

**TUGAS AKHIR**

***PENGARUH SUDUT DATANG GELOMBANG TERHADAP DEFORMASI  
GELOMBANG PADA BANGUNAN OWEC BREAKWATER***

***THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCIDENCE OF WAVES ON THE  
DEFORMATION OF WAVES IN THE OWEC BREAKWATER BUILDING***

**MUH. AIDHIL AKBAR R  
D111 16 313**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**PENGARUH SUDUT DATANG GELOMBANG TERHADAP DEFORMASI  
GELOMBANG PADA BANGUNAN OWEC BREAKWATER**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUH. AIDHIL AKBAR R**

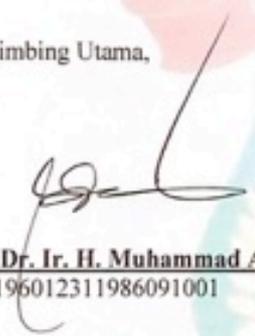
**D111 16 313**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 11 Mei 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsvad Thaha, MT  
NIP. 196012311986091001

  
Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST, MT  
NIP. 197305121999031002

Ketua Program Studi,

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



### PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini nama, Muh. Aidhil Akbar R , dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pengaruh Sudut Datang Gelombang Terhadap Deformasi Gelombang Pada Bangunan Owec Breakwater**" , adalah karya ilmiah dari penulis sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, ..... 2022

Yang membuat pernyataan



Muh. Aidhil Akbar R

NIM: D111 16 313

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH SUDUT DATANG GELOMBANG TERHADAP DEFORMASI GELOMBANG PADA BANGUNAN OWEC BREAKWATER”**, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Keairan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu dan bapak saya, yang tak hentinya memberikan kasih sayang, doa, motivasi, serta bantuan moral dan materi yang tak terhingga selama ini.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T selaku pembimbing I dan bapak Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, S.T M.T selaku pembimbing II atas saran dan masukan serta bimbingannya dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
5. Dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Sipil yang

telah memberikan segala ilmu pengetahuan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses perkuliahan.

6. Dian Auliah Daud yang selalu memberikan masukan-masukan dan arahan dalam pembuatan tugas akhir ini.

7. Patron 2017 terkhususnya R-02 , mega, tryas, gian yang membantu selama bimbingan.

8. Teman-teman Sipil angkatan 2016.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 11 November 2021

Penulis

## **ABSTRAK**

Bangunan Owec Breakwater merupakan salah satu inovasi yang dilakukan untuk melindungi pantai dan berkonsep sebagai energi konverter gelombang. Model ini bekerja dengan cara mengumpulkan air yang melimpas dari puncak bangunan melalui overtopping gelombang. Model Owec Breakwater ini akan dilakukan simulasi dengan beberapa variasi pada parameter gelombang dan model.

Tujuan dari penelitian ini adalah Menentukan rekayasa yang bisa dilakukan untuk mendapatkan tinggi gelombang pada ketiga titik sudut gelombang datang dan mengetahui solusi yang harus dibuat untuk memaksimalkan tinggi gelombang datang. Penelitian ini dilakukan di Kampus Unhas Gowa Fakultas Teknik tepatnya di laboratorium departemen teknik sipil dan departemen teknik kelautan dengan waktu pengambilan data selama 1 bulan dimulai dari 21 Agustus sampai dengan 9 September 2020.

Karakteristik gelombang yang terjadi pada ketiga sudut tersebut berbeda-beda. Hal itu dapat terjadi karena adanya gelombang refleksi yang dapat mengakibatkan perbedaan tinggi gelombang serta adanya perbedaan posisi pada penempatan probe dari model. Hal ini juga menunjukkan bahwa semakin besar periode gelombang, maka tinggi gelombang yang dihasilkan akan semakin besar juga. Pada simulasi model untuk penelitian ini terjadi deformasi gelombang yang cukup besar. Terdapat nilai fluktuasi yang berbeda-beda tiap sudut mengakibatkan adanya gelombang refleksi yang terjadi pada penelitian tersebut. Sehingga titik puncak maksimum berbeda pada tiap sudut.

Gelombang yang terjadi pada sudut  $67,5^\circ$  &  $45^\circ$  mengalami

kemiringan sehingga terjadinya difraksi atau pembelokan gelombang sedangkan pada sudut  $90^\circ$  tidak terjadi difraksi. Dari ketiga Gambar grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai persentase peningkatan tinggi gelombang terbesar berada pada sudut  $90^\circ$  dikarenakan gelombang yang terjadi dapat dipantulkan kembali. Bertemunya gelombang datang dan gelombang refleksi menyebabkan terjadinya standing wave sehingga tinggi gelombang dapat meningkat.

**Kata Kunci:** Gelombang, Owec Breakwater, Overtopping, Sudut

## ABSTRACT

The Owec Breakwater building is one of the innovations made to protect the coast and has a concept as a wave converter energy. This model works by collecting water that runs off the top of the building through the overtopping of the waves. This Owec Breakwater model will be simulated with several variations in the wave and model parameters.

The purpose of this research is to determine the engineering that can be done to get the wave height at the three angle points of the incident wave and find out the solution that must be made to maximize the height of the incident wave. This research was conducted at the Unhas Gowa Campus, Faculty of Engineering, precisely in the laboratory of the civil engineering department and the marine engineering department with a data collection time of 1 month starting from August 21 to September 9, 2020

The characteristics of the waves that occur at the three angles are different. This can occur because of the reflection wave which can result in differences in wave height and differences in the position of the probe placement from the model. This also shows that the larger the wave period, the higher the resulting wave height will be. In the model simulation for this research, a large wave deformation occurs. There are different fluctuation values for each angle resulting in a reflection wave that occurs in this study. So that the maximum vertex is different at each angle

Waves that occur at an angle of  $67.5^\circ$  &  $45^\circ$  experience a slope so that diffraction occurs or wave bends while at an angle of  $90^\circ$  there is no diffraction. From the three graphs it can be concluded that the percentage value of the largest increase in wave height is at an angle of  $90^\circ$  because the waves that occur can be reflected back. The meeting of the incident wave and the reflection wave causes a standing wave so that the wave height can increase.

**Keywords:** Wave, Owec Breakwater, Overtopping, Corner

## **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Yang bertanda tangan dibawah ini nama, Muh. Aidhil Akbar R , dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Pengaruh Sudut Datang Gelombang Terhadap Deformasi Gelombang Pada Bangunan Owec Breakwater”** , adalah karya ilmiah dari penulis sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, ..... 2022

Yang membuat pernyataan

Muh. Aidhil Akbar R

NIM: D111 16 313

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	
KATA PENGANTAR .....	2
ABSTRAK .....	4
ABSTRACT .....	5
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	7
DAFTAR ISI .....	8
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	
1.1 Latar Belakang .....	15
1.2 Rumusan Masalah .....	16
1.3 Tujuan Penelitian .....	16
1.4 Manfaat Penelitian .....	17
1.5 Batasan Masalah .....	17
1.6 Sistematika Penulisan .....	17
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	
2.1 TEORI GELOMBANG SEDERHANA .....	19
2.1.1 Beberapa Definisi Gelombang .....	19
2.1.2 Persamaan Gelombang .....	21
2.1.3 Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang .....	24
2.2 Deformasi Gelombang .....	28
2.2.1 Refraksi dan Wave Shoaling .....	31
2.2.2 Refleksi Gelombang .....	32
2.2.3 Gelombang Pecah .....	34
2.3 Shoaling .....	32

2.4 Overtopping Gelombang .....	35
2.5 Tipe Bangunan Breakwater .....	37
2.5.1 Breakwater Sisi Miring .....	38
2.5.2 Breakwater Sisi Tegak .....	39
2.5.3. Breakwater Gabungan .....	39
2.5.4 Material Penyusun Breakwater .....	40
2.6 Overtopping Wave Energy Converter (OWEC) .....	43

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Metodologi Penelitian .....	42
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	44
3.3 Rancangan Simulasi Tempat dan Waktu Penelitian .....	45
3.4 Bagan Alir Penelitian .....	46
3.5 Parameter Penelitian .....	47
3.6 Alat pengujian .....	47
3.7 Prosedur Penelitian .....	47

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Karakteristik Gelombang di Depan Model .....	50
4.1.1 Karakteristik Gelombang Sudut Dalang 90° .....	50
4.2 Perbandingan Tinggi Gelombang (H) di Depan Model .....	58
4.2.1 Tabel Hasil Simulasi Untuk Sudut Datang Gelombang 90° .....	59
4.2.2 Tabel Hasil Simulasi Untuk Sudut Datang Gelombang 45° .....	59
4.2.3 Tabel Hasil simulasi untuk sudut datang gelombang 67,5° .....	59
4.3 Hubungan Tinggi Gelombang Deformasi (H) dengan Kecuraman Gelombang ( $H_o/gT^2$ ) .....	59
4.4 Presentasi Kenaikan Tinggi Gelombang .....	69

**BAB V PENUTUP**

**A. KESIMPULAN .....72**

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang .....	20
Tabel 2. Koefisien Refleksi .....	32
Tabel 3 Rancangan Simulasi .....	45
<i>Tabel 4.2.1</i> : Hasil Simulasi Untuk Sudut Datang Gelombang $90^\circ$ .....	60
<i>Tabel 4.2.2</i> : Hasil Simulasi Untuk Sudut Datang Gelombang $67,5^\circ$ .....	60
<i>Tabel 4.2.3</i> : Hasil Simulasi Untuk Sudut Datang Gelombang $45^\circ$ .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi .....	20
Gambar 2. Penentuan Tinggi Gelombang Pecah .....	33
Gambar 3. Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah .....	34
Gambar 4. Skema Dari Proses Overtopping .....	35
Gambar 5. Pemecah Gelombang Sisi Miring .....	38
Gambar 6. Pemecah Gelombang sisi Tegak .....	39
Gambar 7. Pemecah Gelombang Blok Beton .....	40
Gambar 8. Pemecah Gelombang Caisson .....	41
Gambar 9. Pemecah Gelombang Papan Pancang .....	42
Gambar 10. Skema Dari Proses Overtopping .....	43
Gambar 11. Proses Pembuatan Kolam Untuk Model Owec Breakwater .....	46
Gambar 12. Diagram Alir Penelitian .....	49
Gambar 13. Penampang Simulasi Model CSP-MS .....	49
Gambar 14. Model Uji Penelitian Owec Breakwater .....	50
Gambar 15. Perbandingan Pola Gelombang Beda Sudut Model $90^\circ$ .....	52
Gambar 16. Perbandingan Pola Gelombang Sama Sudut Model $90^\circ$ .....	53
Gambar 17. Perbandingan Pola Gelombang Beda Sudut Model $67,5^\circ$ .....	54
Gambar 18. Perbandingan Pola Gelombang Sama Sudut Model $67,5^\circ$ .....	56
Gambar 19. Perbandingan Pola Gelombang Beda Untuk Sudut Model $45^\circ$ .....	57
Gambar 20. Perbandingan Pola Gelombang Sama Untuk Sudut Model $45^\circ$ .....	60
Gambar 21. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Probe Untuk $T=2$ dtk .....	61
Gambar 22. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Probe Untuk $T=2,3$ dtk .....	61
Gambar 23. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Probe Untuk $T=2,6$ dtk .....	63
Gambar 24. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Parameter Tak Berdimensi	

(Ho/gT2) Dititik Probe 1 Untuk Sudut 90°, 67,5°, 45° .....	64
Gambar 25. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Parameter Tak Berdimensi	
(Ho/gT2) Dititik Probe 2 Untuk Sudut 90°, 67,5°, 45° .....	65
Gambar 26. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Parameter Tak Berdimensi	
(Ho/gT2) Dititik Probe 3 Untuk Sudut 90°, 67,5°, 45° .....	66
Gambar 27. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Parameter Tak Berdimensi	
(Ho/gT2) Dititik Probe 4 Untuk Sudut 90°, 67,5°, 45° .....	67
Gambar 28. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Parameter Tak Berdimensi	
(Ho/gT2) Dititik Probe 5 Untuk Sudut 90°, 67,5°, 45° .....	68
Gambar 29. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Parameter Tak Berdimensi	
(Ho/gT2) Dititik Probe 6 Untuk Sudut 90°, 67,5°, 45° .....	69
Gambar 30. Grafik Hubungan Ho/gT2 Dengan % Tinggi Gelombang Pada Sudut 67,5°	
.....	70
Gambar 31. Grafik Hubungan Ho/gT2 Dengan % Tinggi Gelombang Pada Sudut 45°	
.....	71

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Rancangan Simulasi Model 30 SP-MS ..... 72

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia adalah negara maritim dengan luas laut terluas di Asia Tenggara, sehingga kami mencoba untuk mengupayakan akan adanya sumber energi terbarukan yang suatu saat dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai pengganti bahan bakar energi seperti batu bara dan minyak bumi yang akan semakin kritis. Saat ini di Indonesia pun tergolong dengan garis pantai yang terpanjang di Asia Tenggara dan disaat yang bersamaan pula Indonesia pun menjadi akan rawan terjadinya gelombang tinggi yang datang.

Gelombang laut dan pasang surut adalah gerakan air laut yang mengandung potensi energi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan, gelombang laut di sisi lain memiliki daya rusak apabila tidak dikendalikan dengan baik. Maka dari itu kami mengupayakan adanya sumber energi terbarukan yang dari gelombang yang datang dengan cara menangkap sumber gelombang tersebut dengan merubah paradigma masyarakat dari pemecah gelombang menjadi penangkap gelombang .

Selama ini alat yang kita kenal sebagai struktur/bangunan pemecah gelombang adalah breakwater, seawall, jetty dan lain-lain. ketika ombak datang menerjang alat pemecah gelombang maka ombak tersebut akan terbang sia-sia dan tidak menghasilkan apa-apa, maka dari itu dibentuknya sebuah inovasi dengan mengubah paradigma masyarakat agar gelombang tersebut akan ditangkap dan akan menghasilkan suatu energi terbaru yang dapat diterapkan di Indonesia.

Bangunan Owec Breakwater merupakan salah satu inovasi yang dilakukan

untuk melindungi pantai dan berkonsep sebagai energi konverter gelombang. Model ini bekerja dengan cara mengumpulkan air yang melimpas dari puncak bangunan melalui overtopping gelombang. Model Owec Breakwater ini akan dilakukan simulasi dengan beberapa variasi pada parameter gelombang dan model.

Adapun model alat yang dikembangkan oleh Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang nantinya dapat dijadikan sebagai sumber energi terbaru dapat diimplementasikan di Indonesia yaitu *CSP-MS*. Inovasi ini tidak menimbulkan adanya pembengkakan biaya karena inovasi ini hanya akan dicantolkan melalui desain model bangunan pelindung pantai dengan membuat penampung air laut pada tubuhnya sehingga jika pada tinggi alat telah terpenuhi oleh gelombang maka turbin yang ada terpasang pada alat akan memutar dan menghasilkan sumber energi listrik terbarukan

## **1.2. Rumusan Masalah Penelitian**

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah:

1. Bagaimana rekayasa yang bisa dilakukan untuk mendapatkan tinggi gelombang pada ketiga titik sudut gelombang datang
2. Solusi apa yang harus di buat untuk memaksimalkan tinggi gelombang deformasi yang terjadi di depan model.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan rekayasa yang bisa dilakukan untuk mendapatkan tinggi gelombang pada ketiga titik sudut gelombang datang

2. Mengetahui solusi yang harus dibuat untuk memaksimalkan tinggi gelombang datang.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan informasi masukan sebagai berikut :

1. Memberikan sumber energi terbaru yang efisien dengan nilai investasi yang bagus dan dapat menghasilkan energi listrik memadai serta memberikan dampak yang baik bagi masyarakat yang tinggal di daerah pesisir dan pulau-pulau kecil

#### **1.5. Batasan Masalah**

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkungannya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami. Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Rekayasa yang bisa dilakukan untuk mendapatkan tinggi gelombang pada ketiga titik sudut gelombang datang
2. Solusi yang harus di buat untuk memaksimalkan tinggi gelombang deformasi yang terjadi di depan model

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

### **BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

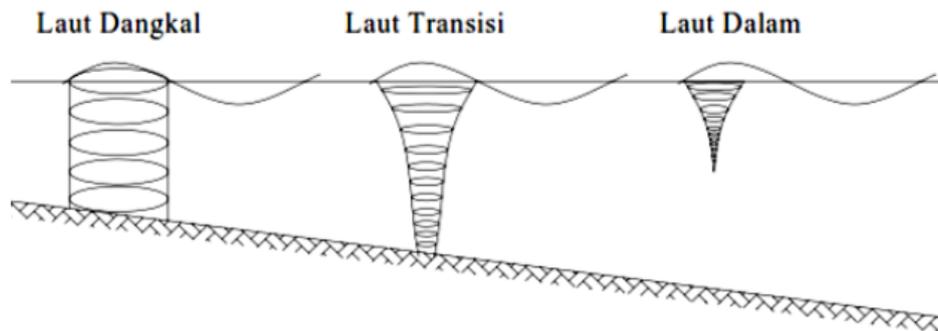
**BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN** Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. TEORI GELOMBANG SEDERHANA**

Gelombang di laut terbagi menjadi gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak (Triatmodjo, 1999). Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (wave generating area). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut sea, sedangkan gelombang yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut swell. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



**Gambar 1.** Gerak Partikel Air di Laut Dangkal,Transisi dan Dalam Sumber: Triatmodjo (1999)

Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam. Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu deep water(gelombang di laut dangkal), transitional water(gelombang laut transisi), shallow water(gelombang di laut dalam) (Nur Yuwono, 1982). Klasifikasi dari gelombang ditunjukkan sebagai berikut:

**Tabel 1** Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linear

<b>Klasifikasi</b>	<b>d/L</b>	<b><math>2\pi d/l</math></b>	<b><math>\text{Tan h } (2\pi d/L)</math></b>
Gelombang Laut Dalam	$> 1/2$	$> \pi$	$\approx 1$
Gelombang Laut Transisi	$1/25 \leq d/L < 1/2$	$\pi/4 \leq 2\pi d/l < \pi$	$\text{tan h } (2\pi d/l)$
Gelombang Laut Dangkal	$< 1/25$	$< \pi/4$	$\approx 2\pi d/l$

Sumber: Nur Yuwono (1982)

### 2.1.1 Beberapa Definisi Gelombang

Gambar 2.1 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah :

$d$  : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$  : fluktuasi muka air terhadap muka air diam

$\alpha$  : amplitude gelombang

$H$  : tinggi gelombang =  $2a$

$L$  : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$T$  : periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

$C$  : kecepatan rambat gelombang =  $L / T$

$K$  : angka gelombang =  $2\pi/L$

$\sigma$  : frekuensi gelombang =  $2\pi/T$

### 2.1.2 Persamaan Gelombang

Teori gelombang amplitude kecil dapat diturunkan dari persamaan kontinuitas untuk aliran tak rotasi (Persamaan Laplace) yaitu :

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

dengan :

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \text{ dan } v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad (2.2)$$

kondisi batas di dasar laut dari persamaan tersebut adalah kecepatan vertical nol.

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \text{ . di } y = -d \quad (2.3)$$

kondisi batas pada permukaan diperoleh dari persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2) + gy + \frac{p}{\rho} = 0 \quad (2.4)$$

dengan  $g$  adalah percepatan gravitasi,  $p$  adalah tekanan dan  $\rho$  adalah rapat massa zat cair.

Apabila persamaan tersebut dilinierkan, yaitu dengan mengabaikan  $u^2$  dan  $v^2$ , dan pada permukaan  $y = \eta$ , serta mengambil tekanan di permukaan adalah nol (tekanan atmosfer), maka persamaan Bernoulli menjadi :

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y = \eta} \quad (2.5)$$

Dengan anggapan bahwa gelombang adalah kecil terhadap kedalaman, maka kondisi batas di  $y = 0$  adalah kira-kira sama dengan di  $y = \eta$ . Dengan anggapan tersebut maka kondisi batas pada permukaan adalah :

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y=0} \quad (2.6)$$

Jadi persamaan yang diselesaikan adalah sebagai berikut ini.

1. Persamaan Laplace

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

2. Kondisi batas persamaan tersebut adalah :

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \quad \text{di } y = -d \quad (2.3)$$

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y=0} \quad (2.6)$$

Persamaan tersebut diselesaikan untuk mendapatkan nilai  $\varphi$ . Berdasarkan nilai  $\varphi$  yang diperoleh tersebut, sifat-sifat gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan rambat gelombang, kecepatan partikel, dan sebagainya dapat diturunkan. Penyelesaian persamaan diferensial tersebut memberikan hasil berikut ini.

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

dengan

$\varphi$  : Potensial kecepatan

$g$  : Percepatan gravitasi

$\sigma$  : Frekuensi gelombang

$k$  : Angka gelombang

$d$  : Kedalaman laut

$y$  : Jarak vertical suatu titik yang ditinjau terhadap muka air diam

$x$  : Jarak horizontal

$t$  : Waktu

### 2.1.3 Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang

Komponen vertical kecepatan partikel pada permukaan air  $v$  adalah  $v =$

$\partial\eta/\partial t$ , dimana  $\eta$  diberikan oleh persamaan (2.6), sehingga :  $v =$

$$\frac{\partial\eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( -\frac{1}{g} \frac{\partial\varphi}{\partial t} \right) = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}$$

Karena  $v = \partial\varphi/\partial y$ , maka persamaan tersebut dapat ditulis :

$$\frac{\partial\varphi}{\partial y} = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}$$

apabila nilai  $\varphi$  dari persamaan (2.7) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.9),

maka akhirnya didapat :

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \right] = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \right]$$

$$\frac{ag}{\sigma} k \frac{\sinh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) = -\frac{1}{g} \frac{ag}{\sigma} (-\sigma^2) \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

$$\frac{agk}{\sigma} \frac{\sinh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) = a\sigma \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

Untuk gelombang amplitude kecil, nilai  $y$  di permukaan adalah sama dengan di muka air diam, sehingga  $y = 0$ ; dan persamaan di atas menjadi :

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) \quad (2.10)$$

Oleh karena  $\sigma = kC$ , maka persamaan (2.10) menjadi :

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh(kd) \quad (2.11)$$

Jika nilai  $k = 2\pi/L$  didistribusikan ke dalam persamaan (2.11), didapat :

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh(kd) \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) menunjukkan laju penjalaran gelombang sebagai fungsi kedalaman air ( $d$ ) dan panjang gelombang ( $L$ ).

Jika nilai  $k = \frac{\sigma}{c} = \frac{(2\pi/T)}{c}$  disubstitusikan ke dalam persamaan (2.11),

akan didapat nilai  $C$  sebagai fungsi  $T$  dan  $d$ .

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.13)$$

Dengan memasukkan nilai  $k = 2\pi / L$  dan  $C = L / T$  ke dalam persamaan (2.12) akan diperoleh panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman.

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

Dengan menggunakan persamaan (2.14), jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dengan metode iterasi (cara coba banding) akan didapat panjang gelombang  $L$ . Penyelesaian persamaan (2.14) akan lebih sederhana apabila digunakan computer. Program 2.1 adalah contoh program computer untuk menghitung panjang gelombang dan cepat rambat gelombang. Selain dengan menggunakan program tersebut, tabel L-1 dalam lampiran 1 juga dapat digunakan untuk menghitung panjang gelombang. Cepat rambat gelombang dapat diperoleh dengan membagi panjang gelombang yang diperoleh dengan periode gelombang ( $C = L/T$ ).

### **Contoh 1.**

Gelombang dengan periode 10 detik terjadi di laut dengan kedalaman 30m. Hitung panjang dan cepat rambat gelombang. Hitung pula panjang dan cepat rambat gelombang pada kedalaman 5m.

### **Penyelesaian**

Panjang gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14) atau tabel L-1 dalam lampiran 1. Penyelesaian berdasar persamaan (2.14) dilakukan dengan membuat program komputer seperti terlihat dalam program 2.1, dan hasil hitungan ditunjukkan di bawahnya. Bahasa komputer

adalah Fortran dan menggunakan *software* WATFOR77.

Hitungan dilakukan dengan iterasi, dengan nilai awal adalah panjang gelombang di laut dalam (persamaan 2.17). Pada iterasi kedua, nilai  $L_r$  yang dimasukkan ke salam ruas kanan dari persamaan (2.14) adalah rerata dari pemisalan awal ( $L_0$ ) dan hasil iterasi pertama ( $L_1$ ). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat prosedur hitungan berikut ini.

$$\text{Nilai awal : } L_0 = 1,56 T^2 = 1,56 \times 10^2 = 156m$$

Untuk kedalaman  $d = 30$  m :

$$\text{Iterasi I : } L_1 = \frac{g \times 10^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi \times 30}{156} = 130,55m$$

$$\text{Iterasi II : } L_r = \frac{L_0 + L_1}{2} = \frac{156 + 130,55}{2} = 143,28m$$

$$L_2 = \frac{g \times 10^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi \times 30}{143,28} = 135,16m$$

Hasil hitungan menunjukkan bahwa untuk  $d = 30$  m, pada iterasi ke 8 sudah diperoleh hasil yang benar, sedang untuk  $d = 5$  m diperlukan 6 iterasi. Cepat rambat gelombang didapat dari membagi panjang gelombang dengan periode gelombang ( $C = L/T$ ).

## 2.2 DEFORMASI GELOMBANG

Gelombang merambat dari laut dalam ke laut dangkal. Selama perjalanan tersebut, gelombang mengalami perubahan-perubahan atau disebut deformasi gelombang. Deformasi gelombang dapat disebabkan karena variasi kedalaman air laut dan juga karena terdapatnya rintangan (pantai atau bangunan pantai). Apabila suatu gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah (Triatmodjo, 1999)

### 2.2.1. Refraksi dan Wave Shoaling

#### 1. Koefisien Refraksi

Refraksi terjadi dikarenakan gelombang datang membentuk sudut terhadap garis pantai. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah datang gelombang serta distribusi energi gelombang sepanjang pantai. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo). Refraksi dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang.

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)

Dimana pada hukum Snell berlaku apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau yaitu:

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

(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)

Dengan,

Kr = koefisien refraksi.

$\alpha$  = sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau.

$\alpha_0$  = sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai.

C = kecepatan rambat gelombang.

C<sub>0</sub> = kecepatan rambat gelombang di laut dalam.

## 2. *Wave Shoaling* (Pendangkalan Gelombang)

Wave shoaling terjadi dikarenakan adanya pengaruh perubahan kedalaman dasar laut. Wave shoaling mempunyai fungsi yang sama dengan refraksi gelombang yaitu untuk menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang.

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{n L}}$$

(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)

dengan,

$K_s$  = Koefisien Shoaling (pendangkalan)

$L$  = Panjang gelombang

$L_o$  = Panjang gelombang di laut dalam

### 3. Tinggi Gelombang Laut Dangkal

Tinggi gelombang di laut dangkal terjadi akibat pengaruh refraksi gelombang dan *wave shoaling* (pendangkalan gelombang), diberikan oleh rumus berikut:

$$H = K_s K_r H_o$$

(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)

Dengan,

$H_1$  = tinggi gelombang laut dangkal.

$K_s$  = koefisien shoaling (pendangkalan).

$K_r$  = koefisien Refraksi.

$H_o$  = tinggi gelombang laut dalam.

### 2.2.2 Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pelabuhan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan di dalam perairan. Untuk mendapatkan ketenangan di dalam perairan, maka bangunan-bangunan yang ada di pantai harus dapat menyerap atau menghancurkan energi gelombang. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari umpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif. Pada bangunan vertikal, halus dan dinding tidak permeabel, gelombang akan dipantulkan seluruhnya.

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi  $H_r$  dan tinggi gelombang datang  $H_i$  :

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.15)$$

*(Bambang Triatmodjo, Teknik Pantai 1999)*

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan disajikan dalam tabel berikut ini :

**Tabel 2** Koefisien Refleksi

Tipe bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan balok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang)	0,05 – 0,2

Perubahan tersebut ditandai dengan puncak gelombang semakin tajam sampai akhirnya pecah pada kedalaman tertentu.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringan, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh bentuk persamaan berikut ini (dalam buku Teknik Pantai Bambang Triatmodjo, 1999) :

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} = 0,142 \quad (2.16)$$

Kedalaman gelombang pecah diberi notasi *db* dan tinggi gelombang pecah *Hb*.

$$\frac{Hb}{H_o'} = \frac{1}{3,3 \left( \frac{H_o'}{L_o} \right)^{1/3}} \quad (2.17)$$

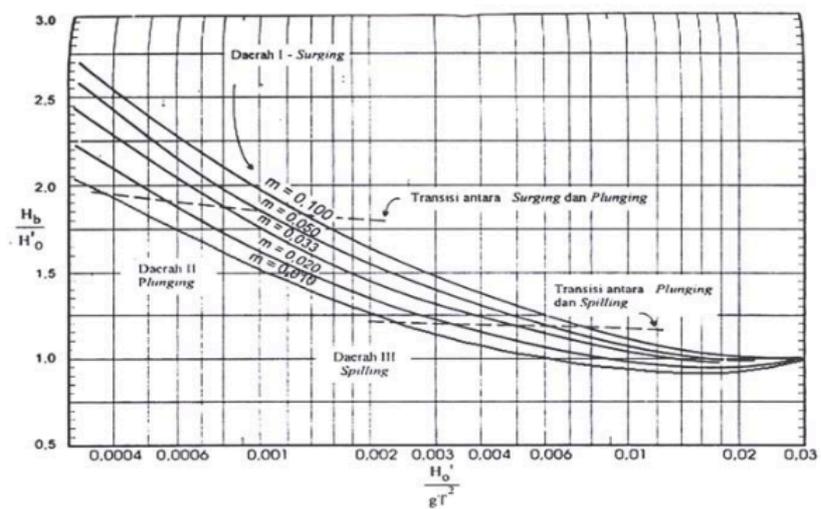
Parameter  $Hb/H_o'$  disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah. Pada Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara  $Hb/H_o'$  dan  $H_o'/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar laut. Sedangkan Gambar 2.5 menunjukkan hubungan antara  $db/Hb$  dan  $Hb/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar. Grafik dari Gambar 2.5 dapat ditulis dalam bentuk rumus sebagai berikut (dalam buku Teknik Pantai Bambang Triatmodjo, 1999) :

$$\frac{db}{hb} = \frac{1}{b - \left(\frac{aHb}{gT^2}\right)} \quad (2.18)$$

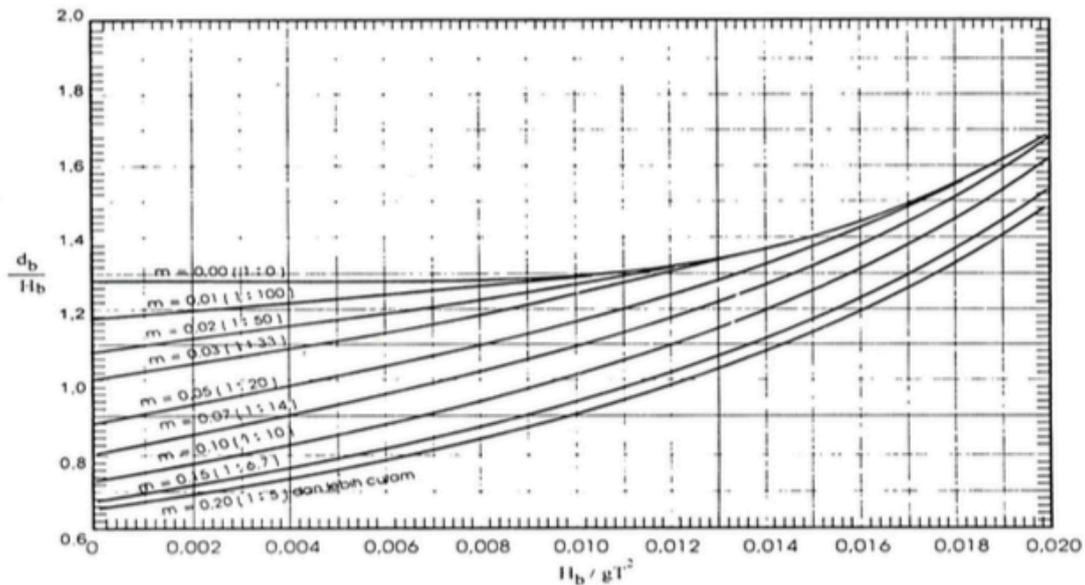
Dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan berikut (dalam buku Teknik Pantai Bambang Triatmodjo, 1999) :

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

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})}$$



**Gambar 2.** Penentuan tinggi gelombang pecah (Bambang Triatmodjo, Teknik Pantai 1999, hal 96)



**Gambar 3.** penentuan kedalaman gelombang pecah

### 2.3 SHOALING

Refraksi terjadi dikarenakan adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Refraksi dan pendangkalan gelombang (Wave Shoaling) dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. (Triatmodjo, 1999).

#### a) Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (wave shoaling), diberikan oleh rumus :

$$H = K_s x K_r x H_0 \quad (2.19)$$

dengan:  $H$  = Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi

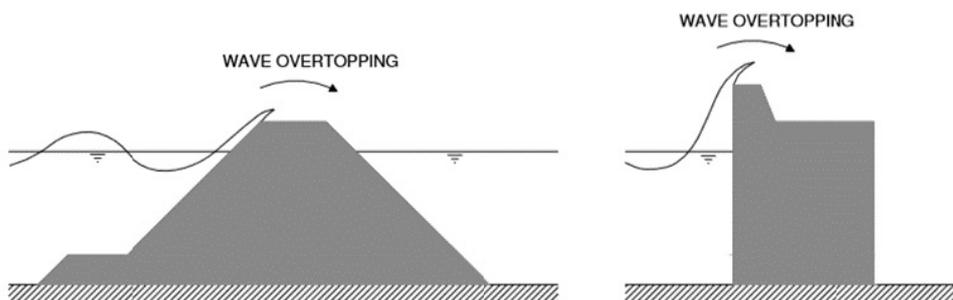
$H_0$  = Tinggi gelombang laut dalam (m)

$K_s$  = Koefisien pendangkalan (Shoaling)

$K_r$  = Koefisien refraksi

## 2.4. OVERTOPPING GELOMBANG

Limpasan gelombang (overtopping) terjadi ketika ketinggian puncak struktur pantai lebih rendah daripada level gelombang run-up potensial; gelombang yang merayap di permukaan lereng struktur mencapai dan melewati puncak struktur. Jika total ketinggian run-up melebihi ketinggian puncak, maka limpasan gelombang melalui struktur berpotensi terjadi signifikan. Overtopping gelombang adalah fungsi dari parameter hidrolis seperti tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, dan permukaan air serta fungsi dari parameter struktur seperti geometris, tata letak dan bahan sifat struktur. Adapun sketsa dan gambar mengenai overtopping gelombang dapat dilihat pada Gambar 4



**Gambar 4.** Skema dari proses overtopping (Brito, 2010)

Overtopping gelombang adalah proses yang sangat dinamis dan tidak

teratur. Proses ini dapat dicirikan oleh debit overtopping gelombang dan volume overtopping gelombang. Dalam realita, tidak ada debit konstan yang melimpas pada puncak struktur selama overtoping. Proses overtopping gelombang sangat acak dalam waktu, ruang, dan volume. Gelombang tertinggi akan mendorong volume besar air di atas puncak dalam periode waktu yang singkat, sedangkan gelombang yang lebih rendah mungkin tidak menghasilkan limpasan apa pun.

Pemodelan fisik umumnya digunakan untuk mengkaji overtopping gelombang dan mengembangkan rumus empiris untuk memprediksinya. Banyaknya parameter relevan yang mempengaruhi fenomena ini membuatnya sulit untuk mengembangkan pendekatan teoritis atau numerik yang mewakili sifat overtopping dengan baik. Sebaliknya, tes eksperimental adalah metode yang mapan dan andal untuk menentukan gelombang overtopping rata-rata untuk struktur pantai (EurOtop 2018).

Debit overtopping gelombang,  $q$ , adalah debit rata-rata per meter linier lebar dan memiliki satuan  $m^3/s$  per m atau  $l/s$  per m. Alasan untuk menggunakan debit overtopping rata-rata adalah bahwa parameter ini dapat dianggap stabil pada sekitar 1000 gelombang (Verhaeghe et al. 2008 in Jiménez, 2017). Sebaliknya, volume gelombang overtopping dapat dihitung untuk kondisi gelombang tertentu dan debit rata-rata  $q$ . Volume dinyatakan dalam  $m^3$  per gelombang per meter lebar. (A. Ildha Dwipuspita, 2018)

Secara umum, debit overtopping rata-rata diekspresikan oleh dua tipe formula dibawah, dimana a dan b adalah koefisien yang berubah berdasarkan geometry struktur. Q dan R adalah parameter tak berdimensi dari debit overtopping dan tinggi freeboard.

$$Q = a \exp(-bR)$$

$$Q = aR^{-b}$$

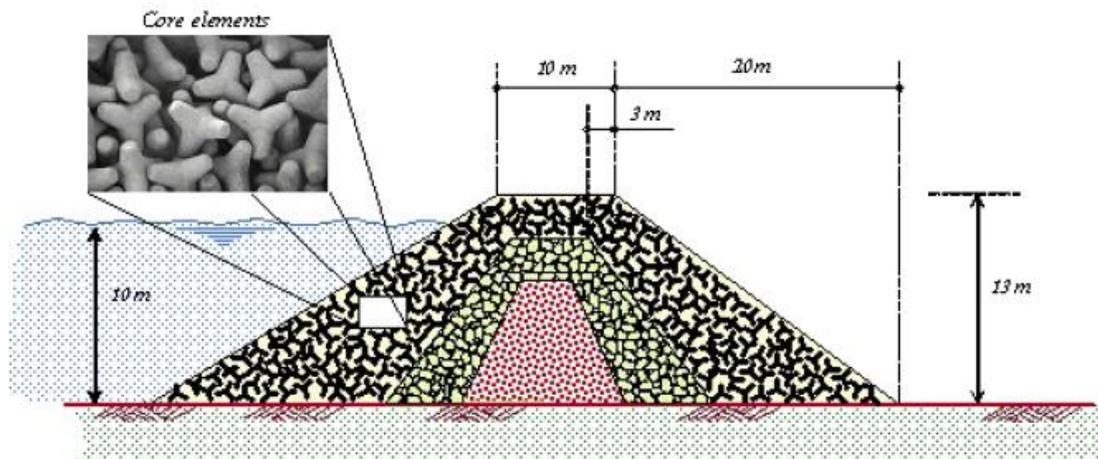
## **2.5. TIPE BANGUNAN BREAKWATER**

Pemecah gelombang (breakwater) adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut lepas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu dimana kapal keluar masuk melalui celah tersebut.

Breakwater atau dalam hal ini pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang dibangun sebagai salah satu bentuk perlindungan pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum sampai ke pantai, sehingga terjadi endapan dibelakang bangunan. Endapan ini dapat menghalangi transport sedimen sepanjang pantai. Bentuk/tipe pemecah gelombang berdasarkan tipe bangunannya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu Breakwater Sisi Miring, Breakwater Sisi Tegak, Breakwater Gabungan.

### 2.5.1 BREAKWATER SISI MIRING

Pada umumnya pemecah gelombang sisi miring dibuat dari tumpukan batuan alam yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar ataupun beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang ini lebih cocok digunakan pada kondisi tanah yang lunak dan tidak terlalu dalam.

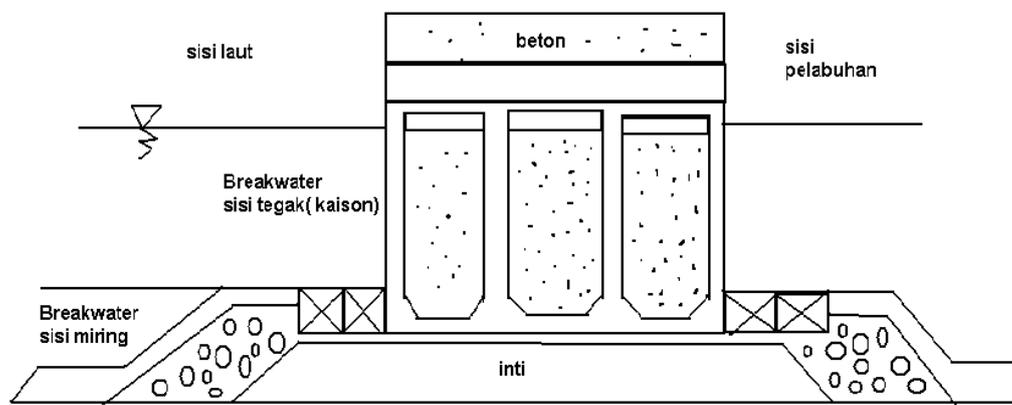


**Gambar 5.** Pemecah gelombang sisi miring

*Breakwater* sisi miring bersifat fleksibel karena jika serangan gelombang kerusakan yang terjadi tidak secara tiba-tiba, meskipun beberapa butiran longsor. Biasanya butir batu pemecah gelombang sisi miring disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin ke dalam ukurannya semakin kecil. Bentuk butir akan berpengaruh terhadap kaitan antara butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi tajam akan mengait satu sama lain dengan lebih baik sehingga stabil.

## 2.5.2 BREAKWATER SISI TEGAK

*Breakwater* tipe sisi tegak seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 biasanya ditempatkan di laut dengan kedalaman lebih dalam dengan tanah dasar keras. Karena dinding *breakwater* tegak, maka akan terjadi gelombang diam atau *klapotis* yaitu superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul.



**Gambar 6.** Pemecah Gelombang Sisi Tegak

## 2.5.3 BREAKWATER GABUNGAN

Pada pemecah gelombang gabungan konstruksi dikombinasikan antara pemecah gelombang sisi Tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang sisi miring. *Breakwater* campuran dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak.

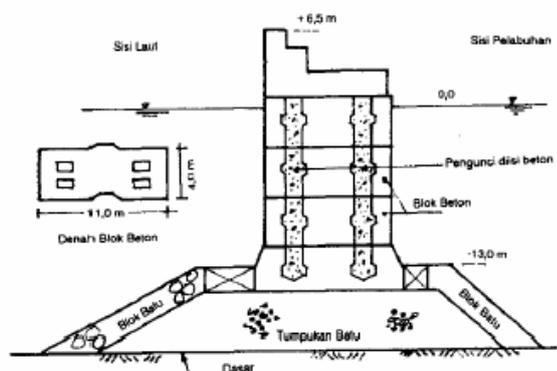
Adapun pertimbangan lebih lanjut mengenai perbandingan sisi tegak dengan tumpukan batunya. Pada dasarnya ada tiga macam yaitu:

- Tumpukan batu dibuat sampai setinggi air yang tertinggi, sedangkan bangunan sisi tegak hanya sebagai penutup bagian atas.
- Tumpukan batu setinggi air terendah sedang bangunan sisi tegak harus menahan air tertinggi.
- Tumpukan batu hanya merupakan tambahan pondasi dari bangunan sisi tegak.

## 2.5.4 MATERIAL PENYUSUN BREAKWATER

### 1. Blok beton

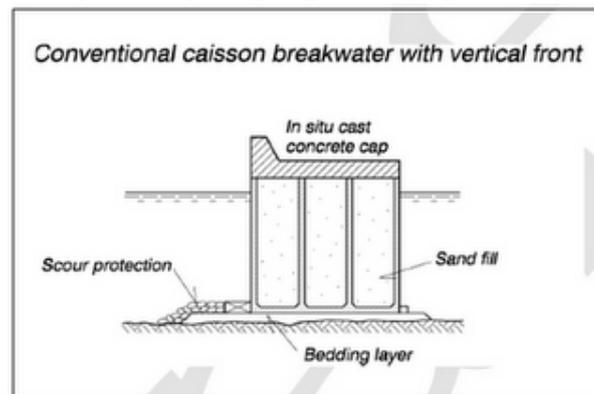
Dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal. Masing-masing blok dikunci dengan beton bertulang yang dicor di tempat setelah blok-blok tersebut disusun. Puncak pemecah gelombang dibuat dinding beton yang dicor ditempat. Fondasi terbuat dari tumpukan batu yang diberi lapis pelindung dari blok beton.



**Gambar 7.** Pemecah Gelombang Blok Beton

## 2. Kaison (*caisson*)

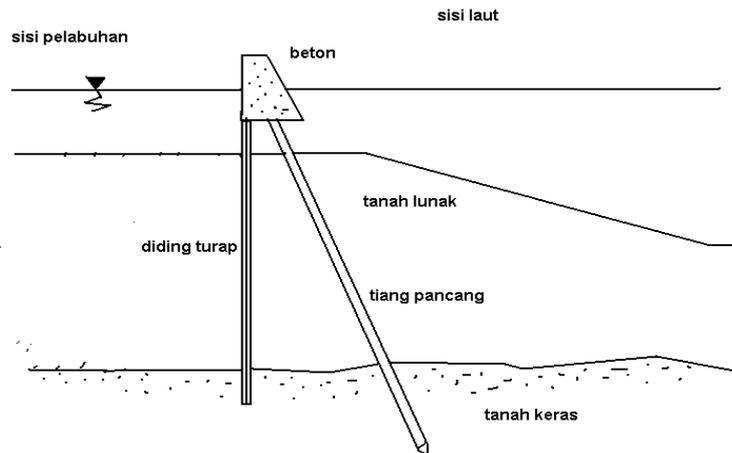
Pemecah gelombang ini dibuat di daratan dan kemudian dibawa ke lokasi yang telah ditentukan dengan ditarik oleh kapal. Pengangkutan ke lokasi dilakukan pada waktu air tenang. Setelah sampai ke lokasi kaison tersebut ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengisikan air ke dalamnya dan kemudian diisi dengan pasir. Bagian atasnya kemudian dibuat lantai dan dinding beton. Kaison dibuat seperti kotak dengan sisi bawah tertutup dan dengan dinding-dinding diafragma yang membagi kotak.



**Gambar 8.** Pemecah Gelombang Caisson

## 3. Sel papan pancang (*sheet pile cells*)

Pemecah gelombang ini terdiri dari turap beton dan tiang beton yang dipancang melalui tanah lunak sampai mencapai tanah keras. Bagian atas dari turap dan tiang tersebut dibuat blok beton. Pemecah gelombang ini dibuat apabila dasar laut terdiri dari tanah lunak yang sangat tebal, sehingga penggantian tanah lunak dengan pasir menjadi mahal.

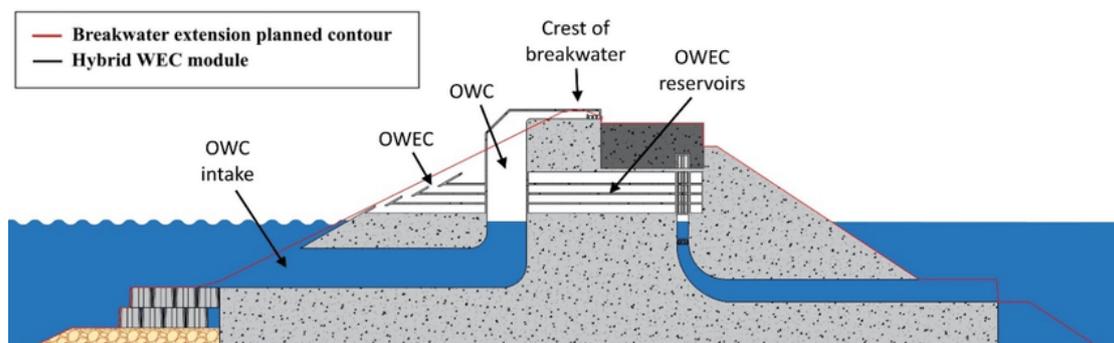


**Gambar 9.** Pemecah Gelombang Papan Pancang

## **2.6. OVERTOPPING WAVE ENERGY CONVERTER (OWEC) BREAKWATER**

OWEC (*overtopping wave energy converter*) *breakwater* adalah pelindung pantai yang sekaligus berkonsep konverter energi gelombang. Model pelindung pantai ini dilengkapi dengan reservoir pada bagian atas yang berfungsi untuk mengumpulkan air yang melimpas dari puncak bangunan melalui mekanisme *overtopping* gelombang. Besarnya debit *overtopping* dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah karakteristik gelombang, termasuk karakteristik gelombang pecah pada permukaan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelombang pecah (*breaker parameter*) pada OWEC *breakwater* dan pengaruhnya terhadap debit *overtopping* yang dihasilkan. Penelitian ini berupa uji eksperimental model fisik pada saluran gelombang di laboratorium. Gelombang yang dibangkitkan pada

saluran gelombang adalah gelombang regular. Model OWEC breakwater akan disimulasi dengan beberapa variasi pada parameter gelombang dan parameter model. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah didapatkan analisa pengaruh breaker parameter terhadap debit overtopping yang dihasilkan, yang selanjutnya dapat diketahui jenis breaker parameter yang dapat memberikan debit overtopping paling besar pada model OWEC breakwater. Overtopping gelombang merupakan suatu kondisi dimana ketika gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut terlebih dahulu akan naik (run-up) pada permukaan bangunan, dan kemudian akan melimpas melewati puncak bangunan tersebut yang disebut dengan overtopping



**10.** Skema dari proses Overtopping