

SKRIPSI

**KAJIAN PENGARUH LEBAR CELAH *HANGING BREAKWATER*
TERHADAP POLA GELOMBANG DI BELAKANG BANGUNAN**

Disusun dan diajukan oleh:



OLEH:

ZULFIKAR

D081 17 1010

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**“KAJIAN PENGARUH LEBAR CELAH *HANGING BREAKWATER*
TERHADAP POLA GELOMBANG DI BELAKANG BANGUNAN”**

Disusun dan diajukan oleh:


**ZULFIKAR
D081171010**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program Sarjana Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 10 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping.


Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST, MT
NIP. 197506052002121003
Sabaruddin Rahman, ST, MT, Ph.D
NIP.197607192001121001

Ketua Departemen Teknik Kelautan,


Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST, MT
NIP.197506052002121003

LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

**“KAJIAN PENGARUH LEBAR CELAH *HANGING BREAKWATER*
TERHADAP POLA GELOMBANG DI BELAKANG BANGUNAN”**

Disusun dan diajukan oleh:

**ZULFIKAR
D081171010**

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 10 Maret 2022

Di : Gowa

Dengan Panel Ujian Skripsi

1. Ketua : Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
2. Sekertaris : Sabaruddin Rahman, ST., MT.
3. Anggota 1 : Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST.MT.
4. Anggota 2 : Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST. MT.
Nip: 197506052002121003

PERNYATAAN KEASLIAN SKripsi

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zulfikar
NIM : D081171010
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi saya berjudul

“KAJIAN PENGARUH LEBAR CELAH *HANGING BREAKWATER* TERHADAP POLA GELOMBANG DI BELAKANG BANGUNAN”

Adalah skripsi yang saya tulis ini benar-benar hasil dan karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Maret 2022

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a 1000 Rupiah Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the word 'METERA'.

Zulfikar

ABSTRAK

Zulfikar, Kajian Pengaruh Lebar Celah *Hanging Breakwater* Terhadap Pola Gelombang di Belakang Bangunan (dibimbing oleh **Dr. Chairul Paotonan, ST.,MT.** dan **Sabaruddin Rahman, S.T.,M.T.,Ph.D**)

Breakwater adalah bangunan pemecah gelombang yang sangat efektif untuk digunakan sebagai pelindung perairan area pelabuhan karena dapat menghancurkan energi gelombang yang berasal dari laut dalam. Pemecah gelombang yang saat ini banyak digunakan adalah tipe tumpukan batu, baik batu alam maupun buatan. Kelemahan *breakwater* tipe tumbukan batu adalah dimensinya yang besar sehingga harga yang dikeluarkan juga sangat mahal. Oleh sebab itu diperlukan alternatif tipe pemecah gelombang baru yang dimensinya lebih kecil dan biaya pembangunannya menjadi lebih sedikit. Salah satu solusi yang dapat diaplikasikan adalah *Hanging Breakwater*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh parameter gelombang (H_i/gT^2) dan parameter struktur (B) terhadap gelombang transmisi dan untuk membandingkan tinggi gelombang berdasarkan eksperimen dengan tinggi gelombang yang dihitung menggunakan tabel dan grafik koefisien difraksi serta tinggi gelombang yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.19).

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Teknologi Kelautan Universitas Hasanuddin. Adapun parameter dalam penelitian ini dilakukan variasi tinggi gelombang sebanyak 6-7 variasi, periode gelombang (T) sebanyak 8 variasi, dan lebar celah (B) sebanyak 4 variasi.

Hasil dari penelitian ini adalah semakin besar nilai kecuraman H_i/gT^2 maka semakin kecil koefisien transmisi yang didapatkan dengan amplitudo inputan 1-7 cm, pengaruh tinggi gelombang terhadap koefisien transmisi dapat dilihat pada setiap probe yang berada di belakang bangunan yakni probe 3 dan 5 $H_i/gT^2 > 0,005 K_T$ nya menurun, probe 4 dan 7 $H_i/gT^2 > 0,01 K_T$ nya menurun, serta probe 6 dan 8 $H_i/gT^2 > 0,005 K_T$ nya menurun. Semakin kecil nilai kecuraman H_i/gT^2 maka semakin kecil koefisien transmisi dengan inputan periode 0,77, 0,83, 0,91, 1, 1,11, 1,25, 1,43 dan 1,67, pengaruh periode gelombang terhadap koefisien transmisi dapat dilihat pada setiap probe yang berada di belakang bangunan yakni probe 3 dan 5 $H_i/gT^2 > 0,005 K_T$ nya menurun, probe 4 dan 7 $H_i/gT^2 > 0,01 K_T$ nya menurun, serta probe 6 dan 8 $H_i/gT^2 > 0,005 K_T$ nya menurun. Pengaruh lebar celah terhadap koefisien transmisi dapat dilihat dengan perubahan lebar celah *hanging breakwater*, semakin besar lebar celah yang diberikan maka semakin besar pula nilai koefisien transmisi yang didapatkan terutama pada probe yang berada di antara lebar celah yakni probe 4 dan 7, sedangkan untuk $B=0$ m relatif nilai koefisien transmisinya sama. Pengaruh difraksi gelombang antara tinggi gelombang eksperimen dengan tinggi gelombang tabulasi dapat dilihat pada probe 3, 5, 6, dan 8 nilai $H_D < H_T$, probe 4 dan 7 nilai $H_D > H_T$. Hal ini dipengaruhi dari nilai K_D pada tabulasi berlaku pada pemecah gelombang tunggal bukan untuk pemecah gelombang yang memiliki celah seperti pada penelitian yang dilakukan, Pengaruh difraksi gelombang antara tinggi gelombang eksperimen dengan tinggi gelombang formula dapat dilihat pada $B=0.29$ m dan 0.87 m nilai $H_D < H_T$, sedangkan pada $B=1.45$ m nilai $H_D > H_T$, faktor yang mempengaruhi perbedaan tersebut adalah pada persamaan berlaku dengan $B \leq 1$, dan Pengaruh difraksi gelombang antara tinggi gelombang eksperimen dengan tinggi gelombang grafik dapat dilihat pada probe 3, 5, 6, dan 8 nilai $H_D < H_T$, sedangkan pada probe 4 dan 7 nilai $H_D > H_T$, karena pada probe tersebut nilai H_D yang digunakan adalah B/L yang mendekati 1.

Kata-kata Kunci: *Hanging breakwater*, koefisien refleksi, koefisien difraksi, *wave basin*

ABSTRACT

Zulfikar, Study of the Effect of Hanging Breakwater Gap Width on Wave Patterns Behind Buildings (guided by **Dr. Chairul Paotonan, ST.,MT. dan Sabaruddin Rahman, S.T.,M.T.,Ph.D**)

Breakwater is a very effective breakwater building to be used as a protection for the waters of the harbor area because it can destroy wave energy originating from the deep sea. The breakwater that is currently widely used is the type of stone pile, both natural and artificial stone. The weakness of the rock impact type breakwater is its large dimensions so that the price issued is also very expensive. Therefore, an alternative type of new breakwater is needed with smaller dimensions and less construction costs. The purpose of this study was to determine the effect of wave parameters (H_i/gT^2) and structural parameters (B) on the transmission wave and to compare the wave height based on experiments with the wave height calculated using tables and graphs of the diffraction coefficient and wave height calculated using Equation (2.19).

This research was conducted at the Marine Technology Research Laboratory, Hasanuddin University. The parameters in this study were made with 6-7 variations of wave height, 8 variations of wave period (T), and 4 variations of slit width (B).

The results of this study are the greater the steepness of H_i/gT^2 , the smaller the transmission coefficient obtained with an input amplitude of 1-7 cm, the effect of wave height on the transmission coefficient can be seen on each probe located behind the building, namely probes 3 and 5 $H_i/gT^2 > 0.005 K_T$ decreased, probes 4 and 7 $H_i/gT^2 > 0.01 K_T$ decreased, and probes 6 and 8 $H_i/gT^2 > 0.005 K_T$ decreased. The smaller the steepness of H_i/gT^2 , the smaller the transmission coefficient with input periods of 0.77, 0.83, 0.91, 1, 1.11, 1.25, 1.43 and 1.67, the effect of the wave period on the coefficient Transmission can be seen on each probe located behind the building, namely probes 3 and 5 $H_i/gT^2 > 0.005 K_T$ decreased, probes 4 and 7 $H_i/gT^2 > 0.01 K_T$ decreased, and probes 6 and 8 $H_i/gT^2 > 0.005 K_T$ decreased. The influence of the gap width on the transmission coefficient can be seen by changing the width of the hanging breakwater gap, the larger the gap width given, the greater the transmission coefficient value obtained, especially for probes that are between the gap widths, namely probes 4 and 7, while for $B=0$ m relatively the same transmission coefficient value. The effect of wave diffraction between experimental wave height and tabulated wave height can be seen on probes 3, 5, 6, and 8 for $H_D < H_T$, probe 4 and 7 for $H_D > H_T$. This is influenced by the K_D value in the tabulation applicable to a single breakwater not to a breakwater that has a gap as in the research conducted. The effect of wave diffraction between the experimental wave height and the formula wave height can be seen at $B=0.29$ m and 0.87 m $H_D < H_T$, while at $B=1.45$ m the value of $H_D > H_T$, the factors that influence the difference are the valid equation with $B \leq 1$, and the effect of wave diffraction between the experimental wave height and the graphic wave height can be seen on probes 3, 5, 6, and 8 $H_D < H_T$, while on probes 4 and 7 $H_D > H_T$ values, because on these probes the H_D value used is B/L which is close to 1.

Keywords: Hanging breakwater, reflection coefficient, diffraction coefficient, wave basin

KATA PENGANTAR



Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, pemilik segala kesempurnaan, memiliki segala ilmu dan kekuatan yang tak terbatas, yang telah memberikan penulis kekuatan, kesabaran, ketenangan, dan karunia selama ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Selawat dan salam tercurahkan kepada Rasulullah Nabi Muhammad SAW, Nabi pembawa cahaya ilmu pengetahuan yang terus berkembang hingga kita merasakan nikmatnya hidup zaman ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian mengenai **Kajian Pengaruh Lebar Celah *Hanging Breakwater* Terhadap Pola Gelombang di Belakang Bangunan** yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada penelitian ini, hambatan dan rintangan yang dihadapi merupakan proses yang menjadi kesan dan pendewasaan diri. Semua ini tentunya tidak lepas dengan adanya kemauan yang kuat dalam hati dan kedekatan kepada Allah SWT. Melalui kesempatan yang baik ini penulis menyampaikan ucapan khusus kepada penyemangat, pembimbing dan penyempurna segala perilaku semasa hidupku, kedua orang tua tercinta Ayahanda **Alm. Abd Kadir** dan Ibunda **Rosmiati** terimakasih telah menjadi orang tua yang sangat sabar dalam menghadapi semua keluh kesah penulis, serta telah memberikan dukungan, kasih sayang, perhatian dan doa yang tiada henti-hentinya bagi penulis terima kasih karena telah menjadi canda dan tawa, serta penguat bagi penulis, penulis tidak mampu melangkah sejauh ini tanpa bimbingan kedua orangtua tercinta. Untuk kakakku **Diah Sarita, Mona Sarita, Afandi, Amshari Zahlan, Muh Ardam** dan adikku **Rifka Sarita, Rifaldi** beserta keluarga besarku yang senantiasa mendukung dan memberi semangat selama ini semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia Nya kepada keluarga kita. Aamiin.

Terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya saya hantarkan kepada Bapak **Ashury, ST, MT.** selaku penasehat akademik yang juga telah menjadi pengganti orang tua dalam memberikan nasihat, arahan, dukungan, dan memberikan bimbingan selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga saya hantarkan kepada Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST, MT.** selaku pembimbing ketua yang telah memberikan arahan dan dukungan selama pengerjaan skripsi. Juga kepada pembimbing anggota Bapak **Sabaruddin Rahman, ST. MT. Ph.D.** yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing dan memberikan petunjuk yang sangat berharga dari awal persiapan penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST.MT.** dan Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST. MT.** selaku penguji yang telah memberikan pengetahuan baru dan masukan saran dan kritik yang sangat membangun.
2. **Dosen dan Staf Dosen** Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin.
3. **Seluruh Staf Administrasi** yang selalu membantu dalam urusan administrasi selama penyusunan skripsi ini.

Ucapan terima kasih dan limpahan kasih sayang melalui skripsi ini penulis sampaikan kepada mereka yang telah berperan serta dalam proses penelitian, penulisan hingga penyelesaian skripsi ini.

1. **Nurfika Ramli, S.Pi, Sry Nurmayana, Nur Adinda, Suryadil, S.Pd, Amin Muslihat, S.T** dan **Muh Farhan** terimakasih atas bantuan dan semangat yang telah diberikan selama ini.
2. Teman-teman **PERIZCOPE (2017)** terimakasih atas kebersamaan suka cita dan pengalaman yang sangat luar biasa selama penulis menempuh pendidikan.

3. Teman-teman **Teknik Kelautan (2017)** terimakasih atas kebersamaan suka cita dan pengalaman yang sangat luar biasa selama penulis menempuh pendidikan.
4. Teman-teman **MENDICA 3** terimakasih atas kebersamaan suka cita dan pengalaman yang sangat luar biasa selama penulis menempuh pendidikan.
5. Adik-adik **PAZZANGER, KORTNOZZLE dan ZTARBOARD (2019)** terima kasih atas suka cita yang sangat luar biasa selama penulis menempuh pendidikan.
6. Kanda-kanda **PLATFORM (2015)** terima kasih atas masukan dan sarannya selama penulis menempuh pendidikan.
7. Kepada orang-orang yang telah mendukung Penulis yang tidak sempat disebutkan namanya satu persatu, Penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Akhirnya penulis mengucapkan banyak terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan terutama kepada penulis.

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 22 Februari 2022



Zulfikar

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKIPSI	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Gelombang	5
2.1.1. Klasifikasi Gelombang.....	6
2.1.2. Teori Gelombang	8
2.1.3. Transformasi Gelombang.....	12
2.1.4. Transmisi Gelombang.....	13
2.1.5. Difraksi Gelombang.....	14
2.2. <i>Breakwater</i>	18
2.2.1. <i>Breakwater</i> Sisi Miring.....	20
2.2.2. <i>Breakwater</i> Sisi Tegak	22

2.2.3.	Breakwater Gabungan.....	24
2.3.	<i>Hanging Breakwater</i>	26
2.4.	Pemodelan Fisik.....	30
2.4.1	Sebangun Geometrik.....	31
2.4.2	Sebangun Kinematik.....	33
2.4.3	Sebangun Dinamik.....	33
3.1.	Lokasi Penelitian.....	35
3.2.	Jenis Data	35
3.3.	Skala Model	35
3.4.	Perancangan Model.....	36
3.5.	Pembuatan Model.....	37
3.6.	Metode Analisis Data.....	39
3.7.	Alur Pelaksanaan Simulasi.....	43
3.8.	Alur Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Pelaksanaan Pengujian	48
4.2	Kedalaman Air	49
4.3	Panjang Gelombang	49
4.4	Fluktuasi Muka Air	50
4.5	Tinggi Gelombang	51
4.6	Periode Gelombang.....	56
4.7	Lebar Celah Bangunan.....	60
4.7.1	Pengaruh Lebar Celah terhadap Koefisien Transmisi.....	60
4.7.2	Perbandingan Lebar Celah di Belakang Bangunan antara Eksprimen dengan Tabulasi, Formula, dan Grafik	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		72
5.1.	Kesimpulan	72
5.2.	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		74

LAMPIRAN 1

LAMPIRAN 2

LAMPIRAN 3

LAMPIRAN 4

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gerak Orbit Partikel Zat Cair di Laut Dangkal, Transisi dan Laut Dalam	8
Gambar 2. 2 Sketsa Definisi Parameter Gelombang.....	9
Gambar 2. 3 Gelombang Knoidal	12
Gambar 2. 4 Difraksi Gelombang Di Belakang Rintangan.....	14
Gambar 2. 5 Grafik Untuk B/L Mendekati 1	15
Gambar 2. 6 Ilustrasi Pelindung Breakwater pada Areal Pelabuhan	19
Gambar 2. 7 Potongan Melintang Breakwater Tipe Miring	20
Gambar 2. 8 Lapisan Pelindung Breakwater Tipe Sisi Miring	21
Gambar 2. 9 Breakwater Blok Beton	22
Gambar 2. 10 Potongan Melintang Breakwater Tipe Caisson.....	23
Gambar 2. 11 Sheet Pile Cells	24
Gambar 2. 12 Potongan Melintang Breakwater Tipe Gabungan	25
Gambar 2. 13 Breakwater Tipe Semburan Air dan Udara	25
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Tampak Atas 2d	36
Gambar 3. 3 Tampak Memanjang 2d.....	36
Gambar 3. 4 Tampak Melintang	37
Gambar 3. 5 Sketchup 3d.....	37
Gambar 3. 6 Pemotongan Tripleks Sesuai Ukuran	38
Gambar 3. 7 Menggabungkan Potongan Tripleks Menjadi Model Breakwater Yang Utuh	38
Gambar 3. 8 Pengecetan Model	38
Gambar 3. 9 Pemotongan Kaki Kemudian Menghubungkan Ke Model	39
Gambar 3. 10 Pembuatan Media Eksperimen Dan Pemasangan Model ke Tempat Eksperimen.....	39
Gambar 3. 11 Variasi B=0 m	40
Gambar 3. 12 Variasi B=0,29 m	40
Gambar 3. 13 Variasi B=0,87 m	41

Gambar 3. 14 Variasi $B=1,45$ m	41
Gambar 3. 15 Jarak Probe di Dalam Wave Basin.....	42
Gambar 3. 16 Flowchart Alur Simulasi	45
Gambar 3. 17 Flowchart Alur Penelitian	47
Gambar 4. 1 Posisi Hanging Breakwater di Dalam Kolam	48
Gambar 4. 2 Grafik Fluktasi Muka Air pada Software Hrdq.....	51
Gambar 4. 3 Grafik Pola Gelombang terhadap Tinggi Gelombang dengan Inputan Periode 0,83 Detik Pada Probe 3.....	53
Gambar 4. 4 Grafik Pola Gelombang terhadap Tinggi Gelombang dengan Inputan Periode 0,83 Detik Pada Probe 4.....	53
Gambar 4. 5 Grafik Pola Gelombang terhadap Tinggi Gelombang dengan Inputan Periode 0,83 Detik Pada Probe 5.....	54
Gambar 4. 6 Grafik Pola Gelombang terhadap Tinggi Gelombang dengan Inputan Periode 0,83 Detik Pada Probe 6.....	54
Gambar 4. 7 Grafik Pola Gelombang terhadap Tinggi Gelombang dengan Inputan Periode 0,83 Detik Pada Probe 7.....	54
Gambar 4. 8 Grafik Pola Gelombang terhadap Tinggi Gelombang dengan Inputan Periode 0,83 Detik Pada Probe 8.....	55
Gambar 4. 9 Grafik Pola Gelombang terhadap Priode dengan Inputan Tinggi Gelombang 4 cm Detik Pada Probe 3	57
Gambar 4. 10 Grafik Pola Gelombang terhadap Priode dengan Inputan Tinggi Gelombang 4 cm Detik Pada Probe 4	58
Gambar 4. 11 Grafik Pola Gelombang terhadap Priode dengan Inputan Tinggi Gelombang 4 cm Detik Pada Probe 5	58
Gambar 4. 12 Grafik Pola Gelombang terhadap Priode dengan Inputan Tinggi Gelombang 4 cm Detik Pada Probe 6	58
Gambar 4. 13 Grafik Pola Gelombang terhadap Priode dengan Inputan Tinggi Gelombang 4 cm Detik Pada Probe 7	59
Gambar 4. 14 Grafik Pola Gelombang terhadap Priode dengan Inputan Tinggi Gelombang 4 cm Detik Pada Probe 8	59

Gambar 4. 15 Grafik Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe yang Berada di Belakang Bangunan, Variasi Model $B=0$ m.....	61
Gambar 4. 16 Grafik Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe yang Berada di Belakang Bangunan, Variasi Model $B=0,29$ m.....	62
Gambar 4. 17 Grafik Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe yang Berada di Belakang Bangunan, Variasi Model $B=0,87$ m.....	62
Gambar 4. 18 Grafik Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe yang Berada di Belakang Bangunan, Variasi Model $B=1,45$ m.....	63
Gambar 4. 19 Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe yang Berada di Belakang Bangunan, Variasi Model $B=1,45$ m	63
Gambar 4. 20 Grafik Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe yang Berada di Belakang Bangunan, Gabungan 4 Parameter Struktur .	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Periode	6
Tabel 2. 2 Klasifikasi Gelombang Airy	7
Tabel 2. 3 Koefisien Difraksi Gelombang K,Dari Gelombang Datang dengan Sudut Θ ,Sebagai Fungsi R/L Dan B.....	15
Tabel 3. 1 Data running.....	42
Tabel 4. 1 Kordinat Dan Kedalaman pada Setiap Probe.....	49
Tabel 4. 2 Panjang Gelombang pada Masing-Masing Probe.....	50
Tabel 4. 3 Fluktuasi Muka Air pada Masing-Masing Probe.....	50
Tabel 4. 4 Tinggi Gelombang Masing-Masing Probe untuk Periode Inputan T=0,83 Detik	52
Tabel 4. 5 Koefisien Transmisi Gelombang pada Masing-Masing Probe untuk Periode Inputan T=0,83 Detik.....	52
Tabel 4. 6 Nilai Tinggi Gelombang pada Masing-Masing Probe untuk Tinggi Gelombang Inputan A=4 cm.....	56
Tabel 4. 7 Nilai Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe untuk Tinggi Gelombang Inputan A=4 cm.....	57
Tabel 4. 8 Nilai Tinggi Gelombang pada Masing-Masing Probe untuk Periode dan Amplitudo Inputan T=0,77 Detik, A=5 cm.....	60
Tabel 4. 9 Nilai Koefisien Transmisi pada Masing-Masing Probe untuk Periode dan Amplitudo Inputan T=0,77 Detik, A=5 cm.....	61
Tabel 4. 10 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Tabulasi untuk Model B=0,29 m.....	65
Tabel 4. 11 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Tabulasi untuk Model B=0,87 m.....	66
Tabel 4. 12 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Tabulasi untuk Model B=1,45 m.....	66
Tabel 4. 13 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Persamaan untuk Model B=0,29 m.....	68

Tabel 4. 14 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Persamaan untuk Model B=0,87 m.....	68
Tabel 4. 15 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Persamaan Untuk Model B=1,45 m.....	69
Tabel 4. 16 Perhitungan B/L pada Masing-Masing Probe.....	70
Tabel 4. 17 Perhitungan Tinggi Gelombang Eksperimen dengan Grafik Koefisien Transmisi serta Amplitudo dan Periode Inputan A=5 cm, T=0,77 Detik, dan B=0.87 m.....	71

DAFTAR NOTASI

<i>Simbol</i>	<i>Keterangan</i>	<i>Satuan</i>
H	: Tinggi Gelombang	m
T	: Periode Gelombang	s
D	: Kedalaman	m
B	: Lebar Celah	m
s	: Sarat Model	m
H_i	: Tinggi Gelombang Datang	m
H_t	: Tinggi Gelombang Transmisi	m
H_r	: Tinggi Gelombang Refleksi	m
K_t	: Koefisien Transmisi	
K_r	: Koefisien Refleksi	
H_0	: Tinggi Gelombang Laut Dalam	m
L	: Panjang Gelombang	m
L_0	: Panjang Gelombang Laut Dalam	m
k	: Bilangan Gelombang	
ω	: Frekuensi Sudut	H_2/rad
C	: Kecepatan Gelombang	m/s
C_0	: Kecepatan Gelombang Laut Dalam	m/s
u	: Kecepatan Partikel Air	m/s
g	: Percepatan Gravitasi	m/s^2
a	: Percepatan Partikel Air	m/s^2
nL	: Skala Panjang	m
nT	: Skala Waktu	s
K_D	: Koefisien Difraksi	
H_D	: Tinggi Gelombang Difraksi	m

DAFTAR LAMPIRAN

1. Grafik Fluktuasi Muka Air
2. Tinggi Gelombang
3. Periode Gelombang
4. Lebar Celah *Breakwater*

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki daerah pantai yang cukup panjang, sekitar 81,000 km dan berada pada urutan kedua di dunia setelah Kanada (Triatmodjo, 1999). Indonesia yang terdiri dari provinsi kepulauan yang relatif banyak sehingga diperlukan konektivitas antar pulau berupa pelabuhan laut. Sebagian besar pelabuhan laut ini didesain dengan pemecah gelombang (*breakwater*).

Breakwater adalah bangunan pemecah gelombang yang sangat efektif untuk digunakan sebagai pelindung perairan area pelabuhan karena dapat menghancurkan energi gelombang yang berasal dari laut dalam. Adapun jenis pemecah gelombang yang banyak diaplikasikan saat ini adalah tipe pemecah gelombang konvensional seperti tipe *rubblemound*. Akan tetapi kelemahan dari tipe pemecah gelombang ini adalah dimensinya yang besar jika dipakai di kedalaman lebih dari sepuluh feet sehingga membutuhkan biaya yang mahal, selain itu material yang dibutuhkan seperti batu alam sebagai bahan struktur semakin sulit untuk ditemui. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alternatif tipe pemecah gelombang baru yang lebih efisien dan murah. Salah satu tipe pemecah gelombang yang dapat dikembangkan adalah pemecah gelombang tipe *hanging breakwater*.

Efektivitas dari struktur pemecah gelombang dalam melindungi daerah perairan pantai dan pelabuhan dapat dilihat dari seberapa besar energi gelombang yang dapat diredam oleh bangunan tersebut. Dalam penelitian ini kinerja penahan gelombang akan dilihat dari besar nilai transmisi gelombang (K_T) dan besar nilai difraksi gelombang K_D .

Adapun nilai transmisi gelombang K_T yaitu perbandingan antara gelombang yang melewati *hanging breakwater* terhadap gelombang datang. Tinggi dan periode gelombang yang dikenakan pada model dijadikan variabel yang ikut menentukan besarnya koefisien transmisi gelombang (Murali & Mani, 1997). Dimana semakin rendah nilai K_T semakin baik kinerja penahan gelombang tersebut (Armono, 2004). Sedangkan nilai refleksi gelombang K_R yaitu perbandingan antara tinggi

gelombang yang berhasil terefleksikan terhadap tinggi gelombang datang. Besar kemampuan suatu bangunan dalam memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi.

Kedua parameter di atas menjadi sangat penting dalam perencanaan *hanging breakwater*. Oleh karena itu, dipandang perlu untuk melakukan kajian-kajian terkait dengan pengaruh gelombang melalui struktur *hanging*. Salah satu tipe pemecah gelombang yang dapat dikembangkan untuk mengatasi biaya pembangunan pemecah gelombang yang relatif mahal adalah pemecah gelombang *hanging breakwater*. Permasalahannya hingga saat ini adalah kinerja pemecah gelombang ini dalam meredam gelombang untuk melindungi pelabuhan belum diketahui. Oleh sebab itu, dalam proposal penelitian ini direncanakan untuk melakukan penelitian tentang “KAJIAN PENGARUH LEBAR CELAH HANGING BREAKWATER TERHADAP POLA GELOMBANG DI BELAKANG BANGUNAN”

1.2. Rumusan Masalah

Besarnya tinggi gelombang di dalam kolam pelabuhan merupakan permasalahan serius karena dapat mengganggu proses bongkar muat barang dan penumpang sehingga bisa menimbulkan kerugian materi bahkan ancaman keselamatan jiwa manusia. Oleh sebab itu, untuk pelabuhan yang relatif terbuka ke laut lepas harus dilindungi dengan pemecah gelombang. Tipe pemecah gelombang yang potensial untuk dikembangkan adalah pemecah gelombang *hanging breakwater*. Kajian kinerja pemecah gelombang ini pada tinjauan dua (2) dimensi dan melaporkan bahwa parameter gelombang dan struktur *hanging breakwater* berpengaruh dalam peredaman gelombang. Permasalahannya adalah kinerja pemecah gelombang dalam tinjauan tiga (3) dimensi di kolam pelabuhan belum diketahui. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini yang menjadi permasalahan penelitian yang harus dikaji adalah :

1. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang dan periode gelombang terhadap pola penjalaran gelombang di belakang bangunan pada *hanging breakwater*?

2. Bagaimana pengaruh lebar celah terhadap pola penjalaran gelombang melalui *hanging breakwater*?
3. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang berdasarkan eksperimen dengan tinggi gelombang yang dihitung menggunakan tabel dan grafik koefisien difraksi, serta tinggi gelombang yang dihitung dengan Persamaan Robert G Dean?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh tinggi gelombang dan periode gelombang terhadap pola penjalaran gelombang pada *hanging breakwater*;
2. Untuk mengetahui pengaruh lebar celah terhadap pola penjalaran gelombang melalui *hanging breakwater*; dan
3. Untuk membandingkan tinggi gelombang berdasarkan eksperimen dengan tinggi gelombang yang dihitung menggunakan tabel dan grafik koefisien difraksi, serta tinggi gelombang yang dihitung dengan Persamaan Robert G Dean.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain *hanging breakwater* sebagai pemecah gelombang inovatif dan dapat dijadikan landasan berpijak untuk penelitian lanjutan yang relevan.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian tetap dalam lingkup kajian yang telah ditentukan maka batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sarat struktur tidak divariasikan;
2. Lebar struktur pada arah penjalaran gelombang tidak divariasikan;
3. Arah datang gelombang tegak lurus struktur;
4. Kajian kekuatan dan stabilitas struktur tidak dilakukan;
5. Kekuatan material/bahan konstruksi tidak dikaji; dan
6. Tidak memperhitungkan pasang surut

1.6. Sistematika Penulisan

Guna memudahkan penyusunan skripsi serta untuk memudahkan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun berpedoman pada pola sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan konsep penyusunan penelitian yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisikan teori-teori yang mendukung dan relevan dengan penelitian. Teori tersebut dapat berupa penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti Jurnal, Tugas Akhir, Tesis, dan Literatur lain yang relevan dengan topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan langkah-langkah atau kegiatan dalam pelaksanaan penelitian yang mencerminkan alur berpikir dari awal pembuatan penelitian sampai selesai dan pengumpulan data-data yang menunjang pengerjaannya.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil-hasil analisis dan data-data penjalaran gelombang pada penempatan probe berdasarkan lebar celah gelombang yang sudah divariasikan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hasil analisis dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut 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, dan sebagainya

Di antara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin (untuk selanjutnya disebut gelombang) dan pasang surut. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Gelombang merupakan faktor utama di dalam penentuan tata letak (layout) pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya. Oleh karena itu yang seorang ahli teknik pantai harus memahami dengan baik karakteristik dan perilaku gelombang baik di laut dalam, selama penjarannya menuju pantai maupun di daerah pantai, dan pengaruhnya terhadap bangunan pantai.

Pasang surut juga merupakan faktor penting karena bisa menimbulkan arus yang kuat terutama di daerah yang sempit, misalkan di teluk, dan sungai. Selain itu elevasi muka air pasang dan air surut juga sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pantai. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan bangunan pantai ditentukan oleh muka air pasang untuk mengurangi limpasan air, sementara kedalaman alur pelayaran dan perairan pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Gelombang besar yang datang pada saat air pasang bisa menyebabkan kerusakan pantai sampai jauh ke daratan.

Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak (suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode berbeda). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam.

2.1.1. Klasifikasi Gelombang

Gelombang di permukaan laut dapat diklasifikasikan berdasarkan periode dan kedalaman relatif seperti yang diuraikan berikut ini;

1. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Periode

Diantara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin (untuk selanjutnya disebut gelombang) dan gelombang pasang surut. Gelombang adalah salah satu bentuk energi yang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Gelombang merupakan faktor utama di dalam penentuan tata letak (*layout*) pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya. Oleh karena itu seorang ahli teknik pantai harus memahami dengan baik karakteristik dan perilaku gelombang baik di laut dalam maupun laut dangkal, selama penjalarnya menuju pantai maupun di daerah pantai, dan pengaruhnya terhadap bangunan pantai.

Tabel 2. 1 Klasifikasi gelombang berdasarkan periode

Periode (T)	Tipe Gelombang	Kenampakan Umum
< 1 detik	<i>Capillary Waves</i>	<i>Ripple, riak</i>
~ 1 detik	<i>Wind waves (chop)</i>	Gelombang
~10 detik	<i>Swell</i>	<i>Breaker, Alun</i>
Menit	<i>Seiches</i>	Gelombang Pelabuhan
Jam	<i>Tidal Waves</i>	Pasang Surut

Sumber data: Beer, (1997)

2. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Kedalaman Relatif

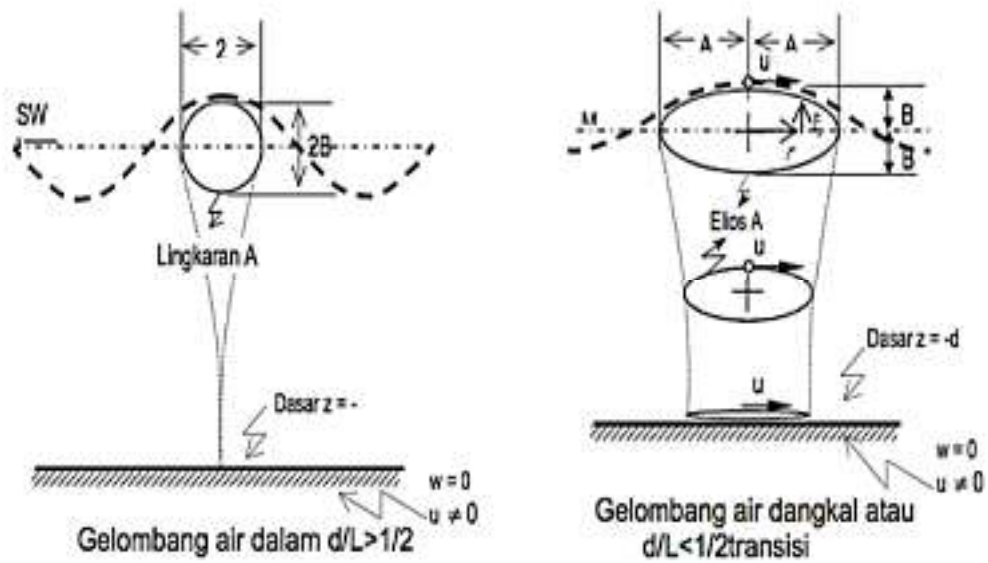
Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 2 Klasifikasi gelombang airy

Keterangan	Gelombang di laut dangkal	Gelombang di laut transmisi	Gelombang di laut dalam
d/L	$d/L \geq 1/2$	$1/20 < d/L < 1/2$	$d/L \leq 1/20$
$Tanh(2\pi d/L)$	$\approx 2\pi d/L$	$Tanh(2\pi d/L)$	≈ 1
Cepat rambat gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T^2$

Sumber data: Yuwono, (1982)

Dalam gelombang terdapat partikel-partikel air yang berubah selama penjalaran gelombang dari laut dalam sampai laut dangkal. Bentuk partikel yang terdapat dalam gelombang yang bergerak menuju laut dangkal Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan laut dalam
(Triatmodjo, 1999)

Klasifikasi ini dilakukan untuk menyederhanakan rumus-rumus gelombang. Apabila kedalaman relatif $d/L \geq 1/2$, nilai $\tanh(\pi d/L) = 1,0$ sehingga Persamaan C dan L (dengan nilai $g = 9,81 \text{ m/s}^2$) menjadi:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56 T \tag{2.1}$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56 T^2 \tag{2.2}$$

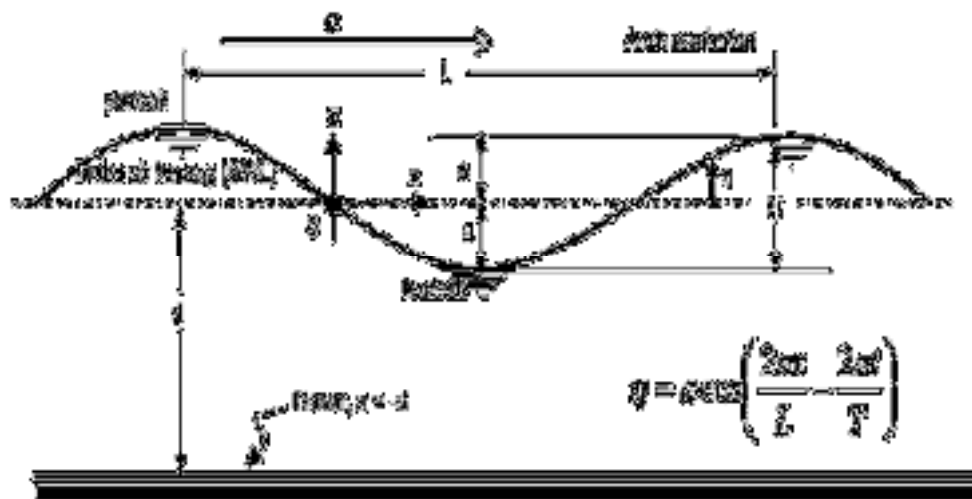
2.1.2. Teori Gelombang

Ada beberapa dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori Airy, Stokes, dan Knoidal. Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda, seperti yang dijelaskan dibawah ini;

2.1.2.1 Teori Gelombang airy

Teori gelombang Airy (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tidak terotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat masa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya coriolis (akibat perputaran bumi di abaikan).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak terotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.



Gambar 2. 2 Sketsa definisi parameter gelombang (Yuwono, 1982)

Gambar di atas menunjukkan menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Gelombang menjalar pada sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan di dalam perhitungan Gelombang Airy adalah:

- h : Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(x,t)$: Fluktuasi muka air terhadap muka air diam = $\eta = a \cos(kx - \sigma t)$
- a : Amplitudo 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 = $2\pi / L$
- σ : Frekuensi gelombang = $2\pi / T$
- g : Gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$

2.1.2.2 Teori Gelombang Stokes

Dalam teori gelombang linear fluktuasi muka air hanya diberikan untuk orde pertama. Untuk gelombang amplitudo berhingga harus diperhitungkan besaran-besaran yang berorde lebih tinggi, yang mempunyai bentuk umum. Stokes mengembangkan teori orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tetapi berhingga. Beberapa karakteristik gelombang Stokes diberikan berikut ini;

1. Panjang dan kecepatan rambat gelombang

Hubungan cepat rambat gelombang dengan panjang gelombang dan kedalaman adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2.3)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2.4)$$

2. Fluktuasi muka air

Persamaan fluktuasi muka air untuk teori orde kedua diberikan oleh bentuk berikut;

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh kd}{\sinh^3 kd} (2 + \cosh 2kd) \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.5)$$

Untuk laut dalam, ($d/L > 0.5$) persamaan diatas menjadi;

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_0} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{\pi H_0^2}{4L_0} \cos\left(\frac{4\pi x}{L_0} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.6)$$

3. Kecepatan partikel

Komponen kecepatan partikel dalam arah x dan y mempunyai bentuk berikut;

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sin kd} \cos(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sin^4 kd} \sin 2(kx - \sigma t) \quad (2.7)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sin kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sin^4 kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.8)$$

2.1.2.3 Teori Gelombang Knoidal

Teori gelombang amplitudo berhingga dari stokes berlaku apabila perbandingan antara kedalaman dan panjang gelombang d/L adalah lebih besar dari sekitar $1/8-1/10$. Untuk gelombang panjang dengan amplitudo berhingga di laut dangkal lebih sesuai apabila digunakan teori gelombang knoidal. Gelombang knoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang. Teori ini berlaku apabila $d/L < 1/8$ dan parameter ursell $Ur > 26$. Parameter ursell didefinisikan sebagai $Ur = HL^2/d^3$.

Gambar 2.3 menunjukkan beberapa parameter gelombang knoidal. Karakteristik gelombang dinyatakan dalam bentuk parameter yang merupakan fungsi dari k . Parameter k tidak mempunyai arti fisik, dan hanya digunakan untuk menyatakan hubungan antara berbagai parameter gelombang. Ordinat dari permukaan air y_s diukur terhadap dasar diberikan oleh;

$$Y_s = y_t + Hcn^2 \left\{ 2K(k) \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), k \right\} \quad (2.9)$$

Dengan;

Y_t : jarak dari dasar ke lembah gelombang

cn : fungsi cosinus elips

$K(k)$: integral elips

K : modulus dari integral elips

Nilai k berkisar antara 0 dan 1. Apabila $k=0$, profil muka air menjadi sinusoidal seperti pada teori gelombang Airy, sedangkan jika $k=1$ profil gelombang menjadi profil gelombang tunggal.

Jarak dari dasar ke lembah gelombang yt , adalah;

$$\frac{yt - yc}{d} - \frac{H}{d} - \frac{16d^2}{3L^2} K(k) [K(k) - E(k)] + 1 - \frac{H}{d} \quad (2.10)$$

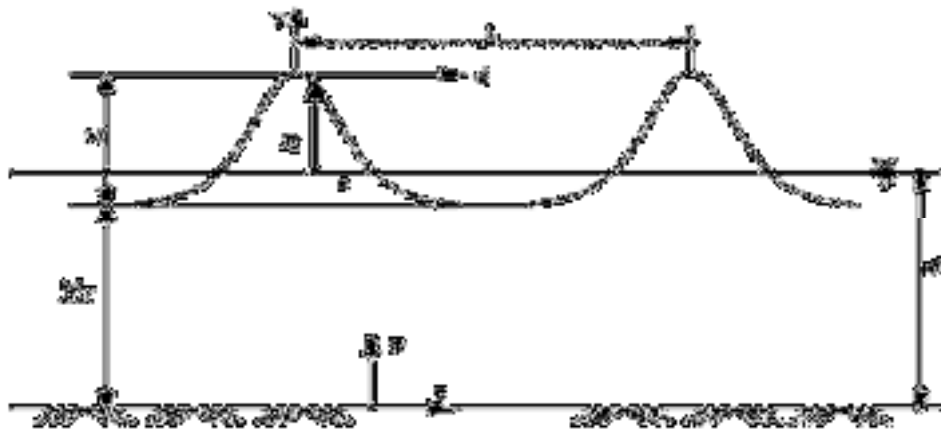
Dengan yc adalah jarak dari dasar ke puncak gelombang.

Panjang gelombang diberikan oleh:

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} kK(k) \quad (2.11)$$

Periode gelombang:

$$T = \sqrt{\frac{g}{d}} L = \sqrt{\frac{16yt}{3H}} \frac{d}{yt} \left[\frac{kK(k)}{1 + \frac{H}{ytK^2} \left(\frac{1}{2} - \frac{E(k)}{K(k)} \right)} \right] \quad (2.12)$$



Gambar 2. 3 Gelombang knoidal (Triatmodjo, 1999)

2.1.3. Transformasi Gelombang

Gelombang yang menjalar dari laut lepas memasuki perairan pantai akan mengalami transformasi (Nining, 2002) yaitu:

1. Kecepatan gelombang akan berkurang karena pengaruh gesekan dasar.
2. Panjang gelombang menjadi pendek.
3. Gelombang akan mengalami pembelokan arah penjalaran atau gelombang mengalami refraksi. Refraksi gelombang terjadi karena perubahan kecepatan gelombang ketika memasuki perairan pantai.
4. Bila gelombang membentur ujung dari pemecah gelombang (*break water*) atau bangunan pantai lainnya, maka akan terjadi difraksi gelombang.

5. Bila gelombang membentur suatu dinding penghalang, akan terjadi pemantulan gelombang (refraksi gelombang).
6. Tinggi gelombang akan membesar sebelum ia pecah.

2.1.4. Transmisi Gelombang

Transmisi gelombang merupakan sisa energi gelombang setelah melewati struktur penahan gelombang Cerc, (1984). Parameternya dinyatakan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang yang ditransmisikan (H_t) dengan tinggi gelombang datang (H_i). Semakin kecil reduksi gelombang yang dihasilkan maka makin besar koefisien transmisi yang terjadi.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (2.13)$$

Dimana

H_i = tinggi gelombang datang (*incident wave*)

H_t = tinggi gelombang transmisi

Dengan ini,

$$H_i = \left[\frac{H_{max} + H_{min}}{2} \right] \text{depan} \quad (2.14)$$

$$H_t = \left[\frac{H_{max} + H_{min}}{2} \right] \text{belakang} \quad (2.15)$$

Koefisien transmisi adalah perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang. Dimana energi transmisi merupakan akar fungsi perbandingan energi gelombang spektral transmisi dengan energi gelombang spektral yang datang. Semakin kecil reduksi gelombang yang dihasilkan maka makin besar koefisien transmisinya (Beer, 1997).

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \quad (2.16)$$

dimana,

E_i = energi gelombang datang (*incident wave*)

E_t = energi gelombang transmisi

2.1.5. Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang terjadi bila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya. Difraksi terjadi apabila tinggi gelombang di suatu titik pada garis puncak gelombang lebih besar daripada titik di dekatnya, yang menyebabkan perpindahan energi sepanjang puncak gelombang ke arah tinggi gelombang yang lebih kecil. Difraksi terjadi apabila suatu deret gelombang terhalang oleh rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau.



Gambar 2. 4 Difraksi gelombang di belakang rintangan (Triatmodjo, 1999)

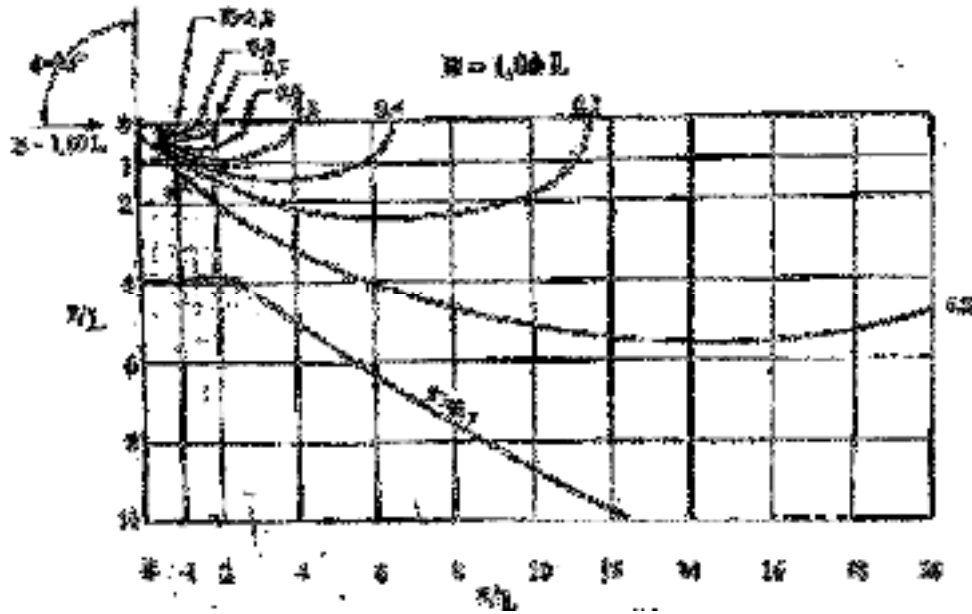
Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antara rintangan dan garis-garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan θ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' .

$$H_A = K' H_p \quad (2.17)$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \quad (2.18)$$

Dengan, A adalah titik yang ditinjau di belakang rintangan dan P adalah ujung pemecah gelombang. Nilai K' untuk α , β dan r/L tertentu diberikan dalam tabel

koefisien difraksi gelombang K' , dari gelombang datang dengan sudut θ , sebagai fungsi r/L dan β (Basic Coastal Engineering, R.M. Sorensen).



Gambar 2. 5 Grafik untuk B/L mendekati 1 (Weigel, 1960)

Gelombang merambat melalui celah pemecah gelombang yang lebih sempit dari satu panjang gelombang. Untuk kasus ini, gelombang merambat dari sumber titik dan sesuai dengan hubungan konservasi energi kapal; ketinggian gelombang berkurang sebagai r , dengan jarak r dari pusat celah. Ekspresi untuk tinggi gelombang relatif sebagai fungsi dari r untuk lokasi tidak terlalu dekat celah. Adapun persamaan untuk bangunan yang memiliki celah pada buku Robert G Dean volume 2 dapat dilihat di bawah ini:

$$\frac{H(r)}{H_0} = \frac{\pi \sqrt{\frac{b}{\pi r}}}{2 \sqrt{kb \left[\left(\frac{\ln kb}{8} + \gamma \right)^2 + \frac{\pi^2}{4} \right]}} \quad (2.19)$$

Tabel 2. 3 Koefisien difraksi gelombang K , dari gelombang datang dengan sudut θ , sebagai fungsi r/L dan β

r/L	β (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta=15^\circ$													
0.5	0.4	0.79	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0
0	9		3	0	7	1	3	2	1	9	9	0	0
1	0.3	0.73	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	8		3	5	4	4	9	8	1	1	0	0	0

r/L	β (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	0.35	0.58	1.00	1.05	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\Theta=30^\circ$													
0.5	0.61	0.63	0.68	0.76	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00
1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00
2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00
5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.02	1.00	0.99	0.99	1.01	1.01	0.97	1.00
10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.01	1.00	0.98	1.00
$\Theta=45^\circ$													
0.5	0.49	0.50	0.55	0.63	0.77	0.88	0.96	1.04	1.06	1.04	1.01	0.97	1.00
1	0.39	0.40	0.47	0.59	0.79	0.98	1.07	1.06	0.99	0.99	1.01	1.01	1.00
2	0.29	0.31	0.39	0.55	0.83	1.08	1.04	0.97	1.03	0.99	1.01	1.00	1.00
5	0.18	0.20	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00
10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.01	1.00	1.00
$\Theta=60^\circ$													
1\2	0.40	0.41	0.45	0.52	0.66	0.79	0.85	1.11	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00
1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.76	0.96	1.08	1.06	0.99	0.99	1.01	1.00
2	0.22	0.23	0.27	0.33	0.51	0.82	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00
5	0.14	0.15	0.18	0.22	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.01	1.00
10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.55	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
$\Theta=75^\circ$													
1\2	0.34	0.35	0.38	0.42	0.55	0.69	0.77	0.88	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00
1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.46	0.65	0.77	0.99	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00
2	0.16	0.19	0.22	0.26	0.39	0.58	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00
5	0.11	0.12	0.13	0.17	0.28	0.55	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00
10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.22	0.55	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00

r/L	$\beta(\text{derajat})$												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\Theta=90^\circ$													
1\2	0.3 1	0.31	0.3 3	0.3 6	0.4 1	0.4 9	0.5 9	0.7 1	0.8 5	0.9 6	1.0 3	1.0 3	1.0 0
1	0.2 2	0.22	0.2 4	0.2 8	0.3 3	0.4 2	0.5 6	0.7 5	0.9 6	1.0 7	1.0 5	0.9 9	1.0 0
2	0.1 6	0.16	0.1 8	0.2 0	0.2 6	0.3 5	0.5 4	0.6 9	1.0 8	1.0 4	0.9 6	1.0 2	1.0 0
5	0.1 0	0.10	0.1 1	0.1 3	0.1 6	0.2 7	0.5 3	1.0 1	1.0 4	1.0 5	1.0 2	0.9 9	1.0 0
10	0.0 7	0.07	0.0 8	0.0 9	0.1 3	0.2 0	0.5 2	1.1 4	1.0 7	0.9 6	0.9 9	1.0 1	1.0 0
$\Theta=105^\circ$													
1\2	0.2 8	0.28	0.2 9	0.3 2	0.3 5	0.4 1	0.4 9	0.5 9	0.7 2	0.8 5	0.9 7	1.0 1	1.0 0
1	0.2 0	0.20	0.2 4	0.2 3	0.2 7	0.3 3	0.4 2	0.5 6	0.7 5	0.9 5	1.0 6	1.0 4	1.0 0
2	0.1 4	0.14	0.1 3	0.1 7	0.2 0	0.2 5	0.3 5	0.5 4	0.8 3	1.0 8	1.0 3	0.9 7	1.0 0
5	0.0 9	0.09	0.1 0	0.1 1	0.1 3	0.1 7	0.2 7	0.5 2	1.0 2	1.0 4	1.0 4	1.0 2	1.0 0
10	0.0 7	- 0.06	0.0 8	0.0 8	0.0 9	0.1 2	0.2	0.5 2	1.1 4	1.0 7	0.9 7	0.9 9	1.0 0
$\Theta=120^\circ$													
1\2	0.2 5	0.26	0.2 7	0.2 8	0.3 1	0.3 5	0.4 1	0.4	0.6	0.7 3	0.8 7	0.9 7	1.0 0
1	0.1 8	0.19	0.1 9	0.2 1	0.2 3	0.2 7	0.3 3	0.4 3	0.5 7	0.7 6	0.9 5	1.0 4	1.0 0
2	0.1 3	0.13	0.1 4	0.1 4	0.1 7	0.2 0	0.2 6	0.1 6	0.5 5	0.8 3	1.0 7	1.0 3	1.0 0
5	0.0 8	0.08	0.0 8	0.0 9	0.1 1	0.1 3	0.1 6	0.2 7	0.5 3	1.0 1	1.0 4	1.0 3	1.0 0
10	0.0 6	0.06	0.0 6	0.0 7	0.0 7	0.0 9	0.1 3	0.2 0	0.5 2	1.1 3	1.0 6	0.9 8	1.0 0
$\Theta=135^\circ$													
1\2	0.2 4	0.24	0.2 5	0.2 5	0.2 6	0.2 8	0.3 2	0.3 6	0.4 2	0.5 2	0.6 3	0.7 6	1.0 0
1	0.1 8	0.17	0.1 8	0.1 8	0.1 9	0.2 1	0.2 3	0.2 8	0.3 4	0.4 4	0.5 9	0.7 8	1.0 0
2	0.1 2	0.12	0.1 3	0.1 3	0.1 4	0.1 4	0.1 7	0.2 0	0.2 6	0.3 7	0.5 6	0.8 4	1.0 0
5	0.0 8	0.07	0.0 8	0.0 8	0.0 8	0.0 9	0.1 1	0.1 3	0.1 7	0.2 8	0.5 4	1.0 0	1.0 0
10	0.0 5	0.06	0.0 6	0.0 6	0.0 6	0.0 7	0.0 8	0.0 9	0.1 3	0.2 1	0.5 3	1.1 2	1.0 0
$\Theta=150^\circ$													
1\2	0.2 3	0.23	0.2 4	0.2 5	0.2 7	0.2 9	0.3 3	0.3 8	0.4 5	0.5 5	0.6 8	0.8 3	1.0 0
1	0.1 6	0.17	0.1 7	0.1 8	0.1 9	0.2 2	0.2 4	0.2 9	0.3 6	0.4 7	0.6 3	0.8 3	1.0 0

r/L	β (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
2	0.1 2	0.12	0.1 2	0.1 3	0.1 4	0.1 5	0.1 8	0.2 2	0.2 8	0.3 9	0.5 9	0.8 6	1.0 0
5	0.0 7	0.07	0.0 8	0.0 8	0.0 8	0.1 0	0.1 1	0.1 3	0.1 8	0.2 9	0.5 5	0.8 6	1.0 0
10	0.0 5	0.05	0.0 5	0.0 6	0.0 6	0.0 7	0.0 8	0.1 0	0.1 3	0.2 2	0.5 4	1.1 0	1.0 0
$\Theta=165^\circ$													
1/2	0.2 3	0.23	0.2 3	0.2 4	0.2 6	0.2 8	0.3 1	0.3 5	0.4 1	0.5 0	0.6 3	0.7 9	1.0 0
1	0.1 6	0.16	0.1 7	0.1 7	0.1 9	0.2 0	0.2 3	0.2 6	0.3 2	0.4 0	0.5 3	0.7 3	1.0 0
2	0.1 1	0.11	0.1 2	0.1 2	0.1 3	0.1 4	0.1 6	0.1 9	0.2 3	0.3 1	0.4 4	0.6 8	1.0 0
5	0.0 7	0.07	0.0 7	0.0 7	0.0 8	0.0 9	0.1 0	0.1 2	0.1 5	0.2 0	0.3 2	0.6 3	1.0 0
10	0.0 5	0.05	0.0 5	0.0 5	0.0 6	0.0 6	0.0 7	0.0 8	0.1 1	0.1 1	0.2 1	0.5 8	1.0 0
$\Theta=180^\circ$													
1/2	0.2 0	0.25	0.2 3	0.2 4	0.2 5	0.2 8	0.3 1	0.3 4	0.4 0	0.4 9	0.6 1	0.7 8	1.0 0
1	0.1 0	0.17	0.1 6	0.1 8	0.1 8	0.2 3	0.2 2	0.2 5	0.3 1	0.3 8	0.5 0	0.7 0	1.0 0
2	0.0 2	0.09	0.1 2	0.1 2	0.1 3	0.1 8	0.1 6	0.1 8	0.2 2	0.2 9	0.4 0	0.6 0	1.0 0
5	0.0 2	0.06	0.0 7	0.0 7	0.0 7	0.0 8	0.1 0	0.1 2	0.1 4	0.1 8	0.2 7	0.4 6	1.0 0
10	0.0 1	0.05	0.0 5	0.0 4	0.0 6	0.0 7	0.0 7	0.0 8	0.1 0	0.1 3	0.2 0	0.3 6	1.0 0

Sumber data: Wiegel, dalam Sorensen, (1960)

2.2. 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.

Sebenarnya *breakwater* atau pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang “sambung pantai” dan “lepas pantai”. Tipe pertama banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan, sedangkan tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Secara umum kondisi perencanaan kedua tipe adalah sama, hanya pada tipe pertama perlu ditinjau karakteristik

gelombang di beberapa lokasi di sepanjang pemecah gelombang, seperti halnya pada perencanaan *jetty*.

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.



Gambar 2. 6 Ilustrasi pelindung breakwater pada areal pelabuhan (Triatmodjo, 2003)

Secara umum *Breakwater* pada pelabuhan memiliki beberapa fungsi pokok yaitu:

1. Berfungsi sebagai pelindungi kolam perairan pelabuhan yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan terganggunya aktivitas di perairan pelabuhan baik pada saat pasang, badai maupun peristiwa alam lainnya di laut. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (Refleksi), sebagian diteruskan (*Transmisi*) dan sebagian dihancurkan (*Disipasi*) melalui pecahnya gelombang, kekentalan *fluida*, gesekan dasar dan lain-lainnya.
2. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi,

kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan).

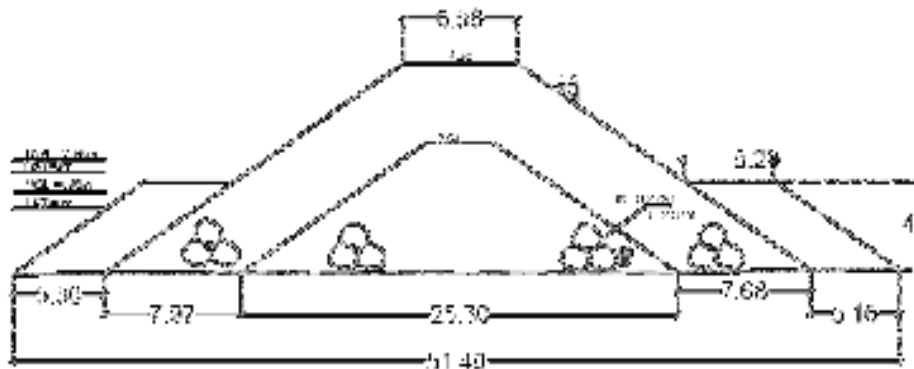
3. Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung akan mengurangi pengirisan sedimen di daerah tersebut. Maka pengirisan sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pantai di belakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sediment tersebut.

Bentuk/tipe pemecah gelombang berdasarkan tipe bangunannya dapat dibedakan menjadi tiga:

2.2.1. *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.

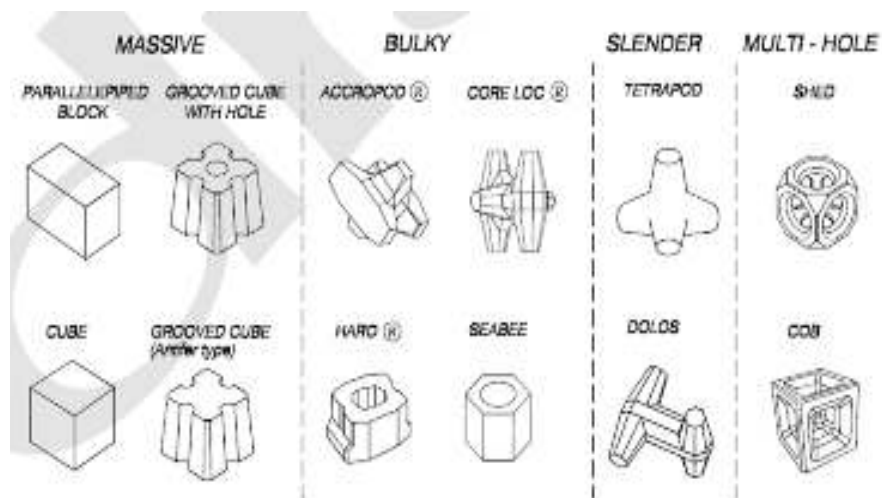
Breakwater sisi miring bersifat fleksibel karena jika serangan gelombang merusak yang terjadi tidak secara tiba-tiba, meskipun beberapa butiran longsor. Biasanya butir batu pemecah gelombang sisi miring disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin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



Gambar 2. 7 Potongan melintang breakwater tipe miring

Butir batu pelindung ada beberapa macam ada yang berupa batu alam dengan berat mencapai beberapa ton, batu buatan dari beton yang berbentuk kubus atau bentuk lainnya. Butir pelindung buatan dari beton bisa berupa:

1. *Tetrapod*
2. *Cube*
3. *Tribar*
4. *Quadripod*
5. *Accropod*
6. *Core-loc*
7. *Dolos*



Gambar 2. 8 Lapisan pelindung breakwater tipe sisi miring (Triatmodjo, 2003)

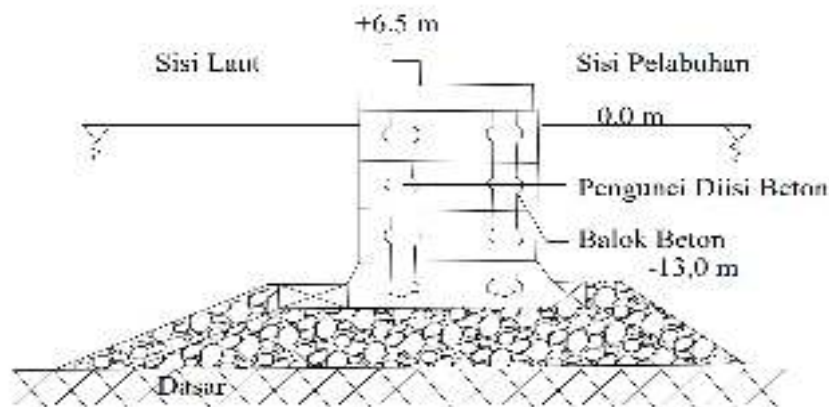
2.2.2. Breakwater Sisi Tegak

1. *Breakwater* tipe ini biasanya ditempatkan di laut dengan kedalaman lebih dalam dengan tanah dasar keras. Karena dinding *breakwater* tegak, maka akan terjadi gelombang diam atau *klapotis* yaitu super posisi antara gelombang datang dan gelombang pantul. Tinggi gelombang *klapotis* adalah 2 kali tinggi gelombang datang. Hal-hal yang perlu diperhatikan:
2. Tinggi pemecah gelombang dia atas muka air pasang tertinggi tidak boleh kurang dari $1 \frac{1}{3}$ - $1 \frac{1}{2}$ kali tinggi gelombang datang.
3. Kedalaman di bawah muka air terendah ke dasar bangunan tidak kurang dari $1 \frac{1}{4}$ - $1 \frac{1}{2}$ kali atau lebih baik 2 kali tinggi gelombang datang.
4. Lebar pemecah gelombang minimal $\frac{3}{4}$ tingginya.
5. Kedalaman maksimum perairan 15-20 m.
6. Untuk kedalaman lebih dari 20 m, *breakwater* sisi tegak dibangun di atas *breakwater* sisi miring (*breakwater* campuran).

Konstruksi *Breakwater* Terdapat berupa:

1. Balok beton

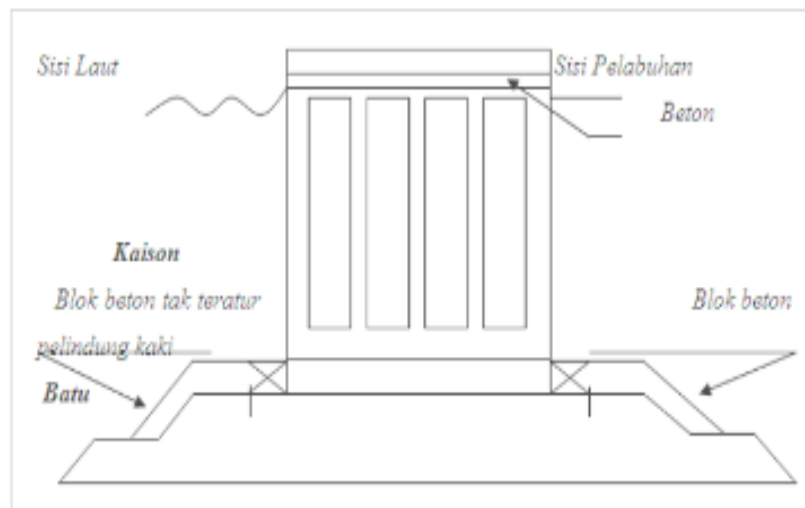
Dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal. Masing-masing blok dikunci dengan beton bertulang yang dicor di tempat setelah blok-blok tersebut disusun. Puncak pemecah gelombang dibuat dinding beton yang dicor ditempat. Fondasi terbuat dari tumpukan batu yang diberi lapis pelindung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



Gambar 2. 9 Breakwater blok beton

2. Kaison (*caisson*)

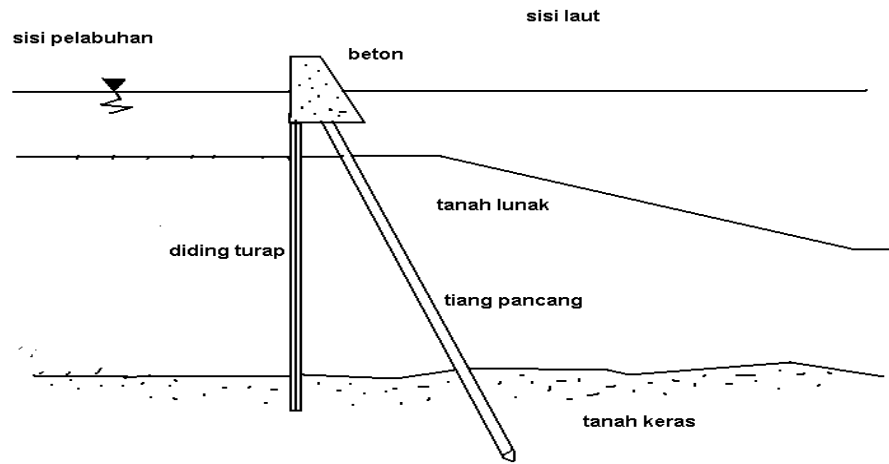
Pemecah gelombang ini dibuat di daratan dan kemudian dibawa ke lokasi yang telah ditentukan dengan ditarik oleh kapal. Pengangkutan ke lokasi dilakukan pada waktu air tenang. Setelah sampai ke lokasi kaison tersebut ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengisikan air ke dalamnya dan kemudian diisi dengan 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 2. 10 Potongan melintang breakwater tipe 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.



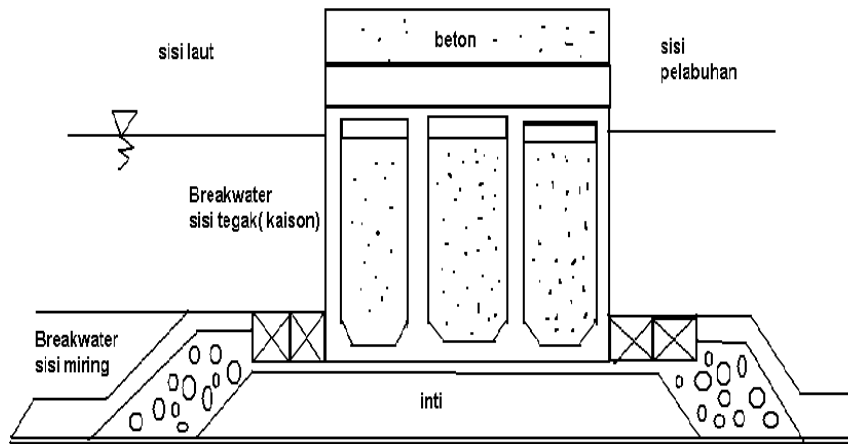
Gambar 2. 11 Sheet pile cells (Triatmodjo, 2003)

2.2.3. 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 :

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

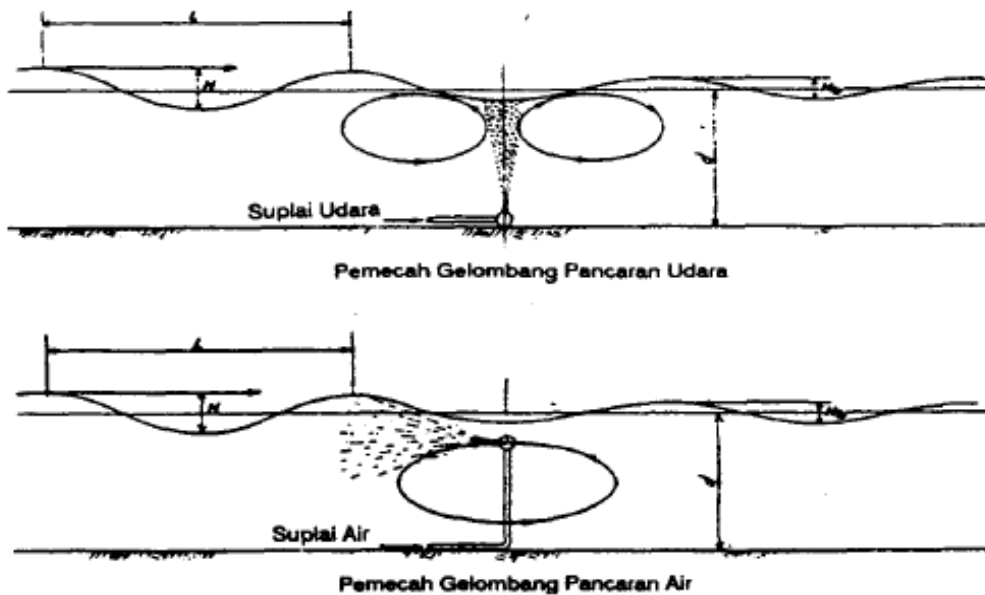


Gambar 2. 12 Potongan melintang Breakwater tipe gabungan (Triatmodjo,2003)

Berdasarkan sistem semburan *breakwater* dibedakan menjadi:

1. Semburan Air
2. Semburan Udara

Pada pemecah gelombang tipe ini menggunakan pancaran air dan udara dalam menghancurkan gelombang laut yang datang. Kedua sistem ini menggunakan *supplai* udara dan air untuk dipancarkan ke permukaan laut yang berfungsi sebagai penghancur gelombang yang datang.



Gambar 2. 13 Breakwater tipe semburan air dan udara (Triatmodjo, 2003)

2.3. *Hanging Breakwater*

Penelitian terkait pemecah gelombang tiang pertama kali dilakukan oleh Wiegel (1960). Pile yang digunakan adalah satu lapis. Wiegel mengusulkan suatu formula untuk menghitung koefisien transmisi pada pemecah gelombang tiang vertikal seperti berikut:

$$K_T = \frac{b}{D+b} \quad (2.20)$$

Di mana K_T adalah koefisien transmisi, b adalah jarak antar tiang silinder dan D adalah diameter tiang silinder. Persamaan di atas memperlihatkan bahwa koefisien transmisi hanya dipengaruhi oleh jarak antar tiang silinder dan diameter silinder. Selanjutnya, Wiegel (1961) melakukan kajian ulang dan melaporkan bahwa Persamaan untuk menghitung K_T yang diusulkan pada tahun 1960 adalah memberikan hasil yang lebih besar.

Hayashi dan Kano (1966) melakukan studi breakwater tiang silinder yang difokuskan pada distribusi momen pada tiang silinder dan transmisi gelombang melalui pemecah gelombang. Hayashi dan Kano melakukan pengembangan teori tentang efek kontraksi akibat semprotan air melalui pemecah gelombang tiang silinder. Selanjutnya Hayashi dan Kano melakukan eksperimen untuk memverifikasi solusi yang dikembangkan sebelumnya. Hayashi dan Kano melaporkan bahwa terdapat perbedaan antara solusi yang dikembangkan dengan hasil eksperimen. Hayashi dan Kano beralasan bahwa hal ini dapat terjadi karena adanya pengabaian disipasi energi di depan tiang-tiang silinder. Selanjutnya Hayashi, dkk melakukan revisi atas hasil penelitiannya tahun 1966 dengan menerapkan asumsi gelombang di laut dangkal dan membandingkannya dengan hasil eksperimen. Hayashi, dkk melaporkan bahwa terdapat kesesuaian antara teori dengan hasil eksperimen dan melaporkan pula bahwa semakin besar jarak antar tiang silinder semakin besar pula gelombang yang ditransmisikan.

Truit dan Herbich (1987) melakukan pengujian model untuk mengetahui transmisi gelombang pada tiang silinder vertikal yang difungsikan sebagai pemecah gelombang dengan memvariasikan jarak antar tiang silinder dan diameter silinder

dan menggunakan gelombang ireguler. Truit dan Herbich membandingkan hasil penelitiannya dengan teori yang dikembangkan oleh Hayashi, dkk (1968) dan melaporkan bahwa antara eksperimen dengan solusi analitis memiliki kedekatan nilai. Oleh sebab itu Truit dan Herbich berkesimpulan bahwa formula yang dikembangkan Hayashi, dkk (1968) memberikan hasil yang sesuai untuk gelombang ireguler. Lebih jauh, Truit dan Herbich melakukan investigasi pengaruh tinggi gelombang dan kedalaman air terhadap transmisi gelombang dan melaporkan bahwa parameter gelombang merupakan parameter penting yang mempengaruhi transmisi gelombang, namun geometri pemecah gelombang memegang peranan penting dalam hal fenomena transmisi gelombang.

Herbich dan Douglas (1989) melanjutkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Truit dan Herbich (1987) dengan cara melakukan kajian terhadap pemecah gelombang tiang silinder vertikal yang dibuat dua baris pada arah perambatan gelombang. Hasil yang diperoleh dari pemecah gelombang silinder vertikal dua baris dibandingkan dengan pemecah gelombang tiang silinder vertikal satu baris. Herbich dan Douglas melaporkan bahwa pemecah gelombang silinder vertikal dua baris dapat mereduksi 15% gelombang transmisi untuk nilai $b/D = 0,2$, dimana b adalah jarak antar celah silinder sedangkan D adalah diameter silinder. Untuk nilai $b/D = 0,1$, pemecah gelombang dengan dua baris silinder vertikal dapat mereduksi tinggi gelombang transmisi sebesar 10%. Herbich dan Douglas juga meneliti pengaruh periode gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dan melaporkan bahwa gelombang transmisi meningkat dengan adanya peningkatan rasio kedalaman air terhadap tinggi gelombang (d/H) dan gelombang transmisi menurun dengan seiring peningkatan nilai kecuraman gelombang (rasio antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang, H/L).

Kukano dan Liu (1993) meneliti penyebaran gelombang melalui tiang silinder vertikal satu baris melalui pengembangan teoritikal untuk menyelesaikan efek penyebaran tiang silinder vertikal terhadap gelombang dengan memodelkan aliran disekitar silinder vertikal. Kukano dan Liu mempertimbangkan disipasi energi diantara tiang silinder yang terdiri dari dua bentuk tiang yaitu bentuk empat persegi panjang dan tiang bulat. Kukano dan Liu melaporkan bahwa hasil

penelitiannya dapat dipercaya untuk kasus-kasus tertentu sehingga dibutuhkan penelitian lanjutan dengan memvariasikan bentuk tiang vertikal dan karakteristik gelombang.

Mani dan Jayakumar (1995) meneliti transmisi gelombang pada tiang silinder menggantung satu baris sebagai. Mani dan Jayakumar memvariasikan sarat tiang silinder yang terendam dalam air (s), jarak antar celah tiang silinder (b) dan parameter gelombang (tinggi dan periode) dan melaporkan bahwa untuk nilai $b/d = 0,22$ dan $y/h = 0,46$ dapat mereduksi koefisien transmisi sampai 0,5. Untuk nilai H_i/gT^2 lebih besar dari 0.008, pemecah gelombang dapat mereduksi sampai 50% dan untuk H_i/gT^2 antara 0.005 sampai 0,008 pemecah gelombang dapat mereduksi sampai 40% gelombang datang.

Rao dan Satyananayana (1999) melakukan studi model yang difokuskan pada transmisi gelombang melalui pemecah gelombang tiang silinder berlubang dua baris. Rao dan Satyananayana mengkaji pengaruh kedalaman air, kecuraman gelombang datang, jarak antar tiang, dan jarak antar baris tiang pemecah gelombang terhadap transmisi gelombang. Rao dan Satyananayana juga membandingkan antara pemecah gelombang tiang berlobang dan tidak berlobang. Sebagai kesimpulan hasil penelitian Rao dan Satyananayana adalah efek kedalaman air terhadap transmisi gelombang dapat diabaikan baik untuk pemecah gelombang tiang silinder berlobang maupun yang tidak berlobang, semakin besar kecuraman gelombang maka transmisi gelombang semakin kecil, semakin besar jarak antar tiang semakin besar gelombang transmisi, penggunaan pemecah gelombang tiang dua baris menyebabkan penurunan gelombang transmisi, tidak ada perbedaan antara pemecah gelombang dua baris untuk tiang berlobang dan tidak berlobang dan perbedaan dalam meneruskan gelombang antara pemecah gelombang tiang berlobang dan tidak berlobang dapat diabaikan.

Koraim dan Salem (2012) melakukan penelitian untuk melihat kinerja pemecah gelombang pipa setengah lingkaran horisontal yang didukung oleh tiang silinder vertikal dalam merefleksikan, mentransmisikan dan mendisipasikan gelombang. Koraim & Salem melaporkan bahwa pemecah gelombang akan efektif jika pipa setengah lingkaran diletakkan horisontal, diameter dari tiang setengah

lingkaran bertambah, kemiringan pemecah gelombang tiang setengah lingkaran adalah 45^0 , sarat pemecah gelombang lebih besar dari setengah kedalaman air, dan panjang gelombang lebih besar dari dua kali kedalaman air.

Koraim, dkk (2014) meneliti kinerja pemecah gelombang menggantung yang terbuat dari L-shape dan C-shape bars yang diletakkan mendatar yang didukung oleh tiang-tiang vertikal melalui pendekatan teoritik dan eksperimen untuk gelombang reguler. Parameter yang diteliti adalah panjang gelombang, sarat L-shape dan C-shape bars, jarak antar L-shape dan C-shape bars, diameter dan jarak antar tiang vertikal penopang . Koraim melaporkan bahwa perbandingan antara hasil eksperimen dan prediksi teoritis untuk koefisien refleksi, transmisi dan disipasi adalah sangat baik.

Paotonan (2015) melakukan penelitian terkait pemecah gelombang tipe *pilecap* melalui pendekatan analitik untuk mendapatkan besarnya tinggi gelombang yang melewati pemecah gelombang yang direpresentasikan oleh nilai koefisien transmisi. Dalam penelitian ini pula disampaikan bahwa biaya pembangunan pemecah gelombang tipe *pilecap* jauh lebih murah dibandingkan pemecah gelombang konvensional. Penghematan biaya investasi dapat mencapai 72% lebih dibandingkan pemecah gelombang tipe konvensional. Paotonan (2015) mengusulkan formula hubungan antara koefisien transmisi dengan parameter struktur dan parameter gelombang dan ditulis seperti berikut :

$$K_t = e^{-\beta \frac{Bd}{Lh}} \quad (2.21)$$

Dimana K_T , B , d , L , h dan β , masing-masing adalah koefisien transmisi, lebar puncak struktur, kedalaman air, panjang gelombang, sarat *pilecap*, dan koefisien yang akan diperoleh dari hasil eksperimen.

Paotonan dan Suyatno (2017) melakukan penelitian tentang tegangan dan deformasi pada pemecah gelombang sheetpile dengan cara memvariasikan lebar celah antar sheetpile dan parameter gelombang konstan dan menggunakan perangkat lunak ANSYS. Paotonan dan Suyatno melaporkan bahwa semakin besar lebar celah antar sheetpile maka gaya, tegangan dan deformasi yang terjadi semakin

kecil. Semakin besar tegangan maka deformasi yang terjadi semakin besar pula dengan hubungan yang tidak linier.

Paotonan, dkk, (2019) meneliti tentang pengaruh sarat relatif pemecah gelombang *hanging breakwater* terhadap koefisien transmisi untuk gelombang reguler dan melaporkan bahwa semakin besar nilai kecuraman gelombang H_i/gT^2 maka koefisien transmisi mengecil. Paotonan, dkk, (2019) juga meneliti pengaruh sarat relatif terhadap koefisien transmisi untuk gelombang ireguler dan melaporkan bahwa semakin besar nilai kecuraman gelombang H_i/gT^2 maka koefisien transmisi mengecil. Kedua hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya konsistensi bahwa pada nilai H_i/gT^2 relatif kecil penurunan nilai koefisien transmisi signifikan.

Penelitian yang disampaikan di atas baik penelitian yang telah lama maupun penelitian terbaru, menunjukkan bahwa kajian yang telah dilakukan hanya sampai pada kajian 2 (dua) dimensi di dalam saluran gelombang. Kondisi ini belum merepresentasikan fenomena sesungguhnya yang ada di lapangan. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian kinerja pemecah gelombang *hanging breakwater* dalam tinjauan 3 (tiga) dimensi sebagai lanjutan dari penelitian terdahulu.

2.4. Pemodelan Fisik

Secara umum model dikelompokkan menjadi tiga tipe utama, yaitu model fisik, model analog dan model digital. Model digital terdiri atas model deterministik, model stokastik dan model empiris (parametrik) Gregory D.E, (1973).

Dasar dari permodelan fisik adalah model yang akan diuji harus disesuaikan dengan prototipnya, sehingga perilaku model akan mirip dengan keadaan prototipnya. Meskipun dalam aplikasi di laboratorium kemungkinan tidak sama persis dengan kondisi di lapangan namun diusahakan dengan memperhatikan efek penyekalaan dan meminimalisir efek laboratorium. Keserupaan antara prototip dengan model fisik dapat diperoleh jika semua faktor yang mempengaruhi reaksi, berada pada porsi yang sesuai antara kondisi sebenarnya dengan model.

Akan tetapi, perlu diketahui bahwa aturan untuk melakukan pemodelan fisik adalah meminimalisir efek penyekalan dengan mengerti dan menggunakan prinsip kesamaan sebaik mungkin dan meminimalisir efek laboratorium dengan mengoperasikan model dengan cermat dan berhati-hati.

Konsep dasar permodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototip dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototip. Kesebangunan yang dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik Yuwono, (1996)

Keserupaan antara prototip dengan model fisik dapat diperoleh jika semua faktor yang mempengaruhi reaksi, berada pada porsi yang sesuai antara kondisi sebenarnya dengan model. Untuk model pantai, tiga kondisi umum dibawah ini harus dipenuhi untuk memperoleh kesamaan model (model similitude) Hughes, Steven, Acuff, dan Hugh, (2008).

2.4.1 Sebangun Geometrik

Keserupaan geometrik dapat dipenuhi apabila rasio semua dimensi linear, dari model dan prototipnya sama. Hubungan ini hanya menunjukkan keserupaan dalam bentuk, tidak dalam hal gerak (*motion*). Model serupa geometrik disebut juga *geometrically undistorted model*, karena memiliki skala yang sama baik vertikal maupun horizontal. Jika skala model diberi notasi nL maka Persamaannya sebagai berikut (Hughes, 1993).

$$nL = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.22)$$

dengan:

nL = Skala Panjang

l_m = panjang model (m)

l_p = panjang prototip (m)

Skala berat *hanging* dapat dilakukan dengan merasiokan prototip terhadap

$$W_a = \gamma_a \cdot V \quad (2.23)$$

dengan :

W_a = Berat prototip (kg)

γ_a = Berat jenis prototip (kg/m³)

V = Volume prototip (m³)

$$(\gamma_a)_m = (\gamma_a)_p \times \frac{(\gamma_w)_m}{(\gamma_w)_p} \quad (2.24)$$

dengan:

$(\gamma_a)_m$ = Rapat massa model (kg/m³)

$(\gamma_a)_p$ = Rapat massa prototip (kg/m³)

$(\gamma_w)_m$ = Rapat massa air tawar (kg/m³)

$(\gamma_w)_p$ = Rapat massa air laut (kg/m³)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai hubungan skala berat (N_{wa}) dengan rumus sebagai berikut (Hughes, 1993).

$$N_{wa} = N_{\gamma a} \times n_L^3 \quad (2.25)$$

dengan :

$N_{\gamma a}$ = Nilai perbandingan rapat massa prototip dengan rapat massa model

n_L^3 = Skala Panjang

Dengan demikian berat model dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.23) sebagai berikut:

$$(W_a)_m \times \frac{(W_a)_p}{N_{wa}} \quad (2.26)$$

dengan:

$(W_a)_m$ = Berat model (kg)

$(W_a)_p$ = Berat prototip (kg)

N_{wa} = Angka skala berat prototip

2.4.2 Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototip pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah adalah sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horisontal. Oleh sebab itu pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunakan *distorted model*. Skala kecepatan diberi notasi n_u , skala percepatan n_a , dan skala waktu n_T didefinisikan sebagai berikut:

$$n_L = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (2.27)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (2.28)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^2}{n_T} \quad (2.29)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad (2.30)$$

2.4.3 Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kenyal dan tegangan permukaan. Beberapa sebangun dinamik yaitu sebangun dinamik Reynold (*Reynold number*) yang diekspresikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek, sebangun dinamik Froude (*Froude number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi, bilangan Cauchy (*Cauchy number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya elastik serta bilangan Weiber (*Weiber Number*) yaitu perbandingan antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan.

Untuk penelitian transmisi dan refleksi gelombang terhadap gelombang yang merambat melalui pemecah gelombang tipe *sheet pile* banyak dipengaruhi

gaya gravitasi sehingga digunakan kesebangunan Froude. Dengan pertimbangan fasilitas yang ada di laboratorium, maka pada penelitian ini, akan menggunakan skala panjang yang sama dengan skala tinggi (*undistorted model*) dan menggunakan kesebangunan Froude.

$$F_y = \frac{(pL^3)\left(\frac{V^2}{L}\right)}{pgL^3} = \frac{V^2}{gL} \quad (2.31)$$

Dengan demikian bila gaya gravitasi memegang peranan penting dalam permasalahan, maka perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi pada model dan prototip harus sama.

$$n_{Fy} = \frac{n_U}{n_{L^{0.5}}} \quad (2.32)$$

$$n_{Fy} = \frac{F_{yp}}{F_{ym}} = 1 \quad (2.33)$$

Oleh karena digunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang Gelombang n_L , skala panjang struktur n_B , skala kedalaman n_d dan skala sarat n_s adalah sama seperti berikut:

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \quad (2.34)$$

Sedangkan skala waktu n_T dan skala gravitasi ditulis seperti berikut:

$$n_T = n \frac{1}{L^2} \quad (2.35)$$

$$n_L = 1 \quad (2.36)$$