan analisis tinggi dan periode gelombang menggunakan metode peramalan laut yang nantikan data tersebut digunakan dalam menentukan periode ulang gelombang hasil yang di peroleh didapat tinggi gelombang dengan kala ulang 10 tahun berkisar 3,96 meter dengan periode 8,06 detik di perairan laut dalam sehingga dapat diperhitungkan tinggi gelombang rencana sebesar 1,56 meter. Berdasarkan tinggi gelombang, didapatkan tinggi bangunan pemecah gelombang tenggelam sebesar 1,8 meter dihitung dari dasar tanah pada kedalaman 2 m dan pemecah gelombang yang digunakan adalah kubus beton berongga. berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa desain dari Pemecah gelombang tenggelam kubus berongga dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif pemecah gelombang di pulau Lae Lae yang memiliki kelebihan sebagai terumbu karang buatan.

Kata Kunci: Pulau Lae Lae, Abrasi, Pemecah gelombang tenggelam.

ABSTRACT

MUHAMMAD AQZALIL MAQDIZA. *Lae Lae Island Breakwater Planning*
(guided by Andi Subhan Mustari and Silman Pongmanda)

Makassar City is one of 30 coastal cities in Indonesia which is estimated to be potentially affected by sea level rise. One of the islands that is close to the city of Makassar is Lae Lae Island. The proximity of this island makes it one of the islands that has the potential to be affected by abrasion. The selection of the type of breakwater was viewed from various aspects, so a submerged breakwater with hollow cube material was chosen so that later it could be used as an artificial

reef. This study uses quantitative research methods and the data used are secondary primary data and then an analysis of wave height and period is carried out using the sea forecasting method which will later be used to determine the wave return period. 3,96 meters with a period of 8.06 seconds in deep sea waters so that the planned wave height of 1.56 meters can be calculated. Based on the wave height, the height of the sinking breakwater is 1.8 meters calculated from the bottom of the ground at a depth of 2 m and the breakwater used is a hollow concrete cube. Based on the calculation results it can be interpreted that the design of the hollow cube submerged breakwater can be used as an alternative breakwater on Lae Lae Island which has advantages as an artificial coral reef.

Keywords: Lae Lae Island, Abrasion, Submerged Breakwater.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Pantai.....	4
2.2 Pemecah Gelombang.....	5
2.2.1 Pengertian Pemecah Gelombang.....	5
2.2.2 Tipe-tipe Pemecah Gelombang.....	6
2.2.3 Pemecah Gelombang Sisi Miring.....	6
2.2.4 Pemecah gelombang Tegak.....	8
2.2.5 Pemecah Gelombang Campuran.....	8
2.2.6 Pemecah Gclombang Ambang Rendah	8
2.3 Gelombang.....	9
2.4 Gelombang Rencana	10
2.5 Pasang Surut.....	12
2.6 Elevasi Muka Air Rencana	16
2.6.1 Sea Level rise (SLR).....	17
2.7 Analisis Data Angin dan Peramalan Gelombang.....	17
2.7.1 Kecepatan Angin	18
2.7.2 Fetch	20
2.7.3 Lama Hembus (td).....	21
2.7.4 Peramalan Gelombang di Laut Dalam.....	22
2.8 Perkiraan Gelombang Dengan Periode Kala Ulang.....	23
2.9 Perhitungan Struktur Revetment.....	26
2.9.1 Perhitungan Tinggi Struktur	26
2.9.2 Besar Energi yang Dihasilkan Pada Gelombang.....	27
2.9.3 Panjang Submerged Breakwater.....	27
2.9.4 Berat Butir	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Lokasi Penelitian.....	32
3.2 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	32

3.2.1 Studi Literatur.....	32
3.2.2 Pengumpulan Data.....	33
3.3 Analisa Data.....	33
3.3.1 Analisa Data Angin	33
3.3.2 Analisa Gelombang	33
3.3.3 Analisa Pasang Surut.....	34
3.3.4 Analisa Data Topografi dan Batimetri.....	34
3.3.5 Perhitungan Dimensi Struktur	34
3.4 Hasil Perencanaan.....	34
3.5 Alat dan Bahan Penelitian.....	34
3.6 Bagan Alir Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Keadaan Umum Lokasi.....	36
4.2 Data Bathimetri	36
4.3 Data Pasang Surut	37
4.4 Data Angin.....	38
4.5 Peramalan Gelombang	41
4.5.1 Koreksi Kecepatan Angin.....	41
4.5.2 Koreksi Lokasi Pengamatan	42
4.5.3 Faktor Tegangan Angin.....	43
4.5.4 Perhitungan Fetch Rerata Efektif.....	43
4.5.5 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang pada Laut Dalam Menggunakan Metode Svendrup Munk Bretschneider (SMB).	46
4.5.6 Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang.....	49
4.6 Perhitungan Gelombang Rencana	50
4.6.1 Tinggi Gelombang di Lokasi (H_D)	51
4.7 Elevasi Muka Air Rencana	52
4.7.1 Sea Level Rise	52
4.8 Perhitungan Struktur Revetment.....	53
4.8.1 Perhitungan Tinggi Struktur	53
4.8.2 Panjang Submerged Breakwater.....	55
4.8.3 Perhitungan Lapis Lindung	55
4.8.4 Berat Butir (W).....	55
4.8.5 Tebal Lapis Lindung (t_1).....	56
4.8.6 Lebar Puncak Revetment.....	56
4.8.7 Jumlah Batu Pelindung	56
4.9 Desain Breakwater	57
4.10 Dimensi Kubus Breakwater	58
BAB V Kesimpulan dan saran	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Profil pantai (Sumber : Triatmodjo, 1999).....	4
Gambar 2. 2 Butir lapis lindung buatan (Bambang Triatmodjo, 2006).	7
Gambar 2. 3 Karakteristik gelombang (Triatmodjo, 1999).....	9
Gambar 2. 4. Penentuan tinggi gelombang pecah.....	11
Gambar 2. 5. Tinggi gelombang maksimum fungsi kedalaman	12
Gambar 2. 6. Grafik tipe pasang surut	14
Gambar 2. 7. Perkiraan kenaikan muka air laut karena pemanasan global.....	17
Gambar 2. 8 Contoh mawar angin	18
Gambar 2. 9 Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat.....	19
Gambar 2. 10 Contoh penggambaran fetch (Sumber: Triatmodjo, 1999.)	21
Gambar 2. 11 Grafik peramalan gelombang	23
Gambar 4. 1 Kondisi breakwater yang sudah ada di pulau Lae Lae.....	36
Gambar 4. 2 Peta Bathimetri.....	37
Gambar 4. 3 Grafik Pasang Surut Pelabuhan Soekarno Hatta Makassar (Sumber : KM 48 Tahun 2020).....	38
Gambar 4. 4 Mawar angin (<i>windrose</i>)	40
Gambar 4. 5 Penentuan nilai U_w	42
Gambar 4. 6 Panjang fetch barat	44
Gambar 4. 7 Panjang fetch barat laut	44
Gambar 4. 8 panjang fetch barat daya.....	45
Gambar 4. 9 Menentukan tinggi dan periode gelombang dengan duration limited	47
Gambar 4. 10 Penentuan nilai d_b	51
Gambar 4. 11 Desain Parameter Submerged Breakwater	53
Gambar 4. 12 Denah Submerged Breakwater.....	57
Gambar 4. 13 Desain Breakwater	57
Gambar 4. 14 Dimensi kubus.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. komponen-komponen harmonik pasut utama	15
Tabel 2. 2 Contoh tabel data angin (Sumber: Triatmodjo, 1999)	18
Tabel 2.3 Persamaan untuk peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan Metode SMB	22
Tabel 2. 4 Pedoman pemilihan gelombang rencana.....	24
Tabel 2. 5 Jumlah data versus Y	25
Tabel 2. 6 Jumlah data versus Y_n	25
Tabel 2. 7 Jumlah data versus σ_n	25
Tabel 2. 8 Koefisien stabilitas.....	29
Tabel 4.1 Konstanta Pasang Surut Pelabuhan Makassar (Sumber : KM 48 Tahun 2020)	37
Tabel 4. 2 Elevasi Muka Air (Referensi 0 = LWS) (Sumber : KM 48 Tahun 2020).....	38
Tabel 4. 3 Data angin tahun 2016	39
Tabel 4. 4 Persentase frekuensi kejadian angin selama 10 tahun	40
Tabel 4. 5 Kecepatan angin dalam satuan m/det.....	41
Tabel 4. 6 Rekapitulasi U_A	43
Tabel 4. 7 Perhitungan panjang fetch.....	45
Tabel 4. 8 Perbandingan tinggi dan periode gelombang dengan <i>fetch limited</i> dan <i>duration limited</i> pada tahun 2013 hingga 2015	48
Tabel 4. 9 Gelombang maksimum pada tahun 2013-2022	49
Tabel 4. 10 Analisa frekuensi gelombang (Metode Gumbel).....	49
Tabel 4.11 Perhitungan tinggi dan periode gelombang dengan kala uang tertentu (Metode Gumbel).....	50
Tabel 4. 12 Tinggi dan periode beberapa kala ulang	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data angin, sebaran angin dan mawar angin tahun 2013-2022.....	62
Lampiran 2 Tabel Rekapitulasi analisa data angin dan peramalan gelombang	72
Lampiran 3 Gambar pemecah gelombang di pulau Lae Lae	75
Lampiran 4 Contoh gambar terumbu karang buatan (Artificial Reef).....	75
Lampiran 5 Gambar Pemecah Gelombang Terumbu Karang Buatan	75

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas
B	Lebar Puncak
C	Kohesi
d	Kedalaman
d_b	Kedalaman gelombang pecah
DWL	<i>Design Water Level</i> = muka air laut rencana
El_{mercu}	Elevasi mercu bangunan
$E1$	Energi gelombang saat datang
$E2$	Energi gelombang saat melewati struktur bangunan
F	Fetch
F_b	Tinggi jagaan
FS	<i>Safety Factor</i>
g	Gravitasi
γ_a	Berat satuan air laut
γ_b	Berat satuan batu lapis lindung
γ_r	Berat satuan batu pelindung
H	Tinggi gelombang
H_b	Tinggi gelombang pecah
H_D	Tinggi gelombang rencana
H_t	Tinggi gelombang setelah pengurangan energi
H_o	Tinggi gelombang laut dalam
H_o'	Tinggi gelombang ekuivalen
H_s	Tinggi gelombang signifikan
HWS	<i>High Water Spring</i> = muka air laut pasang purnama
K_Δ	Koefisien lapis
K_D	Koefisien stabilitas batu lindung
L	Panjang gelombang
L_o	Panjang gelombang laut dalam
LWS	<i>Low Water Spring</i> = muka air laut surut purnama
MSL	<i>Mean Water Level</i> = muka air laut rata-rata
N	Jumlah batu lindung
N_s	<i>Stability Number</i>

\emptyset	Sudut geser
P	Porositas
SLR	Sea Level Rise = kenaikan muka air laut akibat efek rumah kaca
SMB	Sverdrup Munk Bretschneider
SPM	Shore Protection Manual
t	Tebal lapis armor
T	Periode gelombang
U	Kecepatan angin
U_A	Kecepatan tegangan angin
U_L	Kecepatan angin di daratan
U_W	Kecepatan angin di lautan
UWS	Underwatersill
W	Berat minimum armor unit
α	Sudut
θ	Sudut kemiringan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pantai adalah kenampakan alam yang menjadi batas antara wilayah yang bersifat daratan dengan wilayah yang bersifat lautan. Wilayah pantai dimulai dari titik terendah air laut pada saat surut hingga arah ke daratan sampai batas paling jauh gelombang menjangkau daratan. Batas antara pertemuan antara permukaan air laut dengan permukaan daratan tadi dinamakan garis pantai (shore line) (Kasim, F., 2012). Wilayah pantai sendiri merupakan wilayah yang sangat dinamis dengan garis pantai yang dapat berubah-ubah. Wilayah pantai juga termasuk salah satu wilayah yang menjadi destinasi wisata di Indonesia salah satunya di Kota Makassar.

Kota Makassar merupakan ibu kota provinsi Sulawesi selatan dan salah satu kota metropolitan bahkan termasuk dalam kota paling berkembang di Indonesia, perkembangan kota inipun semakin meluas pada bagian pesisir. Terdapat sekitar 24 Kelurahan dari Kota Makassar berada pada wilayah pantai dengan Panjang garis 52,8 km yang terdiri dari garis pantai daerah pesisir sepanjang 36,1 Km, serta garis pantai pulau-pulau dan gusung sepanjang 16,7 km rentan terhadap perubahan iklim (BPS Makassar, 2019). Salah satu ancaman terbesar pesisir makassar adalah abrasi.

Dalam beberapa tahun terakhir, garis pantai di beberapa daerah di Indonesia mengalami abrasi yang cukup memprihatinkan. Kota Makassar merupakan salah satu kota dari 30 kota pantai di Indonesia yang diperkirakan potensial terkena dampak kenaikan muka air laut. Seperti yang terjadi di kawasan Tanjung Bunga dan Pantai Barombong. Pantai pada kedua kawasan ini mengalami kemunduran garis pantai dari tahun ketahun, sehingga telah jauh mengarah ke darat. Hal tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor seperti, pengaruh gelombang yang terjadi di perairan pantai, pengaruh angin lokal, adanya pasang surut air laut serta adanya arus susur pantai di sekitar Tanjung Bunga karena kurangnya struktur fisik (Suleman et al., 2018). Dampak abrasi ini tidak hanya di rasakan oleh makassar namun berpotensi dirasakan oleh pulau-pulau sekitarnya.

Salah satu pulau yang berada dekat dengan kota makassar adalah pulau lae lae, dimana Pulau Lae Lae memiliki jarak yang tak terlampau jauh jika ditempu dari pesisir Makassar. Hanya sekitar 1,5 km yang ditempuh dengan waktu sekitar 10

hingga 15 menit menggunakan perahu motor. Dekatnya pulau ini menjadikannya salah satu pulau yang memiliki potensi terkena abrasi.

Abrasi adalah proses pengikisan pantai oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak. Abrasi biasanya disebut juga erosi pantai. Kerusakan garis pantai akibat abrasi dipicu oleh terganggunya keseimbangan alam daerah pantai tersebut. Jika kondisi ini tidak diantisipasi, laju abrasi pantai yang sangat tinggi tersebut sudah pasti mengancam berbagai infrastruktur, kawasan permukiman, sarana dan prasarana publik, bahkan yang paling serius adalah tenggelamnya sejumlah pulau termasuk pulau lae lae. Jika kondisi ini tidak diantisipasi, laju abrasi pantai yang sangat tinggi tersebut sudah pasti mengancam berbagai infrastruktur, kawasan permukiman, sarana dan prasarana publik, bahkan yang paling serius adalah tenggelamnya pulau.

Melihat ancaman abrasi yang besar bagi pulau Lae Lae maka dibutuhkan suatu tindakan yang dapat melindungi pantai dari abrasi. Salah satu alternatif usaha untuk perlindungan pantai dari permasalahan yang terjadi di Pulau Lae Lae adalah dengan menempatkan submerged Breakwater atau pemecah gelombang tenggelam yang diharapkan dapat menanggulangi permasalahan erosi di Pulau Lae Lae.

Penggunaan submerged breakwater ini bertujuan untuk meredam gelombang laut yang datang ke arah pulau Lae Lae selain itu pemecah gelombang tenggelam ini juga diharapkan dapat menjadi terumbu karang buatan yang dapat sekaligus menjadi rumah bagi biota laut kedepannya. Adapun dalam aspek sipil diharapkan dapat menangani masalah erosi secara efektif dan efisien di Pulau Lae Lae maka pemodelan pemecah gelombang tenggelam (artificial reef) dilakukan untuk menjadi alternatif desain dari pemecah gelombang (breakwater) yang sudah ada.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian dengan judul :

“Perencanaan Pemecah Gelombang di Pulau Lae Lae”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka penelitian ini dilaksanakan dalam upaya mencari:

1. Bagaimana desain alternatif Pemecah gelombang *tenggelam* yang dapat mengurangi energi gelombang ke Pulau Lae Lae?
2. Berapa dimensi pemecah gelombang tenggelam (artificial reef)?
3. Bagaimana hasil desain pemecah gelombang tenggelam (artificial reef)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merencanakan sebuah alternatif pemecah gelombang tenggelam
2. Menentukan dimensi artificial reef Submerged Breakwater
3. Menyajikan hasil desain artificial reef Submerged Breakwater

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan desain pelindung pantai berkaitan dengan efektifitas dalam melindungi area pulau.
2. Sebagai bahan referensi untuk mahasiswa atau peneliti terkhusus bagi yang berfokus di penelitian seputar bangunan pantai.
3. Memberikan manfaat dalam menganalisis data hidro-oceanografi dan perhitungan desain bangunan pantai.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data primer dan data sekunder
2. Tidak menganalisa anggaran biaya dan analisa ekonomi.
3. Tidak menentukan proses Sedimentasi (tombolo) yang terjadi dibelakang pemecah gelombang.
4. Tidak menentukan proses difraksi dan refraksi setelah terpecah gelombang.
5. Tidak menghitung daya dukung tanah.

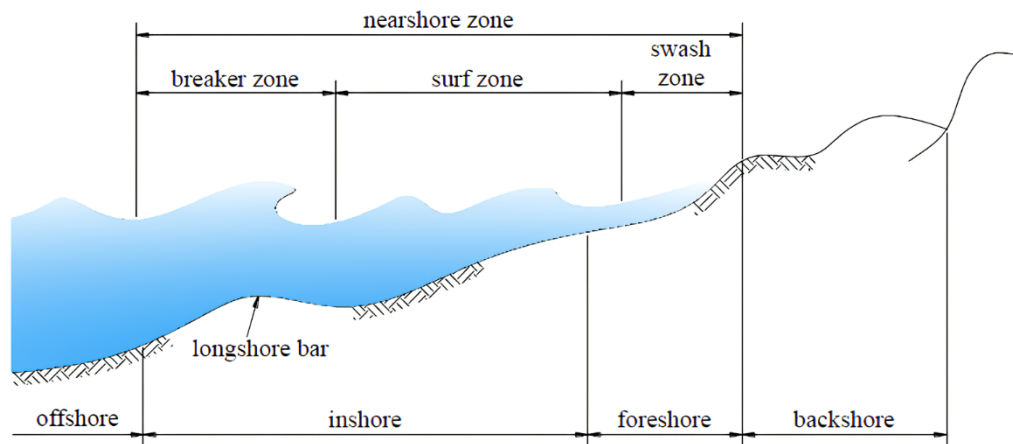
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pantai

Pantai adalah daerah yang terbentang dari tempat terjadinya perubahan fisiografi seperti tebing pantai, bukit pasir (dune) atau tempat dimana terdapat tumbuh-tumbuhan permanen sampai ke suatu tempat di perairan (laut) dimana sedimen dasar tidak dipengaruhi gelombang permukaan (Triatmodjo, 1998).

Daerah pantai (coastal area) secara umum dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu coast, beach shore dan nearshore inshore. Gambar profil pantai disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Profil pantai (Sumber : Triatmodjo, 1999)

Keterangan :

1. Nearshore adalah daerah yang terbentang ke arah pantai dari garis gelombang pecah.
2. Backshore adalah daerah yang terbentang antara batas foreshore dan garis pantai yang dipengaruhi oleh gelombang pada saat badai dan air pasang tertinggi.
3. Foreshore adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas dari gelombang yang bergerak naik pada saat air pasang tertinggi.

4. Inshore adalah daerah dari profil pantai yang membentang ke arah laut dari foreshore sampai tepat di luar daerah gelombang pecah.
5. Offshore adalah daerah lepas pantai.
6. Breaker zone adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidakseimbangan dan pecah.
7. Surf zone adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik turunnya gelombang di pantai.
8. Swash zone adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai.
9. Longshore bar adalah gunduk pasir yang memanjang dan kira-kira sejajar garis pantai, terbentuk karena proses gelombang pecah di daerah inshore.

2.2 Pemecah Gelombang

2.2.1 Pengertian Pemecah Gelombang

Submerged breakwater memiliki kelebihan dibidang estetika, karena permukaan struktur tidak tampak pada permukaan air. Begitu pula dengan bentuknya yang menyerupai terumbu karang (Ariyanto,2011). Pemecah gelombang atau dikenal juga sebagai pemecah ombak atau bahasa Inggris breakwater adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan ombak/gelombang dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang harus didesain sedemikian sehingga arus laut tidak menyebabkan pendangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di kolam pelabuhan. Tinggi gelombang (H) mempunyai pengaruh yang besar terhadap kapal-kapal yang sedang bongkar muat. Karena gelombang tersebut akan mengganggu kapal-kapal untuk melakukan bongkar muat, maka adalah tugas perencana untuk memperkecil tinggi gelombang di perairan pelabuhan dengan membuat pemecah gelombang (Breakwater).

Pelabuhan yang dilengkapi dengan bangunan pemecah gelombang disebut dengan Pelabuhan buatan. Jadi, pemecah gelombang dibangun dengan maksud untuk melindungi wilayah perairan pelabuhan agar kapal dapat berlabuh dan melakukan bongkar muat barang dan penumpang dengan aman dan nyaman. Disamping itu juga digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus

pantai. Disamping fungsi utama tersebut kadang-kadang digunakan untuk maksud ganda yaitu disamping sebagai pemecah gelombang untuk melindungi perairan pelabuhan juga dijadikan sebagai dermaga tempat kapal bertambat. Dengan dibangunnya pemecah gelombang, maka arahgelombang laut asal (incident wave) akan terganggu oleh adanya struktur baru tersebut, akan terjadi pembelokan arah maupun perubahan karakteristik gelombang yaitu tinggi, panjang dan waktu gelombang. Perlindungan oleh pemecah gelombang terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di sisi dalam perairan pelabuhan yang dilindungi di belakang bangunan yang biasa disebut Leeward side.

Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam/lapisan pelindung yang biasa disebut armour layer, sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), Sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, yang tergantung pada kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lain. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus atau kasar, lurus air atau tidak lurus air) dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan). (Mandi, 2015)

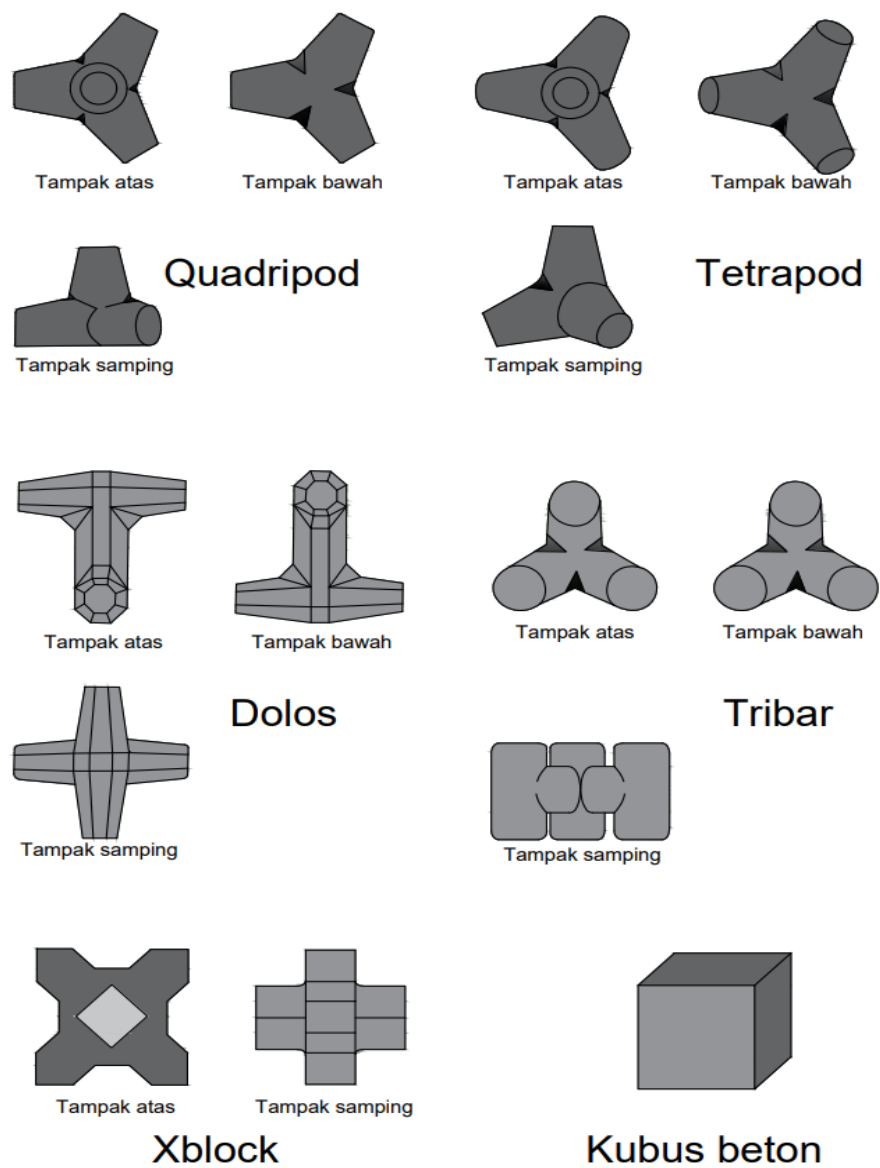
2.2.2 Tipe-tipe Pemecah Gelombang

Terdapat banyak tipe pemecah gelombang yang sudah dibangun diseluruh dunia. Batu alam atau buatan dengan bahan beton atau kombinasi antara keduanya, baja, kayu dan pemecah gelombang dengan menggunakan tekanan air untuk memecah kekuatan gelombang dari laut lepas.

2.2.3 Pemecah Gelombang Sisi Miring

Pemecah gelombang (breakwater) sisi miring pada umumnya dibuat dari tumpukan batuan alam yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar atau beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang (breakwater) ini lebih cocok digunakan pada kondisi tanah yang lunak dan tidak terlalu dalam. Pemecah gelombang (breakwater) sisi miring bersifat fleksibel karena jika serangan gelombang kerusakan yang terjadi tidak secara tiba-tiba, meskipun beberapa butiran longsor. Biasanya utiran batu pemecah gelombang (breakwater) sisi

miring disusun dalam beberapa lapisan, dengan lapis terluar terdiri dari batu dengan berukuran besar dan semakin ke dalam ukurannya semakin kecil. Bentuk butiran akan berpengaruh terhadap ikatan antara butiran batu yang ditumpuk. Butiran batu dengan sisi tajam akan mengikat satu sama lain dengan baik sehingga stabil. Butiran batu pelindung ada beberapa macam yaitu berupa batu alam, batu buatan dari beton yang berbentuk kubus atau bentuk lainnya. Butiran pelindung buatan beton bisa berupa tetrapod, cube, tribar, quadripod, acropod, core-loc, dolos yang dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 2 Butir lapis lindung buatan (Bambang Triatmodjo, 2006).

2.2.4 Pemecah gelombang Tegak

Pemecah gelombang tegak mempunyai dinding vertikal dengan tinggi yang berbeda-beda. Tujuannya adalah untuk refleksi gelombang. Di sisi dalam dari pemecah gelombang dapat digunakan untuk bersandarnya kapal-kapal. Biasanya dalam pelaksanaan dilapangan dibatasi oleh ketinggian tipe pemecah gelombang sisi tegak. Ketinggiannya maksimum 60 ft apabila ketinggian lebih dari itu biasanya digunakan pondasi dasar dari batu di bawah level ini dan apabila menggunakan tipe miring sangat tidak ekonomis sehingga pemecah gelombang ini merupakan campuran antara tipe tegak dan miring.

2.2.5 Pemecah Gelombang Campuran

Pada pemecah gelombang gabungan konstruksi di kombinasikan antara pemecah gelombang sisi tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang sisi miring. Pemecah gelombang (breakwater) gabungan dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang (breakwater) sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedangkan pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak. (Triatmodjo, 2008)

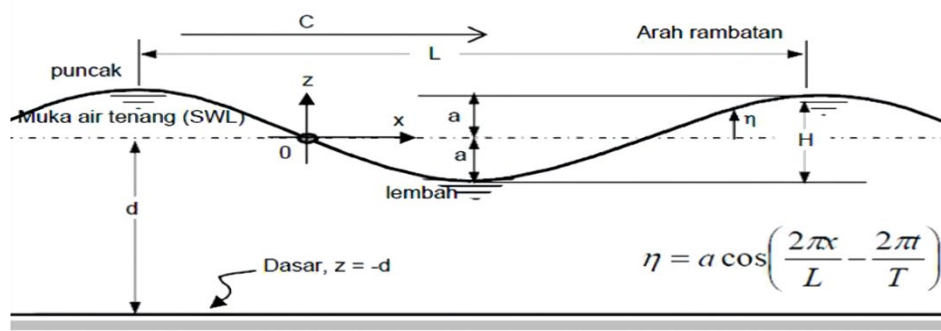
2.2.6 Pemecah Gelombang Ambang Rendah

Pemecah Gelombang Gelombang Ambang rendah yaitu pemecah gelombang dengan mercu (crest) berada disekitar SWL (still water level) atau dibawah muka air. Bangunan dengan kondisi seperti ini akan selalu mengalami limpasan (overtopping) dan transmisi gelombang, sehingga gaya gelombang yang menimpa lereng sisi luar (seaward slope) menjadi rendah karena sebagian energi gelombang melimpasi struktur. Hal ini akan memberikan dua Macam pengaruh, Pertama lapis lindung pada bagian depan dapat lebih ringan daripada struktur yang terlampaui (non overtopped struktur), karena Sebagian energi dibagian depan lebih kecil. Pengaruh kedua adalah bagian mercu dan sisi dalam harus direncanakan aman terhadap serangan gelombang yang melimpas. Untuk struktur tumpukan batu sering digunakan ukuran armor unit yang sama untuk bagian depan mercu, dan belakang struktur.

2.3 Gelombang

Gelombang merupakan faktor penting di dalam perencanaan bangunan pelindung pantai. Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung dari gaya pembangkitnya. Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (tsunami), kapal yang bergerak dan sebagainya. (Triatmojo,1999).

Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang sangat acak (suatu deret gelombang dapat mempunyai tinggi dan periode berbeda). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan gelombang alam. Ada beberapa teori dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Gersner, Mich, Knoidal dan Tunggal. Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. Teori gelombang Airy merupakan gelombang amplitude kecil, sedangkan teori yang lain adalah gelombang amplitude batas (finite amplitude waves) (Triatmojo,1999). Gelombang yang dominan dipakai dalam perencanaan teknik pantai adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin atau dikenal juga dengan gelombang osilasi, biasanya ditentukan dengan tinggi, Panjang dan periode seperti pada Gambar 2.3 tinggi gelombang adalah jarak vertikal dari puncak ke dasar, panjang gelombang adalah horisontal antara puncak berturut-turut. Periode gelombang adalah waktu antara puncak berturut-turut yang melewati suatu titik tertentu.



Gambar 2. 3 Karakteristik gelombang (Triatmodjo, 1999).

Berdasarkan teori Airy, gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (sinusoidal progressive wave), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmodjo, 1999) berdasarkan:

- a) Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode gelombang.
- b) Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.
- c) Amplitudo gelombang (A), besarnya diambil dari setengah tinggi gelombang.
- d) Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (wave crest).
- e) Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per-detik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode.

2.4 Gelombang Rencana

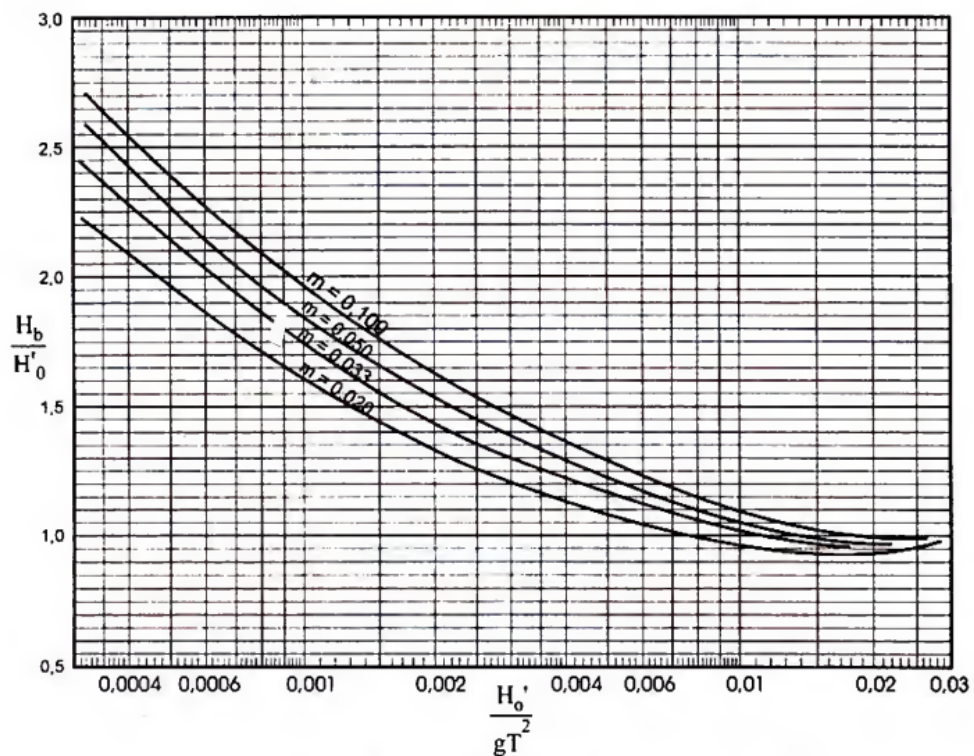
Selama penjarannya menuju pantai, tinggi gelombang dan arah gelombang berubah karena pengaruh proses refraksi dan pendangkalan serta gelombang pecah; yang tergantung pada bathimetri dan karakteristik gelombang di laut dalam (Triatmodjo, 2006).

Hitungan kondisi gelombang

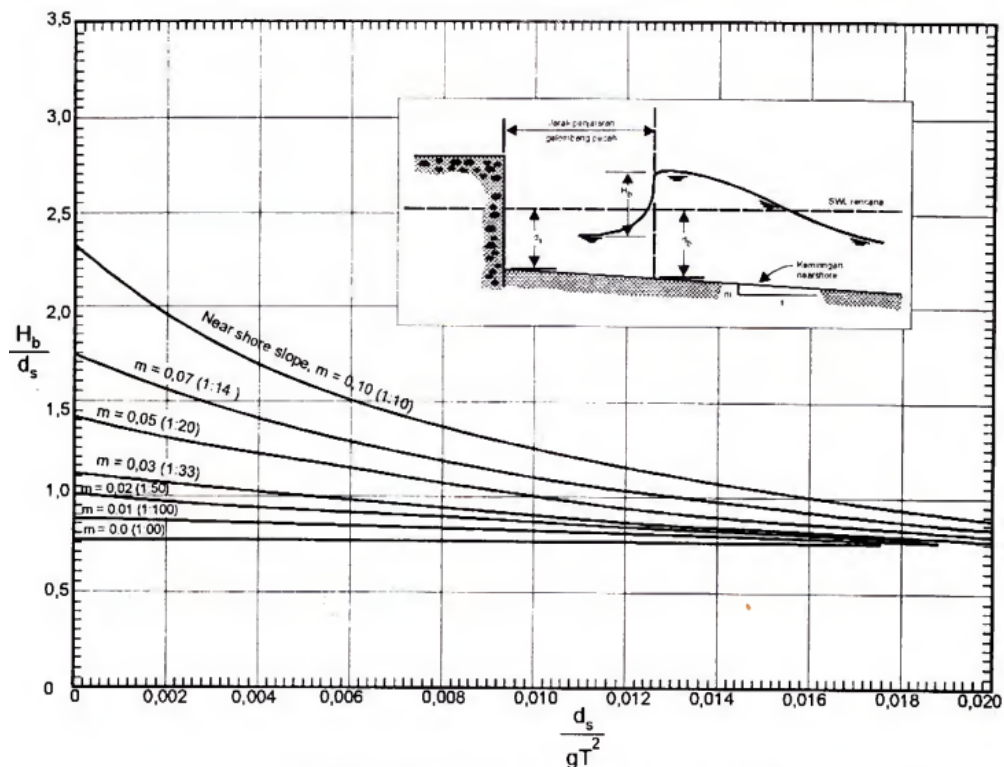
Tinggi gelombang di lokasi bangunan dihitung dengan dua cara berikut ini.

- a. Analisis refraksi, pendangkalan dan gelombang pecah berdasarkan karakteristik gelombang di laut dalam. Cara ini dilakukan apabila bangunan berada pada kedalaman yang cukup besar, sehingga kondisi gelombang adalah tidak pecah atau pecah. Untuk itu perlu diketahui batas terjadinya gelombang pecah dan mengaitkannya dengan kedalaman lokasi bangunan. Hitungan tinggi dan kedalaman gelombang pecah dilakukan dengan menggunakan Gambar 2.4.
- b. Berdasarkan tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi. Cara ini dipakai apabila bangunan berada pada kedalaman yang lebih kecil, sehingga gelombang yang menjalar dari laut dalam

telah pecah sebelum mencapai bangunan. Tinggi gelombang maksimum merupakan fungsi kedalaman air. Apabila kedalaman rencana maksimum pada bangunan dan periode gelombang datang diketahui, maka dapat dihitung tinggi gelombang rencana. Hitungan dapat dilakukan dengan menggunakan Gambar 2.4. gambar tersebut menunjukkan bahwa apabila pantai relatif datar ($m=0$) maka perbandingan $H_b/d_s = 0,78$.



Gambar 2. 4. Penentuan tinggi gelombang pecah



Gambar 2. 5. Tinggi gelombang maksimum fungsi kedalaman

2.5 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. Pasangnya air laut dipengaruhi oleh gaya gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi. Tetapi pasang terutama disebabkan oleh gaya gravitasi bulan karena jarak antara bumi dengan bulan jauh lebih dekat daripada jarak antara bumi dengan matahari (Muliati,2020).

Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting didalam perencanaan bangunan pantai dan Pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan tersebut. 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 (Triatmodjo,1999).

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berturutan. 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 mana 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 di mana arus terbalik 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. (Triatmodjo, 1999).

Pasang-surut (pasut) di berbagai lokasi mempunyai ciri yang berbeda karena dipengaruhi oleh topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk dan sebagainya. Di beberapa tempat, terdapat beda antara pasang tertinggi dan surut terendah (rentang pasut), bahkan di Teluk Fundy (Kanada) bisa mencapai 20 meter. Proses terjadinya pasut memang merupakan proses yang sangat kompleks, namun masih bisa diperhitungkan dan diramalkan. Pasut dapat diramalkan karena sifatnya periodik, dan untuk meramalkan pasut, diperlukan data amplitudo dan beda fasa dari masing-masing komponen pembangkit pasut. Ramalan pasut untuk suatu lokasi tertentu kini dapat dibuat dengan ketepatan yang cukup cermat (Nontji, 2005).

Gelombang pasang surut adalah gelombang atau fluktuasi muka air yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antara planet bumi dan planet-planet lain terutama bulan dan matahari. Pasang surut termasuk gelombang panjang dengan periode gelombang berkisar antara 12 dan 24 jam. Puncak gelombang pasang surut biasa disebut air pasang (*high tide*) dan lembahnya disebut air surut (*low tide*).

Pasang surut harian tunggal adalah pasang surut yang terjadi satu kali sehari, yaitu sekali pasang dan sekali surut. Pasang surut ini mempunyai periode sekitar 24 jam 50 menit. Sementara itu, pasang surut harian ganda adalah pasang surut yang terjadi dua kali dalam sehari, dua kali pasang dan dua kali surut. Periode pasang surut ini sekitar 12 jam 24 menit. Untuk menentukan klasifikasi pasang surut tersebut dipergunakan formula sebagai berikut (Yuwono, 2020).

$$F = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \quad (1)$$

Konstanta AK1, AO1, AM2, AS2 adalah amplitudo konstituen pasang surut utama atau bisa disebut konstanta pasang surut utama.

Bilamana:

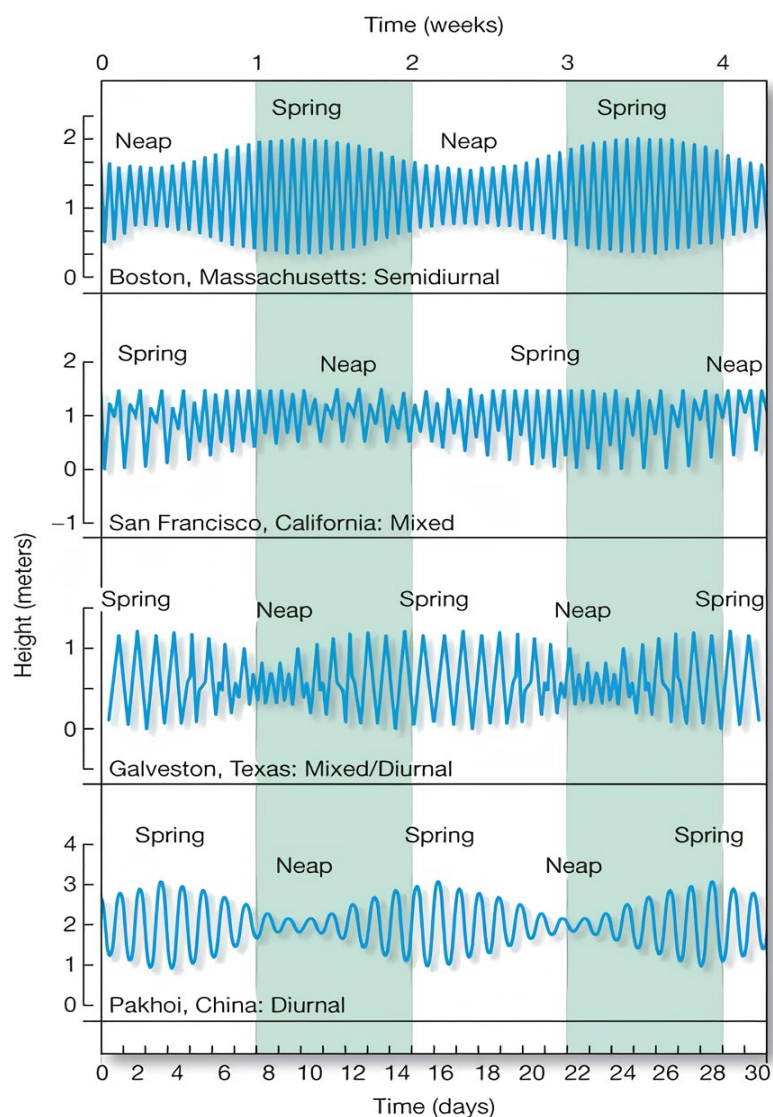
$F \leq 0,25$: pasang harian ganda

$F \leq 3,00$: pasang harian tunggal

$0,25 < F < 3,00$: pasang campuran condong ke harian ganda

$1,50 < F < 3,00$: pasang campuran condong ke harian tunggal

Grafik pasang surut sesuai dengan tipe pasang surutnya dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 6. Grafik tipe pasang surut

Perbandingan amplitudo dan fase akibat atraksi benda-benda langit tertentu pada pola pasut dinyatakan dengan konstanta-konstanta pembanding dengan

simbol dan nilai tertentu untuk menjelaskan akibat atraksi gravitasi bulan atau matahari dengan kedudukan tertentu terhadap tinggi muka air. Konstanta-konstanta tersebut disebut sebagai komponen harmonik yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Poerbandono dan Djunasjah, 2005).

Tabel 2. 1. komponen-komponen harmonik pasut utama

Spesies	Komponen	Perioda (jam)	Fenomena
Semi Diurnal	M_2	12.42	Gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	S_2	12.00	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	N_2	12.66	Perubahan jarak ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
	K_2	11.97	Perubahan jarak matahari ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
Diurnal	K_1	23.9	Deklinasi sistem bulan dan matahari
	O_1	25.8	Deklinasi bulan
	P_1	24.0	Deklinasi matahari
Perioda Panjang	M_f	327.86	Variasi setengah bulanan
	M_m	661.3	Variasi bulanan
	S_{sa}	2191.43	Variasi semi tahunan
Perairan Dangkal	$2SM_2$	11.61	Interaksi bulan dan matahari
	MNS_2	13.13	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak matahari akibat lintasan berbentuk elips
	MK_3	8.18	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak matahari akibat lintasan berbentuk elips
	M_4	6.21	2x kecepatan sudut M
	MS_4	2.20	Interaksi M dan S

Berdasarkan tabel diatas, terdapat lima belas konstanta harmonik. Namun untuk keperluan prediksi pada umumnya hanya menggunakan 9 komponen utama konstanta pasut, yaitu M_2 , S_2 , K_2 , N_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 , dan MS_4 .

Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan

sebagai pedoman di dalam perencanaan bangunan pantai. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999).

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

2.6 Elevasi Muka Air Rencana

Dalam perencanaan bangunan pantai, perhitungan terhadap muka air untuk beberapa keadaan perlu dilakukan. Muka air laut rencana atau design water level diperhitungkan terhadap LWL, kedalaman, dan sea level rise (SLR) akibat efek rumah kaca (*green house effect*). Muka air laut rencana dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$DWL = LWL - d + SLR \quad (2)$$

dengan :

DWL = desain water level (m)

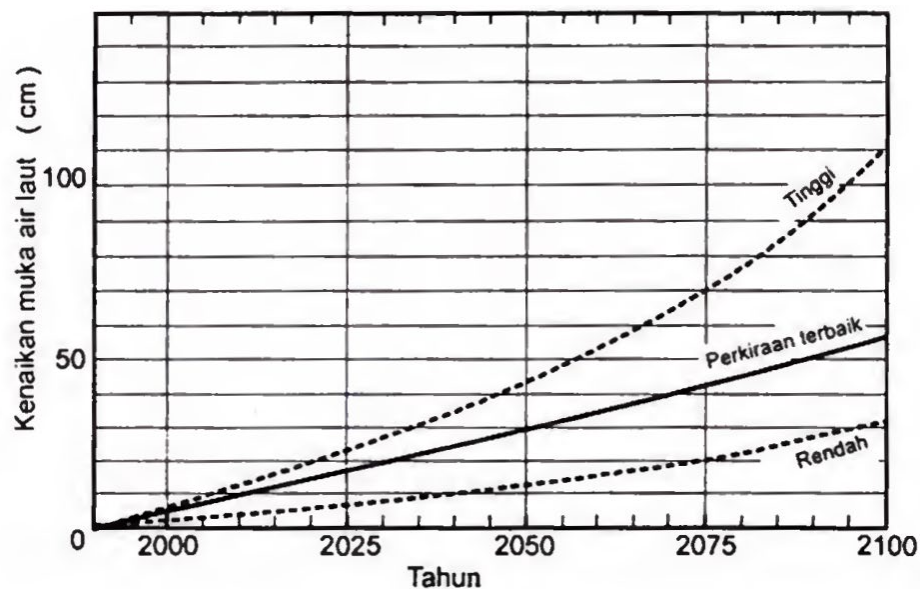
LWL = Low Water Level (m)

d = kedalaman (m)

SLR = sea level rise (m)

2.6.1 Sea Level rise (SLR)

Peningkatan suhu bumi yang diakibatkan oleh efek rumah kaca menyebabkan penguapan lebih besar yang berakibat meningkatnya curah hujan dan berpotensi mengalami banjir. Dampak lainnya adalah peningkatan tinggi muka air laut yang disebabkan oleh pemuaian air laut dan mencairnya gunung-gunung es di kutub. Kenaikan permukaan air laut akan menyebabkan mundurnya garis pantai sehingga mengusir daerah pemukiman dan mengancam daerah perkotaan yang rendah, membanjiri lahan produktif dan mencemari persediaan air tawar. Gambar 2.7 memberikan perkiraan besarnya kenaikan muka air laut tahun 1990-2100, yang disertai perkiraan atas dan bawah.



Gambar 2. 7. Perkiraan kenaikan muka air laut karena pemanasan global

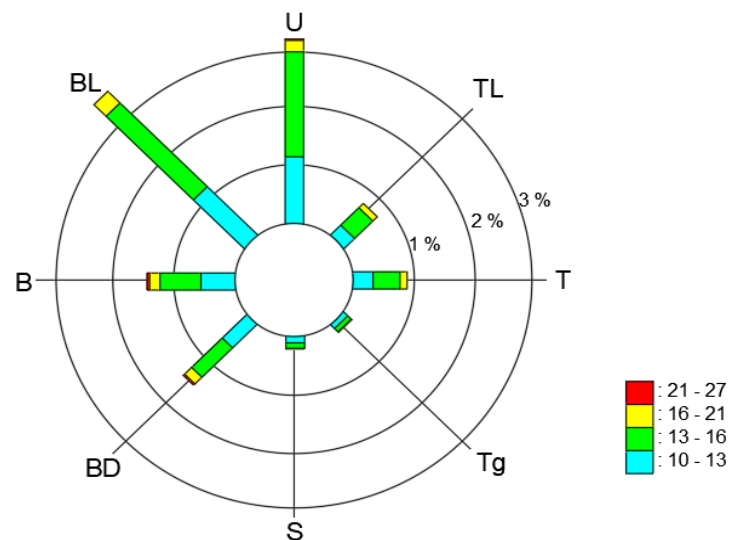
2.7 Analisis Data Angin dan Peramalan Gelombang

Data angin digunakan untuk memprediksi besarnya tinggi gelombang dan periode gelombang jika tidak ada data pengukuran di laut dalam yang terjadi di daerah studi. Data angin tersebut dipergunakan untuk prediksi arah dan tinggi gelombang di lokasi studi.

Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/d}$ (Triatmodjo, 1999).

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

Tabel 2. 2 Contoh tabel data angin (Sumber: Triatmodjo, 1999)



Gambar 2. 8 Contoh mawar angin

2.7.1 Kecepatan Angin

Data-data kecepatan angin yang digunakan untuk pembangkitan gelombang adalah data yang dicatat di darat yang diukur pada ketinggian tertentu di atas permukaan laut. Untuk keperluan peramalan gelombang biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 meter. Hal ini mengakibatkan data tersebut harus melewati tahap koreksi. dengan persamaan :

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (3)$$

dengan:

U_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 m (knots, m/det)

U_z = kecepatan angin pada ketinggian z m (knots, m/det)

Z = ketinggian data kecepatan angin diambil (m)

yang berlaku untuk z lebih kecil dari 20 m.

Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh persamaan :

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \quad (4)$$

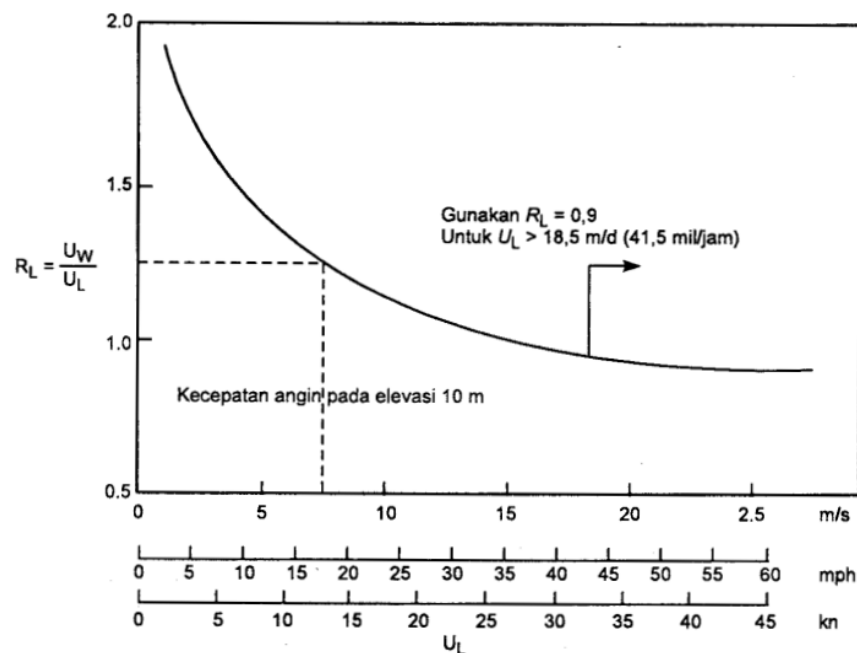
Dengan:

R_L = Nilai diperoleh dari grafik hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut

U_W = Kecepatan angin di atas permukaan laut (m/s)

U_L = Kecepatan angin di atas daratan (m/s)

Seperti grafik pada Gambar 2.11 merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat. Grafik tersebut dapat digunakan untuk daerah lain kecuali apabila karakteristik daerah sangat berlainan.



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 2. 9 Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat

Rumus-rumus dan grafik-grafik pembangkitan gelombang mengandung variable UA yaitu faktor tegangan angin (wind-stress factor) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin, kecepatan angin di konversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut :

$$U_A = 0,71 U_{10}^{1,23} \quad (5)$$

dengan:

U_A = wind stress factor

U_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 m

2.7.2 Fetch

Fetch adalah jarak seret gelombang. Di dalam pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentuk gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Di dalam tinjauan pembangkit gelombang laut, fetch dibatasi dalam bentuk daratan yang mengelilingi laut.

Dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Peristiwa ini terjadi pada daerah pembentukan gelombang

Fetch rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut :

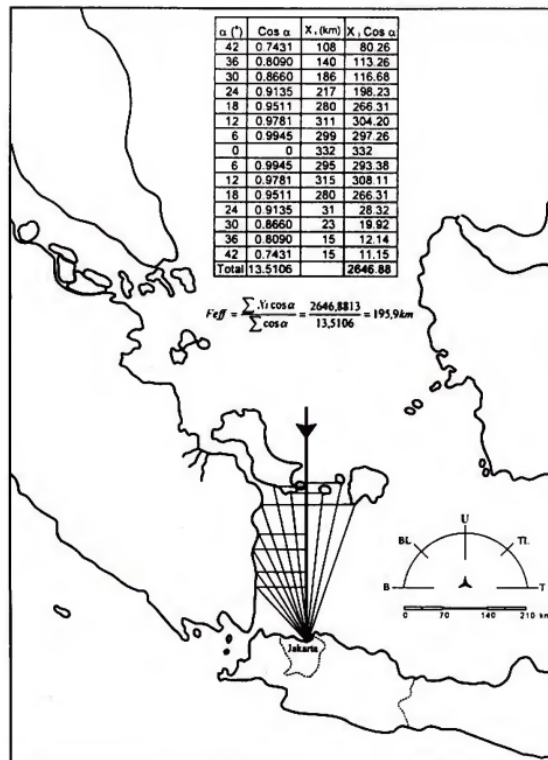
$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos a}{\sum \cos a} \quad (6)$$

dengan:

F_{eff} = Fetch rerata efektif (km)

X_i = Panjang segmen fetch yang diukur dari titik konservasi gelombang (km)

a = deviasi pada kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 6° pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 2. 10 Contoh penggambaran fetch (Sumber: Triatmodjo, 1999.)

2.7.3 Lama Hembus (td)

Lama hembus ditentukan berdasarkan lama badai yang terjadi. Berdasarkan hasil studi model distribusi kecepatan angin pada saat badai di Indonesia Wilayah Barat (Hermawan S., 2002); Indonesia Wilayah Tengah (Thambas, 2003) dan Indonesia Wilayah Timur (Edi H., 2004), badai yang terjadi di Indonesia umumnya hanya berkisar 9 jam dengan distribusi kecepatan angin sebagai berikut :

- 1)Tiga jam pertama : 60 sd 70% U_{maks}
- 2)Tiga jam kedua : 100% U_{maks}
- 3)Tiga jam terakhir : 60 sd 70% U_{maks}

Kesimpulan penting dari studi tersebut adalah peramalan tinggi gelombang dengan distribusi kecepatan angin tersebut, hasilnya setara dengan peramalan tinggi gelombang menggunakan dengan lama hembus sekitar 4 jam hingga 5 jam. Berdasarkan hasil studi ini maka disarankan untuk keperluan peramalan gelombang dipergunakan U_{maks} dan $t_d = 4 - 5$ jam (Yuwono, 2020).

2.7.4 Peramalan Gelombang di Laut Dalam

Besarnya tinggi dan periode gelombang di laut dalam ini didapatkan dari hasil analisis data angin yang didapatkan dari BMKG dengan panjang fetch efektif yang sudah diperhitungkan terlebih dahulu. Perhitungan tinggi dan periode gelombang di laut dalam dapat menggunakan metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB) yang telah dimodifikasi (CERC, 1984). Perumusan metode SMB dapat dilihat pada Tabel 2.3 Perhitungan dengan metode SMB mempunyai 2 klasifikasi yaitu berdasarkan Fetch Limited dan Fully Developed. (dengan satuan yang digunakan adalah satuan SI dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

Pemilihan rumus untuk peramalan tinggi dan periode gelombang di laut dalam harus memperhatikan kondisi lapangan, sehingga hasil dari pendekatan hitungan secara empiris bisa logis dan sesuai dengan kondisi yang ada. Perumusan berdasarkan kondisi fetch limited digunakan bila pantai tertutup oleh penghalang (pulau atau teluk). Sedangkan perumusan berdasarkan kondisi Fully Developed Sea digunakan bila pantai berhubungan dengan laut bebas yang tidak ada penghalangnya. Apabila hasil perhitungan berdasarkan metode SMB didapatkan sangat besar, maka harus dikoreksi terhadap grafik pada Gambar 2.13 agar sesuai dengan kondisi lapangan.

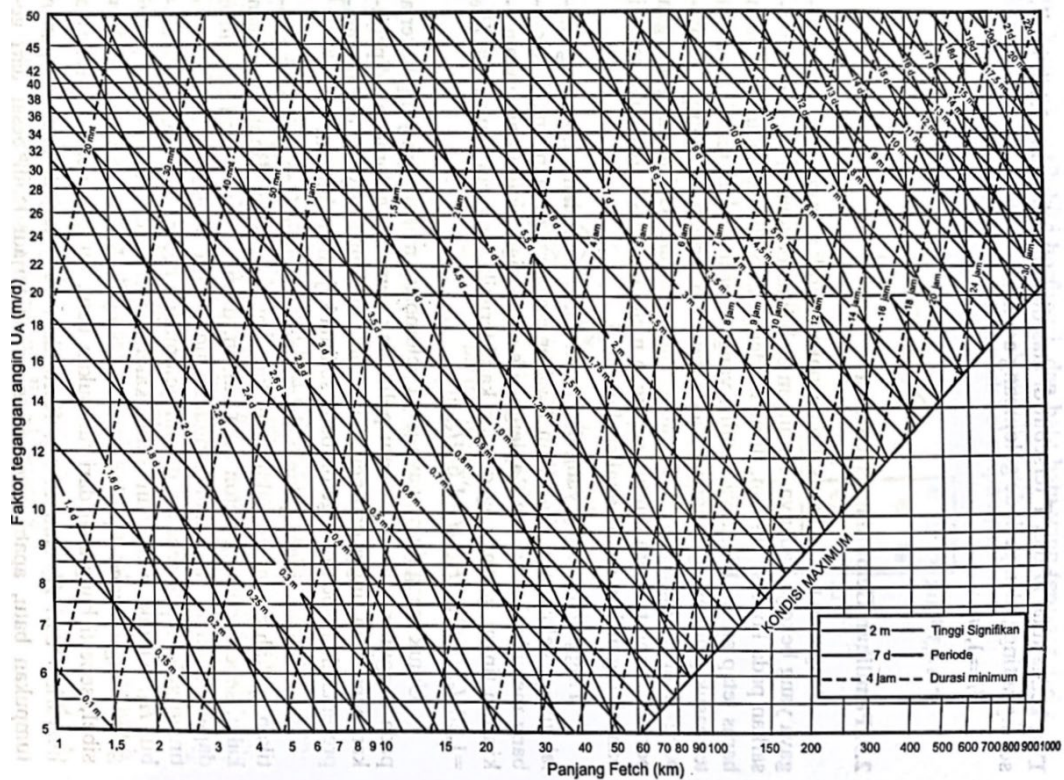
Tabel 2.3 Persamaan untuk peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan Metode SMB

Dimensionless	Metric Units	
	H(m), T(s), U_A (m/s) ,F(m), t(s)	H(m), T(s), U_A (m/s), F(km), t(hr)
Fetch Limited (F,U)		
$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$	$H_{m0} = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$	$H_{m0} = 1,616 \times 10^{-2} U_A F^{\frac{1}{2}}$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$	$T_m = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$	$T_m = 6,238 \times 10^{-1} U_A F^{\frac{1}{3}}$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 6,88 \times 10 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}}$	$t = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$	$t = 8,93 \times 10^{-1} \left(\frac{F^2}{U_A} \right)^{\frac{1}{3}}$
Fully Developed		

$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1}$	$H_{m0} = 2,482 \times 10^{-2} U_A^2$	$H_{m0} = 2,482 \times 10^{-2} U_A^2$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 8,134$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} U_A$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} U_A$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,15 \times 10^4$	$t = 7,296 \times 10^3 U_A$	$t = 2,027 U_A$
$g = 9.8 \text{ m/s}^2$		

Sumber: CERC, 1984.

Berdasarkan pada kecepatan angin, lama hembus angin dan fetch dapat menggunakan grafik pada Gambar 2.13 (SPM, 1984). Dari grafik tersebut apabila panjang fetch, faktor tegangan angin dan durasi diketahui maka tinggi dan periode gelombang signifikan dapat dihitung.



Gambar 2. 11 Grafik peramalan gelombang

2.8 Perkiraan Gelombang Dengan Periode Kala Ulang

Frekuensi gelombang besar merupakan faktor yang mempengaruhi perencanaan struktur pantai. Untuk mengatur gelombang dengan periode ulang tertentu, diperlukan data gelombang untuk periode pengukuran yang lama (beberapa tahun). Dari tiap tahun pencatatan, gelombang representatif semacam

H_s , H_{10} , H_1 , H_{maks} , dan lainnya dapat ditentukan. Berdasarkan representasi beberapa tahun pengamatan, bisa diperkirakan kalau gelombang yang diharapkan disamai ataupun dilampaui sekali dalam T tahun, serta gelombang tersebut diketahui sebagai gelombang periode ulang tahun T atau gelombang T tahunan (Triatmodjo, 1999).

Penentuan kala ulang gelombang rencana biasanya didasarkan pada nilai daerah yang akan dilindungi dan jenis konstruksi yang akan dibangun. Semakin tinggi nilai ekonomis daerah yang akan dilindungi makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang akan dipilih. tentang pedoman pemilihan gelombang rencana yang sesuai dengan jenis struktur bangunan yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Pedoman pemilihan gelombang rencana

No.	Jenis Struktur Bangunan	Gelombang Rencana	
		Jenis Gelombang	Kala Ulang (tahun)
1	Struktur Fleksibel	H_s , (H_{33})	
	a. Risiko rendah		5 – 10
	b. Risiko sedang		10 – 100
	c. Risiko tinggi		100 – 1000
2	Struktur Semi Kaku	H_{10} - H_1	
	a. Risiko rendah		5 – 10
	b. Risiko sedang		10 – 100
	c. Risiko tinggi		100 – 1000
3	Struktur Kaku	H_1 - H_{maks}	
	a. Risiko rendah		5 – 10
	b. Risiko sedang		10 – 100
	c. Risiko tinggi		100 – 1000

Untuk menentukan kala ulang (*return period*) gelombang rencana, dipergunakan analisis harga-harga ekstrem tinggi gelombang. Biasanya hanya diambil satu gelombang tertinggi setiap tahunnya dalam melakukan analisis kala ulang gelombang ini dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan metode Fisher Tippet, Weibull, dan Gumbel. (Yuwono, 2020).

Pada penelitian ini, hanya menggunakan salah satu metode yaitu metode Gumbel. Metode Gumbel memiliki persamaan sebagai berikut.

$$\overline{H}_S = \frac{\Sigma H}{n} \quad (7)$$

$$\sigma H_S = \sqrt{\frac{\Sigma(H - \overline{H}_S)^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$H_{sT} = \overline{H}_S + \frac{\sigma H_S}{\sigma n} (Y - Y_n) \quad (9)$$

dengan:

\overline{H}_S = rata-rata tinggi gelombang signifikan dari seluruh data yang ada

σH_S = deviasi standard tinggi gelombang signifikan

Nilai Y, Y_n, σ_n berdasarkan periode ulang dan jumlah data dapat dilihat pada Tabel 2.5, table 2.6 dan tabel 2.7 seperti berikut.

Tabel 2. 5Jumlah data versus Y

Kala Ulang (tahun)	Y
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Tabel 2. 6 Jumlah data versus Y_n

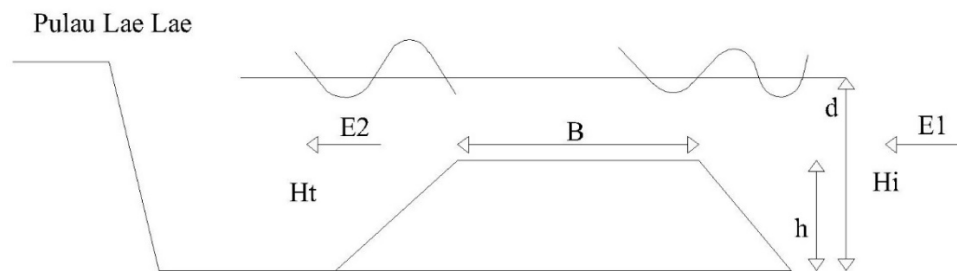
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,512	0,515	0,518	0,520	0,522
20	0,523	0,525	0,526	0,528	0,529	0,530	0,532	0,533	0,534	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,539	0,540	0,541	0,541	0,542	0,543

Tabel 2. 7Jumlah data versus σ_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05
20	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10
30	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14

2.9 Perhitungan Struktur Revetment

2.9.1 Perhitungan Tinggi Struktur



Gambar 2. 12 Desain Parameter Submerged Breakwater

Keterangan gambar:

E 1 = Energi gelombang datang.

E2 = Energi gelombang setelah melewati struktur

B = Lehar puncak.

d = Kedalaman air laut

h = Tinggi struktur

Hi = Tinggi gelombang datang.

Ht = Tinggi gelombang setelah melewati struktur

Submerged breakwater direncanakan untuk mengurangi besarnya energi, gelombang sebanyak 60 % maka tinggi struktur dapat dihitung sebagai berikut :

Elevasi Puncak Submerged Breakwater Elevasi puncak bangunan dihitung dengan persamaan (Triatmodjo, 1999):

$$\text{Elevasi mercu} = \text{LWL} - d + \text{SLR} \quad (10)$$

dengan:

LWL = Low Water Level

d = Kedalaman

SLR = Kenaikan muka air laut

2.9.2 Besar Energi yang Dihasilkan Pada Gelombang

Dengan memperhatikan besar energi gelombang pada E1 yaitu energi gelombang datang maka diperoleh nilai energi gelombang datang dengan persamaan (Hariyono,2002)

$$E1 = \frac{1}{8} \rho g H^2 L_o \quad (11)$$

dengan:

E1 = Energi gelombang datang.

ρ = Rapat massa air laut

g = Gravitasi bumi

H = Tinggi gelombang datang

L_o = Panjang gelombang laut dalam

E2 yaitu besar pengurangan energi yang diharapkan sebesar 60%, maka

$$E2 = (100 - 60)E1 \quad (12)$$

Maka besar tinggi gelombang transmisi dibelakang struktur submerged breakwater dapat dihitung dari energi gelombang setelah mengenai struktur E2 dengan persamaan (Hariyono, 2002) :

$$E = \frac{1}{8} \rho g H t^2 L$$

$$H t^2 = 8E / \rho g L \quad (13)$$

2.9.3 Panjang Submerged Breakwater

Jika ukuran breakwater cukup Panjang maka dapat dibagi menjadi beberapa bagian dengan menggunakan persamaan (Manual Desain Bangunan Pengaman Pantai. ,2009) :

$$\frac{L_s}{Y} = 0.5 - 0.67 \quad (14)$$

$$L_s = Y \times 0.5 \quad (15)$$

dengan:

L_s = Panjang breakwater setelah dibagi

Untuk menentukan jarak antara bangunan submerged breakwater menggunakan persamaan (Manual Desain Bangunan Pengaman Pantai. ,2009) :

$$L_{gap} = 0.5 \cdot L_s \quad (16)$$

dengan:

L_{gap} = jarak antara bangunan

2.9.4 Berat Butir

Stabilitas unit lapis lindung tergantung pada berat dan bentuk unit serat kemiringan sisi bangunan. Bentuk unit akan mempengaruhi kaitan antara butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi takam akan mengait satu sama lain dengan baik sehingga akan lebih stabil. Batu-batu pada lapis pelindung dapat diatur peletakannya untuk mendapat kaitan yang cukup baik atau diletakkan secara sembarang. Semakin besar kemiringan memerlukan batu semakin berat. Berat tiap butir batu dapat mencapai beberapa ton. Kadang-kadang sulit mendapatkan batu seberat itu dalam jumlah yang sangat besar. Untuk mengatasinya maka dibuat batu buatan dari beton dengan bentuk tertentu (Bambang Triatmodjo, 2006).

Di dalam perencanaan pemecah gelombang sisi miring, ditentukan berat butir batu pelindung, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Hudson.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (17)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad (18)$$

dengan:

W = Berat butir batu pelindung

γ_r = Berat jenis batu

γ_a = Berat jenis air laut

H = Tinggi gelombang rencana

θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

K_D = Koefisien stabilitas yang tergantung pada bentuk batu pelindung (batu alam atau buatan), kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan

antara butir, dan kondisi gelombang. Nilai K_D untuk berbagai bentuk batu pelindung diberikan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Koefisien stabilitas

Lapis lindung	n	Penempatan	Lengan bangunan		Ujung (kepala) bangunan		Kemiringan Cot θ
			K_D		K_D		
			Gelomb. pecah	Gelomb. tidak pecah	Gelomb. pecah	Gelomb. tidak pecah	
Batu pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2
Bersudut kasar	1	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2
					1,9	3,2	1,5
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2
Bersudut kasar	2	Khusus* ³	5,8	7,0	5,3	6,4	*2
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
					4,5	5,5	2,0
					3,5	4,0	3,0
					8,3	9,0	1,5
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	*2
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	*2
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	9,5	9,5	*2
Batu pecah (KRR) (graded angular)	-	Acak	2,2	2,5	-	-	

Catatan :

n : jumlah susunan butir batu dalam lapis pelindung

*1 : penggunaan n=1 tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah

*2 : sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai K_D , penggunaan K_D dibatasi pada kemiringan 1:1,5 sampai 1:3

*3 : batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan

4.8.1 Lebar Puncak, Tebal Lapis Pelindung Utama dan Jumlah Unit Lapis Pelindung.

Lebar puncak pemecah gelombang tergantung pada limpasan yang diizinkan. Pada kondisi limpasan diizinkan, lebar puncak minimum adalah sama dengan lebar dari tiga butir pelindung yang disusun berdampingan (n=3). Untuk

bangunan tanpa terjadi limpasan, lebar puncak pemecah gelombang bisa lebih kecil. Selain batasan tersebut, lebar puncak harus cukup lebar untuk keperluan operasi peralatan pada waktu pelaksanaan pembangunan dan perawatan. Lebar puncak pemecah gelombang dapat dihitung dengan rumus berikut ini (Bambang Triatmodjo, 2006) :

$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (19)$$

dengan:

- 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

Tebal lapis lindung utama diberikan rumus berikut (Bambang Triatmodjo, 2006) :

$$t = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (20)$$

Jumlah butir unit lapis lindung pada lapis lindung utama tiap satu satuan luas diberikan oleh persamaan (Bambang Triatmodjo, 2006) berikut :

$$N = Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (21)$$

dengan :

- t = tebal lapis pelindung
- n = jumlah lapis batu dalam lapis pelindung
- k_{Δ} = koefisien lapis
- W = berat unit lapis lindung atau batu pada lapis lindung
- A = luas permukaan
- P = porositas rerata dari lapis pelindung (%)
- N = jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A
- γ_r = berat jenis batu

Tabel 1. Koefisien Lapis

Batu pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_{Δ})	Porositas P(%)
Batu alam (halus)	2	Random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Kubus	2	Random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	Random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	Random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	Random (acak)	1,15	47
Tribard	2	Random (acak)	1,02	54
Dolos	2	Random (acak)	1,00	63
Tribar	1	Seragam	1,13	47
Batu alam		Random (acak)		37

Sumber: Triatmodjo, 1999.