

SKRIPSI

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PARAMETER GELOMBANG
TERHADAP TRANSMISI, REFLEKSI DAN DISIPASI GELOMBANG
PADA HANGING BREAKWATER DI KOLAM GELOMBANG**

*Diajukan Guna memenuhi Persyaratan Meraih Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Sarjana (S1) Teknik Kelautan*



OLEH:

ARHAM AZIS

D081 17 1001

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**“KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PARAMETER GELOMBANG
TERHADAP TRANSMISI, REFLEKSI DAN DISIPASI GELOMBANG PADA
HANGING BREAKWATER DI KOLAM GELOMBANG”**

Disusun dan diajukan oleh:

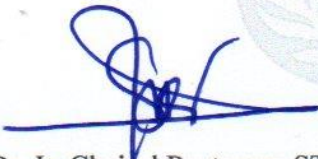
**ARHAM AZIS
D081171001**


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,

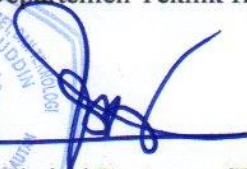
Pembimbing Pendamping.


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


Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.
NIP. 1978042820031220002

Ketua Departemen Teknik Kelautan,




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

LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

**“KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PARAMETER GELOMBANG
TERHADAP TRANSMISI, REFLEKSI DAN DISIPASI GELOMBANG PADA
HANGING BREAKWATER DI KOLAM GELOMBANG”**

Disusun dan diajukan oleh:

**ARHAM AZIS
D081171001**

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 10 Maret 2022


Di : Gowa

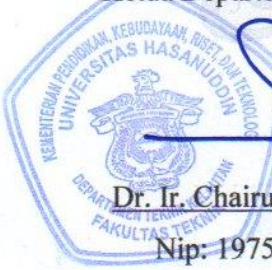
Dengan Panel Ujian Skripsi

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

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan


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



LEMBAR KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Arham Azis
NIM : D081171001
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Kajian Eksperimental Pengaruh Parameter Gelombang Terhadap Transmisi, Refleksi Dan Disipasi Gelombang Pada Hancing Breakwater Di Kolam Gelombang”

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

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

Gowa, 10 Maret 2022

Menyatakan,



Arham Azis

ABSTRAK

Arham Azis, Kajian Eksperimental Pengaruh Parameter Gelombang Terhadap Transmisi, Refleksi dan Disipasi Gelombang Pada *Hanging Breakwater* Di Kolam Gelombang (dibimbing oleh **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** dan **Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.**)

Breakwater adalah bangunan pantai yang didesain untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. 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*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Teknologi Kelautan Universitas Hasanuddin dimana parameter penting kaitannya dengan kinerja struktur *Hanging Breakwater* sebagai pemecah gelombang adalah besarnya gelombang transmisi, refleksi dan disipasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang (H_i/gT^2) terhadap gelombang transmisi, refleksi dan disipasi yang dihasilkan oleh respon struktur dalam kolam gelombang (*wave basin*) yang dilengkapi dengan alat pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang. Dalam penelitian ini dilakukan variasi tinggi gelombang (H) sebanyak 7 variasi dan periode gelombang (T) sebanyak 8 variasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai K_t akan semakin menurun dengan bertambahnya nilai H_i/gT^2 , nilai K_r cenderung konstan tidak berubah terhadap H_i/gT^2 dan nilai K_d semakin naik dengan bertambahnya nilai H_i/gT^2 sehingga semakin curam gelombang yang datang maka semakin baik *hanging breakwater* dalam meredam gelombang.

Kata-kata Kunci: *Hanging breakwater*, transmisi, refleksi, disipasi, *wave basin*.

ABSTRACT

Arham Azis, *Experimental Study of Effect of Wave Parameters on Transmission, Reflection and Dissipation of Waves on Hanging Breakwater in Wave Basin* (guided by **Dr. Chairul Paotonan, ST.,MT.** and **Dr. Hasdinar Umar, S.T.,M.T.**)

Breakwater is coastal structure designed to protect the harbor area from sea wave activity. Widely use breakwater is rubble mound type breakwater consist of natural and artificial stone. This rubble mound breakwater requires large dimensions, so the investment costs become more expensive. One solution that can be apply is hanging breakwater. This study conducted in Ocean Engineering Technology Laboratory Universitas Hasanuddin when important parameter related to hanging breakwater is the amount of transmittion, reflection and dissipation waves. Therefore, the purpose of this study is to examine the effect of wave parameters (H_i/gT^2) on transmission waves (K_t), reflection wave (K_r) and dissipation wave (K_d) generated by the structure response in wave basin simulation. In this this study, wave parameters consist of 7 variations of wave height (H) and 8 variations of wave period (T). Result shows wave transmission (K_t) decreases with increasing incident wave steepnes (H_i/gT^2), wave reflection (K_r) constantly with the increasing of H_i/gT^2 and and the value of dissipation wave (K_d) increases with increasing incident wave steepnes (H_i/gT^2).

Keywords: *Hanging breakwater, wave reflection, wave transmission, wave dissipation, wave basin.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dan atas kehendakNya lah segala hambatan dalam penelitian serta penulisan skripsi ini dapat diatasi. Salawat serta salam penulis panjatkan kehadirat Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini dibuat penulis sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang berjudul **“Kajian Eksperimental Pengaruh Parameter Gelombang Terhadap Transmisi, Refleksi Dan Disipasi Gelombang Pada Hanging Breakwater Di Kolam Gelombang”** penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah senantiasa memberi bantuan berupa pikiran, jiwa, dan raganya kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini, terutama kepada:

1. Kedua orangtua, Ibu tercinta **Rostida** yang selama ini memberikan dukungannya serta doa dan kasih sayang yang tak henti-hentinya. Serta Bapak tercinta **Abd. Azis Adam** atas segala pengorbanan, serta dukungan moril dan materil yang tidak ada hentinya selalu diberikan kepada penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Pembimbing I sekaligus Kepala Labo Pelabuhan yang ditengah-tengah kesibukannya telah berkenan memberikan segenap waktu dan pengetahuannya kepada Penulis dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
3. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.** selaku Pembimbing II senantiasa memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini dan juga bimbingan dan arahan selama berada dikampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
4. Bapak **Ir. Juswan, MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.

5. **Dosen–Dosen Departemen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
6. **Staf Tata Usaha Departemen Teknik Kelautan**, yang sangat membantu Penulis baik itu kebutuhan administrasi untuk menyelesaikan studi maupun kebutuhan perkuliahan lainnya.
7. **Asnaida Azis, M. Riski Azis, dan Zofiah Azisah** selaku kakak dan adik kandung yang senantiasa memberi semangat dan doa kepada penulis.
8. Teman-teman Mahasiswa khususnya **Teknik Kelautan 2017 dan PERIZCOPE CREW**, yang selalu menemani dan mengisi hari-hari perkuliahan menjadi sangat menyenangkan. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda **Senior** dan dinda-dinda **Junior** atas motivasi dan dukungannya.
9. Anak-anak **Erekz17** yang selalu setia menemani dalam suka duka, yang selalu ada dan menemani selama masa perkuliahan ini.
10. Kepada orang-orang yang telah mendukung Penulis yang tidak sempat disebutkan namanya satu persatu, Penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 08 Maret 2022

Arham Azis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	i
LEMBAR KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	1
DAFTAR GAMBAR	4
DAFTAR TABEL.....	6
DAFTAR NOTASI	7
BAB I PENDAHULUAN	8
1.1. Latar Belakang	8
1.2. Rumusan Masalah	9
1.3. Tujuan	10
1.4. Manfaat	10
1.5. Batasan Masalah.....	10
1.6. Sistematika Penulisan.....	11
BAB II LANDASAN TEORI	12
2.1. Gelombang	12
2.1.1. Klasifikasi Gelombang.....	13
2.1.2. Teori Gelombang	15
2.1.3. Transformasi Gelombang.....	19
2.1.4. Transmisi Gelombang	20
2.1.5. Refleksi Gelombang.....	21
2.1.6. Disipasi Gelombang	24
2.2. <i>Breakwater</i>	24
2.2.1. <i>Breakwater</i> Sisi Miring.....	26
2.2.2. <i>Breakwater</i> Sisi Tegak.....	28

2.2.3.	Breakwater Gabungan.....	31
2.3.	<i>Hanging Breakwater</i>	33
2.4.	Pemodelan Fisik.....	37
2.4.1	Sebangun Geometrik.....	38
2.4.2	Sebangun Kinematik.....	40
2.4.3	Sebangun Dinamik.....	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		42
3.1.	Lokasi Penelitian.....	42
3.2.	Jenis Data	42
3.3.	Skala Model	42
3.4.	Perancangan Model.....	42
3.5.	Pembuatan Model.....	45
3.6.	Rancangan Penelitian	47
3.7.	Metode Analisis Data.....	48
3.8.	Alur Pelaksanaan Simulasi.....	50
3.9.	Alur Penelitian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1	Pelaksanaan pengujian	54
4.2	Kedalaman Air	54
4.3	Panjang Gelombang	55
4.4	Fluktuasi Muka Air	56
4.5	Data Parameter Gelombang	57
4.5.1.	Tinggi Gelombang Datang (H_i), Tinggi Gelombang Transmisi (H_t) dan Tinggi Gelombang Refleksi (H_r).....	57
4.5.2.	Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2)	59
4.5.3.	Koefisien Transmisi (K_t), Koefisien Refleksi (K_r) dan Koefisien Disipasi (K_d).....	59
4.6	Analisis Data Penelitian	61
4.6.1	Pengaruh Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2) terhadap Koefisien Transmisi (K_t)	61
4.6.2	Pengaruh Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2) terhadap Koefisien Refleksi (K_r)	63

4.6.3	Pengaruh Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2) terhadap Koefisien Disipasi (K_d).....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gerak Orbit Partikel Zat Cair Di Laut Dangkal, Transisi, Dan Laut Dalam (Triatmodjo, 1999)	15
Gambar 2. 2 Sketsa Definisi Parameter Gelombang (Yuwono, 1982)	16
Gambar 2. 3 Gelombang Knoidal	19
Gambar 2. 4 Skema Terjadinya Refleksi Gelombang.....	22
Gambar 2. 5 Ilustrasi Pelindung Breawater Pada Areal Pelabuhan.....	25
Gambar 2. 6 Potongan Melintang Breakwater Tipe Miring	27
Gambar 2. 7 Lapisan Pelindung Breakwater Tipe Sisi Miring	28
Gambar 2. 8 Breakwater Blok Beton	29
Gambar 2. 9 Potongan Melintang Breakwater Tipe Caisson.....	30
Gambar 2. 10 Sheet Pile Cells.....	31
Gambar 2. 11 Potongan Melintang Breakwater Tipe Gabungan	32
Gambar 2. 12 Breakwater Tipe Semburan Air Dan Udara	32
gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	42
Gambar 3. 2 Tampak Atas	43
Gambar 3. 3 Tampak Memanjang.....	43
Gambar 3. 4 Tampak Melintang	44
Gambar 3. 5 Sketchup 3d.....	44
Gambar 3. 6 Pemotongan Tripleks Sesuai Ukuran	45
Gambar 3. 7 Menggabungkan Potongan Tripleks Menjadi Model Breakwater Yang Utuh.....	45
Gambar 3. 8 Pengecatan Model	46
Gambar 3. 9 Pemotongan Kaki Kemudian Menghubungkan Ke Model	46
Gambar 3. 10 Pembuatan Media Eksperimen Dan Pemasangan Model Ke Tempat Eksperimen	46
Gambar 3. 11 Visualisasi Penempatan Model Pada Kolam.....	49
Gambar 3. 12 Letak Masing-Masing Probe Pada Kolam	49
Gambar 4. 1 Gambar Hanging Breakwater Di Dalam Wave Basin.....	54
Gambar 4. 2 Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Software Hrdq.....	57

Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Nilai H_i/Gt^2 terhadap Kt	61
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Nilai H_i/Gt^2 Terhadap Kr	63
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Nilai H_i/Gt^2 Terhadap Kr	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klarifikasi Gelombang Berdasarkan Periode (Beer, 1997)	13
Tabel 2. 2 Klarifikasi Gelombang Airy (Yuwono, 1982)	14
Tabel 2. 3 Koefisien Refleksi Untuk Beberapa Tipe Bangunan (Triatmodjo, 1999)	21
Tabel 3. 1 Rancangan Simulasi Model	47
tabel 4. 1 Tabel Kordinat Dan Kedalaman Pada Setiap Probe.....	55
Tabel 4. 2 Panjang Gelombang Pada Masing-Masing Probe Tabel.....	55
Tabel 4. 3 Tabel Fluktuasi Muka Air Pada Masing-Masing Probe.....	56
Tabel 4. 4 Nilai H_i , H_t Dan H_r Dari Pengujian Tinggi Gelombang	58
Tabel 4. 5 Kecuraman Gelombang Untuk Setiap Periode	59
Tabel 4. 6 Nilai K_t , K_r Dan K_d	60

DAFTAR NOTASI

<i>Simbol</i>	<i>Keterangan</i>	<i>Satuan</i>
H	: Tinggi Gelombang	m
T	: Periode Gelombang	S
d	: Kedalaman	m
A	: Amplitudo	m
s	: Sarat Model	m
H_i	: Tinggi Gelombang Datang	m
H_t	: Tinggi Gelombang Transmisi	m
H_r	: Tinggi Gelombang Refleksi	m
H_d	: Tinggi Gelombang Disipasi	m
K_t	: Koefisien Transmisi	
K_r	: Koefisien Refleksi	
K_d	: Koefisien Disipasi	
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	

BAB I

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 sendiri merupakan 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*.

Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan pemecah gelombang Sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), Sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (disipasi) melalui pecahnya gelombang. 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 refleksi gelombang (K_r). Adapun nilai transmisi gelombang (K_d) yaitu perbandingan antara gelombang yang melewati *sheet pile 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 transmisi 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 diatas menjadi sangat penting dalam perencanaan *hanging breakwater*. Oleh karena itu, dipandang perlu untuk melakukan kajian-kajian terkait dengan pengaruh-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 EKSPERIMENTAL PENGARUH PARAMETER GELOMBANG TERHADAP TRANSMISI, REFLEKSI DAN DISIPASI GELOMBANG PADA HANGING BREAKWATER DI KOLAM GELOMBANG”

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 parameter gelombang terhadap transmisi gelombang pada *hanging breakwater*?
2. Bagaimana pengaruh parameter gelombang terhadap refleksi gelombang pada *hanging breakwater*?
3. Bagaimana pengaruh parameter gelombang terhadap disipasi gelombang pada *hanging breakwater*?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang terhadap transmisi gelombang pada *hanging breakwater*:
2. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang terhadap refleksi gelombang pada *hanging breakwater*:
3. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang terhadap disipasi gelombang pada *hanging breakwater*:

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 dan lebar struktur pada arah penjelaran gelombang tidak divariasikan;
2. Arah datang gelombang tegak lurus struktur;
3. Kajian kekuatan dan stabilitas struktur tidak dilakukan;
4. Kekuatan material/bahan konstruksi tidak dikaji; dan
5. Biaya konstruksi tidak dikaji.

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 penjalarnya 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 Klarifikasi 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

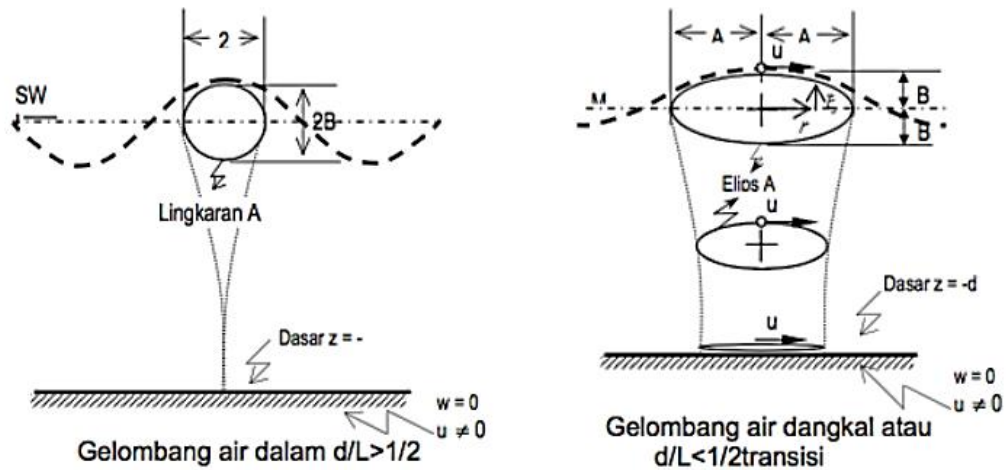
Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 2 Klarifikasi 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

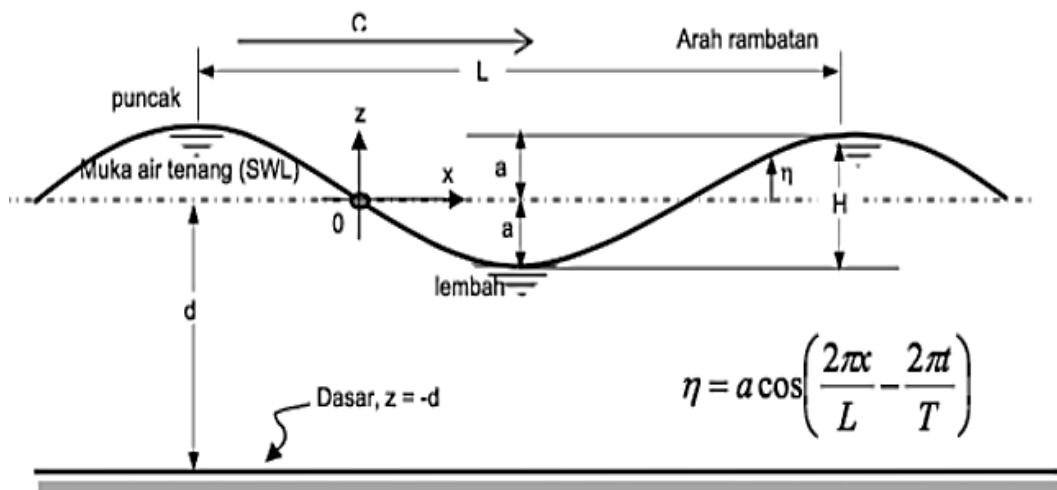
Ada beberapa dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori Airy, Stokes, dan Knoidal. Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuanyang berbeda, seperti yang dijelaskan dibawah ini;

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 diabaikan).
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 penjalaran 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 = 2 a
- 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 Cnoidal

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 y_t , adalah;

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

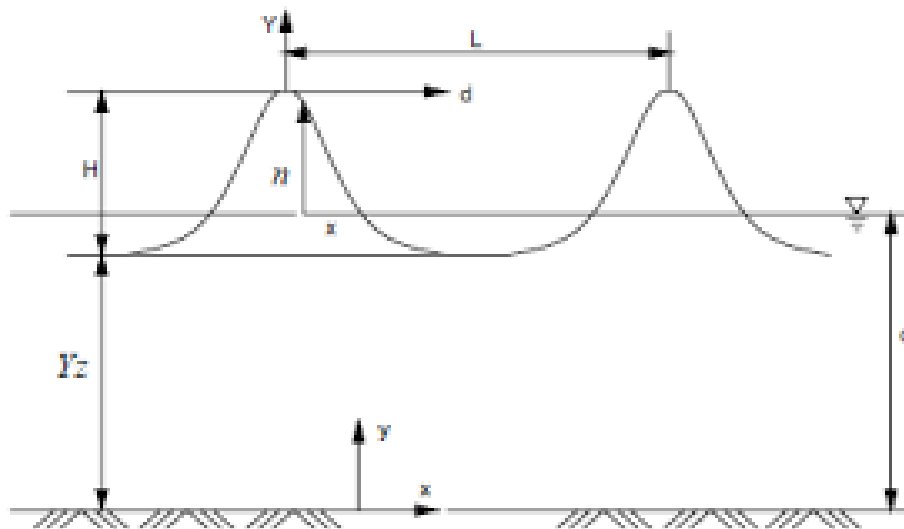
Dengan yc adalah jarak dari dasar ke puncak gelombang.

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 (Triatmojo,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

Persamaan untuk mengetahui koefisien transmisi menurut Potongan C, adalah

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

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

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. Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang terjadi ketika gelombang datang mengenai atau membentur suatu rintangan sehingga kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Jika sebuah gelombang didepan sebuah *breakwater* sisi tegak adalah gelombang berdiri, maka akan dipantulkan oleh dinding *breakwater* tersebut. Besar koefisien refleksi K_r dari *breakwater* tersebut pada umumnya akan naik, meskipun kurang dari 1,0 akibat dari efek struktur penyusun *breakwater* itu sendiri ataupun *wave overtopping*.

Besar kemampuan suatu bangunan pemecah gelombang untuk memantulkan gelombang dapat diketahui melalui koefisien refleksi. Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i :

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.17)$$

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model, seperti disajikan dalam berikut:

Tabel 2. 3 Koefisien Refleksi untuk Beberapa Tipe Bangunan

Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak diatas 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 degan peredam energi (diberi lubang)	0,05 – 0,2

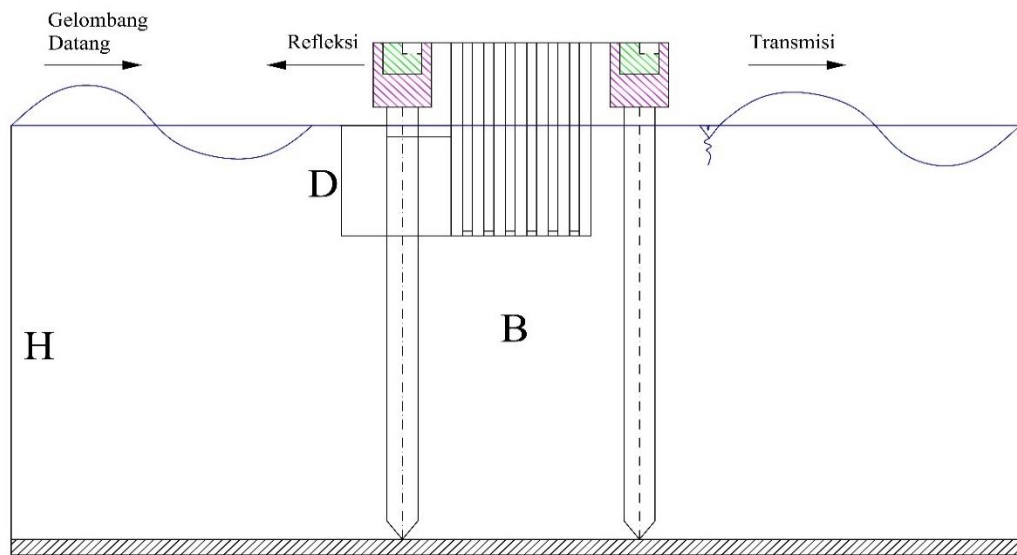
Sumber data: Triatmodjo, (1999)

Dinding vertikal dan *impermeable* memantulkan sebagian gelombang. Pada bangunan seperti itu, koefisien refleksi adalah $X = 1$, dan tinggi gelombang yang dipantulkan sama dengan tinggi gelombang datang. Gelombang di depan dinding vertikal merupakan superposisi dari kedua gelombang dengan periode,

tinggi dan angka gelombang yang sama tetapi berlawanan arah. Apabila refleksi sempurna, $X = 1$ maka:

$$H = H_i \cos kx \cos \sigma t \quad (2.18)$$

Persamaan tersebut menunjukkan fluktuasi muka air pada gelombang berdiri (*standing wave*) yang periodik terhadap waktu (t) dan terhadap jarak (x). apabila $kx - \cos \sigma t = 1$ maka tinggi maksimum adalah $2H_i$, yang berarti bahwa tinggi gelombang di depan bangunan vertikal bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang.



Gambar 2. 4 Skema terjadinya refleksi gelombang

Jika suatu gelombang mengenai benda yang menghalangi laju gelombang tersebut, maka gelombang tersebut mengalami refleksi dan transmisi. Demikian halnya yang terjadi pada gelombang yang mengenai suatu struktur pelindung pantai. Refleksi gelombang secara sederhana bisa diartikan sebagai seberapa besar gelombang terpantulkan oleh struktur pelindung bila dibandingkan dengan besar nilai gelombang datang. Sehingga, bila dibahasakan dalam rumus matematis, koefisien refleksi menjadi:

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.19)$$

Dengan H_r adalah tinggi gelombang setelah mengenai struktur yang lalu terpantulkan kembali (terrefleksikan) dan H_i adalah tinggi gelombang sebelum mengenai struktur. Refleksi gelombang pada *breakwater* merupakan sebuah fungsi yang terdiri berbagai parameter dan suku sebagai sebuah fungsi parameter gelombang struktur (PIANC, 1994).

Pada uji coba di *wave flume*, hal yang patut jadi perhatian untuk selanjutnya menjadi acuan adalah karakteristik gelombang yang terjadi dan koefisien refleksi yang terjadi akibat adanya struktur. menemukan metode menggunakan teknik perubahan Fourier (Goda, 1985). Persamaan yang biasa menggambarkan kejadian refleksi gelombang yang terjadi di *wave flume* saat struktur sudah terpasang adalah:

$$\eta_i = a_i \cos(kx - \omega t + \varepsilon_i) \quad (2.20)$$

$$\eta_r = a_r \cos(kx - \omega t + \varepsilon_r) \quad (2.21)$$

dengan akhiran “I” dan “R” mengatakan *incident* dan *reflected*.

Sumbu positif x diambil dari arah datang gelombang yang menuju struktur. Bila diasumsikan profil gelombang terekam di 2 tempat, yaitu:

$x_1 = x$ dan $x_2 = x_1 + \Delta_L$ maka:

$$\eta_1 = (\eta_i + \eta_r)_{x=x_1} = A_1 \cos(\omega t) + B_1 \sin(\omega t) \quad (2.22)$$

$$\eta_2 = (\eta_i + \eta_r)_{x=x_2} = A_2 \cos(\omega t) + B_2 \sin(\omega t) \quad (2.23)$$

Dengan:

$$A_1 = a_i \cos \phi_i + a_r \cos \phi_r \quad (2.24)$$

$$B_1 = a_i \sin \phi_i + a_r \sin \phi_r \quad (2.25)$$

$$A_2 = a_i \cos (k\Delta_L + \phi_i) + a_r \cos (k\Delta_L + \phi_r) \quad (2.26)$$

$$B_2 = a_i \sin (k\Delta_L + \phi_i) + a_r \sin (k\Delta_L + \phi_r) \quad (2.27)$$

$$\phi_i = k x_i + \varepsilon_i \quad (2.28)$$

$$\phi_r = k x_i + \varepsilon_r \quad (2.29)$$

Karena a_i, a_r, ϕ_i, ϕ_r tidak diketahui, maka dengan mengeliminasi keempat variabel tersebut bisa didapat:

$$a_i = \frac{\sqrt{K_2^1 + K_2^2}}{2 \sin k\Delta L} \quad (2.30)$$

$$a_i = \frac{\sqrt{K_3^2 + K_4^2}}{2 \sin k\Delta L} \quad (2.31)$$

Dengan:

$$K_1 = A_2 - A_1 \cos k\Delta_L - B_1 \sin k\Delta_L \quad (2.32)$$

$$K_2 = B_2 - A_1 \cos k\Delta_L - B_1 \sin k\Delta_L \quad (2.33)$$

$$K_3 = A_2 - A_1 \cos k\Delta_L - B_1 \sin k\Delta_L \quad (2.34)$$

$$K_4 = B_2 - A_1 \cos k\Delta_L - B_1 \sin k\Delta_L \quad (2.35)$$

2.1.6. Disipasi Gelombang

Gelombang disipasi merupakan gelombang yang berhasil diredam. Besarnya tinggi gelombang yang diredam/diabsorpsi (disipasi) H_d adalah tinggi gelombang datang (H_i) dikurangi tinggi gelombang yang direfleksikan (H_r) dan tinggi gelombang yang ditransmisikan (H_t). Koefisien disipasi (K_d) juga dapat dihitung jika koefisien refleksi (K_r) dan koefisien transmisi (K_t) diketahui dengan rumus:

$$E_i = E_r + E_t + E_d \quad (2.36)$$

$$\frac{1}{8} \rho g H_i^2 = \frac{1}{8} \rho g H_r^2 + \frac{1}{8} \rho g H_t^2 + \frac{1}{8} \rho g H_d^2 \quad (2.37)$$

$$H_i^2 = H_r^2 + H_t^2 + H_d^2 \quad (2.38)$$

$$\frac{H_i^2}{H_i^2} = \frac{H_r^2}{H_i^2} + \frac{H_t^2}{H_i^2} + \frac{H_d^2}{H_i^2} \quad (2.39)$$

$$1 = K_r^2 + K_t^2 + K_d^2 \quad (2.40)$$

$$K_d^2 = 1 - (K_r^2 + K_t^2) \quad (2.41)$$

$$K_d = \sqrt{1 - (K_r^2 + K_t^2)} \quad (2.42)$$

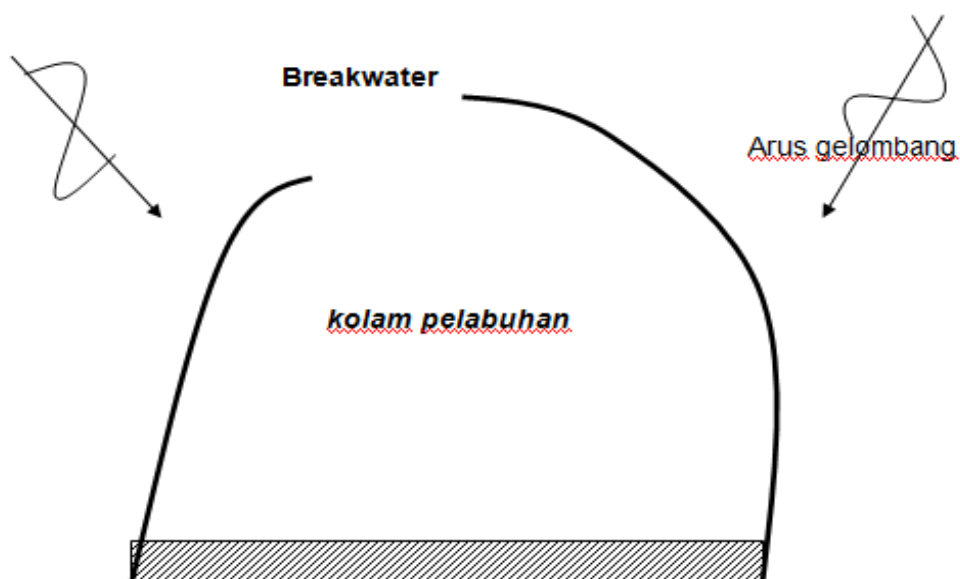
2.2. Breakwater

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. 5 Ilustrasi pelindung *Breawater* Pada Area Pelabuhan (Triatmodjo, 2003)

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

- a. 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.
- b. 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).
- c. Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut. Maka pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pantai di belakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sediment tersebut.

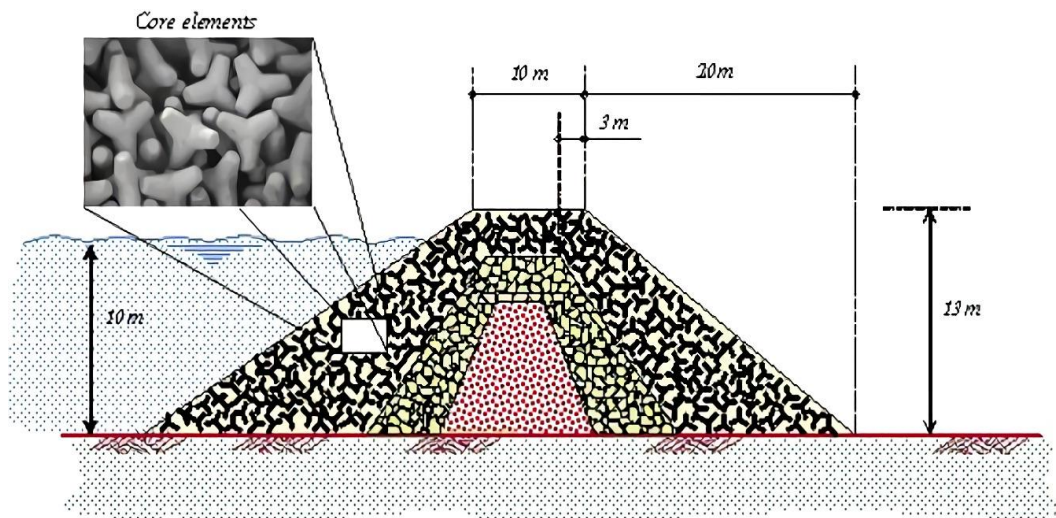
Bentuk/tipe pemecah gelombang berdasarkan tipe bangunannya dapat dibedakan menjadi tiga:

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 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 butiran akan berpengaruh terhadap kaitan antara

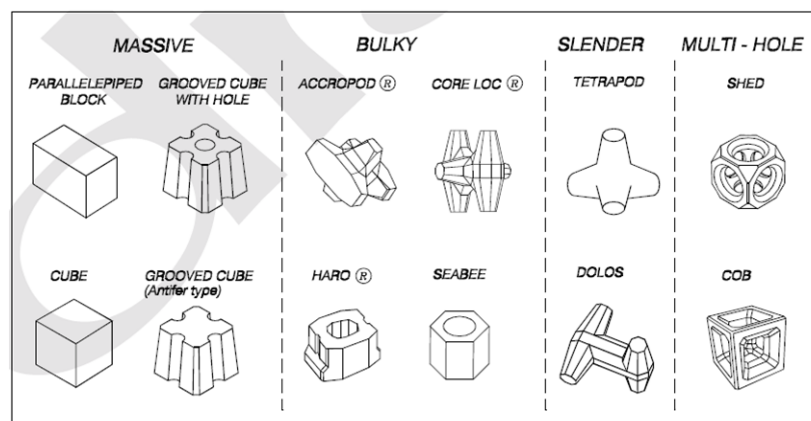
butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi tajam akan mengait satu sama lain dengan lebih baik sehingga stabil.



Gambar 2. 6 Potongan Melintang *Breakwater* Tipe Miring (Triatmodjo,2003)

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:

- a) *Tetrapod*
- b) *Cube*
- c) *Tribar*
- d) *Quadripod*
- e) *Accropod*
- f) *Core-loc*
- g) *Dolos*



Gambar 2. 7 Lapisan Pelindung *Breakwater* Tipe Sisi Miring (Triatmodjo, 2003)

2.2.2. *Breakwater* Sisi Tegak

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 superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul. Tinggi gelombang *klapotis* adalah 2 kali tinggi gelombang datang. Hal-hal yang perlu diperhatikan:

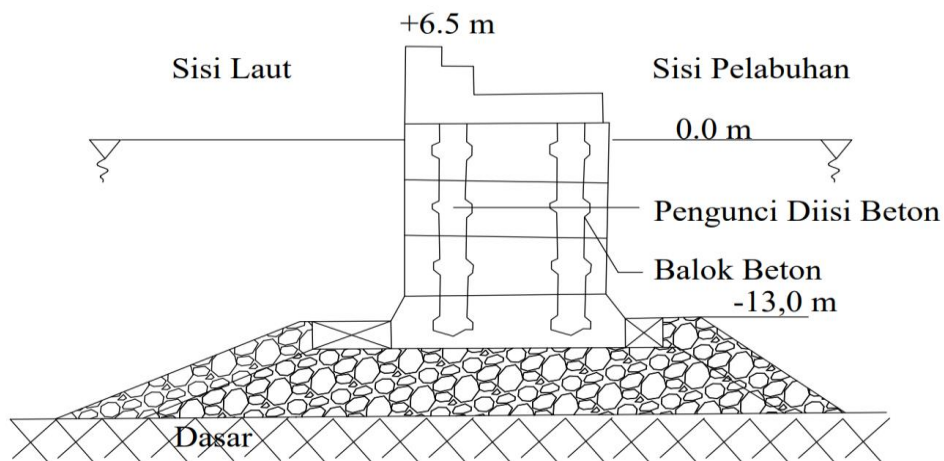
- Tinggi pemecah gelombang dia atas muka air pasang tertinggi tidak boleh kurang dari $1 \frac{1}{3}$ - $1 \frac{1}{2}$ kali tinggi gelombang datang.
- Kedalaman di bawah muka air terendah ke dasar bangunan tidak kurang dari $1 \frac{1}{4}$ - $1 \frac{1}{2}$ kali atau lebih baik 2 kali tinggi gelombang datang.
- Lebar pemecah gelombang minimal $\frac{3}{4}$ tingginya.

- d) Kedalaman maksimum perairan 15-20 m.
- e) Untuk kedalaman lebih dari 20 m, breakwater sisi tegak dibangun di atas breakwater sisi miring (*breakwater campuran*).

Konstruksi *Breakwater* Terdapat berupa:

1. Balok beton

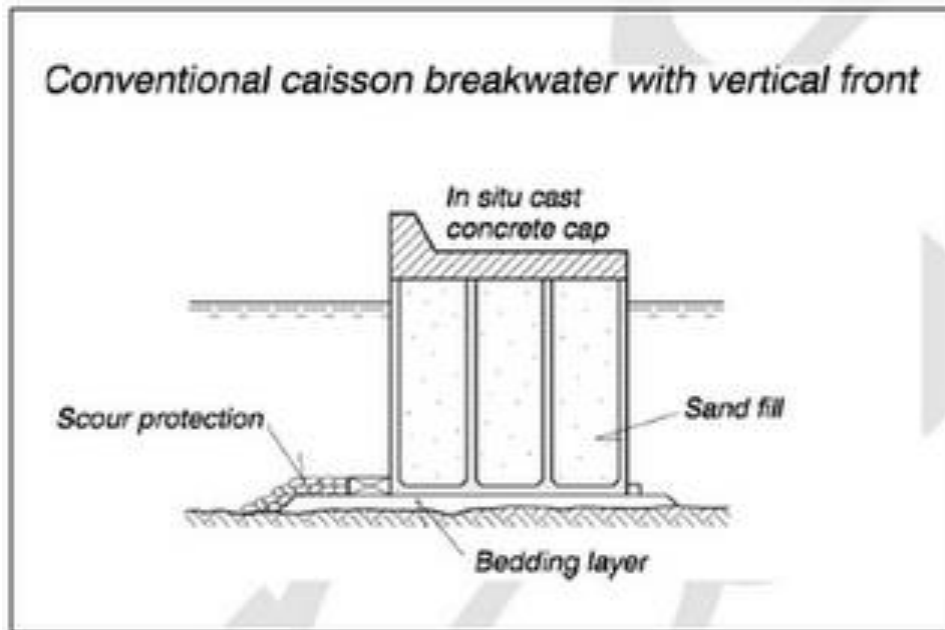
Dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal. Masing-masing blok dikunci dengan beton bertulang yang dicor di tempat setelah blok-blok tersebut disusun. Puncak pemecah gelombang dibuat dinding beton yang dicor ditempat. Fondasi terbuat dari tumpukan batu yang diberi lapis pelindung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



Gambar 2. 8 *Breakwater* blok beton (Triatmodjo, 2003)

2. *Kaison (caisson)*

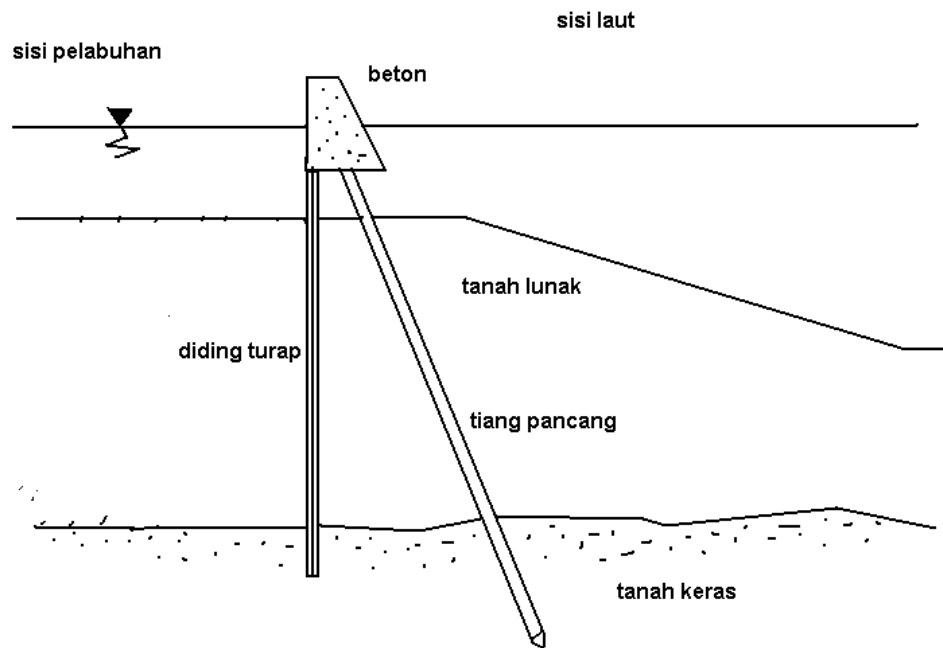
Pemecah gelombang ini dibuat di daratan dan kemudian dibawa ke lokasi yang telah ditentukan dengan ditarik oleh kapal. Pengangkutan ke lokasi dilakukan pada waktu air tenang. Setelah sampai ke lokasi kaison tersebut ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengisikan air ke dalamnya dan kemudian diisi dengan 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. 9 Potongan Melintang Breakwater Tipe Caisson (Triatmodjo, 2003)

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.



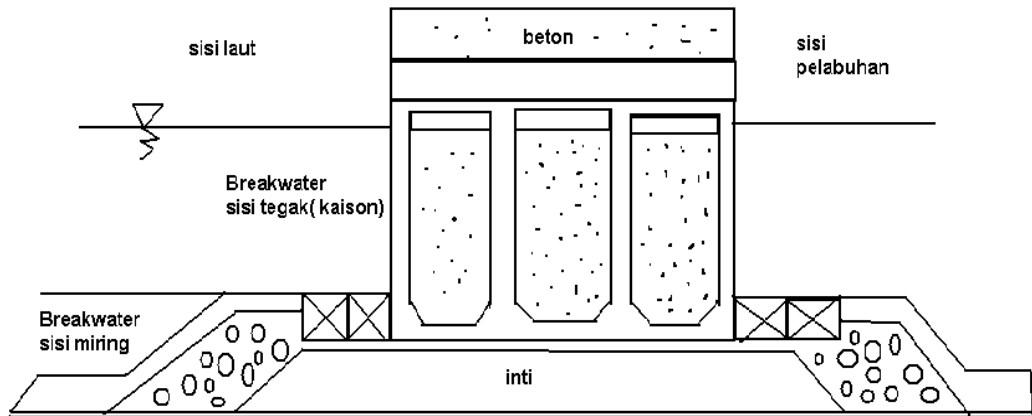
Gambar 2. 10 *Sheet Pile Cells* (Triatmodjo, 2003)

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.

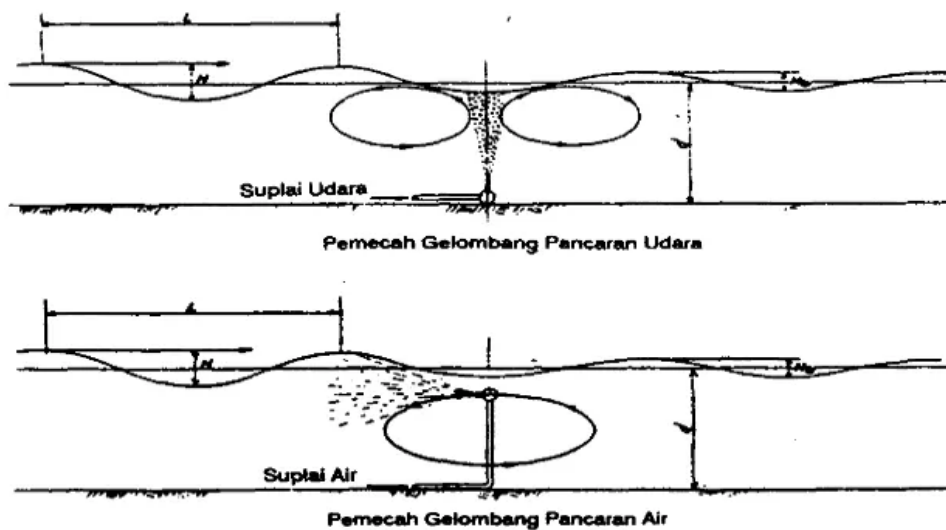


Gambar 2. 11 Potongan Melintang *Breakwater* Tipe Gabungan (Triatmodjo, 2003)

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. 12 *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:

$$K_T = \frac{b}{D + b} \quad (2.36)$$

Dimana 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. Hayasi dan Kano melakukan pengembangan teori tentang efek kontraksi akibat semprotan air melalui pemecah gelombang tiang silinder. Selanjutnya Hayasi dan Kano melakukan eksperimen untuk memverifikasi solusi yang dikembangkan sebelumnya. Hayasi 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 berlubang, 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 & 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° , sarat pemecah gelombang lebih besar dari setengah kedalaman air, dan panjang gelombang lebih besar dari dua kali kedalaman air.

Koraim (2014) dan 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 :

$$K_t = e^{-\beta \frac{Bd}{Lh}} \quad (2.37)$$

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, & 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).

$$nL = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.38)$$

dengan:

nL = Skala Panjang

L_m = panjang model (m)

L_p = panjang prototip (m)

Skala berat *hanging* dapat dilakukan dengan merasiokan prototip terhadap model yang dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.38

$$W_a = \gamma_a \cdot V \quad (2.39)$$

Dengan :

W_a = Berat prototip (kg)

γ_a = Berat jenis prototip (kg/m³)

V = Volume prototip (m³)

Rapat massa model dapat diketahui dengan Persamaan 2.38

$$(\gamma_a)_m = (\gamma_a)_p \times \frac{(\gamma_w)_m}{(\gamma_w)_p} \quad (2.40)$$

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).

$$N_{wa} = N_{\gamma_a} \times n_L^3 \quad (2.41)$$

dengan :

N_{γ_a} = Nilai perbandingan rapat massa prototip dengan rapat massa model

n_L^3 = Skala Panjang

Dengan demikian berat model dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.30) sebagai berikut:

$$(W_a)_m \times \frac{(W_a)_p}{N_{wa}} \quad (2.42)$$

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:

$$n_L = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (2.43)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (2.44)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^2}{n_T} \quad (2.45)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad (2.46)$$

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.

$$F_y = \frac{(pL^3)\left(\frac{v^2}{L}\right)}{pgL^3} = \frac{v^2}{gL} \quad (2.47)$$

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

$$n_{Fy} = \frac{n_U}{n_L^{0.5}} \quad (2.48)$$

$$n_{Fy} = \frac{F_{yp}}{F_{ym}} = 1 \quad (2.49)$$

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:

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \quad (2.50)$$

Sedangkan skala waktu n_T dan skala gravitasi ditulis seperti berikut:

$$n_T = n \frac{1}{L^2} \quad (2.51)$$

$$n_L = 1 \quad (2.52)$$