

**ANALISIS STABILITAS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI  
(*REVTMENT*) DI PANTAI MULI LAMPUNG SELATAN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**MUHAMMAD TOMI  
1915011030**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2023**

## **ABSTRAK**

### **ANALISIS STABILITAS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI (*REVETMENT*) DI PANTAI MULI LAMPUNG SELATAN**

**Oleh**

**MUHAMMAD TOMI**

Penelitian ini menganalisis bangunan *revetment* yang berada di Pantai Muli Lampung Selatan melalui analisis gelombang yang terjadi di pantai tersebut. Stabilitas bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli menjadi perhatian yang sangat penting karena faktor keamanan dan keselamatan pengguna pantai. Jika *revetment* tidak stabil, maka dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan dan bahkan berpotensi menimbulkan bahaya bagi pengguna. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk menilai kesetabilan bangunan *revetment* tersebut terhadap gelombang tinggi yang terjadi di pantai tersebut. Metode analisis pada penelitian ini menggunakan peramalan gelombang dengan periode ulang 10 tahun. Analisis juga dilakukan pada struktur penyusun bangunan *revetment* di Pantai Muli. Hasil dari penelitian menunjukkan adanya penyusun struktur bangunan *revetment* tidak stabil terhadap gelombang tinggi. Analisis peramalan gelombang pada pantai muli menghasilkan tinggi gelombang signifikan  $H_s = 1,02$  m dan tinggi gelombang pecah  $H_b = 1,82$  m. Untuk struktur bangunan nilai koefisien stabilitasnya terdapat beberapa batu pecah  $> 2$  sehingga tidak sesuai berdasarkan literatur. Pada analisis pelindung kaki *revetment* didapatkan nilai  $N_s^3 = 290$  dapat dikatakan aman. Berdasarkan hasil analisis tersebut disarankan untuk melakukan penanganan untuk mencegah keruntuhan bangunan *revetment* saat terjadi gelombang tinggi.

Kata kunci: *revetment*, gelombang, stabilitas, pantai.

## **ABSTRAK**

### ***STABILITY ANALYSIS OF COASTAL PROTECTION STRUCTURE (REVTMENT) AT MULI BEACH SOUTH LAMPUNG***

*By*

**MUHAMMAD TOMI**

*This study analyzes the revetment structure located at Muli Beach, South Lampung, through wave analysis occurring at the beach. The stability of the coastal protection structure, revetment, at Muli Beach is of utmost importance due to safety and security concerns for beach users. If the revetment is unstable, it can cause damage to the structure and potentially pose hazards to the users. The aim of this research is to assess the stability of the revetment structure against high waves occurring at the beach. The analysis method employed in this study utilizes wave forecasting with a return period of 10 years. The analysis also encompasses the examination of the components constituting the revetment structure at Muli Beach. The research findings indicate that the composition of the revetment structure is unstable against high waves. The wave forecasting analysis at Muli Beach resulted in a significant wave height,  $H_s = 1,02$  m and a wave height at breaking point  $H_b = 1,82$  m. Regarding the structure's components, there are several shattered stones  $> 2$ , indicating inconsistency with the existing literature. In the analysis of the revetment toe protection, a stability coefficient value of  $N_s^3 = 290$  was obtained, which can be considered safe. Based on these analysis results, it is recommended to implement necessary measures to prevent the collapse of the revetment structure during high wave events.*

*Keywords: revetment, waves, stability, beach.*

**ANALISIS STABILITAS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI  
(*REVETMENT*) DI PANTAI MULI LAMPUNG SELATAN**

**OLEH  
MUHAMMAD TOMI  
1915011030**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi : **ANALISIS STABILITAS BANGUNAN  
PENGAMAN PANTAI (REVTMENT)  
DI PANTAI MULI LAMPUNG SELATAN**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Tomi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011030

Jurusan : Teknik Sipil

Pakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

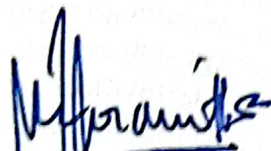


**Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**  
NIP 19670514 199303 1 002



**Subuh Tuglono, S.T., M.T.**  
NIP 19730407 200012 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil



**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19720829 199802 1 001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil



**Ir. Laksmi Irlanti, M.T.**  
NIP 19620408 198903 2 001

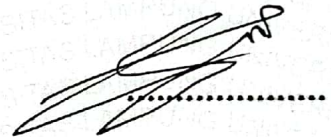
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

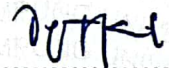
Ketua : **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**



Sekretaris : **Subuh Tugiono, S.T., M.T.**

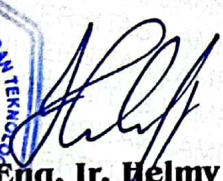


Penguji  
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc.**



### 2. Dekan Fakultas Teknik



  
**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **08 Agustus 2023**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Muhammad Tomi  
NPM : 1915011030  
Prodi/jurusan : S1/Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik Univesitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditullis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2023

Penulis



**Muhammad Tomi**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kecamatan Abung Tinggi, Lampung Utara, Provinsi Lampung pada tanggal 14 Agustus 2002 sebagai anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Aminudin dan Ibu Emawati. Pendidikan formal penulis dimulai tahun 2007 masuk Sekolah Dasar di SDN 1 Sukamaju yang diselesaikan pada tahun 2013, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Abung Tinggi yang diselesaikan pada tahun 2016, lalu melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Bukit Kemuning yang diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan periode 2020/2021. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Hujan Mas, Kecamatan Abung Barat, Lampung Utara selama 40 hari dari Januari-Februari 2022. Di tahun yang sama, penulis juga telah melaksanakan Kegiatan Peningkatan Kompetensi Calon Tenaga Kerja Konstruksi (TKK) program Vokasi Melalui Pilot Project Pemagangan pada Pekerjaan Konstruksi di Kementerian PUPR Pembangunan Pengaman Pantai Kalianda (Pantai Muli) Lampung Selatan selama 5 bulan dari Juli-November 2022. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Analisis Stabilitas Bangunan Pengaman Pantai (*Revetment*) Di Pantai Muli Lampung Selatan”.



## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahirobbil alamin Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karya ini kepada:

### **Ayah dan Ibu**

Yang senantiasa memberikan yang terbaik, dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Kuucapkan terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku dengan cara yang dipenuhi kasih sayang, dukungan dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

**Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., Subuh Tugiono, S.T., M.T., Prof. Dr. Dyah  
Indriana Kusumastuti., S.T., M.Sc.**

Sebagai dosen pembimbing dan penguji yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

## MOTTO

“Tidak ada yang sia-sia dalam belajar karena ilmu akan bermanfaat pada waktunya”

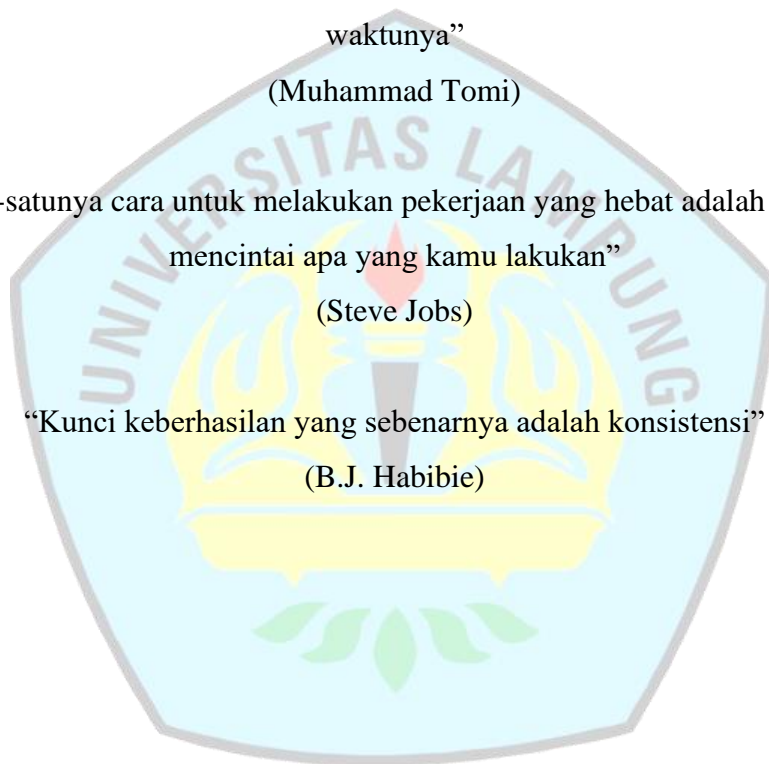
(Muhammad Tomi)

“Satu-satunya cara untuk melakukan pekerjaan yang hebat adalah dengan mencintai apa yang kamu lakukan”

(Steve Jobs)

“Kunci keberhasilan yang sebenarnya adalah konsistensi”

(B.J. Habibie)



## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat serta hidayah-Nya kepada penulis, serta penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Stabilitas Bangunan Pengaman Pantai (*Revetment*) di Pantai Muli Lampung Selatan” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, serta pertolongan yang tiada henti dan senantiasa memberikan keberkahan ilmu kepada hambanya.
2. Kedua orang tua tercinta dan keluarga besar bapak Aminudin dan ibu Emawati yang senantiasa mendoakan penulis, memberikan dukungan dan semangat yang tiada henti, serta memberikan kepercayaan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing pertama atas ketersediaannya memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, saran dan kritik, serta kebaikan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.

7. Bapak Subuh Tugiono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing kedua atas ketersediaannya memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, saran dan kritik, serta kebaikan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Ibu Prof. Dr. Dyah Indriana Kusumastuti., S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan, saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.
9. Bapak Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu penulis selama perkuliahan.
10. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
11. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2019 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari isi maupun cara penyampaian. Oleh karena itu, diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, diharapkan agar skripsi ini dapat memberikan ilmu baru dan membawa manfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung,

September 2023

Penulis,

Muhammad Tomi

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Definisi Pantai .....	6
2.2 Bangunan Pengaman Pantai ( <i>Revetment</i> ).....	7
2.3 Angin.....	9
2.3.1 Data Angin.....	10
2.4 <i>Fetch</i> .....	12
2.5 Gelombang .....	12
2.5.1 Gelombang Signifikan .....	13
2.5.2 Pemilihan Tinggi Gelombang.....	14
2.5.3 Kala Ulang Gelombang Rencana.....	15
2.5.4 Peramalan Gelombang.....	17
2.5.5 Refraksi Gelombang .....	18
2.5.6 Gelombang Rencana .....	19
2.5.7 Gelombang Pecah .....	19
2.6 <i>Run Up</i> Gelombang.....	23
2.7 Fluktuasi Muka Air Laut .....	24
2.7.1 Pasang Surut .....	25
2.7.2 Kenaikan Muka Air Karena Gelombang ( <i>Wave Set-Up</i> ).....	26
2.7.3 Kenaikan Muka Air Karena Angin ( <i>Wind Set-Up</i> ).....	26
2.7.4 Pemanasan Global.....	27
2.8 Elevasi Muka Air Laut .....	28
2.9 Bangunan Pantai Sisi Miring.....	29
2.9.1 Bahan Lapis Pengaman Pantai.....	30
2.9.2 Stabilitas Batu Lapis Lindung.....	30

2.9.3	Tebal dan Jumlah Batu Lapis Pengaman .....	32
2.9.4	Tinggi Bangunan <i>Revetment</i> .....	33
2.9.5	Lebar Puncak Bangunan <i>Revetment</i> .....	33
2.10	Kontrol Stabilitas Pengaman Kaki ( <i>Toe Protection</i> ).....	33
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>36</b>
3.1	Analisis Stabilitas <i>Revetment</i> dan Diagram Penelitian .....	36
3.1.1	Analisis Data Angin.....	36
3.1.2	Analisis <i>Fetch</i> .....	36
3.1.3	Analisis Gelombang.....	37
3.1.4	Perhitungan Gelombang Rencana.....	37
3.1.5	Perhitungan Gelombang Pecah.....	38
3.1.6	Data Pasang Surut .....	38
3.1.7	Perhitungan Elevasi Muka Air Laut Rencana.....	38
3.1.8	Perhitungan Dimensi Bangunan .....	39
3.1.9	Perhitungan Pengaman Kaki ( <i>Toe Protection</i> ) .....	39
3.2	Metode Pengumpulan data .....	40
3.2.1	Data Primer .....	41
3.2.2	Data Sekunder .....	41
3.3	Alat Penelitian .....	41
3.4	Lokasi Penelitian .....	42
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>43</b>
4.1	Analisis Data Angin .....	43
4.2	Analisis <i>Fetch</i> .....	49
4.3	Analisis Gelombang .....	51
4.3.1	Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang Signifikan.....	51
4.3.2	Perhitungan Tinggi Gelombang Maksimum.....	52
4.3.3	Perhitungan Panjang dan Cepat Rambat Gelombang di Laut Dalam .....	55
4.3.4	Perhitungan Tinggi Gelombang Rencana .....	56
4.3.5	Analisa Gelombang Pecah .....	60
4.4	Perhitungan Fluktuasi Muka Air laut .....	63
4.4.1	Data Pasang Surut .....	63
4.4.2	Menghitung Kenaikan Muka Air Akibat Gelombang ( <i>Wave Set Up</i> ) .....	67
4.4.3	Kenaikan Muka Air Laut Akibat Angin ( <i>Wind Set Up</i> ) .....	67
4.4.4	Pemanasan Global (SLR).....	68
4.4.5	Elevasi Muka Air Rencana (DWL) .....	68
4.5	Perhitungan Dimensi Bangunan .....	69
4.5.1	Perhitungan <i>Run Up</i> Gelombang .....	69
4.5.2	Perhitungan Tinggi Bangunan <i>Revetment</i> .....	70
4.5.3	Analisis Koefisien Stabilitas ( $K_D$ ) .....	70
4.5.4	Perhitungan Lebar Puncak Bangunan.....	74
4.6	Analisis Stabilitas Pelindung Kaki Bangunan ( <i>Toe Protection</i> ) .....	74
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>77</b>
5.1	Kesimpulan.....	77

5.2 Saran..... 78

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Definisi dan Batasan Pantai. ....	6
Gambar 2. Potongan Melintang <i>Revetment</i> Pantai Muli.....	7
Gambar 3. <i>Revetment</i> Batu Pecah Sejajar Garis Pantai. ....	8
Gambar 4. Hubungan antara Kecepatan Angin di Laut dan Darat. ....	11
Gambar 5. Grafik Peramalan Gelombang Signifikan. ....	14
Gambar 6. Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah ( $H_b$ ). ....	21
Gambar 7. Grafik Penentuan Gelombang Pecah.....	22
Gambar 8. Proses Gelombang Pecah. ....	22
Gambar 9. <i>Run Up</i> Gelombang. ....	23
Gambar 10. Tinggi Relatif <i>Run Up</i> untuk Berbagai Jenis Lapis Pelindung. ....	24
Gambar 11. Prakiraan Kenaikan Muka Air Laut akibat Pemanasan Global.....	28
Gambar 12. Elevasi Muka Air Laut Rencana. ....	29
Gambar 13. Pelindung Kaki Bangunan.....	34
Gambar 14. Angka Stabilitas $Ns^3$ untuk Fondasi dan Pelindung Kaki. ....	35
Gambar 15. Diagram Alir Penelitian. ....	40
Gambar 16. Peta Lokasi Penelitian Bangunan Pengaman Pantai ( <i>Revetment</i> ). ...	42
Gambar 17. <i>Windrose</i> Tahun 1994-2003. ....	46
Gambar 18. <i>Windrose</i> pada Stasiun Metereologi Raden Intan II.....	46
Gambar 19. Penentuan Nilai $R_L$ Angin Tahun 1994.....	48
Gambar 20. Panjang <i>Fetch</i> Efektif Pantai Muli. ....	49
Gambar 21. Panjang <i>Fetch</i> yang Diperbesar. ....	50
Gambar 22. Grafik Penentuan Hubungan Nilai $H_b/H_0'$ dan $H_0'/gT^2$ .....	61
Gambar 23. Grafik Penentuan Hubungan Nilai $H_b/gT^2$ dan $db/H_b$ . ....	62
Gambar 24. Grafik Pasang Surut Pantai Kalianda. ....	64
Gambar 25. Grafik Tipe Pasang Surut. ....	66
Gambar 26. Grafik Penentuan Kenaikan Air Laut Akibat Pemanasan Global. ....	68



Gambar 27. Analisa Grafik <i>Run-Up</i> Gelombang .....	69
Gambar 28. Penentuan Nilai $d_s$ dan $d_1$ Pelindung Kaki Bangunan.....	75
Gambar 29. Penentuan Nilai $d_1$ dan $d_s$ pada Pelindung Kaki. ....	75
Gambar 30. Analisa Nilai $d_1/d_s$ dan Nilai $N_s$ .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pemilihan untuk Jenis Gelombang.....	15
Tabel 2. Masa Ulang dan $Y_t$ .....	16
Tabel 3. Nilai $Y_n$ .....	16
Tabel 4. Nilai $\sigma_n$ .....	17
Tabel 5. Koefisien Stabilitas $K_D$ Untuk Berbagai Jenis Butir.....	31
Tabel 6. Koefisien Lapis $K_\Delta$ Untuk Berbagai Jenis Butir .....	32
Tabel 7. Data Arah dan Kec. Angin Bulan Januari-April Tahun 1994-2003 .....	43
Tabel 8. Data Arah dan Kec. Angin Bulan Mei-Agustus Tahun 1994-2003.....	44
Tabel 9. Data Arah dan Kec. Angin Bulan September-Desember Tahun 1994- 2003 .....	44
Tabel 10. Kejadian Angin Tahun 1994-2003 berdasarkan Data Angin Bulanan Stasiun BMKG Raden Intan II .....	45
Tabel 11. Persentase Kejadian Angin Tahun 1994-2003 berdasarkan Data Angin Bulanan Stasiun BMKG Raden Intan II.....	45
Tabel 12. Kecepatan Angin Maksimum Tahunan.....	47
Tabel 13. Nilai Tegangan Angin Koreksi (UA) Tahun 1994-2003 .....	49
Tabel 14. Perhitungan <i>Fetch</i> Efektif .....	50
Tabel 15. Perhitungan Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang Signifikan...	52
Tabel 16. Perhitungan Tinggi Gelombang Maksimum Tahunan dengan Metode Gumbel .....	53
Tabel 17. Kedalaman <i>Revetment</i> pada Pantai Muli .....	56
Tabel 18. Nilai yang Digunakan Mencari $d/L$ .....	57
Tabel 19. Nilai yang Digunakan Mencari $\tanh 2\pi d/L$ .....	57
Tabel 20. Nilai yang digunakan untuk mencari $K_s$ .....	59
Tabel 21. Komponen Pasang Surut.....	64
Tabel 22. Hasil Perhitungan Tinggi Muka Air Laut .....	65

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pantai Muli merupakan salah satu pantai yang terletak di Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. Pantai ini sering dikunjungi oleh wisatawan karena memiliki panorama alam yang indah. Namun, Pantai Muli juga memiliki permasalahan yang perlu mendapat perhatian, yaitu erosi pantai yang semakin parah akibat ombak dan arus laut yang kuat. Pada musim tertentu, sering terjadi hantaman gelombang pasang di beberapa tempat yang dapat mengakibatkan erosi pantai dan kerusakan pada bangunan. Tanda kerusakan dapat dilihat dari rusaknya bangunan yang berada dipinggir pantai, baik sarana dan prasarana seperti jalan, jembatan, serta rumah penduduk, sekolah dan tempat ibadah.

Pantai ialah daerah yang masih mendapat pengaruh laut seperti gelombang, arus dan pasang surut. Gelombang yang berada di laut sering nampak tidak teratur dan sering berubah-ubah (Putri et al., 2022). Pantai juga rentan terhadap perubahan akibat erosi, abrasi, dan dampak aktivitas manusia. Maka untuk mengantisipasi atau meminimalisir hal tersebut perlu direncanakan bangunan pelindung pantai. Terdapat beberapa jenis bangunan pelindung pantai antara lain *revetment*, *jetty*, *groin*, pemecah gelombang (*breakwater*), tembok laut (*seawall*) (Mawardin et al., 2021). Menurut (Retraubun et al., 2022) Bangunan pelindung pantai pada umumnya berfungsi untuk melindungi daerah pantai. Bangunan ini di bangun sejajar dengan garis pantai sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan oleh gelombang. Bangunan pelindung pantai yang digunakan berupa *revetment*.

Bangunan *revetment* adalah sebuah struktur pengaman pantai yang merupakan salah satu upaya untuk mengatasi erosi di pantai yang memiliki banyak kegiatan pariwisata. Biasanya, *revetment* dibangun di tepi pantai atau di daratan untuk melindungi pantai itu sendiri dari dampak gelombang. (Karundeng et al., 2022). *Revetment* merupakan struktur yang dibangun di tepi pantai dengan tujuan melindungi pantai dari serangan gelombang dan mencegah gelombang meluap ke daratan (*overtopping*) (Manuel et al., 2017). *Revetment* memiliki kemiringan dan umumnya terdiri dari tumpukan batu atau bronjong, sehingga memungkinkannya untuk menjadi lebih fleksibel dan mampu menyesuaikan diri terhadap erosi di sekitar struktur. Area yang mendapat perlindungan adalah wilayah daratan langsung di belakang struktur tersebut (Retraubun et al., 2022). Namun, stabilitas bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli menjadi perhatian yang sangat penting karena faktor keamanan dan keselamatan pengguna pantai. Jika *revetment* tidak stabil, maka dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan dan bahkan berpotensi menimbulkan bahaya bagi pengguna.

Untuk memastikan bahwa struktur pengaman pantai *revetment* ini dapat berfungsi dengan baik, diperlukan analisis stabilitas bangunan. Analisis stabilitas bangunan *revetment* akan membantu menentukan apakah struktur pengaman pantai ini dapat bertahan dalam kondisi ekstrem, seperti saat terjadi gelombang tinggi. Dengan demikian, analisis stabilitas bangunan pengaman pantai (*revetment*) di pantai Muli Lampung Selatan sangat penting dilakukan untuk memastikan bahwa struktur pengaman pantai ini dapat bertahan dalam kondisi ekstrem dan berfungsi dengan baik untuk mengurangi resiko kerusakan pantai akibat abrasi. Dengan melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli, diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta memberikan manfaat praktis yang melibatkan masyarakat secara umum, terutama bagi para wisatawan yang sering mengunjungi Pantai Muli.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa tinggi gelombang, periode gelombang, dan gelombang pecah pada pantai muli?
2. Berapa nilai koefisien stabilitas ( $K_D$ ) bangunan pengaman pantai *revetment* pantai muli?
3. Bagaimana stabilitas pengaman kaki (*toe protection*) bangunan pengaman pantai *revetment* pantai muli?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibuat pembatasan pada masalah yang dihadapi dengan batasan-batasan sebagai berikut.

1. Penelitian berfokus pada analisis stabilitas bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli, Lampung Selatan dan tidak membahas aspek lain seperti kualitas air, keanekaragaman hayati, dan aktivitas manusia di pantai tersebut.
2. Dalam penelitian ini, data angin yang digunakan diperoleh dari periode 10 tahun.
3. Dalam penelitian ini, data pasang surut yang digunakan didasarkan pada pengukuran lapangan selama periode 30 hari.
4. Tidak menganalisa stabilitas penurunan tanah terhadap konstruksi.
5. Mengabaikan faktor bencana alam yang terjadi dilokasi seperti gelombang tsunami, gempa, dan lainlain.
6. Penelitian ini hanya meliputi area Pantai Muli, Lampung Selatan dan tidak mencakup pantai-pantai lainnya di daerah tersebut.
7. Penelitian ini tidak membahas secara detail mengenai rencana pengelolaan pantai di daerah tersebut.
8. Penelitian ini dilaksanakan dengan memperhatikan ketersediaan waktu dan sumber daya yang tersedia bagi peneliti.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menganalisis tinggi gelombang, periode gelombang, dan gelombang pecah pada pantai muli.
2. Menganalisis nilai koefisien stabilitas ( $K_D$ ) bangunan pengaman pantai *revetment* pantai muli.
3. Menganalisis stabilitas pengaman kaki (*toe protection*) bangunan pengaman pantai *revetment* pantai muli.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, diharapkan terdapat sejumlah manfaat, antara lain:

1. Memberikan informasi yang berguna bagi pihak terkait, seperti pemerintah daerah, pengelola pantai, dan masyarakat setempat, dalam upaya memperbaiki kondisi bangunan pengaman pantai *revetment* dan menjaga keberlanjutan objek wisata yang aman dan nyaman.
2. Menambah pemahaman dan pengetahuan tentang stabilitas bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli, Lampung Selatan.
3. Memberikan masukan dan rekomendasi bagi pengembangan dan penelitian masa depan tentang pengamanan pantai dan pengelolaan sumber daya alam di daerah tersebut.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

##### BAB I : PENDAHULUAN

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika yang meliputi penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi dasar teori yang diperoleh dari berbagai sumber literatur yang mendukung pembahasan studi kasus yang diambil.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisikan informasi terkait pengumpulan data dan metode-metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Mengandung informasi tentang hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan data yang diperoleh setelah melakukan penelitian.

**BAB V : PENUTUP**

Dalam rangkaian temuan penelitian ini, terdapat kesimpulan yang dapat diambil dan juga beberapa saran yang ingin disampaikan berdasarkan data yang telah diperoleh.

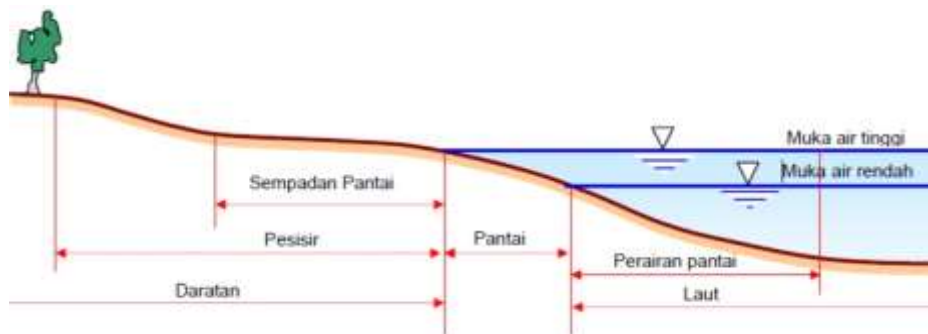
**DAFTAR PUSTAKA**

Mencakup daftar referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Pantai

Dalam konteks bahasa Indonesia, terdapat dua istilah yang berkaitan dengan wilayah pesisir, yaitu "Pesisir" dan "Pantai". "Pesisir" merujuk pada area daratan yang berada di tepi laut dan masih terpengaruh oleh fenomena lautan seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air laut. Di sisi lain, "Pantai" mengacu pada area yang terletak di tepi perairan dan dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Wilayah daratan dibedakan dari wilayah laut dengan dimulainya batas wilayah daratan dari garis pasang tertinggi. Perbatasan antara daratan dan laut yang dikenal sebagai garis pantai adalah suatu titik yang dapat berubah-ubah posisinya, dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut dan erosi pantai. Sempadan pantai ialah area daratan sepanjang tepian pantai yang luasnya disesuaikan dengan bentuk dan karakteristik geografis pantai, minimal 100 meter dari lokasi air pasang tertinggi menuju daratan (Triatmodjo, 2016). Untuk memperjelas definisi yang telah disebutkan sebelumnya, informasi lebih lanjut dapat ditemukan dalam Gambar 1 yang terlampir di bawah ini.



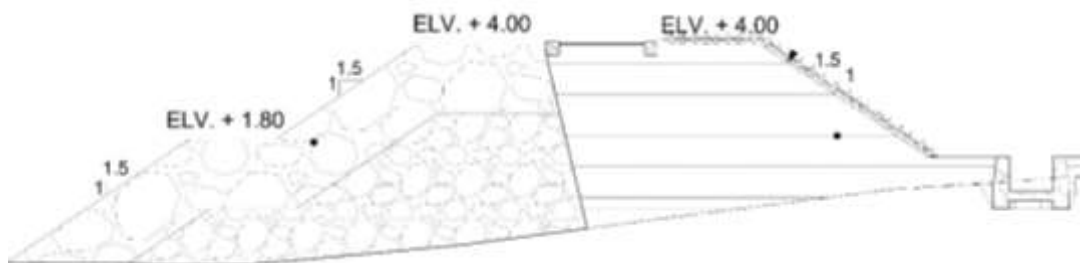
Gambar 1. Definisi dan Batasan Pantai.

(Sumber: Triatmodjo, 2016).



## 2.2 Bangunan Pengaman Pantai (*Revetment*)

Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan gelombang dan arus. *Revetment* adalah jenis bangunan yang dibangun di garis pantai dengan tujuan melindungi pantai dari serangan gelombang dan mencegah gelombang meluap (*overtopping*) ke daratan (Erwiyana et al., 2022). Bangunan ini memberikan perlindungan kepada wilayah daratan yang terletak di belakangnya. Bagian bangunan yang menghadap gelombang dapat memiliki bentuk permukaan vertikal atau miring. Gambar *revetment* dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Potongan Melintang *Revetment* Pantai Muli.

(Sumber: PT. Mina Fajar Abadi)

Secara umum, dinding pantai memiliki bentuk vertikal, sementara *revetment* memiliki kemiringan pada sisi-sisinya. Terdapat dua jenis bangunan pengaman pantai yang tersedia:

1. Bangunan *revetment overtopping*

Tipe struktur perlindungan pantai yang dirancang untuk memungkinkan air meluap di atasnya, digunakan untuk wilayah yang tidak terlalu sensitif terhadap dampak dari gelombang yang meluap ke daratan, terutama *overtopping*.

2. Bangunan *revetment non overtopping*

Tipe struktur perlindungan pantai yang tidak mengizinkan air untuk meluap di atasnya, direncanakan untuk wilayah yang sangat sensitif terhadap dampak dari gelombang yang meluap ke daratan, terutama *overtopping*.

Bangunan ini diletakkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai, dan dapat dibangun menggunakan berbagai jenis bahan seperti pasangan batu, beton, tumpukan pipa beton (*buis*), turap, kayu, atau tumpukan batu. Gambar bangunan *revetment* sejajar pantai dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Revetment* Batu Pecah Sejajar Garis Pantai.

(Sumber: PT. Indra Karya)

Secara umum, Ada beberapa tipe konstruksi yang umumnya digunakan dalam konteks ini sebagai *revetment*, antara lain:

1. *Revetment* dengan konstruksi blok beton

Struktur yang massif ini memiliki peran sebagai penghalang terhadap gelombang besar dan tanah yang kuat, seperti batu karang. Serta, tujuan dari bangunan ini adalah untuk menjaga struktur yang berlokasi sangat dekat dengan pantai, misalnya jalan raya. Keuntungan dari jenis bangunan ini termasuk kerusakan yang terjadi tidak terlalu parah dan dapat diperbaiki dengan mudah. Namun, satu kelemahan dari menggunakan bahan ini adalah biayanya yang relatif tinggi.

2. *Revetment* dengan konstruksi buis beton

Di Indonesia, struktur perlindungan pantai yang terbuat dari pipa beton telah ramai diterapkan. Struktur ini terdiri dari pipa beton berbentuk bulat, mirip dengan pipa yang sering digunakan untuk membangun gorong-gorong dan sumur gali. Pipa-pipa ini disusun dalam barisan atau tumpukan dan diisi dengan batu.

3. *Revetment* dengan konstruksi batu pecah

Struktur ini dibangun dengan beberapa lapisan, dimana lapisan terluar berfungsi sebagai pelindung dan terbuat dari batu besar dan dirancang untuk menahan serangan gelombang. Lapisan di bawahnya terdiri dari batu yang lebih kecil. Struktur ini memiliki fleksibilitas dan dapat menyesuaikan dengan perubahan pada kondisi dasar tanahnya. Jika terjadi kerusakan, seperti hilangnya batu pelindung, dapat diperbaiki dengan menambahkan batu baru. Oleh karena itu, disarankan untuk memiliki persediaan batu pelindung yang tersedia dekat dengan lokasi bangunan.

4. *Revetment* dengan konstruksi turap baja

Bangunan ini menggunakan fondasi berupa tiang sebagai penyangganya dan disertai dengan turap baja sebagai langkah pencegahan erosi tanah pada fondasi akibat hantaman gelombang dan pergerakan air tanah. Pemilihan fondasi bangunan harus dilakukan secara teliti guna mencegah penurunan yang tidak seragam yang berpotensi menyebabkan retakan pada struktur.

### 2.3 Angin

Angin yang berhembus di atas permukaan air laut dapat memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin dapat menyebabkan tegangan pada permukaan air laut, sehingga permukaan air yang awalnya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang (Triatmodjo, 2016).

Ketinggian dan periode gelombang yang dihasilkan tergantung pada beberapa faktor, yaitu kecepatan angin ( $U$ ), durasi angin ( $D$ ), dan *Fetch*. *Fetch* merujuk pada area di mana kecepatan angin tetap. Untuk mempertahankan kestabilan, perubahan arah angin tidak boleh melebihi

15° derajat, sedangkan perubahan kecepatan angin tidak boleh melebihi 15 knot (2,5 m/det) dari rata-rata kecepatan.

### 2.3.1 Data Angin

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung diatas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan yang kemudian di konversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin di ukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot (Agung et al., 2020). Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jam = 0,514 m/d. Untuk keperluan peramalan gelombang biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu dikoreksi dengan rumus (Triatmodjo, 2016):

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

Dengan:

$U_{10}$  : Kecepatan angin pada ketinggian 10 meter

$Y$  : Elevasi terhadap permukaan air

Apabila data angin tersedia berasal dari pengukuran di daratan, diperlukan penyesuaian untuk memperoleh nilai kecepatan angin di perairan. Koreksi ini dilakukan dengan memperhitungkan faktor  $R_L$ , yang nilai-nilainya tertera dalam Gambar 4. Jika data kecepatan angin di suatu perairan memerlukan penyesuaian atau koreksi terhadap elevasi, stabilitas, dan efek lokasi, dapat menggunakan persamaan yang diberikan sebagai berikut:

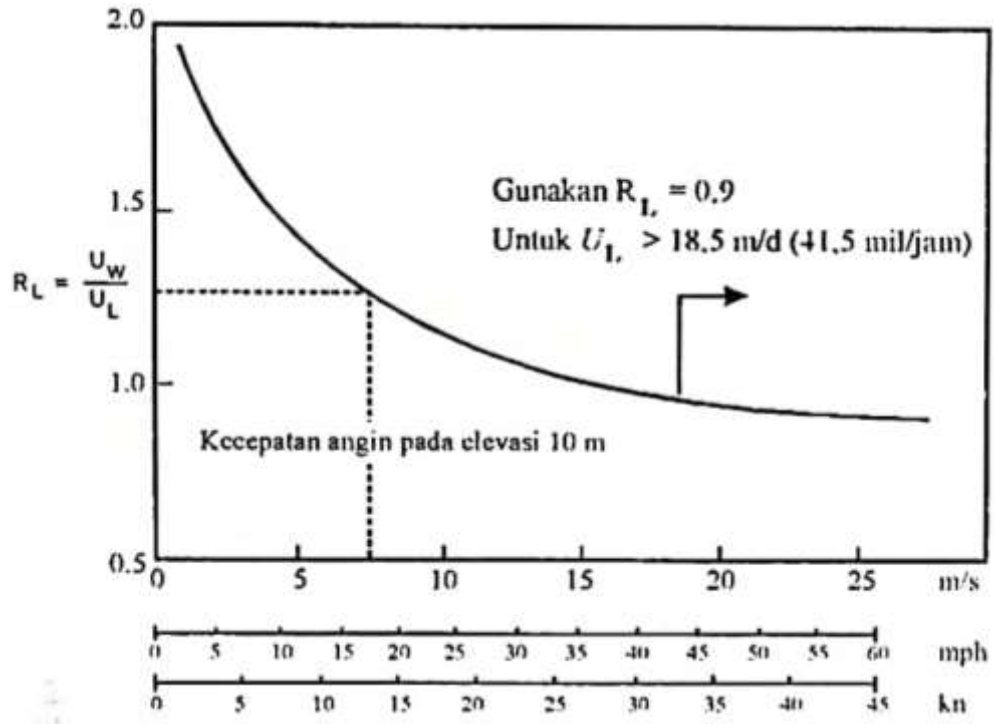
$$U = R_T \times R_L \times U_{10} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

$R_T$  : Koefisien stabilitas perbedaan temperatur antara udara dan air laut.

$R_L$  : Koefisien koreksi antara kecepatan angin di laut dan darat.

$U_{10}$  : Kecepatan angin pada ketinggian 10 meter



Gambar 4. Hubungan antara Kecepatan Angin di Laut dan Darat.

(Sumber : Triatmodjo, 2016)

Rumus dan grafik yang digunakan untuk memperoleh karakteristik gelombang melibatkan variabel  $U_A$ , yang merupakan faktor tegangan angin (*Wind-stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan konversi kecepatan angin sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan sebelumnya, kecepatan angin akan dikonversikan menjadi faktor tegangan angin menggunakan rumus berikut ini:

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

Dengan:

$U_A$  : Koreksi tegangan angin

$U$  : Kecepatan angin dalam (m/dt)

## 2.4 Fetch

*Fetch* adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah *fetch* adalah daerah dengan kecepatan angin konstan (Samudra et al., 2018). Di dalam peninjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh daratan yang mengelilingi. Di daerah pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Cara menghitung *fetch* efektif adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2016):

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

$F_{eff}$  : *Fetch* rerata efektif.

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

$\alpha$  : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan penambahan  $6^\circ$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin.

## 2.5 Gelombang

Gelombang laut adalah satu fenomena alam yang sering terjadi di laut.

Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang membentuk kurva/grafik sinusoidal (Samudra et al., 2018).

Gelombang laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, Gelombang pasang surut terjadi akibat gaya tarik yang diberikan oleh benda-benda langit, terutama matahari dan bulan, terhadap bumi.

Sementara itu, gelombang tsunami terjadi karena peristiwa seperti letusan gunung berapi atau gempa di dasar laut. Selain itu, terdapat juga

gelombang yang dihasilkan oleh pergerakan kapal dan berbagai faktor lainnya (Triatmodjo, 2016).

### 2.5.1 Gelombang Signifikan

Berdasarkan pada kecepatan angin, lama hembus angin dan *fetch* seperti yang telah dibicarakan di depan, dilakukan peramalan gelombang signifikan dengan grafik pada Gambar 5.

Dalam menentukan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ), digunakan analisis spektrum gelombang berdasarkan kondisi FDS (*Fully Develoved Sea*). Dengan menentukan kecepatan angin rata-rata diatas permukaan laut, untuk menentukan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan, dapat digunakan rumus sabagai berikut:

$$H_s = \frac{0,0016 \sqrt{\frac{g F_{eff}}{U_A^2}} \times U_A^2}{g} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$T_s = \frac{0,2857 \times (\frac{g F_{eff}}{U_A^2})^{1/3} \times U_A}{g} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

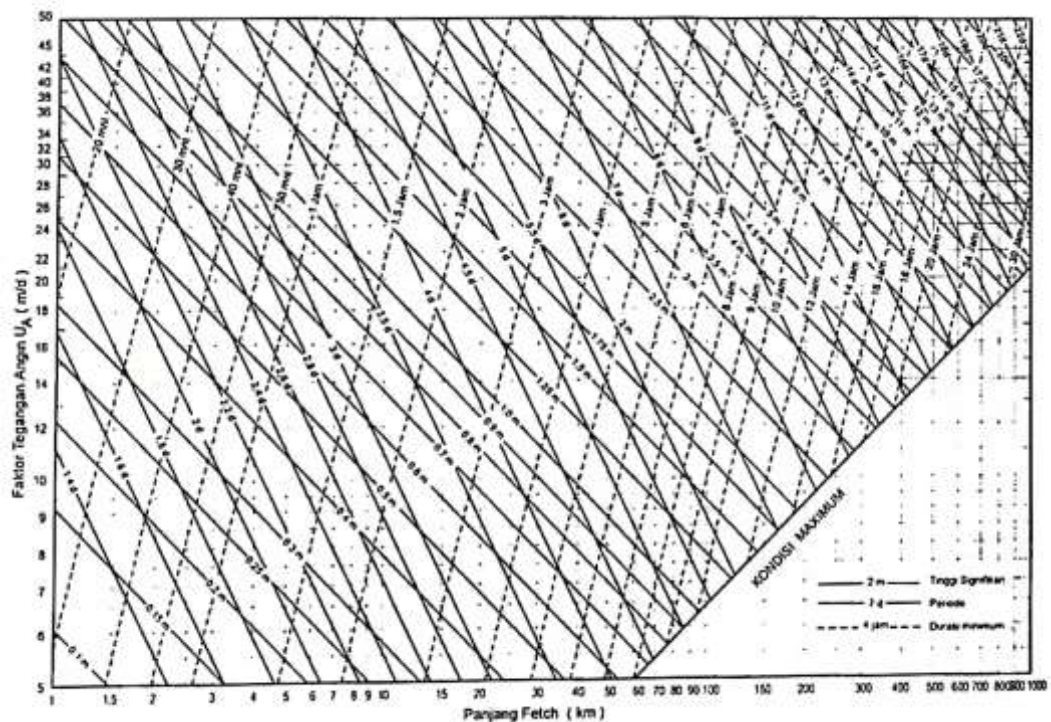
$H_s$  : Tinggi gelombang signifikan (m)

$T_s$  : Periode gelombang signifikan (dt)

$g$  : Percepatan gravitasi bumi 9,81 m/dt<sup>2</sup>)

$F_{eff}$  : Panjang *fetch* efektif (m)

$U_A$  : Kecepatan angin terkoreksi (m/dt)



Gambar 5. Grafik Peramalan Gelombang Signifikan.

(Sumber : Triatmodjo, 2016)

## 2.5.2 Pemilihan Tinggi Gelombang

Dalam melakukan analisis stabilitas bangunan pantai, penting untuk mempertimbangkan kondisi gelombang yang akan mempengaruhi bangunan tersebut, baik gelombang pecah, tidak pecah, maupun yang telah pecah, serta memperhatikan bentuk dan prioritas bangunan pantai. Setelah karakteristik gelombang telah ditentukan, langkah berikutnya adalah menentukan tinggi gelombang yang akan mempengaruhi area bangunan, dengan mempertimbangkan kedalaman air di sekitarnya.

Menurut (Triatmodjo, 2016) Tinggi gelombang yang direncanakan dapat bervariasi tergantung pada jenis konstruksi yang akan dibangun. Berikut ini disajikan beberapa panduan dalam mencari tinggi gelombang yang direncanakan untuk beberapa tujuan:



1. Kontruksi kaku (*Fixed Rigid Structure*)  
Contohnya: menara bor lepas pantai. Tinggi gelombang rencana yang digunakan ialah  $H_1$ .
2. Kontruksi fleksibel (*Flexible Structure*)  
Contohnya: *breakwater, revetment*. Tinggi gelombang rencana yang digunakan ialah  $H_5$ - $H_s$ .
3. Kontruksi semi kaku (*Semi Rigid Structure*)  
Contohnya: *seawall*, tinggi gelombang rencana yang digunakan ialah  $H_{10}$ .

### 2.5.3 Kala Ulang Gelombang Rencana

Penentuan kala gelombang didasarkan pada jenis kontruksi yang akan dibangun serta nilai daerah yang dilindungi. Apabila makin tinggi nilai daerah yang diamankan, semakin besar juga kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Untuk menentukan kala ulang gelombang rencana dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Pemilihan untuk Jenis Gelombang

No	Jenis Bangunan	Jenis Gelombang
1	Konstruksi Fleksibel ( <i>Fleksible Structure</i> )	$H_s$
2	Konstruksi Semi Kaku ( <i>Semi Rigid Structure</i> )	$H_{0,1}$ , $H_{0,01}$
3	Konstruksi Kaku ( <i>Fixed Rigid Structure</i> )	$H_{0,1}$ , $H_{maks}$

(Sumber: Yuwono, 1992).

Dalam mencari periode ulang gelombang rencana, digunakan analisis data ekstrem untuk tinggi gelombang, dimana umumnya dipilih satu gelombang tertinggi setiap tahun. Salah satu metode yang digunakan

untuk melakukan analisis tersebut adalah Metode Gumbel, yang dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini:

$$\bar{H} = \frac{\sum H_s}{\sum N} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\sigma H = \sqrt{\frac{\sum (H_s - \bar{H}_s)^2}{N-1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$H_t = \bar{H}_s + \frac{\sigma H}{\sigma n} + (Y_t - \bar{Y}_n) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

$H_s$  : Tinggi gelombang rerata.

$\sigma H$  : Standar deviasi.

$H_t$  : Tinggi gelombang maksimum.

$T$  : Periode gelombang maksimum.

$Y_t$  : *Reduced variated* sebagai fungsi periode ulang  $T$ .

$Y_n$  : *Reduced variated* sebagai fungsi dari banyaknya data  $N$ .

$\sigma n$  : *Reduced variated* deviasi sebagai fungsi dari banyaknya data  $N$ .

Tabel 2. Masa Ulang dan  $Y_t$

Masa Ulang	$Y_t$
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
25	3.1986
50	3.9019
100	4.6001

(Sumber: Yuwono, 1992).

Tabel 3. Nilai  $Y_n$

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	0,542	0,543	0,543

(Sumber: Yuwono, 1992).

Tabel 4. Nilai  $\sigma_n$ 

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	1,13	1,13

(Sumber : Yuwono, 1992)

#### 2.5.4 Peramalan Gelombang

Berdasarkan kedalaman relative, yaitu perbandingan kedalaman air ( $d$ ) dan panjang gelombang  $L$ , ( $d/L$ ), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam (Triatmodjo, 2016) yaitu:

- Gelombang laut dangkal jika  $d/L \leq 1/20$
- Gelombang Laut Transisi jika  $1/20 < d/L < 1/2$
- Gelombang laut dalam jika  $d/L \geq 1/2$

Klasifikasi ini digunakan untuk mempermudah rumus-rumus gelombang. Oleh karena itu, untuk menentukan panjang dan kecepatan rambat gelombang di laut, digunakan persamaan sebagai berikut:

- Apabila kedalaman relatif  $d/L \leq 1/20$ , sehingga menjadi:

$$C_0 = \sqrt{gd} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$L_0 = \sqrt{gd} T \dots \dots \dots (2.12)$$

- Apabila kedalaman relatif  $1/20 < d/L < 1/2$ , sehingga menjadi:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots \dots \dots (2.14)$$

- Apabila kedalaman relatif  $d/L \geq 1/2$ ; sehingga menjadi:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56 T \dots \dots \dots (2.15)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56. T^2 \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan:

$L_0$  : Panjang gelombang di laut dalam (m)

- T : Periode gelombang (dt)  
 g : Percepatan gravitasi (9,81m/d<sup>2</sup>)  
 C<sub>0</sub> : Cepat rambat gelombang (m/dt)

### 2.5.5 Refraksi Gelombang

Refraksi gelombang merujuk pada fenomena pembelokan arah gelombang yang terjadi saat gelombang melewati daerah dengan perubahan kedalaman. Hal ini disebabkan oleh perubahan kecepatan rambat gelombang yang menyesuaikan dengan kontur kedalaman. Dengan memanfaatkan refraksi, kita dapat mengestimasi tinggi gelombang di suatu lokasi berdasarkan sifat-sifat gelombang yang mencapai area tersebut. Terjadinya refraksi gelombang merupakan hasil dari perubahan kedalaman laut yang mempengaruhinya (Triatmodjo, 2016).

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Hukum Snell digunakan ketika kita mempertimbangkan gelombang di laut dalam serta pada titik yang sedang diamati, yaitu:

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0}\right) \sin \alpha_0 \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan:

- K<sub>r</sub> : Koefisien refraksi  
 K<sub>s</sub> : Koefisien shoaling  
 L : Panjang gelombang  
 L<sub>0</sub> : Panjang gelombang dilaut dalam  
 α<sub>0</sub> : Sudut antara puncak gelombang dan profil dasar gelombang  
 α : Sudut yang serupa yang diukur ketika garis puncak gelombang melewati kontur dasar berikutnya  
 C : Kecepatan rambat gelombang  
 C<sub>0</sub> : Kecepatan rambat gelombang laut dalam

### 2.5.6 Gelombang Rencana

Tinggi gelombang di laut terjadi akibat pengaruh refraksi gelombang diberikan oleh rumus berikut:

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_t \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan:

$H$  : Tinggi gelombang di kedalaman tertentu.

$K_s$  : Koefisien *shoaling* (pendangkalan).

$K_r$  : Koefisien Refraksi.

$H_t$  : Tinggi gelombang laut dalam.

### 2.5.7 Gelombang Pecah

Gelombang yang merambat dari perairan dalam ke arah pantai mengalami modifikasi bentuk akibat perubahan kedalaman laut yang mempengaruhinya. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Profil gelombang di laut dalam adalah sinusoidal. Semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu, kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang bertambah (Farid, 2008).

Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relative  $d/L$  dan kemiringan dasar laut  $m$ . Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah  $d_b$ . Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen diberi notasi  $H'_0$  dan tinggi gelombang pecah diberi notasi  $H_b$ . Adapun rumus untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah berikut ini. (Triatmodjo, 2016):

$$H'_0 = K_r \cdot H \dots \dots \dots (2.21)$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3,33 \left(\frac{H'_0}{L_0}\right)^{1/3}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Karakteristik nilai  $H_b/H'_0$  dikenal sebagai indeks pecah tinggi gelombang. Gambar 6 menggambarkan hubungan antara " $H_b/H'_0$ " dan  $H'_0/gT^2$  untuk beragam kemiringan dasar laut. Gambar 7 menggambarkan hubungan antara " $d_b/H_b$  dan  $H_b/gT^2$  untuk beragam kemiringan dasar. Persamaan yang menggambarkan grafik di Gambar 7 bisa dilihat dibawah ini:

$$\frac{H_b}{gT^2} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(a \cdot \frac{H_b}{gT^2}\right)} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana  $a$  dan  $b$  mewakili fungsi kemiringan pantai dalam meter, dan dinyatakan oleh persamaan berikut (Triatmodjo, 2016):

$$a = 43,75 (1 - e^{-19m}) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19m})} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan:

$H_b$  : Tinggi gelombang pecah

$H'_0$  : Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

$L_0$  : Panjang gelombang di laut dalam

$d_b$  : Kedalaman air pada saat gelombang pecah

$m$  : Kemiringan dasar laut

$g$  : Percepatan gravitasi

$T$  : Periode gelombang

Grafik untuk penentuan tinggi gelombang pecah ( $H_b$ ) dan grafik penentuan gelombang pecah dapat ditemukan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Gelombang yang menjalar dari perairan dalam ke arah pantai mengalami transformasi serta puncaknya semakin tajam hingga pada kedalaman tertentu, gelombang tersebut pecah. Proses pecahnya

gelombang terjadi ketika gelombang menjadi tidak stabil dan akhirnya pecah sepenuhnya dalam suatu jarak  $x_p$ . Hubungan antara jarak yang dicapai selama proses pecah gelombang ( $x_p$ ) dan tinggi gelombang saat mulai pecah ( $H_b$ ) dapat dijelaskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2016):

$$x_p = \tau p \cdot H_b \dots\dots\dots(2.28)$$

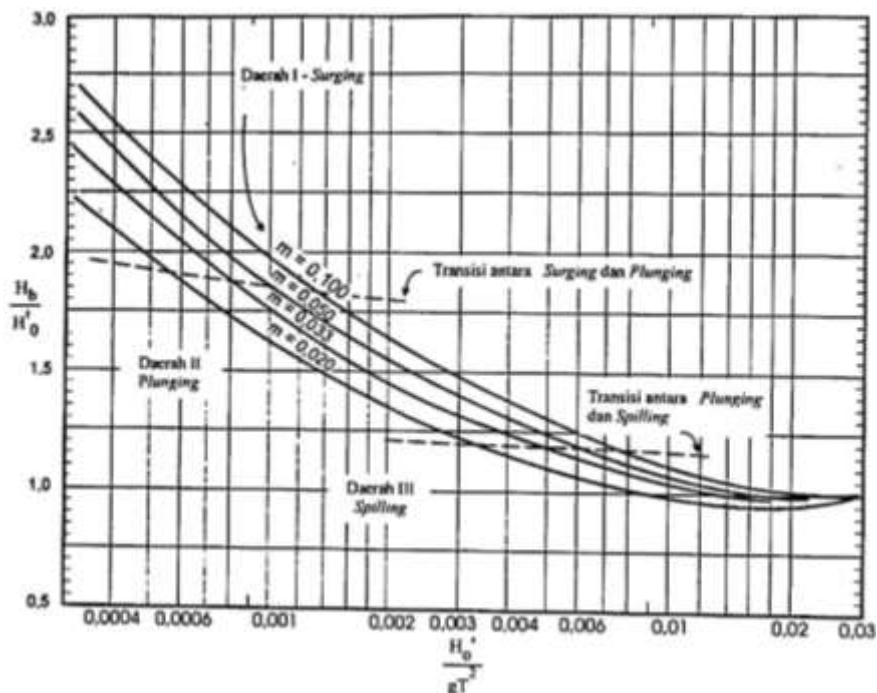
Dengan:

$x_p$  : Jarak yang ditempuh selama gelombang pecah

$H_b$  : Tinggi gelombang pecah

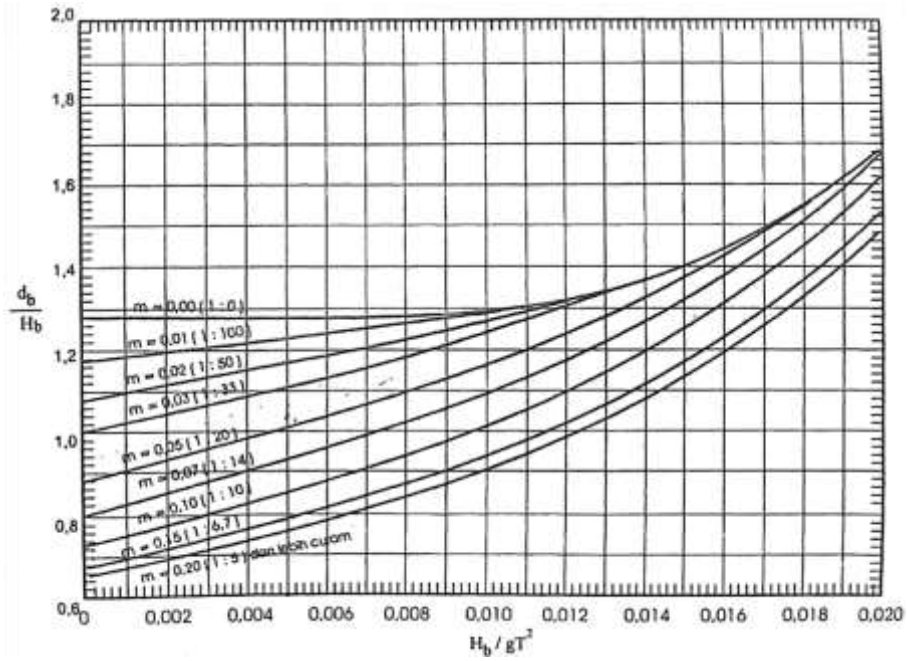
$\tau p$  : 4,0 m sampai 9,25 m

Gambar proses gelombang pecah dapat dilihat pada Gambar 8.



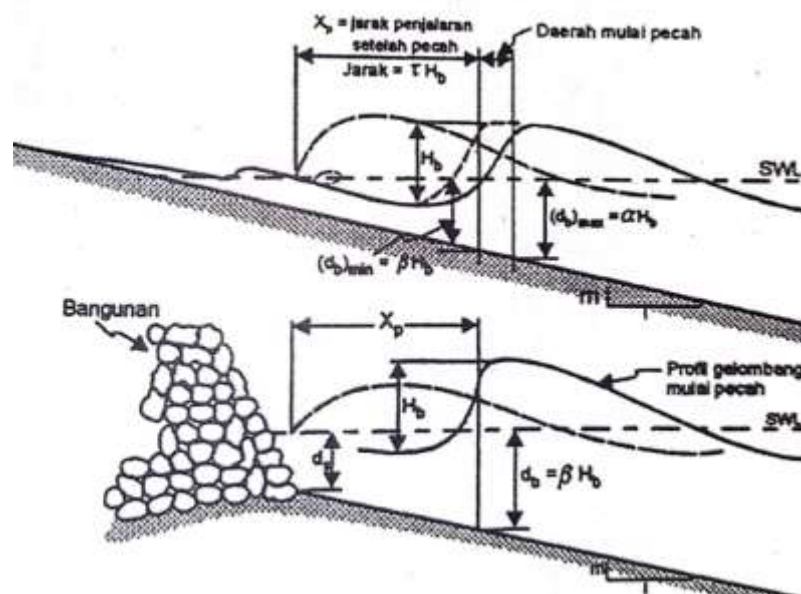
Gambar 6. Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah ( $H_b$ ).

(Sumber: Triatmodjo, 2016)



Gambar 7. Grafik Penentuan Gelombang Pecah.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)



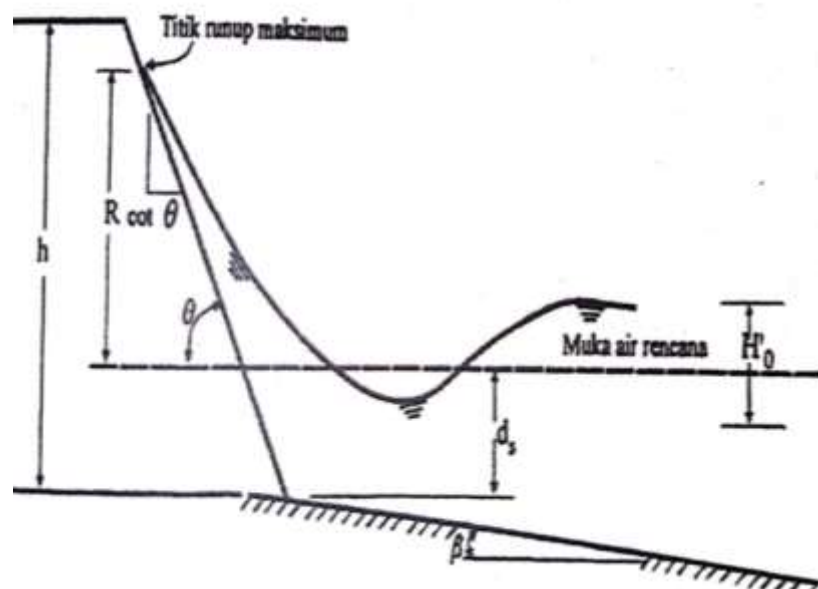
Gambar 8. Proses Gelombang Pecah.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)



## 2.6 Run Up Gelombang

Ketika gelombang mencapai suatu bangunan, gelombang tersebut akan meningkat (naik) di atas permukaan bangunan. Ketinggian bangunan yang direncanakan bergantung pada tinggi gelombang yang mencapai dan jumlah air yang diperbolehkan melintas (Nadia et al., 2013). Ketinggian gelombang yang mencapai (*run up*) dipengaruhi oleh bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air di sekitar bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, serta karakteristik gelombang. Menentukan besarnya run up secara analitis sangat sulit karena adanya banyak variabel yang berpengaruh dalam proses tersebut. *Run Up* gelombang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Run Up* Gelombang.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)

Di laboratorium, telah ada upaya melakukan berbagai penelitian terkait run up gelombang. Penelitian tersebut menghasilkan grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi run up secara akurat. Berikut ini adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung tinggi *run up*.

$$Ir = \frac{tg\theta}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\frac{R_u}{H} = Ir \quad (\text{Untuk : } Ir < 2,5) \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\frac{R_u}{H} = -0,3 Ir + 3,275 \quad (\text{Untuk : } 4,25 > Ir > 2,5) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$\frac{R_u}{H} = 2 \quad (\text{Untuk : } Ir > 4,25) \dots\dots\dots (2.32)$$

Dengan:

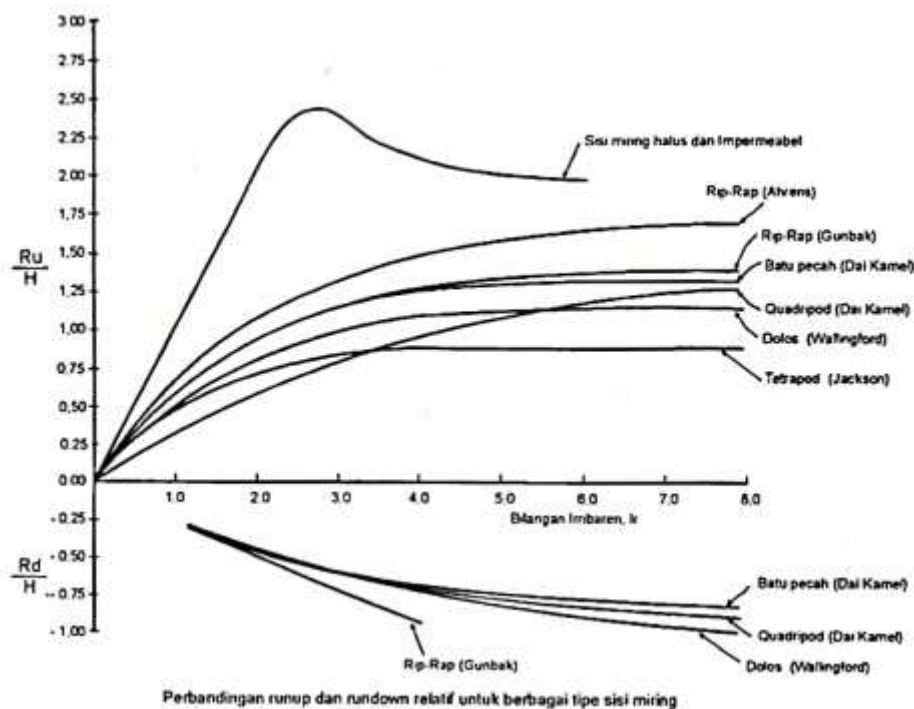
$Ir$  : Bilangan Iribaren.

$\theta$  : Sudut kemiringan sisi bangunan.

$H$  : Tinggi gelombang di lokasi bangunan.

$L_0$  : Panjang gelombang di laut dalam.

Gambar tinggi relatif *run up* untuk berbagai jenis lapis pelindung dapat dilihat pada Gambar .



Gambar 10. Tinggi Relatif *Run Up* untuk Berbagai Jenis Lapis Pelindung.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)

## 2.7 Fluktuasi Muka Air Laut

Elevasi muka air laut merupakan parameter yang sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Muka air laut berfluktuasi dengan

periode yang lebih besar dari periode gelombang angin. Fluktuasi muka air laut dapat disebabkan oleh *wave set-up* (kenaikan muka air karena gelombang), *wind set-up* (kenaikan muka air karena angin), tsunami, *storm surge* (gelombang badai), pemanasan global dan pasang surut (Nangaro et al., 2019).

### 2.7.1 Pasang Surut

Pasang surut adalah perubahan periodik dalam tinggi muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik-menarik antara benda-benda langit, terutama matahari dan bulan, dengan massa air laut di Bumi (Setyawan et al., 2021). Tinggi elevasi air saat pasang (muka air tertinggi) dan tinggi elevasi air saat surut (muka air terendah) memiliki signifikansi yang besar dalam perencanaan bangunan pantai.

Data pasang surut diperoleh melalui pengukuran selama minimal 30 hari, dan dari data tersebut dihasilkan grafik yang menunjukkan definisi elevasi muka air laut, antara lain:

1. *Mean High Water Level* merupakan elevasi rata-rata dari muka air laut saat pasang. Ini adalah nilai tengah antara HHWL dan MSL yang menunjukkan tinggi rata-rata air laut saat pasang.
2. *Mean Low Water Level* adalah rerata dari muka air rendah.
3. *Mean Sea Level* merupakan elevasi rata-rata dari muka air laut dalam periode waktu yang cukup panjang. MSL digunakan sebagai acuan dasar untuk menentukan elevasi lainnya dan mengukur perubahan tinggi muka air laut dari waktu ke waktu
4. *Highest High Water Level* merupakan elevasi tertinggi dari muka air laut saat pasang tertinggi. Ini adalah titik elevasi teratas yang dicapai oleh air laut selama periode pengukuran.
5. *Lowest Low Water Level* merupakan elevasi terendah dari muka air laut saat surut terendah. Ini adalah titik elevasi terendah yang dicapai oleh air laut selama periode pengukuran.

### 2.7.2 Kenaikan Muka Air Karena Gelombang (*Wave Set-Up*)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai dapat menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada saat gelombang pecah akan terjadi, penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai, turunnya muka air disebut *wave set-down*, sedangkan naiknya muka air disebut *wave set-up*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 12.

*Wave set-up* di pantai didapatkan bentuk persamaan berikut

(Triatmodjo, 2016):

$$S_w = \Delta S - S_b \dots\dots\dots (2.33)$$

Dengan nilai  $\Delta S = 0,15 d_b$ , maka dapat dianggap bahwa  $d_b = 1,28 H_b$

maka:

$$\Delta S = 0,15 d_b \dots\dots\dots (2.34)$$

Substitusi persamaan (2.33) dan (2.34) ke dalam persamaan (2.35)

didapat:

$$S_w = 0,19 \left[ 1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \dots\dots\dots (2.35)$$

### 2.7.3 Kenaikan Muka Air Karena Angin (*Wind Set-Up*)

Apabila badai dengan kecepatan angin tinggi terjadi di atas laut, dapat menimbulkan perubahan yang signifikan pada elevasi muka air laut di sepanjang pantai, terutama jika badai tersebut memiliki kekuatan yang cukup kuat dan daerah pantai memiliki kedalaman dangkal serta luas.

Menentukan elevasi muka air laut yang direncanakan selama terjadinya badai merupakan proses yang kompleks, melibatkan interaksi antara angin dan air. Perbedaan tekanan atmosfer selalu berhubungan dengan perubahan arah dan kecepatan angin, yang pada akhirnya mempengaruhi fluktuasi elevasi muka air laut. Kenaikan

elevasi muka air laut akibat badai dapat diestimasi menggunakan persamaan berikut ini (Triatmodjo, 2016):

$$\Delta h = \frac{Fi}{2} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$\Delta h = F c \frac{V^2}{2gd} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dengan:

$\Delta h$  : Kenaikan elevasi muka air karena angin (m)

$F$  : Panjang *fetch* (m)

$i$  : Kemiringan muka air

$c$  : Konstanta =  $3,5 \times 10^{-6}$

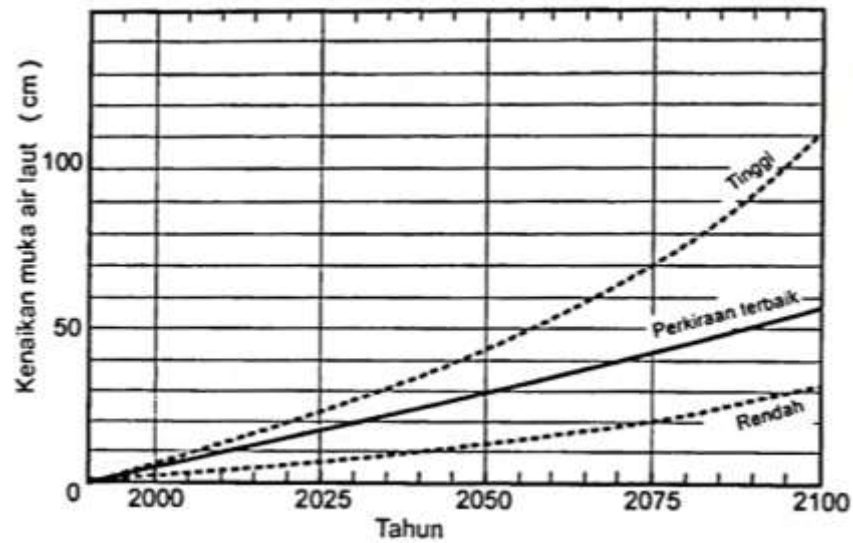
$V$  : Kecepatan angin (m/d)

$d$  : Kedalaman air (m)

$g$  : Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

#### 2.7.4 Pemanasan Global

Menurut (Triatmodjo 2016), mengemukakan bahwa efek rumah kaca berkontribusi terhadap pemanasan bumi yang membuatnya menjadi lebih hangat dan mendukung kehidupan. Istilah "efek rumah kaca" digunakan karena mirip dengan apa yang terjadi di dalam sebuah rumah kaca saat terkena sinar matahari. Cahaya matahari yang masuk melalui atap dan dinding kaca meresap ke dalam ruangan, menyebabkan peningkatan suhu di dalamnya yang lebih tinggi daripada suhu di luar. Prakiraan mengenai peningkatan permukaan air laut sebagai akibat dari pemanasan global dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Prakiraan Kenaikan Muka Air Laut akibat Pemanasan Global.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)

## 2.8 Elevasi Muka Air Laut

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai (Triatmodjo, 2016). Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yang telah dijelaskan di depan yaitu pasang surut, *run-up*, *wave setup*, *wind setup*, dan kenaikan muka air karena pemanasan global.

$$DWL = \text{Pasang Surut} + S_w + \Delta h + \text{Pemanasan Global} \dots\dots\dots (2.38)$$

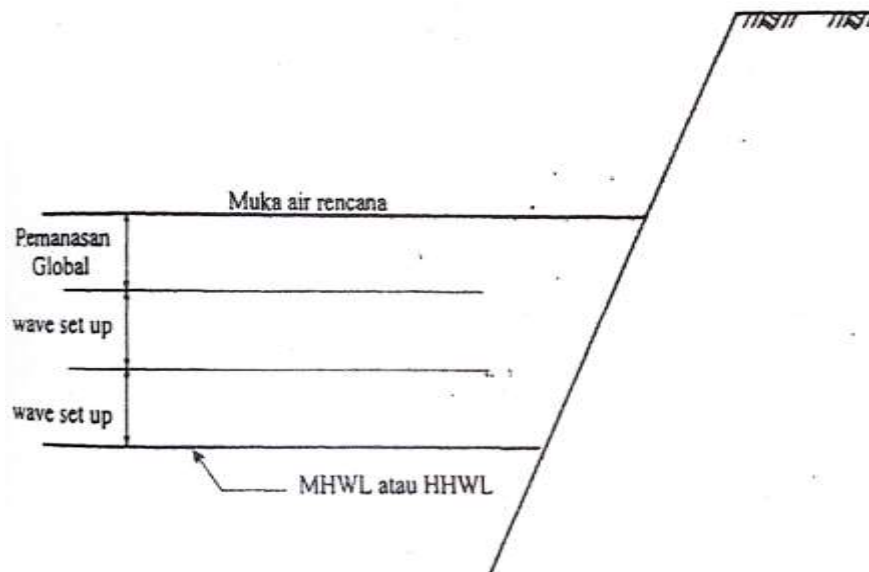
Dengan:

DWL : Elevasi muka air laut rencana.

$S_w$  : Kenaikan muka air akibat gelombang.

$\Delta h$  : Kenaikan muka air akibat angin.

Gambar elevasi muka air laut rencana dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Elevasi Muka Air Laut Rencana.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)

## 2.9 Bangunan Pantai Sisi Miring

Bangunan pantai yang menggunakan struktur sisi miring dengan tumpukan batu sering digunakan untuk berbagai tujuan, seperti *breakwater*, *groin*, *jetty*, dan *revetment*. Dasar perencanaan untuk jenis bangunan ini dapat dijelaskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2016):

1. Melakukan pengukuran dan analisis tinggi gelombang yang terjadi di area bangunan pantai.
2. Menentukan ukuran bangunan dengan mempertimbangkan kebutuhan dan tujuan penggunaan bangunan tersebut.
3. Menghitung berat unit lapis lindung (*armor unit*) yang akan digunakan sebagai perlindungan terhadap serangan gelombang.
4. Mengidentifikasi berat unit pelindung kaki (*toe protection*) yang akan mencegah erosi pada bagian dasar bangunan.

Bangunan sisi miring memiliki karakteristik fleksibel. Kerusakan yang disebabkan oleh serangan gelombang tidak terjadi secara tiba-tiba atau tidak menghancurkan. Meskipun ada beberapa batu yang mungkin

longsor, bangunan masih tetap dapat berfungsi. Kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki dengan menambahkan batu pelindung pada bagian yang mengalami longsor.

### 2.9.1 Bahan Lapis Pengaman Pantai

Menurut (Yuwono, 1992) hal: V-6 Bahan yang digunakan sebagai lapis lindung harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan sebagai lapis lindung harus memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan.
2. Bahan lapis lindung (baik itu batu alam maupun buatan) harus memiliki berat jenis yang mencukupi.
3. Bahan lapis lindung harus memiliki permukaan yang kasar yang mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh gelombang.
4. Bahan lapis lindung harus memiliki harga yang terjangkau atau relatif murah.

### 2.9.2 Stabilitas Batu Lapis Lindung

Dalam perencanaan struktur pelindung pantai dengan sisi miring, dapat dilakukan perhitungan berat butir batu pelindung menggunakan rumus Hudson berikut ini.

$$Sr = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D (Sr-1)^3 \cot \theta} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dengan:

W : Berat butir batu pelindung.

$\gamma_r$  : Berat jenis batu.

$\gamma_a$  : Berat jenis air laut (1,025 - 1,23 ton/m<sup>3</sup>).

$\theta$  Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang.



$K_D$  : Tabel 5 berisi informasi tentang koefisien stabilitas yang bergantung pada karakteristik batu pelindung seperti bentuknya (batu alam atau buatan), kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan antara butir, dan kondisi gelombang.

Tabel 5. Koefisien Stabilitas  $K_D$  Untuk Berbagai Jenis Butir

Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung (Kepala Bangunan)		Kemiringan Cot $\theta$
			$K_D$		$K_D$		
			Gelom. Pecah	Tidak Pecah	Gelom. Pecah	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	4	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	5,3	6,4	*2
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0 - 20,0	8,5 - 24,0	-	-	
Tetrapod					5	6	1,5
dan	2	Acak	7	8	4,5	5,5	2
Quadripod					3,5	4	3
					8,3	9	1,5
Tribard	2	Acak	9	10	7,8	8,5	2
					6	6,5	3
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8	16	2
					7	14	3
Kubus Modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5	*2
Hexapod	2	Acak	8	9,5	5	7	*2
Tribar	1	Seragam	12	15	7,5	9,5	*2
Batu pecah (KRR) (graded angular)	-	Acak	2,2	2,5	-	-	

(Sumber: Triatmodjo, 2016)

Tabel 6. Koefisien Lapis  $K\Delta$  Untuk Berbagai Jenis Butir

Batu Pelindung	n	Penempatan	Kef. Lapis ( $K\Delta$ )	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)	1,1	40
Kubus	2	random (acak)	1,1	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	63
Tribar	1	seragam	1,13	47
Batu Alam		random (acak)		37

(Sumber: Triatmodjo, 2016).

### 2.9.3 Tebal dan Jumlah Batu Lapis Pengaman

Menurut (Triatmodjo, 2016), Dalam menghitung tebal lapisan pengaman dan jumlah butir batu per satuan luas, dapat digunakan rumus berikut ini:

$$T = n K\Delta \left(\frac{w}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$N = A n K\Delta \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma_r}{w}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.42)$$

Dengan:

T : Tebal lapis pelindung.

n : Jumlah lapis batu dalam lapis pelindung (n=2).

$K\Delta$  : Koefisien lapis.

W : Berat butir batu pelindung.

$\gamma_r$  : Berat jenis batu (ton/m<sup>3</sup>).

N : Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A.

P : Porositas rerata dari lapis pelindung (%) yang dapat dilihat pada Tabel 6.

A : Luas permukaan.

#### 2.9.4 Tinggi Bangunan *Revetment*

Elevasi puncak bangunan pengaman pantai dihitung dengan persamaan (Yuwono, 1992):

$$El_{revetment} = DWL + RU + \text{Tinggi Jagaan} \dots \dots \dots (2.43)$$

Dengan:

DWL : Tinggi muka air rencana (m).

Ru : *Run-up* gelombang (m).

Tinggi jagaan : 0,5 m – 1,5 m.

#### 2.9.5 Lebar Puncak Bangunan *Revetment*

Pada kondisi limpasan yang diijinkan, lebar puncak minimum adalah sama dengan lebar 3 butir batu yang disusun berdampingan ( $n = 3$ ).

Untuk bangunan tanpa terjadi limpasan, lebar puncak bisa lebih kecil.

Lebar puncak dapat dihitung dengan rumus (Triatmodjo, 2016):

$$B = n K \Delta \left( \frac{w}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.44)$$

Dengan:

B : Lebar puncak bangunan (m)

n : Jumlah butir batu

$K \Delta$  : Koefisien lapis

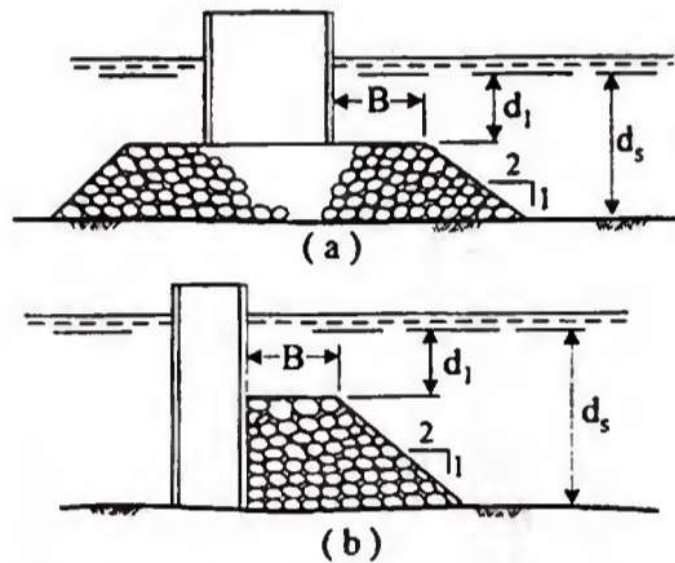
W : Berat butir batu pelindung (ton)

$\gamma r$  : Berat jenis batu ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

#### 2.10 Kontrol Stabilitas Pengaman Kaki (*Toe Protection*)

Serangan gelombang dan arus pada bangunan pengaman pantai dapat menyebabkan erosi pada tanah fondasi di depan kaki bangunan. Untuk melindungi bagian tersebut, diperlukan perlindungan khusus. Untuk menghitung tebal pelindung kaki (*toe protection*), dapat menggunakan rumus  $r - 2r$ , sedangkan untuk menghitung lebar pelindung kaki (*toe*

*protection*), dapat menggunakan rumus  $3H - 4,5H$ . Pelindung kaki bangunan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pelindung Kaki Bangunan.

(Sumber: Triatmodjo, 2016)

Angka stabilitas ( $Ns^3$ ) dalam pondasi dan pelindung kaki dapat mempengaruhi hasil dari berat butir batu untuk pondasi serta pelindung kaki nantinya. Semakin besar nilai  $\frac{d1}{ds}$  maka akan memberi nilai angka stabilitas ( $Ns^3$ ) semakin besar. Rumus berikut digunakan untuk menghitung berat butiran batu yang akan digunakan untuk pondasi dan pelindung kaki (*toe protection*) (Triatmodjo, 2016).

$$d1 = ds - t_{toe} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$W = \frac{\gamma r H^3}{Ns^3(Sr-1)^3} \dots\dots\dots(2.46)$$

Dengan:

$d1$  : Jarak pelindung kaki dengan muka air

$ds$  : Kedalaman air di kaki bangunan

$W$  : Berat rerata butir batu (ton)

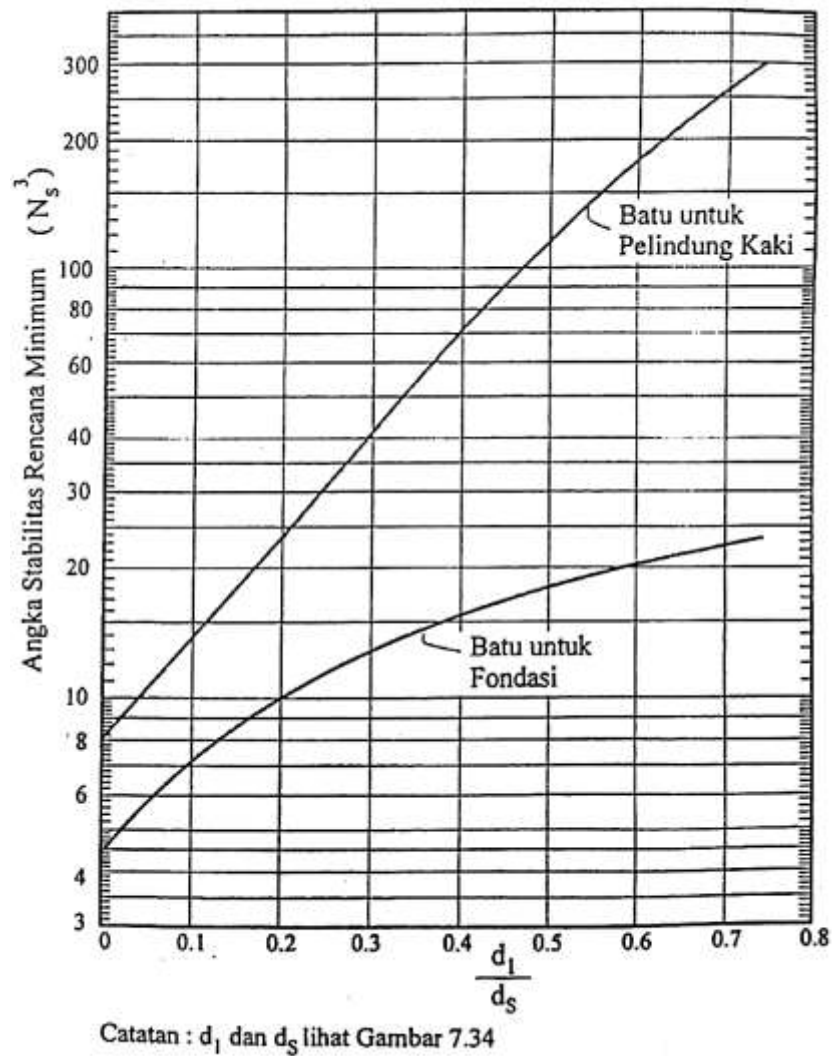
$\gamma r$  : Berat jenis batu ( $\text{ton/m}^3$ )

$\gamma a$  : Berat jenis air laut ( $1,025 - 1,23 \text{ ton/m}^3$ )

$Sr$  : Perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air

$N_s^3$  : Angka stabilitas rencana minimum ( $N_s^3$  terdapat pada Gambar 14)

$\tau_p$  : 4,0 – 9,25 m



Gambar 14. Angka Stabilitas  $N_s^3$  untuk Fondasi dan Pelindung Kaki.

(Sumber: (Triatmodjo, 2016))

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Analisis Stabilitas *Revetment* dan Diagram Penelitian**

##### **3.1.1 Analisis Data Angin**

Data angin akan dianalisis untuk mendapatkan kecepatan angin yang telah disesuaikan (UA) menggunakan persamaan 2.4. Berdasarkan data angin yang dikumpulkan selama periode 10 tahun, mulai dari tahun 1994 hingga 2003, sebuah windrose dibuat untuk menentukan arah dan kecepatan angin yang paling dominan. Langkah-langkah berikut ini akan diikuti dalam proses tersebut:

1. Arah mata angin diatur dalam kelompok-kelompok.
2. Rentang dan kelompok kecepatan diatur untuk setiap arah mata angin, mulai dari rentang terkecil hingga rentang terbesar.
3. Setiap arah mata angin diberikan persentase berdasarkan rentang kecepatan yang terkait.
4. Windrose digambar berdasarkan data yang telah diolah.

##### **3.1.2 Analisis *Fetch***

Untuk menghitung panjang fetch, dapat menggunakan persamaan 2.4. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan pengukuran garis fetch

1. Menggambar garis-garis fetch dengan interval sudut  $6^\circ$ .
2. Menghitung panjang garis fetch dari lokasi peramalan hingga mencapai daratan di ujung lainnya.
3. Menghitung panjang fetch efektif dengan membagi total panjang proyeksi garis-garis fetch dengan jumlah kosinus sudutnya.

4. Panjang *fetch efektif* kemudian digunakan dalam perhitungan ketinggian muka air rencana yang disebabkan oleh angin (*wind set-up*).

### 3.1.3 Analisis Gelombang

Dengan menggunakan kecepatan angin yang telah terkoreksi, kita dapat menghitung tinggi gelombang signifikan menggunakan persamaan 2.5. Selain itu, periode gelombang signifikan dapat dihitung menggunakan rumus 2.6. Hasil perhitungan tinggi gelombang signifikan ini akan digunakan dalam perhitungan tinggi gelombang rencana.

### 3.1.4 Perhitungan Gelombang Rencana

Berikut adalah tahapan dalam perhitungan gelombang rencana:

1. Melakukan perhitungan tinggi gelombang menggunakan metode Gumbel dengan menggunakan persamaan 2.7, 2.8, 2.9, dan 2.10, serta menggunakan tabel 2.2, 2.3, dan 2.4.
2. Memilih jenis gelombang dan periode ulang gelombang 10 tahun berdasarkan Tabel 1. Pemilihan periode ulang 10 tahun dipilih karena daerah tersebut masih digunakan sebagai daerah persawahan, terdapat rumah penduduk di pinggir pantai, serta Pantai Muli digunakan sebagai tempat rekreasi keluarga. Setelah diperoleh tinggi gelombang rencana dan periode ulang rencana, dilakukan perhitungan panjang dan kecepatan rambat gelombang di laut dalam menggunakan persamaan 2.15 dan 2.16.
3. Menghitung sudut datang arah gelombang menggunakan persamaan 2.19.
4. Melakukan perhitungan refraksi dan shoaling menggunakan persamaan 2.17 dan 2.18.
5. Menghitung tinggi gelombang dengan kedalaman tertentu setelah mengalami proses refraksi dan shoaling menggunakan persamaan 2.20.

### 3.1.5 Perhitungan Gelombang Pecah

Berikut adalah tahapan dalam perhitungan gelombang pecah:

1. Melakukan perhitungan gelombang laut dalam yang setara menggunakan persamaan 2.21.
2. Menghitung tinggi gelombang pecah menggunakan persamaan 2.22, 2.23, dan mengacu pada Gambar 6.
3. Melakukan perhitungan kedalaman gelombang pecah menggunakan persamaan 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, dan mengacu pada Gambar 7.
4. Menghitung jarak yang ditempuh selama proses gelombang pecah menggunakan persamaan 2.28.
5. Perhitungan run-up gelombang saat menabrak bangunan pelindung pantai menggunakan persamaan 2.29 dan mengacu pada Gambar 10.

### 3.1.6 Data Pasang Surut

Data pasang surut digunakan untuk menentukan HHWL, MHWL, LLWL, dan MSL yang kemudian digunakan dalam perhitungan elevasi muka air laut rencana.

### 3.1.7 Perhitungan Elevasi Muka Air Laut Rencana

Perhitungan elevasi muka air laut rencana (DWL) melibatkan beberapa parameter yang perlu dijumlahkan, antara lain:

1. Data pasang surut yang mencakup MHWL, MLWL, MSL, HHWL, dan LLWL.
2. *Wave set-up* ( $S_w$ ) yang dihitung menggunakan persamaan 2.35.
3. *Wind set-up* ( $\Delta h$ ) yang dihitung menggunakan persamaan 2.37.
4. Dampak pemanasan global berdasarkan informasi pada Gambar 11 yang menunjukkan perkiraan kenaikan muka air laut dalam 10 tahun mendatang.



5. Hasil perhitungan dari parameter di atas digunakan untuk menghitung tinggi muka air laut rencana (DWL) menggunakan persamaan 2.38.

### 3.1.8 Perhitungan Dimensi Bangunan

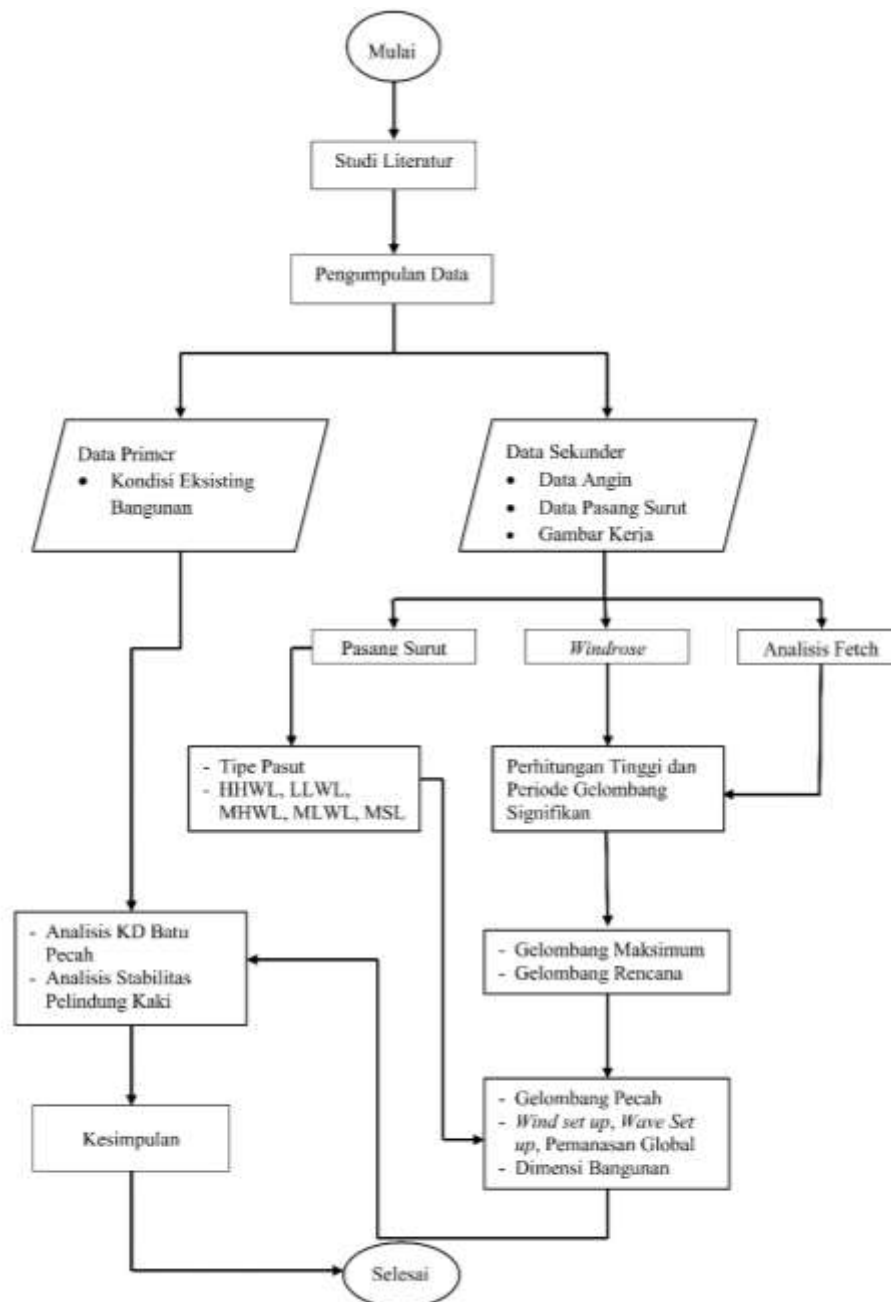
Dalam perhitungan dimensi bangunan, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, antara lain:

1. Perhitungan berat butir lapis pengaman dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.39 dan 2.40, serta dengan referensi dari Tabel 5.
2. Perhitungan tinggi bangunan pengaman (*revetment*) dilakukan berdasarkan perhitungan elevasi muka air laut rencana (DWL) dan run-up, menggunakan rumus 2.43.
3. Perhitungan lebar puncak bangunan pengaman (*revetment*) dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.44.

### 3.1.9 Perhitungan Pengaman Kaki (*Toe Protection*)

Stabilitas pengaman kaki (*Toe Protection*) dapat dikontrol menggunakan grafik yang terdapat pada Gambar 14. Nilai stabilitas  $Ns^3$  dapat diperoleh dengan membandingkan nilai  $d1/ds$  dengan garis batu pada grafik, dengan syarat  $Ns^3 \leq 300$ .

Adapun kerangka kerja penelitian terkait Analisis Stabilitas *Revetment* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Diagram Alir Penelitian.

### 3.2 Metode Pengumpulan data

Dalam penelitian ini, digunakan data sekunder sebagai sumber data. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi terkait. Selain itu, pengumpulan data primer dilakukan dengan melakukan pengukuran panjang revetment, yang menjadi objek penelitian.

### 3.2.1 Data Primer

Data primer yang digunakan ialah data hasil pengukuran panjang bangunan pengaman pantai (*revetment*) yang akan menjadi objek penelitian, sepanjang 2,01 km.

### 3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder ialah data yang didapatkan dari instansi perusahaan dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Data Angin

Data angin didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Raden Intan II. Data angin tersebut akan diproses dan dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang arah angin yang dominan dan kecepatan angin maksimum.

2. Data Pasang Surut

Data pasang surut didapatkan dari PT. Indra Karya (Persero) selaku konsultan supervisi pada proyek tersebut. Pada data tersebut angka pasang surut ditampilkan dalam bentuk tabel. Dari grafik pasang surut tersebut, dapat dilakukan klasifikasi terhadap jenis pasang surut yang terjadi. Selain itu, data ini juga memberikan informasi tentang elevasi tertinggi pada pasang air untuk melakukan analisis terhadap elevasi puncak bangunan *revetment*.

3. Gambar Kerja *Revetment*

Gambar *revetment* Pantai Muli, Lampung Selatan diperoleh dari PT. Mina Fajar Abadi, dan sekaligus yang mengerjakan pembangunannya.

### 3.3 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan suatu alat penelitian berupa aplikasi perangkat lunak yang sangat mendukung jalannya penelitian ini.

### 3.4 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan di Pantai Muli, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Gambar peta lokasi penelitian analisis stabilitas bangunan pengaman pantai (*revetment*) dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Peta Lokasi Penelitian Bangunan Pengaman Pantai (*Revetment*).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan hasil analisis diatas dapat disimpulkan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Hasil analisis pada data angin didapatkan arah angin dominan yaitu arah Tenggara. Sehingga tinggi gelombang signifikan ( $H_s = 1,02$  m), periode gelombang signifikan ( $T_s = 6,7$  s). Tinggi gelombang pecah ( $H_b = 1,82$  m), serta kedalaman gelombang pecah ( $d_b = 1,997$  m).
2. Pada analisis koefisien stabilitas bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli Lampung Selatan diperoleh batu boulder dengan diameter terkecil 0,67 m nilai ( $K_D = 5,7$ ) dan diameter terbesar 1,7 m nilai ( $K_D = 0,3$ ). Sehingga dapat dikategorikan batu pecah dengan diameter 0,67 m tidak stabil terhadap gelombang tinggi. Sehingga apabila terjadi gelombang tinggi batu boulder tersebut rawan mengalami pergeseran serta dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur *revetment*.
3. Dari analisis stabilitas pelindung kaki (*toe protection*) struktur *revetment* diperoleh nilai stabilitas pelindung kaki ( $\frac{d_l}{d_s} = 0,74$ ) sehingga angka stabilitas pelindung kaki ( $N_s^3 = 290$ ), dengan persyaratan nilai  $N_s^3 < 300$  maka pelindung kaki tersebut dapat melindungi bangunan *revetment* dari keruntuhan.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk batuan boulder yang tidak stabil atau rawan terhadap gelombang tinggi dapat dilakukan pemantauan dan pemeliharaan pada bangunan pengaman pantai *revetment* di Pantai Muli Lampung Selatan.
2. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk melakukan studi inventarisasi bangunan pengaman pantai *revetment* untuk menentukan tingkat kerusakan yang terjadi akibat gelombang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiguna, R. N., Saputro, S., & Purwanto. (2013). Pemetaan batimetri dan analisis pasang surut untuk menentukan elevasi lantai dan panjang dermaga 136 di Muara Sungai Mahakam, Sanga-Sanga, Kalimantan Timur. *Semesta Teknika*, 16(1), 21–30.
- Agung, P., Agung, M., & Novianto, D. (2020). Bangunan pengambilan air laut (sea water intake) berbasis struktur revetment dan groins. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)*, 1(1), 1–14.  
<http://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>
- Erwiyana, L., Salim, N., & Aliehudin, A. (2022). Studi perencanaan konstruksi pelindung pantai pada wilayah industri di Pesisir Pantai Blekok. *Jurnal Smart Teknologi*, 3(5), 492–501.  
<http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST>
- Farid, A. (2008). Karakteristik gelombang pecah di perairan Perak Surabaya. *Embryo*, 5(2), 1–5.
- Jensen, O. J. (1984). *A monograph on rubble mound breakwaters*. Danish Hydraulic Institute (DHI). Denmark.
- Karundeng, Z. D. P., Jansen, T., & Jasin, M. I. (2022). Evaluasi kinerja bangunan pengaman pantai Tolondadu di Desa Sondana Kecamatan Bolaang Uki Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. *Tekno*, 20(8), 1–9.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/>
- Manuel, A., Ihsan Jasin, M., & Mamoto, J. D. (2017). Perencanaan bangunan pengaman pantai pada daerah Pantai Bulu Desa Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, 5(6), 325–334.  
<http://eprints.undip.ac.id/>
- Mawardin, A., Rizki, F., & Kurniati, E. (2021). Analisis stabilitas struktur revetment di Pantai Jempol Labuhan Sumbawa. *Jurnal Teknik Dan Sains Fakultas Teknik Universitas Teknologi Sumbawa*, 2(1), 1–10.

- Nadia, P., Ali, M., & Besperi. (2013). Pengaruh angin terhadap tinggi gelombang pada struktur bangunan breakwater di Tapak Paderi Kota Bengkulu. *Jurnal Inersia*, 5(1), 1–16. <http://id.shvoong.com/exactsciences/earth->
- Nangaro, M., Pondaag, I. K. E., & Tulung, B. (2019). *Rekayasa Pantai dan Muara*.
- Nareswari, T. P. A., & Nusantara, D. A. D. (2022). Perencanaan bangunan pemecah gelombang pada Pantai Depok, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil (REKATS)*, 2(2), 1–10.
- Putri, A. A. K., Diansyah, G., & Putri, W. A. E. (2022). Analisis tinggi gelombang signifikan berdasarkan model wavewatch-III di Pantai Alau-Alau, Kalianda, Lampung Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 123–130. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.39567>
- Rachmanda, F., Tugiono, S., Zakaria, A., & Herison, A. (2022). Analisis stabilitas breakwater tenggelam tipe batu pecah. *JRSDD*, 10(2), 385–394.
- Retraubun, N., Telussa, M. F., & Halawane, W. (2022). Penentuan bangunan pelindung pantai yang tepat di Desa Hatu, Kecamatan Leihitu Barat Maluku Tengah. *Jurnal Manumata*, 8(1), 1–9.
- Samudra, A. R., Jasin, M. I., & Halim, F. (2018). Evaluasi kinerja breakwater terhadap gelombang di kawasan pelabuhan Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 6(4), 211–224.
- Setyawan, F. O., Sari, W. K., & Aliviyanti, D. (2021). Analisis perubahan garis pantai menggunakan digital shoreline analysis system di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2), 368–377. <http://jfmr.ub.ac.id>
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai* (Cetakan ke-8). Beta Offset. Yogyakarta.
- Yuwono, N. (1992). *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai* (Vol. 2). Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.



**QR CODE FILE LAMPIRAN SKRIPSI**

( <https://bit.ly/44MQxRC> )