

SKRIPSI

**ALTERNATIF DESAIN REVETMENT DI CENTER POINT OF
INDONESIA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**LOVEEANE RIBKA
D011 19 1019**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ALTERNATIF DESAIN REVETMENT DI CENTER POINT OF
INDONESIA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

LOVEEANE RIBKA
D011 19 1019

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,

Pembimbing Pendamping,



Ir. Silman Pongmanda, ST, MT
NIP. 197210102000031001

Dr. A. Ildha Dwipuspita, ST, MT
NIP. 198907142020054001

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Lovecane Ribka
NIM : D011 19 1019
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ALTERNATIF DESAIN REVETMENT DI CENTER POINT OF INDONESIA MAKASSAR

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, 18 Agustus 2023

Yang Menyatakan

Lovecane Ribka

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ALTERNATIF DESAIN REVETMENT DI CENTER POINT OF INDONESIA MAKASSAR”** 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 Silman Pongmanda, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Ibu Dr. A. Ildha Dwipuspita, ST., MT.**, 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. Seluruh **Staf dan Karyawan Departemen Teknik Sipil**, staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kedua orang tua tercinta yaitu ayahanda **Lentey Karundeng** dan Ibunda **Ratnawati** atas doa, kasih sayang, motivasi, dan segala dukungan selama ini, baik moral maupun material yang diberikan.
8. Wali orang tua yaitu tante **Irmawati**, tante **Jumiati**, om **Asdar** dan om **Aksar** atas kasih sayang dan segala dukungan selama masa perkuliahan ini.
9. Saudara kandung yang tercinta yaitu, **Julyandre Hikari Karundeng**, **Novangga Noel Karundeng** dan **Gerard Rizky Paskah Karundeng** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Teman seperjuangan yaitu **Ersiana Sari Tandilolo**, **Sara Malisan Lati**, **Nafilah Rohadatul Aisy** dan **Juwita Apri Liasari** yang senantiasa memberikan dukungan terbaik selama masa perkuliahan.
11. **Anastasya**, **Sykasihayati**, **Nur Aviyah**, **Ananda Niken**, **Alfachristya** sebagai teman yang tetap memberikan dukungan meskipun dari jarak yang jauh.

12. Teman-Teman **GEOMETRIC KMKO SIPIL 2019** yang senantiasa memberikan warna selama perkuliahan, dukungan tiada henti serta semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
13. Rekan-rekan di **KKD KEAIRAN 2019** yang senantiasa membantu serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
14. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019.
15. 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, 26 Juni 2023

Penulis

ABSTRAK

LOVEEANE RIBKA. *Alternatif Desain Revetment Di Center Point Of Indonesia Makassar* (dibimbing oleh Silman Pongmanda, S.T., M.T. dan Dr. A. Ildha Dwipuspita, S.T., M.T.)

Kota Makassar merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan sekaligus merupakan kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia dengan luas 175,8 km². Sejak tahun 2020 Makassar memiliki tempat wisata ikonik baru yaitu Center Point of Indonesia yang biasa dikenal dengan sebutan CPI. Kawasan ini merupakan hasil reklamasi dengan luas 157 hektar yang menghadap langsung ke laut lepas Selat Makassar. Kawasan hasil reklamasi ini dikelilingi dengan bangunan pelindung pantai yaitu revetment yang menggunakan susunan bebatuan besar pada sisi miringnya. Desain revetment dengan susunan bebatuan besar ini sudah sering kali digunakan, oleh karena itu alternatif desain revetment dilakukan agar desain revetment lebih efisien dan menampilkan sesuatu yang baru pada kawasan Center Point of Indonesia.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis data-data awal hidro-oseanografi berdasarkan data sekunder pada perencanaan revetment untuk merumuskan alternatif desain revetment di Center Point of Indonesia.

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 3,91 meter dengan periode 7,75 detik di perairan laut dalam sehingga dapat diperhitungkan tinggi gelombang rencana sebesar 2,50 meter. Berdasarkan tinggi gelombang, didapatkan elevasi mercu bangunan revetment sebesar 4,7 meter dihitung dari dasar tanah dan susunan revetment yang digunakan adalah kubus beton dan bebatuan serta penambahan tembok laut reflektor gelombang untuk meminimalisir terjadinya limpasan air.

Kata Kunci: *Revetment, Center Point of Indonesia, Gelombang.*

ABSTRACT

LOVEEANE RIBKA. *Alternative Revetment Design At Center Point Of Indonesia Makassar* (supervised by Silman Pongmanda, S.T., M.T. and Dr. A. Ildha Dwipuspita, S.T., M.T.)

Makassar City is the capital of South Sulawesi Province and the fourth largest city in Indonesia and the largest in Eastern Indonesia with an area of 175.8 km². Since 2020, Makassar has had a new iconic tourist spot, the Center Point of Indonesia, commonly known as CPI. This area is the result of reclamation with an area of 157 hectares facing directly to the open sea of the Makassar Strait. This reclaimed area is surrounded by coastal protection buildings, namely revetment, which uses a large rock arrangement on the sloping side. Revetment design with this arrangement of large rocks has often been used, therefore alternative revetment designs are carried out so that the revetment design is more efficient and displays something new in the Center Point of Indonesia area.

The main objective of this research is to analyze preliminary hydro-oseanographic data based on secondary data on revetment planning to formulate alternative revetment designs at Center Point of Indonesia.

This research uses quantitative research methods and the data used are primary and secondary data, then the wave height and period are analyzed using the ocean forecasting method which will be used in determining the wave return period.

The results obtained obtained wave height with a return period of 10 years ranging from 3,91 meters with a period of 7,75 seconds in deep sea waters so that the planned wave height of 2,50 meters can be calculated. Based on the wave height, the elevation of the revetment building lighthouse is 4,7 meters calculated from the ground and the revetment arrangement used is concrete cubes and rocks and the addition of wave reflector seawalls to minimize water runoff.

Keywords: Revetment, Center Point of Indonesia, wave.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pantai.....	4
2.2 Bangunan Pantai.....	6
2.3 Batimetri	10
2.4 Pasang Surut.....	10
2.5 Analisis Data Angin dan Peramalan Gelombang.....	13
2.6 Perkiraan Gelombang Dengan Periode Kala Ulang.....	19
2.7 Gelombang Rencana	22
2.8. Elevasi Muka Air Rencana	24
2.9 Analisis Perencanaan Revetment	26
2.10 Tembok Laut Lengkung (Wave Reflector).....	34
2.11 Tekanan Tanah Lateral.....	36
2.12 Stabilitas Dinding Penahan Tanah	37
BAB iii METODE PENELITIAN	40
3.1 Lokasi Penelitian.....	40
3.2 Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	41
3.3 Alat dan bahan penelitian.....	41
3.4 Studi Literatur	41
3.5 Metode pengumpulan data.....	42
3.6 Prosedur Penelitian	43
BAB iv HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Keadaan Umum Lokasi.....	44
4.2 Data Bathimetri.....	45
4.3 Data Pasang Surut	46
4.4 Data Angin	47
4.5 Peramalan Gelombang	50
4.6 Perhitungan Gelombang Rencana.....	59
4.7 Elevasi Muka Air Rencana	62
4.8 Perhitungan Struktur Revetment.....	63

4.9 Analisis Stabilitas.....	68
4.10 Desain Revetment	71
4.11 Detail Desain.....	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Definisi dan batasan pantai	4
Gambar 2. Definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai	5
Gambar 3. Contoh revetment	6
Gambar 4. Contoh Tembok laut.....	7
Gambar 5. Contoh bangunan jetty	8
Gambar 6. Contoh bangunan groin	8
Gambar 7. Contoh pemecah gelombang	9
Gambar 8. Grafik tipe pasang surut	11
Gambar 9. Contoh mawar angin	14
Gambar 10. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat.....	15
Gambar 11. Contoh penggambaran fetch.....	17
Gambar 12. Grafik peramalan tinggi dan periode gelombang.....	19
Gambar 13. Penentuan tinggi gelombang pecah.....	23
Gambar 14. Tinggi gelombang maksimum fungsi kedalaman	24
Gambar 15. Kenaikan muka air karena gelombang	25
Gambar 16. Perkiraan kenaikan muka air laut karena pemanasan global.....	26
Gambar 17. Run up gelombang	27
Gambar 18. Perbandingan run-up dan run-down relatif untuk berbagai tipe sisi miring	27
Gambar 19. Butir lapis lindung buatan	29
Gambar 20. Angka stabilitas N_s untuk fondasi dan pelindung kaki	33
Gambar 21. Pelindung kaki bangunan	34
Gambar 22. Definisi sket-tebok laut dengan reflektor.....	35
Gambar 23. Grafik untuk tembok laut dengan kekasaran blok beton.....	36
Gambar 24. Ilustrasi penggulingan dan pergeseran	37
Gambar 25. Pemeriksaan terhadap penggulingan.....	38
Gambar 26. Pemeriksaan terhadap pergeseran	39
Gambar 27. Lokasi penelitian	40
Gambar 28. Diagram alir pengerjaan tugas akhir	43
Gambar 29. Kondisi lokasi perencanaan.....	44
Gambar 30. Ukuran bebatuan	45
Gambar 31. Peta Bathimetri	46
Gambar 32. Grafik Pasang Surut Pelabuhan Soekarno Hatta Makassar.....	47
Gambar 33. Anemometer dan display anemometer	48
Gambar 34. Mawar angin (<i>windrose</i>)	49
Gambar 35. Penentuan nilai U_w	51
Gambar 36. Panjang fetch barat laut	53
Gambar 37. Panjang fetch barat	53
Gambar 38. panjang fetch barat daya.....	54
Gambar 39. Menentukan tinggi dan periode gelombang dengan duration limited	56
Gambar 40. Penentuan nilai d_b	61
Gambar 41. Penentuan nilai kenaikan muka air laut pada tahun 2033	62
Gambar 42. Penentuan nilai R_u	64
Gambar 43. Penentuan angka stabilitas N_s^3	67

Gambar 44. Pembagian dinding penahan tanah.....	69
Gambar 45. Desain revetment.....	71
Gambar 46. Tampak samping dan atas kubus beton.....	72
Gambar 47. Tampak samping dan atas buis beton.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1. komponen-komponen harmonik pasut utama	12
Tabel 2. Contoh tabel data angin.....	13
Tabel 3. Persamaan untuk peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan Metode SMB	18
Tabel 4. Pedoman pemilihan gelombang rencana.....	20
Tabel 5. Jumlah data versus Y	21
Tabel 6. Jumlah data versus Y_n	21
Tabel 7. Jumlah data versus σ_n	21
Tabel 8. Koefisien stabilitas	30
Tabel 9. Koefisien Lapis	32
Tabel 10. Konstanta Pasang Surut Pelabuhan Makassar	46
Tabel 11. Elevasi Muka Air (Referensi 0 = LWS)	47
Tabel 12. Data angin tahun 2016	48
Tabel 13. Persentase frekuensi kejadian angin selama 10 tahun	49
Tabel 14. Kecepatan angin dalam satuan m/det.....	50
Tabel 15. Rekapitulasi U_A	52
Tabel 16. Perhitungan panjang fetch.....	54
Tabel 17. Perbandingan tinggi dan periode gelombang dengan <i>fetch limited</i> dan <i>duration limited</i> pada tahun 2013 hingga 2015.....	57
Tabel 18. Gelombang maksimum pada tahun 2013-2022	58
Tabel 19. Analisa frekuensi gelombang (Metode Gumbel).....	58
Tabel 20. Perhitungan tinggi dan periode gelombang dengan kala uang tertentu (Metode Gumbel)	59
Tabel 21. Tinggi dan periode beberapa kala ulang	59
Tabel 22. Tabel perhitungan M_R	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data angin, sebaran angin dan mawar angin tahun 2013-2022.....	77
Lampiran 2. Tabel Rekapitulasi analisa data angin dan peramalan gelombang ...	87
Lampiran 3. Tabel L-1	90
Lampiran 4. Data tanah	91
Lampiran 5. Gambar Desain	92
Lampiran 6. Dokumentasi peninjauan lokasi penelitian	95

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
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_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
I_r	Bilangan irribaren
K_{Δ}	Koefisien lapis
K_a	Kondisi tanah keadaan aktif
K_D	Koefisien stabilitas batu lindung
K_o	Kondisi tanah keadaan diam
K_p	Kondisi tanah keadaan pasif
K_R	Koefisien refraksi
K_S	Koefisien Shoaling

L	Panjang gelombang
L_o	Panjang gelombang laut dalam
LWS	<i>Low Water Spring</i> = muka air laut surut purnama
M_o	Momen yang mengakibatkan penggulingan
M_R	Momen yang menahan penggulingan
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
P_a	tegangan utama arah horizontal untuk kondisi aktif
P_h	Gaya horizontal
P_p	tegangan utama arah horizontal untuk kondisi pasif
R_u	Tinggi rayapan gelombang
S_b	Set down didaerah gelombang pecah
SLR	Sea Level Rise = kenaikan muka air laut akibat efek rumah kaca
SMB	Sverdrup Munk Bretschneider
SPM	Shore Protection Manual
SS	Storm Surge = kenaikan muka air akibat badai
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
WS	Wind set up = kenaikan muka air akibat badai
α	Sudut
θ	Sudut kemiringan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki sebutan negara kepulauan karena mempunyai kurang lebih 17.000 pulau dengan garis pantai sepanjang lebih dari 95.000 km, yang dimana merupakan negara yang memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia. Wilayah pantai di Indonesia sangat bermanfaat untuk kehidupan manusia, wilayah ini dapat digunakan untuk pemukiman, pelabuhan, pertanian, pertambakan, perikanan tangkap, hingga sebagai tempat pariwisata. Sering kali pantai menjadi sarana pariwisata yang maju dikarenakan pemandangan yang di dapatkan antar daratan dan lautan tersebut sangat indah dan mengundang banyaknya pengunjung. Namun, dikarenakan banyaknya aktivitas di daerah pantai maka sering kali diperlukan bangunan pelindung pantai agar mencegah terjadinya kemunduran garis pantai dan rusaknya fasilitas yang ada di sekitar pantai. Bangunan pelindung pantai dapat berupa revetment, pemecah gelombang, jetty, dan groin.

Kota Makassar merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan sekaligus menjadi kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia dengan luas 175,8 km². Makassar sudah sejak lama dikenal memiliki Pantai Losari sebagai wisata ikonik di kota tersebut. Namun, sejak tahun 2020 Makassar memiliki tempat wisata ikonik baru yaitu Center Point of Indonesia. Center Point of Indonesia yang biasa disebut CPI yang merupakan kawasan hasil reklamasi dengan luas 157 hektar yang menghadap langsung ke laut lepas Selat Makassar. Pantai pada kawasan Center Point of Indonesia ini sangat terkenal dan ramai pengunjung dikarenakan tempatnya yang cocok untuk memanjakan mata menikmati matahari terbenam dan lokasinya langsung menghadap ke pantai bertebing dengan bebatuan di pinggir pantainya sebagai bangunan pelindung pantai. Tumpukan bebatuan yang ada pada tebing pantai disebut dengan revetment.

Bangunan pantai revetment mempunyai sisi miring yang dapat terbuat dari berbagai macam bentuk butir lapis lindung seperti , batu gunung, bronjong, kubus beton, sand bag, buis beton, quadripod, tetrapod, tribar, dolos, dan sebagainya. Namun pada pengerjaannya sering kali bangunan pantai revetment hanya menggunakan susunan batu besar/batu gunung. Hal ini dikarenakan biaya yang lebih ekonomis jika hanya menggunakan bebatuan. Oleh karena banyaknya pantai

yang menggunakan revetment dengan bebatuan membuat penampilannya menjadi sesuatu hal yang sudah biasa bagi masyarakat. Namun penggunaan batu besar/batu gunung memerlukan proses yang lebih lama dikarenakan material yang digunakan berasal dari tempat cukup jauh yaitu pegunungan dan proses peledakan di gunung untuk mendapatkan material tersebut. Begitu pula dengan kawasan pantai Center Point of Indonesia dengan revetmentnya, seharusnya dengan lokasi yang seluas 157 hektar tersebut dapat memiliki material yang lebih mudah didapatkan agar mempercepat pekerjaan. Selain itu, Center Point of Indonesia juga strategis untuk menjadi tempat wisata ikonik di Makassar, Center Point of Indonesia harus memiliki desain revetment yang lebih menarik dan membuat sesuatu desain yang baru.

Berdasarkan uraian diatas, bahwa diperlukannya alternatif desain revetment pada kawasan tersebut yaitu tempat wisata Center Point of Indonesia, maka hal tersebut menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan perancangan yang berjudul **“Alternatif Desain Revetment di Center Point of Indonesia Makassar”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah dalam perancangan ini adalah:

1. Bagaimana kondisi Hidro-oseanografi di Center Point of Indonesia Makassar berdasarkan data sekunder?
2. Bagaimana alternatif desain revetment Center Point of Indonesia Makassar?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka perancangan ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui bagaimana kondisi Hidro-oseanografi di Center Point of Indonesia Makassar berdasarkan data sekunder.
2. Untuk mengetahui alternatif desain revetment yang lebih efisien di Center Point of Indonesia Makassar.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari perancangan ini, yaitu:

1. Diharapkan alternatif desain dapat membuat desain revetment pada area Center Point of Indonesia yang lebih efisien.
2. Diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dalam studi yang terkait dan dapat dijadikan sebagai bahan referensi untuk kajian penelitian lebih lanjut.

1.5 Batasan masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan perancangan ini adalah :

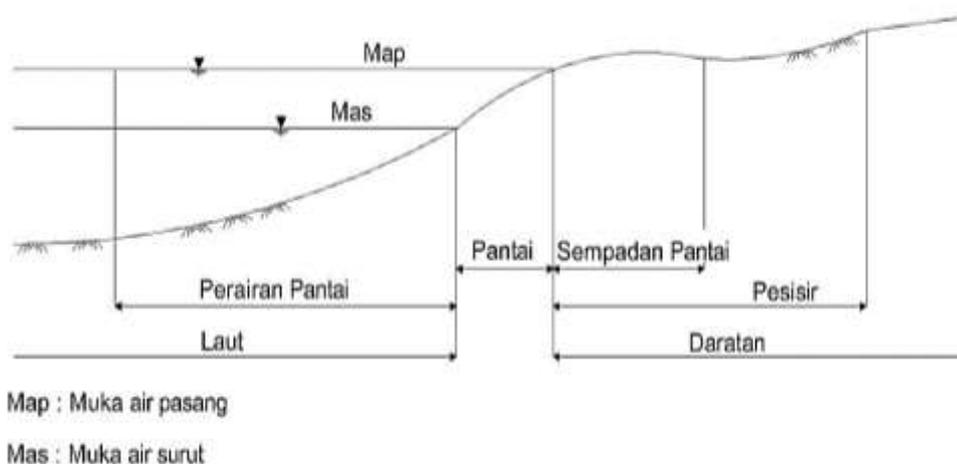
1. Penelitian di lakukan di daerah kawasan Center Point of Indonesia.
2. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari beberapa instansi atau hasil survei dari pihak lain.
3. Tidak menganalisa perubahan garis pantai.
4. Tidak memperhitungkan pengaruh daya dukung tanah.
5. Tidak memperhitungkan settlement.
6. Tidak memperhitungkan anggaran biaya dan analisa ekonomi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pantai

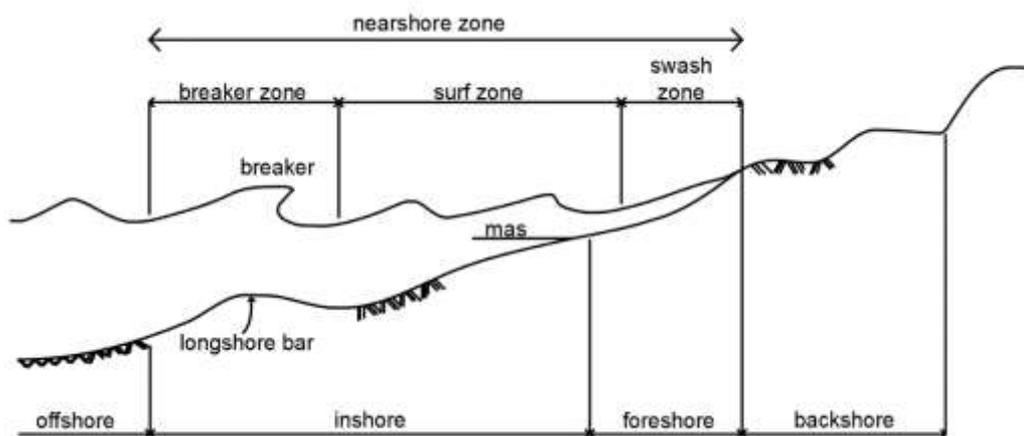
Ada dua istilah tentang kepantaian dalam bahasa Indonesia yang sering rancu pemakaiannya, yaitu pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*). Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih dapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan dibawah permukaan laut dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah daerah yang terletak diatas dan dibawah permukaan dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian dibawahnya. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tepat dan berpindah dan sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Sempadan pantai adalah kawasan tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi pantai. Kriteria sempadan pantai adalah daratan sepanjang tepian yang lebarnya sesuai dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimal 100 m dari titik pasang tertinggi ke arah daratan. (Triatmodjo, 1999). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 1. Definisi dan batasan pantai

Selain beberapa definisi seperti yang telah disebutkan diatas, di dalam mempelajari teknik pantai juga perlu mengetahui beberapa definisi yang berkaitan dengan karakteristik gelombang di daerah sekitar pantai, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. gelombang yang merambat mengalami perubahan bentuk yang dikarenakan pengaruh kedalaman laut. Berkurangnya kedalaman laut maka semakin berkurangnya panjang gelombang dan berubahnya (bertambah atau berkurang) tinggi gelombang. Pada saat kemiringan gelombang (perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang) mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah. Karakteristik gelombang setelah pecah berbeda dengan sebelum pecah. Gelombang yang telah pecah tersebut merambat terus ke arah pantai sampai akhirnya gelombang bergerak naik dan turun pada permukaan pantai (*uprush* dan *downrush*). Garis gelombang pecah merupakan batas perubahan perilaku gelombang dan juga transpor sedimen pantai. Daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut disebut dengan *offshore*. Sedang daerah yang terbentang ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibedakan menjadi tiga daerah yaitu *breaker zone*, *surf zone*, dan *swash zone*. Daerah gelombang pecah (*breaker zone*) adalah daerah di mana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai tidak-stabilan dan pecah. Di pantai yang landai gelombang pecah bisa terjadi beberapa kali. *Surf zone* adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik-turunnya gelombang di pantai. Pantai yang landai mempunyai *surf zone* yang lebar. *Swash zone* adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai (Triatmodjo, 1999).



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 2. Definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai

Ditinjau dari profil pantai, daerah ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *inshore*, *foreshore*, dan *backshore*. Perbatasan antara *inshore* *foreshore* adalah batas antara air laut pada saat muka air rendah dan permukaan pantai. Proses gelombang pecah di daerah *inshore* sering menyebabkan terbentuknya *longshore bar*, yaitu gumpalan pasir yang memanjang dan kira-kira sejajar dengan garis pantai. *Foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas dari *uprush* pada saat air pasang tinggi. Profil pantai di daerah ini mempunyai kemiringan yang lebih curam daripada profil di daerah *inshore* dan *backshore*. *Backshore* adalah daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan garis pantai yang terbentuk pada saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tinggi (Triatmodjo, 1999).

2.2 Bangunan Pantai

Bangunan pantai adalah bangunan yang dibangun di wilayah pesisir dengan tujuan tertentu, misalnya beberapa bangunan seperti berikut ini.

2.2.1 Revetment



Gambar 3. Contoh revetment

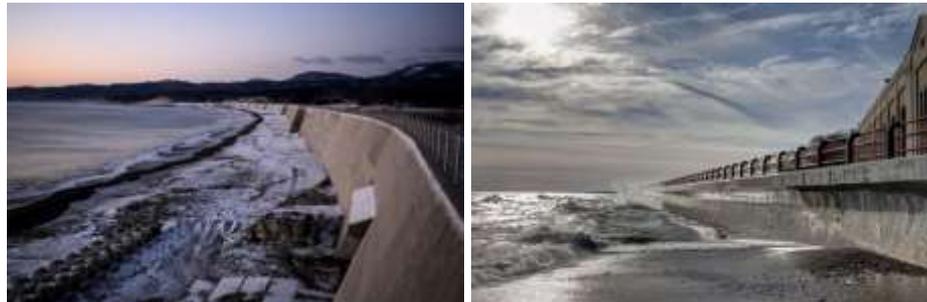
Revetment adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai yang dibangun sejajar garis pantai yang berfungsi untuk melindungi pantai dari serangan gelombang. *Revetment* dapat menahan terjadinya limpasan gelombang ke daratan yang ada di belakangnya. Biasanya *revetment* digunakan untuk daerah pemukiman atau fasilitas umum yang sudah sangat dekat dengan garis pantai. Bangunan ini dapat berbentuk dinding vertikal, miring, lengkung, atau bertangga serta dapat terbuat dari pasangan batu, dinding beton atau buis beton.

Revetment, biasa disebut “*slope protection*”, adalah bangunan pelindung tebing pantai terhadap gelombang yang relatif kecil, misalnya pada kolam

pelabuhan, bendungan ataupun pantai dengan gelombang kecil. Ada dua tipe *Revetment* yaitu “*permiable revetment*” dan “*impermiable revetment*” (Pratikto, 1996).

Revetment adalah bangunan berupa struktur penahan gempuran gelombang sebagai proyeksi terhadap tebing pantai yang ditempatkan di sepanjang kawasan yang akan dilindungi. Penggunaan revetment dimaksudkan untuk memperkuat tepi pantai agar tidak terjadi pengikisan pantai akibat gempuran gelombang. Tetapi bila dinding penahan tidak direncanakan dengan baik, dapat mengakibatkan kerusakan yang terjadi menjadi relatif cepat. Karena itu pada bagian dasar perlu dirancang suatu struktur penahan erosi yang cukup baik (Sub Direktorat Rawa dan Pantai, 1997).

2.2.2 Tembok Laut dan Tanggul Laut



Gambar 4. Contoh Tembok laut

Bangunan ini merupakan bangunan yang ditujukan untuk melindungi kawasan pesisir dari ancaman gelombang. Tanggul laut (*sea dike*) mempunyai tujuan sangat khusus, yaitu melindungi kawasan pesisir yang elevasi daratannya relatif rendah dari ancaman genangan air, seperti banjir rob atau pada sistem polder. Sementara itu, tembok laut (*sea wall*) biasanya digunakan untuk menghadang gempuran gelombang agar tidak terjadi erosi. Tembok laut juga digunakan untuk menjaga agar fasilitas yang ada di pantai tidak rusak akibat jangkauan gelombang. Struktur tanggul laut harus kedap air (*impermeable*) karena berfungsi untuk menahan air agar tidak masuk ke kawasan yang dilindungi, sedangkan tembok laut dapat lolos air (*permeable*) maupun tidak lolos air (Yuwono, 2020).

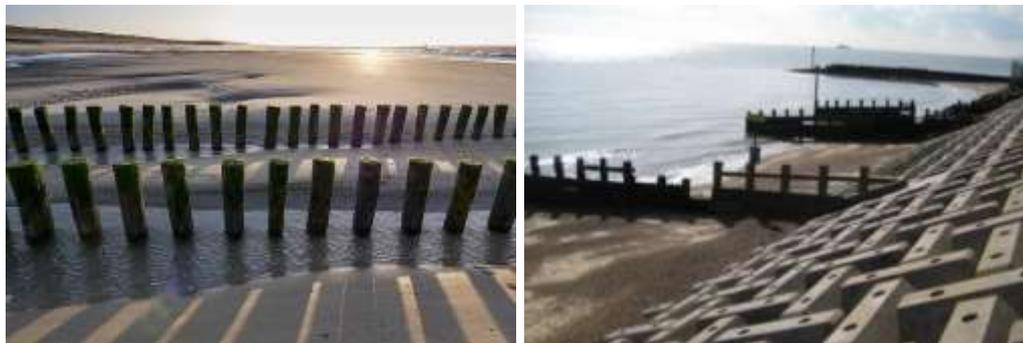
2.2.3 Bangunan *jetty*



Gambar 5. Contoh bangunan *jetty*

Bangunan jети merupakan bangunan yang menjorok ke laut dengan tujuan untuk berbagai keperluan, misalnya untuk dermaga (sandar dan bongkar muat kapal), stabilisasi muara sungai (biasa disebut *training jetty*), bangunan pengatur laju sedimen (pendek dan jumlahnya relatif banyak biasa disebut *groin*). Di samping itu, jети sering pula dimanfaatkan untuk menahan sedimen agar tidak masuk ke kolam labuh dan biasanya difungsikan pula sebagai pemecah gelombang (Yuwono, 2020).

2.2.4 *Groin*



Gambar 6. Contoh bangunan *groin*

Bangunan *groin* adalah bangunan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya erosi dengan cara mengatur laju angkutan pasir menyusur pantai sehingga kapasitas angkut tidak melebihi kemampuan suplai. Bangunan *groin* biasanya dibangun berseri, sehingga kemampuannya untuk mengatur laju angkutan sedimen dapat efektif (Yuwono, 2020).

2.2.5 Bangunan Pemecah Gelombang



Gambar 7. Contoh pemecah gelombang

Bangunan pemecah gelombang adalah bangunan yang ditujukan untuk melindungi suatu kawasan perairan dari ancaman gelombang. Kawasan perairan tersebut di antaranya kolam labuh dan perairan wisata. Pemecah gelombang juga dapat dimanfaatkan di antaranya untuk mencegah masuknya material/sedimen ke kolam labuh atau menjaga agar pantai tidak tererosi dengan cara menghancurkan energi gelombang menuju ke kawasan pesisir tersebut. Tipe pemecah gelombang ada beberapa macam, di antaranya yaitu pemecah gelombang tersambung daratan (*shore connected breakwater*), pemecah gelombang lepas pantai (*offshore breakwater*), pemecah gelombang bawah air (*submerged breakwater, artificial reef breakwater*), dan pemecah gelombang terapung (*floating breakwater*) (Yuwono, 2020).

2.2.6 Ambang Bawah Air

Ambang bawah air atau *Underwatersill-UWS* adalah bangunan relatif tipis yang dipasang di bawah air. Tujuan utama pembangunannya untuk menahan dan membelokkan sebagian besar angkutan sedimen supaya tidak masuk ke suatu kawasan perairan, misalnya kolam labuh. Bangunan ini mirip dengan *submerged breakwater*, dan dapat pula difungsikan sebagai pemecah gelombang, namun pelindungnya terhadap gangguan gelombang kurang efektif (Yuwono, 2020).

2.3 Batimetri

Batimetri atau kedalaman air laut merupakan ukuran kedalaman daerah perairan laut yang diukur dari atas permukaan air ke dasar laut. Peta batimetri adalah data spasial yang berisi informasi kedalaman suatu daerah perairan. Informasi batimetri dapat menggambarkan tentang kondisi struktur dan bentuk dasar perairan dari suatu daerah (Sager, 1998). Batimetri merupakan kegiatan pengumpulan data kedalaman dasar laut dengan metode penginderaan atau rekaman dari permukaan dasar perairan, yang akan diolah untuk menghasilkan relief dasar perairan, sehingga dapat digambarkan susunan dari garis-garis kedalaman (kontur). Pemetaan kondisi dasar perairan tersebut dikonversikan dalam keadaan surut terendah atau LWS (*Low Water Surface*).

2.4 Pasang Surut

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:

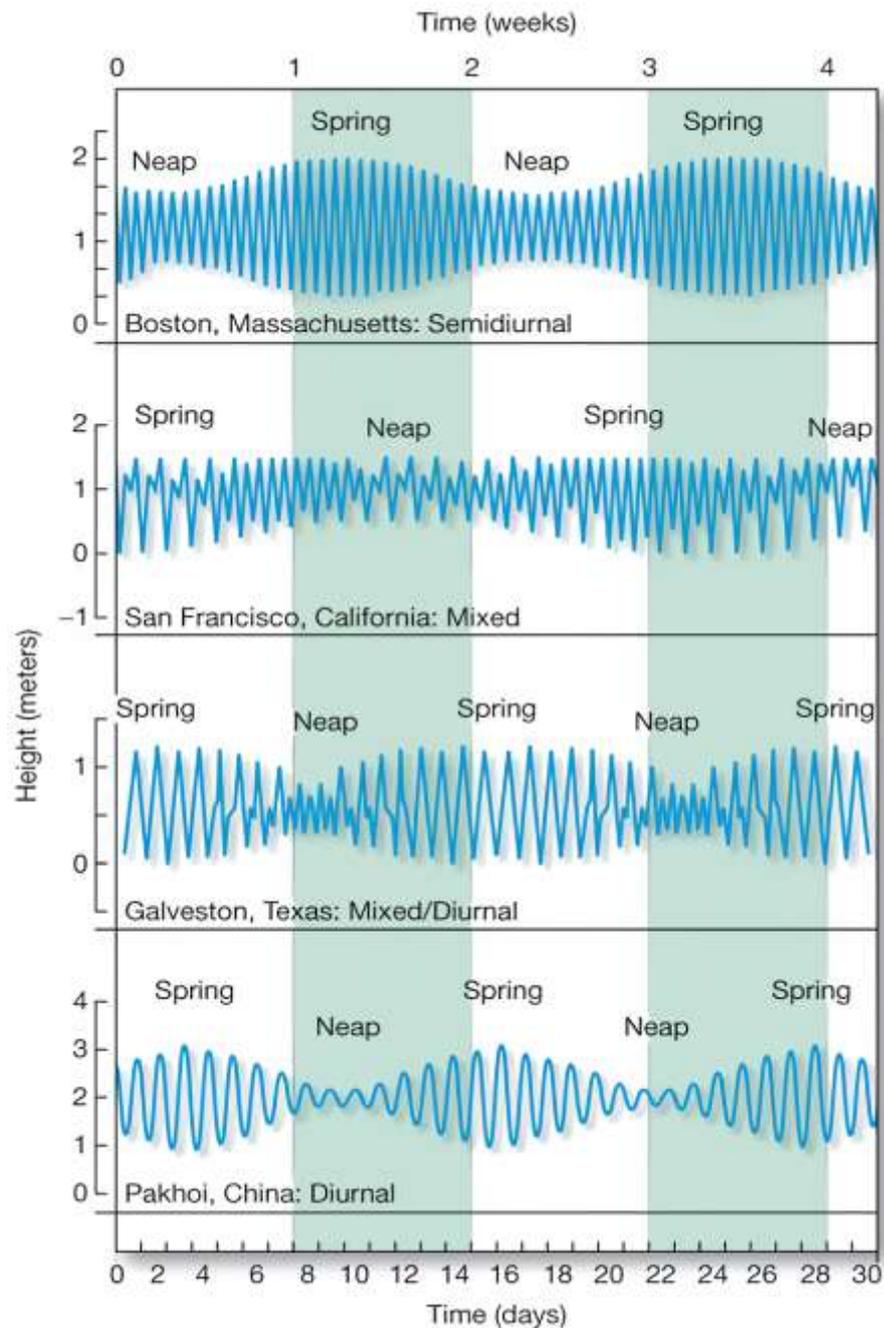
$F \leq 0,25$: pasang harian ganda

$F \leq 3,00$: 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 8.



Gambar 8. 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 1 (Poerbandono dan Djunasjah, 2005).

Tabel 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 1 diatas, terdapat lima belas konstanta harmonik. Namun untuk keperluan prediksi pada umumnya hanya menggunakan 9 komponen utama konstanta pasut, yaitu M₂, S₂, K₂, N₂, K₁, O₁, P₁, M₄, dan MS₄.

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.

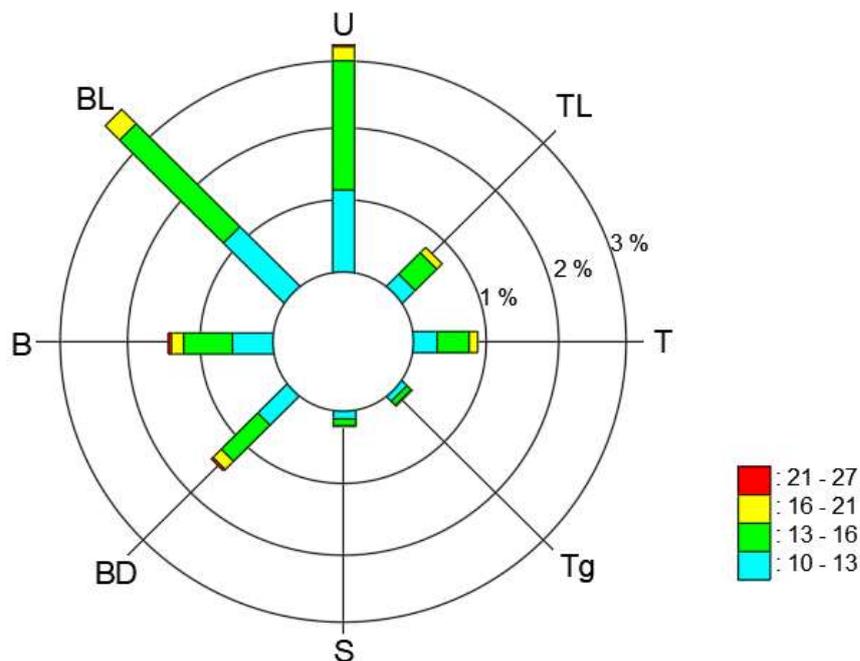
2.5 Analisis Data Angin dan Peramalan Gelombang

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di daratan di dekat lokasi peramalan kemudian di konversi menjadi data angin di laut. 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). Dengan pencatatan angin jam-jaman tersebut akan didapat tabel ringkasan dan diagram wind rose (mawar angin). Dengan mawar angin ini maka karakteristik angin dapat dibaca.

Tabel 2. Contoh tabel data angin

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	-

Sumber: Triatmodjo, 1999.



Sumber: Triatmodjo, 1999

Gambar 9. Contoh mawar angin

Peramalan gelombang dimaksudkan mengalih-ragamkan (transformasi) data angin menjadi data gelombang. Mengingat kurangnya data gelombang di Indonesia, maka untuk keperluan perencanaan bangunan pantai sering dilakukan peramalan gelombang berdasarkan data angin.

2.5.1 Kecepatan Angin

Untuk keperluan peramalan gelombang biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 meter. Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan anginnya perlu dikoreksi dengan persamaan :

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2)$$

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 :

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \quad (3)$$

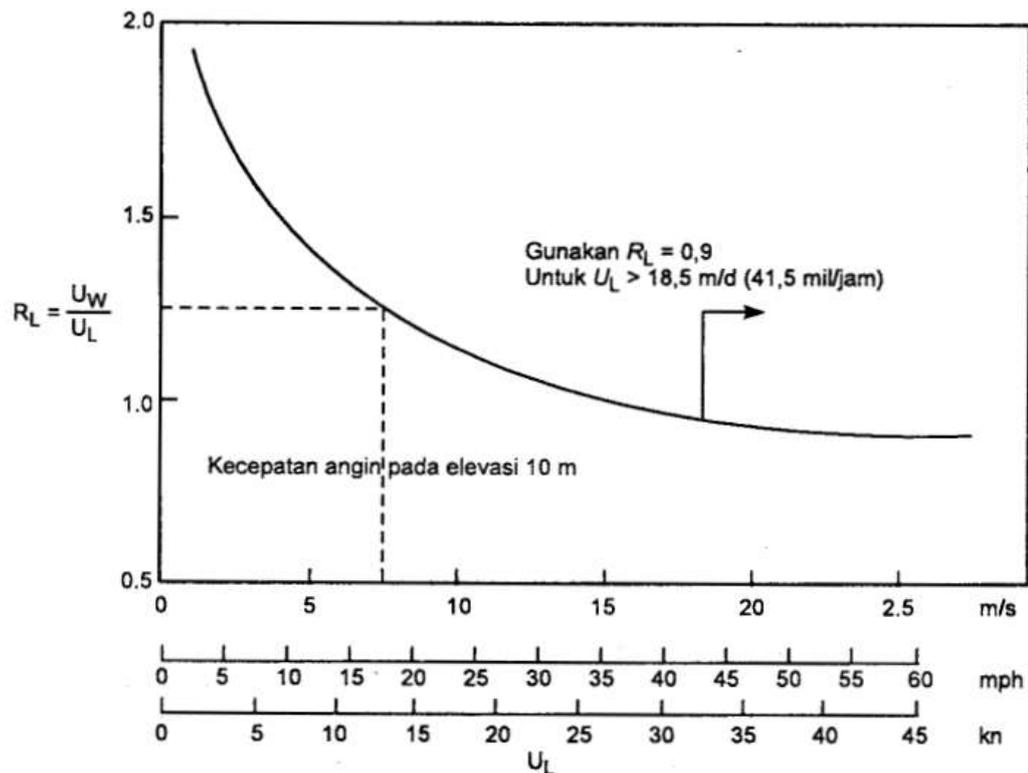
Dengan:

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

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

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

Seperti grafik pada Gambar 10 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 10. 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 :

$$U_A = 0,71 U_{10}^{1,23} \quad (4)$$

dengan:

U_A = wind stress factor

U_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 m

2.5.2 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.

Panjang fetch pada umumnya dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi daerah pembangkitan gelombang. Fetch dapat didefinisikan sebagai panjang daerah pembangkitan gelombang dan diukur pada arah hembus angin. Sementara itu, panjang fetch di laut bebas ditentukan berdasarkan batas-batas (Yuwono, 2020):

- 1) Posisi garis pantai (coast line position),
- 2) Muka pergerakan angin (meteorological front),
- 3) Lengkung isobar (curvature of isobar),
- 4) Penyebaran isobar (spreading of isobar).

Fetch rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut :

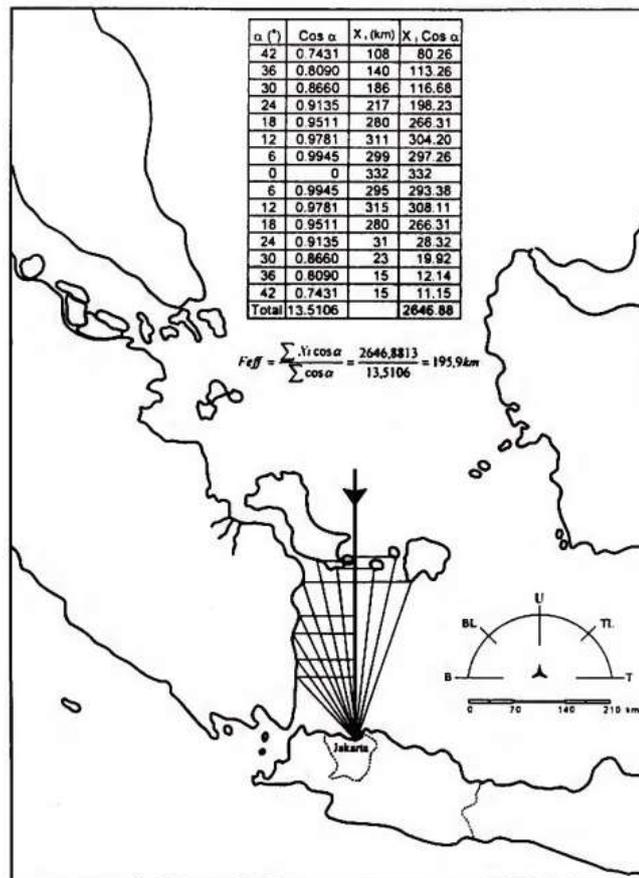
$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos a}{\sum \cos a} \quad (5)$$

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° sampai sudut terbesar 42° pada kedua sisi arah angin



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 11. Contoh penggambaran fetch

2.5.3 Lama Hembus (t_d)

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).

2.5.4 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 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 12 agar sesuai dengan kondisi lapangan.

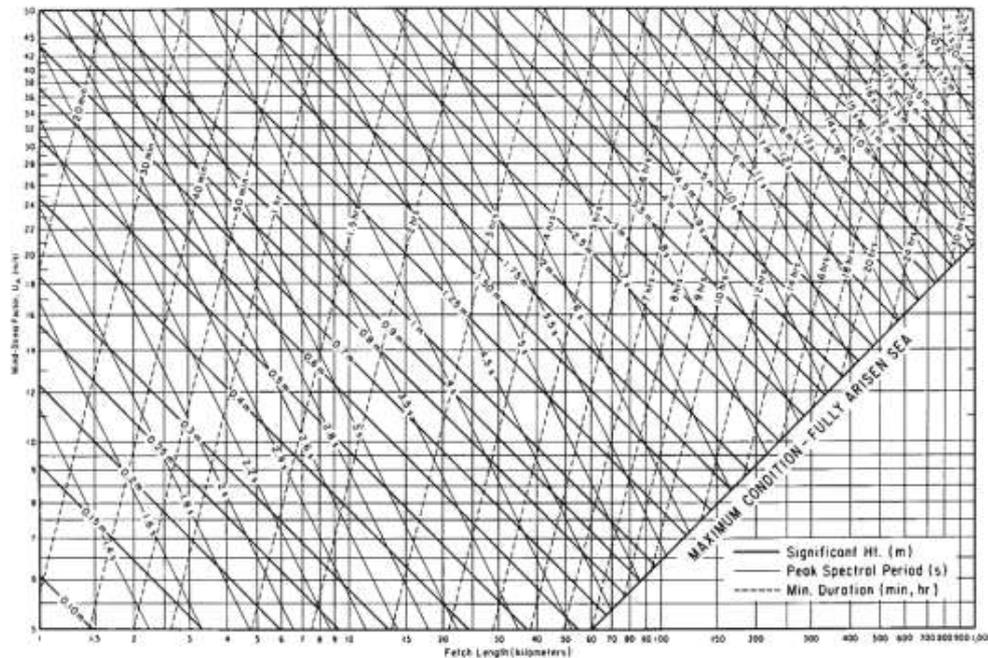
Tabel 3. Persamaan untuk peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan Metode SMB

<i>Dimensionles</i>	<i>Metric Units</i>	
	H(m), T(s), U_A (m/s) F(m), t(s)	H(m), T(s), U_A (m/s), F(km), t(hr)
<i>Fetch Limited (F,U)</i>		
$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$	$H_{m0} = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$	$H_{m0} = 1,616 \times 10^{-2} U_A F^{\frac{1}{2}}$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$	$T_m = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$	$T_m = 6,238 \times 10^{-1} U_A F^{\frac{1}{3}}$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 6,88 \times 10 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}}$	$t = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$	$t = 8,93 \times 10^{-1} \left(\frac{F^2}{U_A} \right)^{\frac{1}{3}}$
<i>Fully Developed</i>		
$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1}$	$H_{m0} = 2,482 \times 10^{-2} U_A^2$	$H_{m0} = 2,482 \times 10^{-2} U_A^2$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 8,134$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} U_A$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} U_A$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,15 \times 10^4$	$t = 7,296 \times 10^3 U_A$	$t = 2,027 U_A$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Sumber: CERC, 1984.

Berdasarkan pada kecepatan angin, lama hembus angin dan fetch dapat menggunakan grafik pada Gambar 12 (SPM, 1984). Dari grafik tersebut apabila panjang fetch, faktor tegangan angin dan durasi diketahui maka tinggi dan periode gelombang signifikan dapat dihitung.



Gambar 12. Grafik peramalan tinggi dan periode gelombang

2.6 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).

Proses ini mirip dengan pendugaan debit banjir dengan kala ulang 50 tahun dalam hidrologi. Misalnya, bila $T=50$ maka gelombang yang diprediksi ialah gelombang 50 tahun atau periode ulang 50 tahun, yang berarti kalau gelombang diperkirakan bakal disamai atau dilampaui rata-rata setiap 50 tahun sekali. Jika data yang tersedia adalah data angin, maka dilakukan analisis frekuensi terhadap data

angin yang setelah itu digunakan untuk memprediksi gelombang. Dalam hal ini, gelombang peramalan adalah gelombang yang signifikan.

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. Selain itu, perlu dipertimbangkan pula besarnya risiko kehilangan jiwa apabila terjadi kegagalan konstruksi. Semakin besar kemungkinan terjadinya korban jiwa semakin tinggi pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Untuk menentukan kala ulang gelombang rencana biasanya dilakukan studi kelayakan (*feasibility study*) untuk memilih kala ulang yang memberikan kelayakan terbaik (dapat dilihat dari *Net Benefit* terbaik, *Benefit Cost Ratio* Terbaik, *Total Cost* terendah atau pertimbangan korban jiwa yang mungkin terjadi). Dalam penentuan kala ulang (*return period*) gelombang rencana dapat dipergunakan pedoman yang terdapat pada Tabel 4 tentang pedoman pemilihan gelombang rencana yang sesuai dengan jenis struktur bangunan yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 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.

$$\overline{H}_S = \frac{\sum H}{n} \quad (6)$$

$$\sigma H_S = \sqrt{\frac{\sum (H - \overline{H}_S)^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$H_{sT} = \overline{H}_S + \frac{\sigma H_S}{\sigma n} (Y - Y_n) \quad (8)$$

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 , σn berdasarkan periode ulang dan jumlah data dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 seperti berikut.

Tabel 5. Jumlah 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 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 7. Jumlah data versus σn

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

2.7 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).

1) Gelombang tidak pecah

Apabila bangunan berada pada kedalaman yang cukup besar, yaitu lebih besar dari 1,5 kali tinggi gelombang maksimum yang terjadi maka gelombang di lokasi tersebut tidak pecah. Kondisi tersebut diperhitungkan untuk berbagai elevasi muka air. Kondisi gelombang di lokasi tersebut dapat dihitung berdasar gelombang rencana di laut dalam dengan menggunakan analisis refraksi dan pendangkalan gelombang.

Mengingat gelombang di suatu lokasi terdiri dari berbagai macam tinggi, periode dan arah gelombang, maka karakteristik gelombang di lokasi bangunan adalah gelombang terbesar yang diperoleh dari berbagai karakteristik gelombang tersebut.

2) Gelombang pecah

Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk dengan puncak gelombang semakin tajam sampai akhirnya pecah pada suatu kedalaman tertentu. Tinggi dan kedalaman gelombang pecah tergantung pada tinggi gelombang di laut dalam, periode gelombang, dan kemiringan dasar laut.

3) Gelombang telah pecah

Gelombang yang telah pecah tersebut akan merambat ke arah pantai dengan tinggi gelombang lebih kecil daripada tinggi gelombang pecah. Setelah pecah, tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi tergantung pada kedalaman air di kaki bangunan.

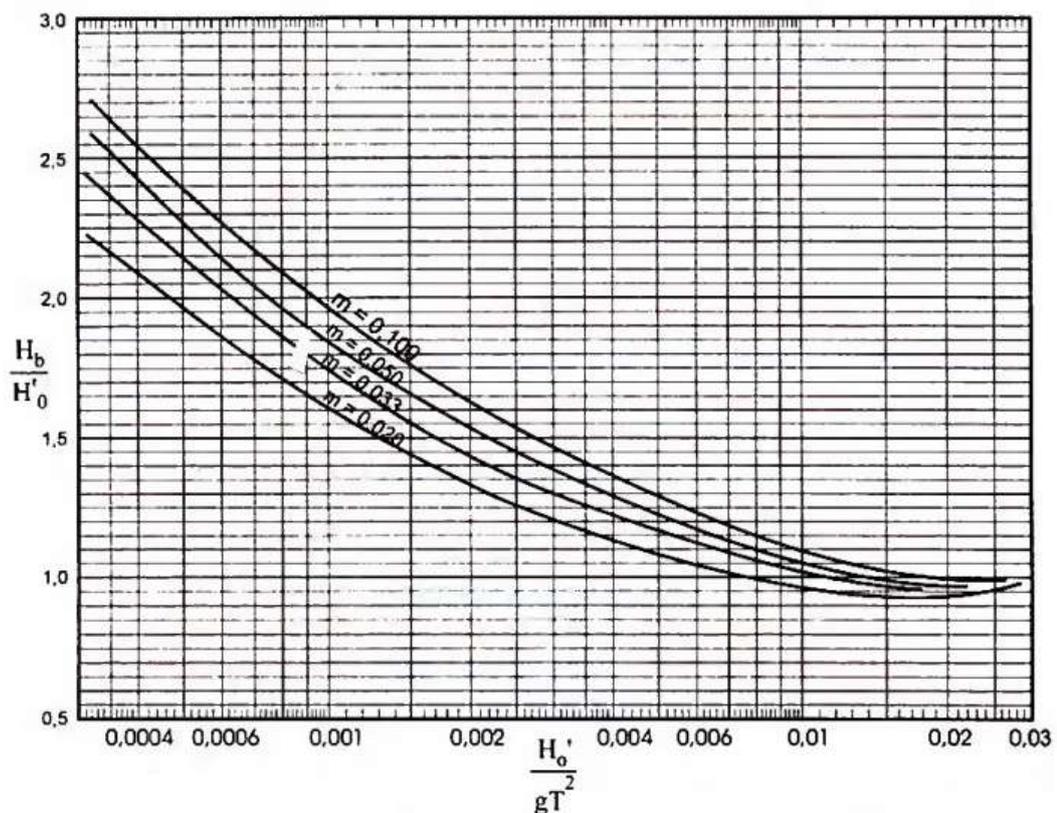
4) Hitungan kondisi gelombang

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

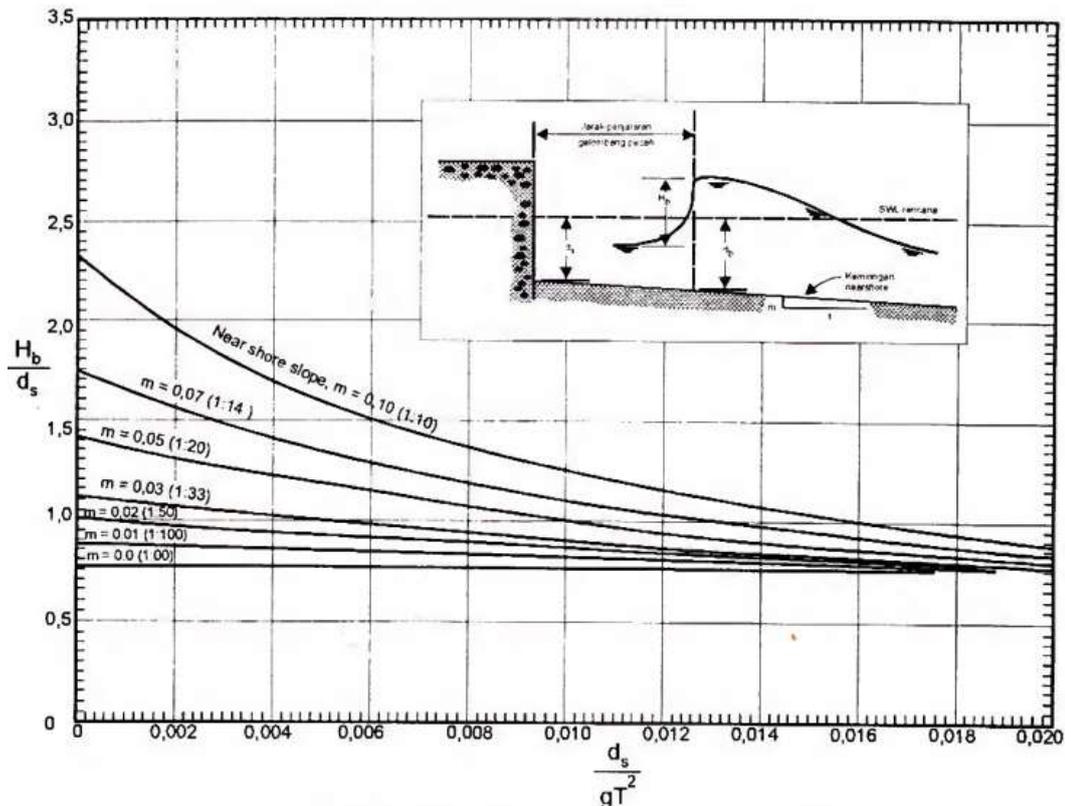
- a. Analisis refraksi, pendangkalan dan gelombang pecah berdasarkan karakteristik gelombang di laut dalam. Cara ini dilakukan apabila bangunan berada pada kedalaman yang cukup besar, sehingga kondisi

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 13.

- 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 14 . gambar tersebut menunjukkan bahwa apabila pantai relatif datar ($m=0$) maka perbandingan $H_b/d_s = 0,78$.



Gambar 13. Penentuan tinggi gelombang pecah



Gambar 14. Tinggi gelombang maksimum fungsi kedalaman

2.8. 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 pasang surut high water spring (HWS), wave set-up/strom surge, dan sea level rise (SLR) akibat rumag kaca (green house effect). Muka air laut rencana dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$DWL = HWS + (WS \text{ atau } SS) + SLR \quad (9)$$

dengan :

DWL = desain water level (m)

HWS = high water spring (m)

WS = wave set-up (m)

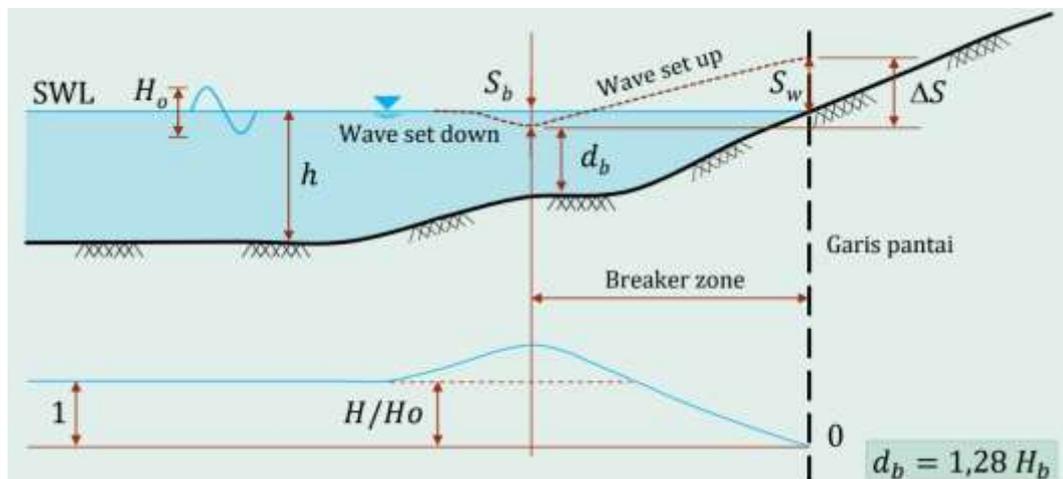
SS = storm surge (m)

SLR = sea level rise (m)

2.8.1 Wave Set-Up (SW)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang akan

pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai.



Gambar 15. Kenaikan muka air karena gelombang

Wave set-up dipantai dapat dihitung dengan menggunakan teori Longuet-Higgins dan Stewart (1963, dalam CERC, 1984). Besar wave set-down di daerah gelombang pecah diberikan oleh :

$$S_b = -\frac{0,536H_b^2}{g^{\frac{1}{2}}T} \quad (10)$$

dengan :

S_b = Set-down di daerah gelombang pecah

T = Periode Gelombang

H_b = Gelombang pecah

d_b = Kedalaman gelomban

g = Percepatan gravitasi

Wave set-up dipantai diberikan oleh bentuk berikut :

$$S_w = \Delta S - S_b \quad (11)$$

Longuet-Higgins dan Stewart melakukan analisa data hasil percobaan yang dilakukan oleh Saville (1961, dalam SPM, 1984) dan hasilnya adalah $\Delta S = 0,15 d_b$.

Dengan menganggap bahwa $d_b = 1,28 H_b$ maka :

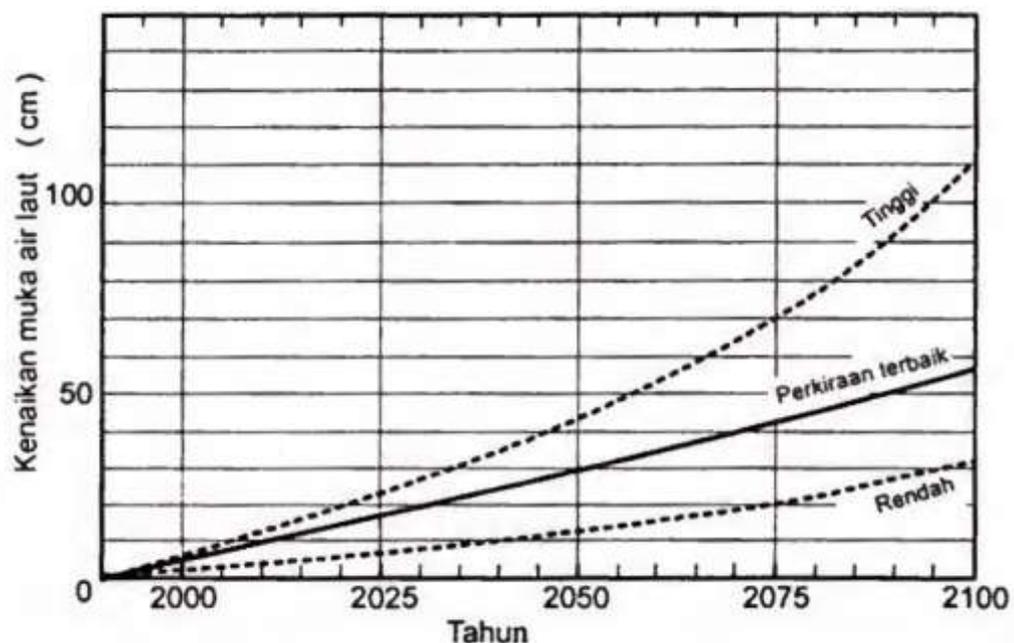
$$\Delta S = 0,15 d_b \quad (12)$$

Substitusi persamaan makan didapatkan

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (13)$$

2.8.2 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 menggosur daerah pemukiman dan mengancam daerah perkotaan yang rendah, membanjiri lahan produktif dan mencemari persediaan air tawar. Gambar 16 memberikan perkiraan besarnya kenaikan muka air laut tahun 1990-2100, yang disertai perkiraan atas dan bawah.



Gambar 16. Perkiraan kenaikan muka air laut karena pemanasan global

2.9 Analisis Perencanaan Revetment

2.9.1 Elevasi Mercu Bangunan

Elevasi mercu bangunan dihitung berdasarkan run-up gelombang (kenaikan gelombang), yang tergantung pada karakteristik gelombang, kemiringan bangunan, porositas dan kekasaran lapis lindung. Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (run-up) pada permukaan bangunan. Elevasi bangunan yang di reencanakan tergantung pada run-up dan limpasan yang

diizinkan. Gambar 17 menunjukkan run-up gelombang yang terjadi karena gelombang bangunan dengan permukaan miring. Dalam menentukan run-up, diperlukan bilangan Iribaren yang dikaitkan dengan grafik pada Gambar 18 . Bilangan Iribaren mempunyai bentuk persamaan berikut :

$$I_r = \frac{tg \theta}{\left(\frac{T}{L_0}\right)^{0,5}} \quad (14)$$

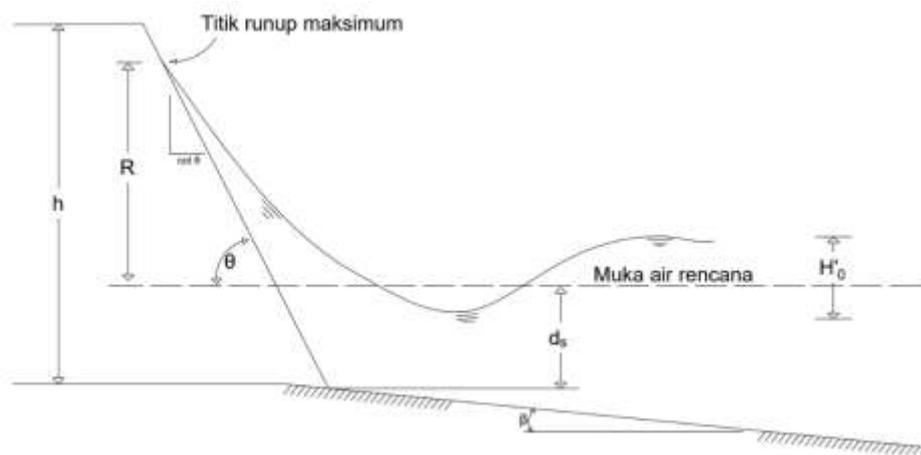
dengan:

I_r = bilangan irribaren

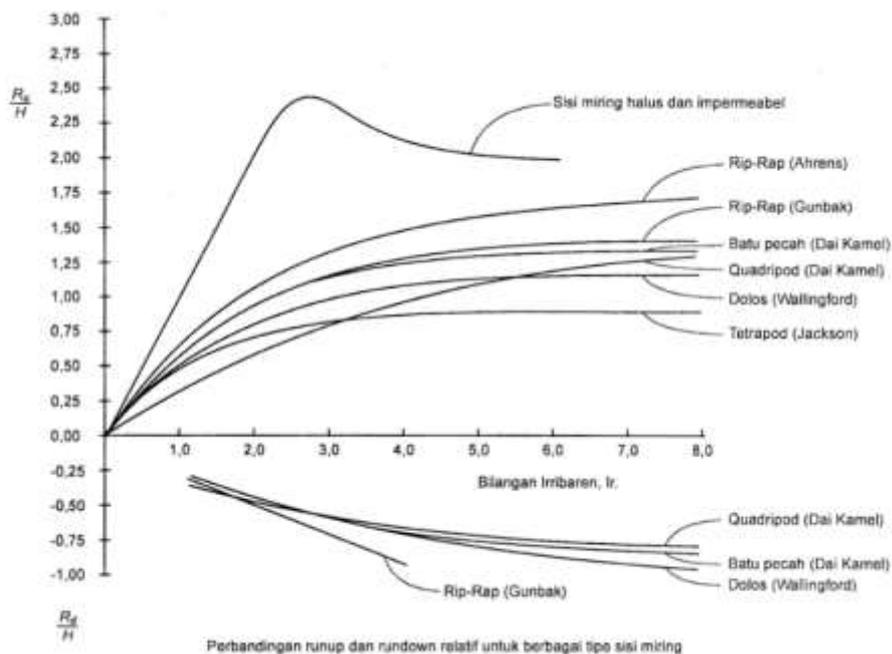
θ_t = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

H = tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_0 = panjang gelombang di laut dalam



Gambar 17. Run up gelombang



Gambar 18. Perbandingan run-up dan run-down relatif untuk berbagai tipe sisi miring

Elevasi mercu bangunan didapatkan dengan persamaan :

$$\text{Elevasi mercu} = DWL + R_u + \text{tinggi jagaan} \quad (15)$$

dengan:

DWL = desain water level

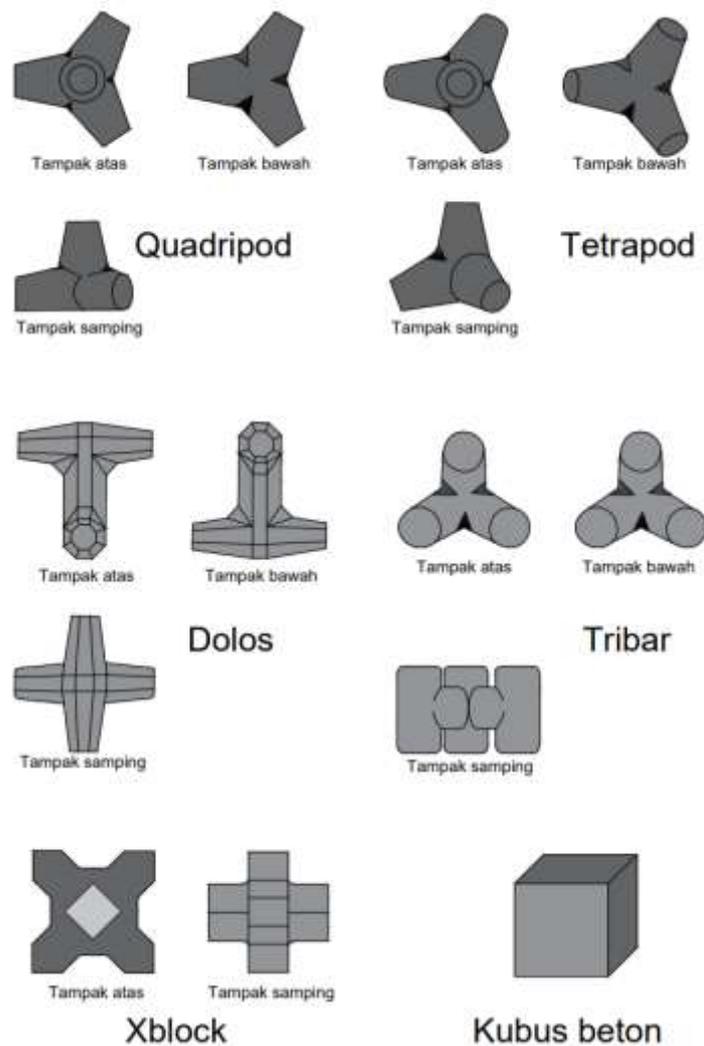
Ru = run up gelombang

Tinggi jagaan (0,5 sampai 1 m)

2.9.2 Lapis Lindung

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).

Batu atau unit buatan ini bisa berbentuk sederhana seperti kubus yang memerlukan berat yang cukup besar, atau bentuk khusus yang lebih ringan tetapi lebih sulit dalam pembuatan, karena diperlukan cetakan/bekisting khusus. Unit buatan bisa berupa tetrapod, tribar, hexapod, dolos, dsb. beberapa bentuk unit buatan diberikan pada Gambar 19. Tetrapod mempunyai empat kaki yang berbentuk kerucut terpancung. Tribar terdiri dari tiga kaki yang saling dihubungkan oleh lengan. Quadripod mempunyai bentuk mirip tetrapod tetapi sumbu-sumbu dari ketiga kakinya berada pada bidang datar. Dolos terdiri dari dua kaki saling menyilang yang dihubungkan dengan lengan (Bambang Triatmodjo, 2006).



Gambar 19. Butir lapis lindung buatan

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

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (16)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad (17)$$

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 8.

Tabel 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	-	-	
					5,0	6,0	1,5
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	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

2.9.3 Lebar Puncak, Tebal Lapis Pelindung Utama dan Lapis Bawah serta 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.

$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (18)$$

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

puncak pemecah gelombang terkadang juga diberikan dinding dan lapis beton yang dicor di tempat dengan tujuan untuk memperkuan puncak bangunan, menambah tinggi puncak bangunan, dan sebagai jalan untuk perawatan.

Tebal lapis lindung utama dan lapis bawah pertama dan kedua diberikan rumus berikut :

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

Jumlah butir unit lapis lindung pada lapis lindung utama tiap satu satuan luas diberikan oleh persamaan berikut :

$$N = Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (20)$$

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 9. 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.

2.9.4 Kaki Pelindung Revetment

Berat butir batu untuk fondasi dan pelindung kaki bangunan diberikan oleh persamaan berikut :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s (S_r - 1)^3} \quad (21)$$

dengan :

W = Berat butir batu pelindung (ton)

γ_r = Berat jenis batu (ton/m³)

H = Tinggi gelombang rencana (m)

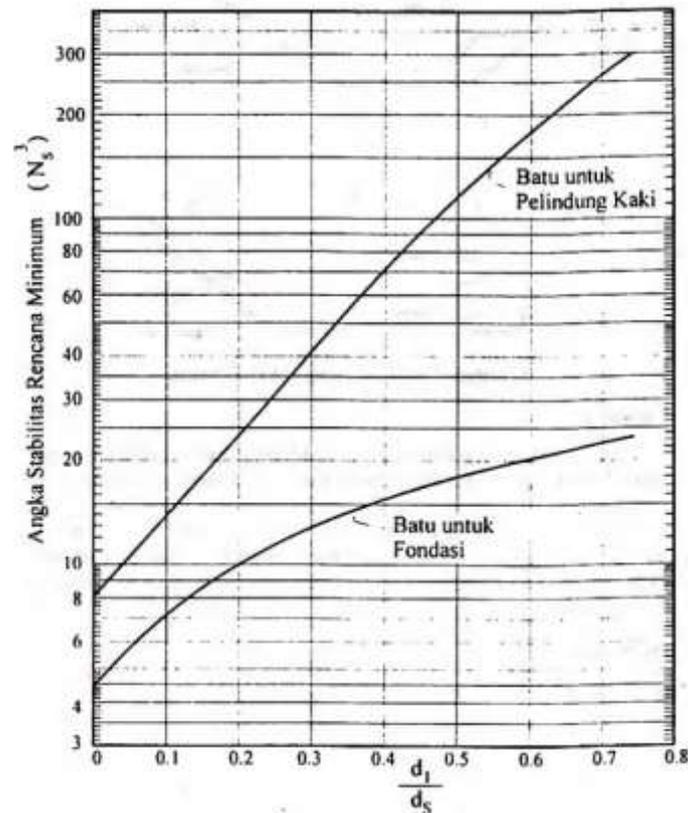
S_r = perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut = γ_r / γ_a

γ_a = Berat jenis air laut (1,025~1,03 ton/m³)

N_s = angka stabilitas rencana untuk fondasi dan pelindung tumit bangunan

Karena pengaruh gelombang, tanah di kaki bangunan dapat tererosi yang dapat menyebabkan lapis lindung yang berdiri di atasnya longsor. Untuk mencegah kerusakan tersebut, di depan kaki bangunan dibuat pelindung tumit (toe protection).

Pelindung tumit berbentuk apron dari tumpukan batu yang berupa unit pelindung dan tahan terhadap gaya-gaya gelombang dan arus. Apron tumit harus bisa mempertahankan tanah dasar fondasi untuk tidak tererosi. Apron tumit bisa berada di atas tanah dasar atau terpendam di dalam tanah dengan angka stabilitas N_s berdasarkan Gambar 20.



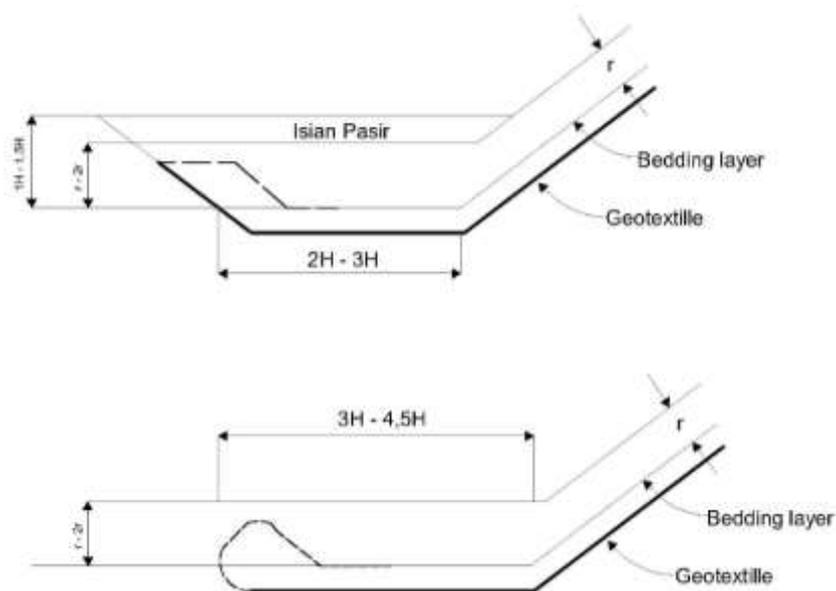
Gambar 20. Angka stabilitas N_s untuk fondasi dan pelindung kaki

Hales (1980, dalam CERC, 1984) menjelaskan perlindungan apron tumit untuk jetty, pemecah gelombang, revetmen. Pada struktur dengan kemiringan 1:3 atau lebih curam dan tumit terbuka terhadap serangan gelombang di air dangkal, apron tumit dilindungi oleh batu satu lapis dari unit lapis lindung utama. Lebar apron adalah tiga sampai empat kali batu pelindung, yang dihitung dengan Persamaan $B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$ (18) di mana $n=3$ sampai 4 dan $W=Wr$. Pelindung tumit dapat ditempatkan pada tanah dasar galian sampai kedalaman tanah keras. Apabila tanah dasar adalah pasir yang cukup dalam maka apron tumit ditempatkan pada kedalaman 0,6 sampai 2,0 m.

Revetment dibangun di sepanjang pantai dan berada di atas muka air rencana atau pada air dangkal. Apron tumitnya terbuka terhadap serangan gelombang. Karena berada di air dangkal, gelombang pecah bisa langsung menghantam apron tumit. Oleh karena itu apron tumit harus aman terhadap serangan gelombang. Keruntuhan pada apron tumit bisa menyebabkan runtuhnya seluruh tubuh bangunan.

Unit pelindung apron tumit dari revetmen yang terbuka terhadap gelombang di laut dangkal dapat merupakan perpanjangan dari lapis pelindung utama. Apabila memungkinkan apron tumit dibuat terendam. Jika gerusan ringan, tebal apron tumit terendam minimum adalah tumpukan dua lapis batu. Apabila gerusan cukup besar, tebal pelindung dapat dua kalinya dan kedalaman bertambah sampai 1,5 kali. Untuk gerusan parah, lebar tumit terendam dibuat sama dengan atau dua kali dari kedalaman tumit, yang bisa 2 sampai 3 kali tinggi gelombang rencana.

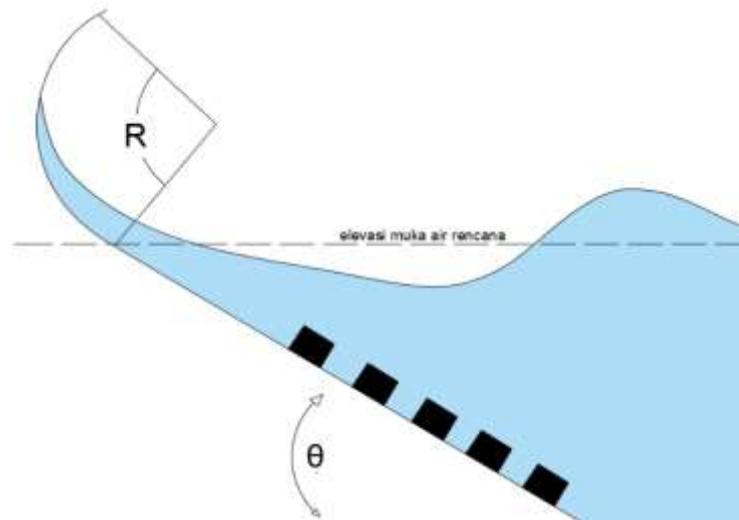
Jika apron adalah berm yang ditempatkan pada tanah dasar, tebal apron tumit sama dengan lapis satu batu, dan lebar apron adalah tiga atau empat batu. Apabila gerusan besar, tebal apron tumit adalah dua kali tebal lapis rerata satu batu dan lebarnya sama dengan 3 sampai 4,5 tinggi gelombang rencana.



Gambar 21. Pelindung kaki bangunan

2.10 Tembok Laut Lengkung (Wave Reflector)

Tembok laut merupakan bangunan yang ideal untuk melindungi fasilitas terbangun yang berada di tepi pantai, yang posisinya relatif dekat dengan garis pantai dari ancaman gelombang. Tipe tembok laut sendiri sangat beragam salah satunya yaitu tembok lengkung atau *wave reflector*. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan tembok laut lengkung adalah memilih lereng (sudut kemiringan) sisi depan tembok laut (θ), diameter lengkung reflektor gelombang (R), dan jika diperlukan adalah kekasaran buatan (berupa blok beton, k) yang dipasang di lereng tembok laut tersebut.



Gambar 22. Definisi sket-tebok laut dengan reflektor

Untuk mendapatkan hasil yang optimum dalam perencanaan tembok laut yang akan dirancang, diperlukan kriteria sebagai berikut:

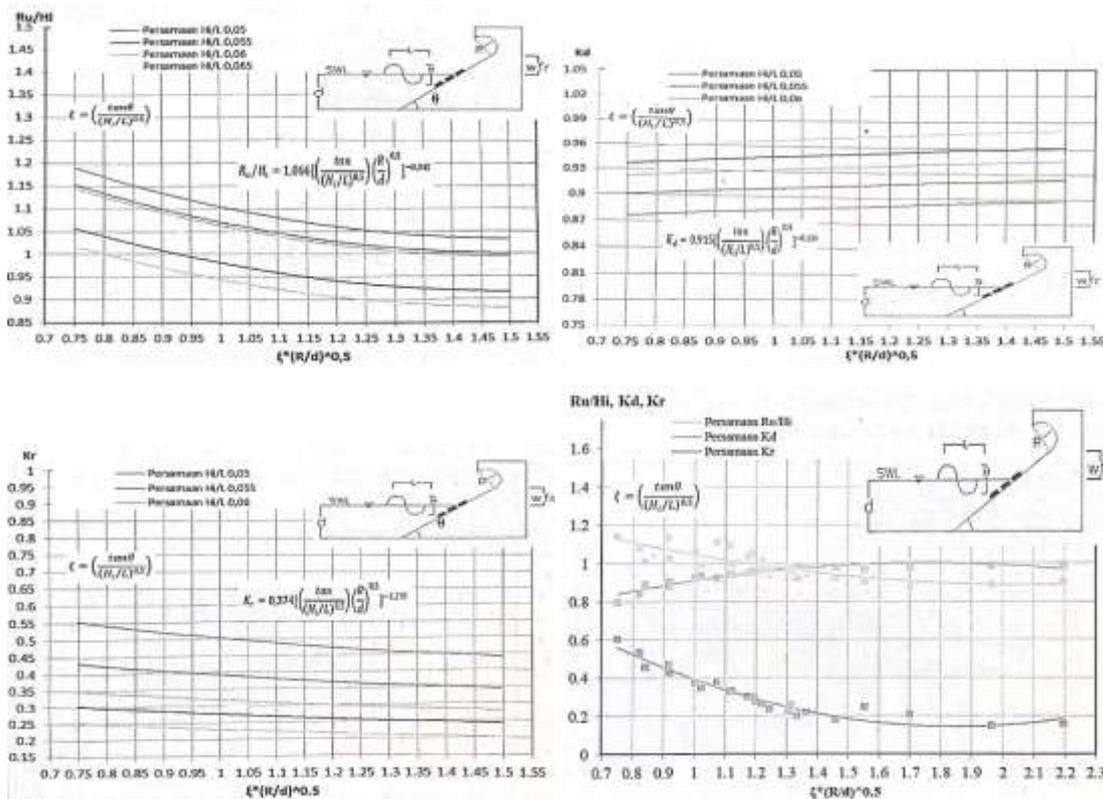
- 1) Rayapan gelombang (R_u) tidak begitu tinggi,
- 2) Luncuran atau rayapan air yang berlebih diusahakan kembali lagi ke laut dengan struktur reflektor gelombang,
- 3) Tinggi gelombang refleksi relatif kecil,
- 4) Penghancuran energi gelombang oleh tembok laut cukup efektif

Jadi di dalam perancangan tembok laut tersebut perlu diusahakan agar kriteria di atas dapat terpenuhi, yaitu dengan melakukan optimasi. Optimasi dilakukan dengan cara memilih:

- 1) Sudut lereng bangunan (θ) yang tepat,
- 2) Memilih jari-jari (R) lengkung reflektor gelombang yang efektif,
- 3) Memilih menggunakan atau tanpa kekasaran lereng dengan blok beton (k),

Sehingga didapatkan nilai rayapan gelombang (R_u) yang kecil, refleksi gelombang yang kecil (K_r) dan tembok laut dapat efektif menghancurkan energi gelombang (Yuwono, 2020).

Berdasarkan penelitian Nalarasih, R.T. (2019) dijelaskan tinggi rayapan gelombang relatif (R_u/H) dan tinggi gelombang refleksi (K_r/H) merupakan fungsi dari parameter kecuraman gelombang (H/L), kemiringan bangunan (θ) dan radius reflektor gelombang (R/D). Hasil penelitian Nalarasih (2019) dapat dilihat pada Gambar 23 untuk tembok laut dengan kekasaran blok beton.



Gambar 23. Grafik untuk tembok laut dengan kekasaran blok beton

2.11 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanahnya. Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu saat massa tanah pada kondisi tepat akan runtuh (Rankine 1857, dalam Ramadhani 2010).

Pada prinsipnya kondisi tanah dalam kedudukannya ada 3 kemungkinan, yaitu:

- Dalam keadaan diam (K_0)
- Dalam keadaan aktif (K_a)
- Dalam keadaan pasif (K_p)

Teori yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teori Rankine (1857), persamaan tentang koefisien tekanan tanah aktif dan pasif adalah sebagai berikut:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$Kp = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Adapun langkah yang dipakai untuk tanah terkohesi, maka tegangan utama arah horizontal untuk kondisi pasif dan aktif

$$Pa = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times Ka - 2 \times C \times \sqrt{Ka} \times H$$

$$Pp = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times Pa - 2 \times C \times \sqrt{Pa} \times H$$

dengan:

ϕ = sudut gesek dalam tanah

γ = berat volume tanah

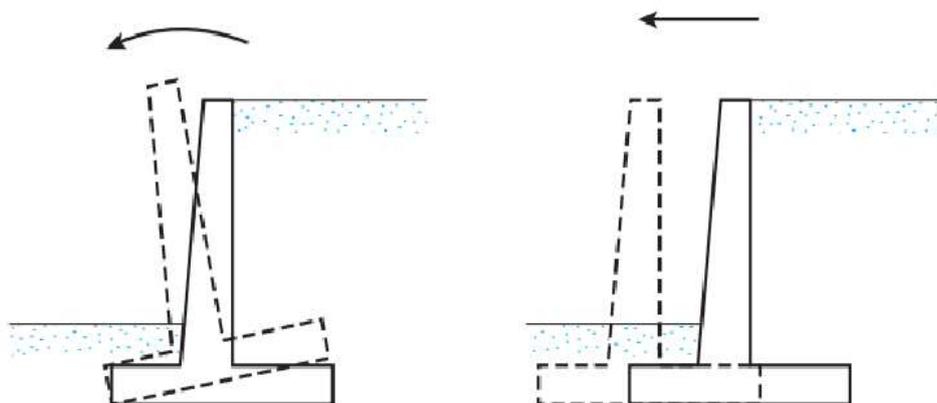
H = tinggi dinding

Ka = koefisien tanah aktif

Kp = koefisien tanah pasif

2.12 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Tekanan tanah dan gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah sangat mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah itu sendiri, secara umum pemampatan atau penggunaan bahan dalam konstruksi dinding penahan tanah yang berarti memberikan perkuatan pada massa tanah. Perkuatan ini, juga mengurangi potensi gaya lateral yang menimbulkan perpindahan kearah horizontal dari pada dinding tersebut sebagai akibat adanya beban vertikal yang dipindahkan menjadi tekanan horizontal yang bekerja dibelakang dinding penahan tanah atau biasa dikenal sebagai tekanan tanah aktif (Suryolelono, 1994).



Gambar 24. Ilustrasi penggulingan dan pergeseran

Dinding penahan tanah dapat mengalami kegagalan dengan cara terguling pada bagian kakinya atau bergeser pada sepanjang alasnya seperti pada Gambar 24. Pemeriksaan stabilitas terhadap kegagalan penggulingan dan pergeseran akan dijelaskan sebagai berikut.

2.12.1 Stabilitas Terhadap Penggulingan

Faktor aman terhadap penggulingan ($FS_{\text{overturning}}$) dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$FS_{\text{Overturning}} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} > 2 \quad (22)$$

$$\Sigma M_R = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v \quad (23)$$

$$\Sigma M_O = Pa \left(\frac{H}{3} \right) \quad (24)$$

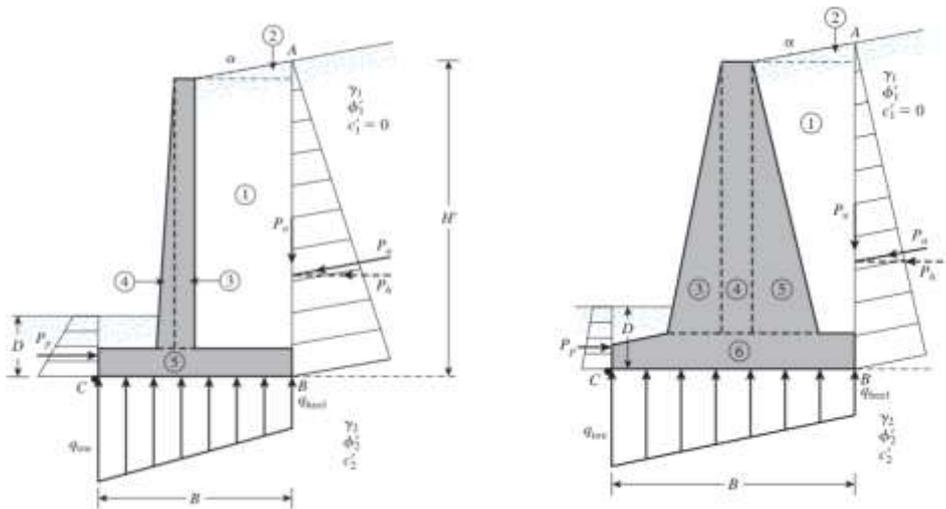
dengan:

M_R = Momen yang melawan penggulingan (kN.m)

M_O = Momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

H = Tinggi dinding (m)

P_h = gaya horizontal (kN)



Gambar 25. Pemeriksaan terhadap penggulingan

2.12.2 Stabilitas Terhadap Pergeseran

Faktor aman terhadap pergeseran (FS_{sliding}) dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$FS_{Sliding} = \frac{\Sigma V(\tan \phi) + (B \times C)}{Pa} > 1,5 \quad (25)$$

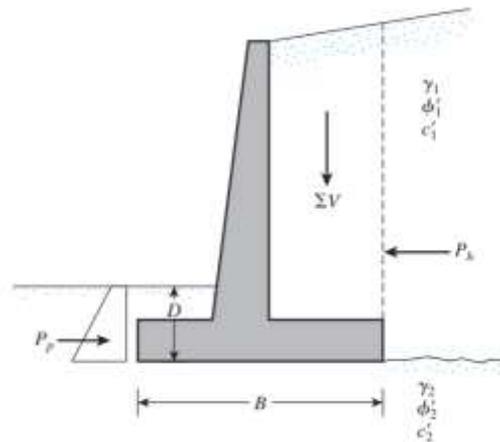
dengan:

V = berat tanah di belakang dinding penahan tanah (kN)

C = kohesi antara tanah dengan dasar dinding penahan tanah (kN/m²)

B = lebar dinding penahan tanah

$\tan \phi$ = faktor geser antara tanah dan dinding penahan tanah



Gambar 26. Pemeriksaan terhadap pergeseran