

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG
STRUKTUR TERHADAP PERAMBATAN GELOMBANG
MELALUI HANGING BREAKWATER**

Disusun dan diajukan oleh:

DENI MULYAWAN

D081181007



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG STRUKTUR
TERHADAP PERAMBATAN GELOMBANG MELALUI HANGING
BREAKWATER**

Disusun dan diajukan oleh

Deni Mulyawan
D081181007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 November 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.
NIP 197506052002121003

Pembimbing II



Sabaruddin Rahman, ST. MT. Ph.D
NIP 197607192001121001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.
NIP 197506052002121003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Deni Mulyawan
NIM : D081181007
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Struktur Terhadap Perambatan Gelombang Melalui *Hanging Breakwater*)

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 24 November 2022

Yang Menyatakan


Deni Mulyawan

ABSTRAK

Deni Mulyawan, *Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Struktur Terhadap Perambatan Gelombang Melalui Hanging Breakwater* (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 tumpukan 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 Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang terhadap refleksi, transmisi dan disipasi gelombang melalui hanging breakwater; Untuk mengetahui pengaruh panjang struktur hanging breakwater terhadap koefisien transmisi, refleksi dan disipasi.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Teknologi Kelautan Universitas Hasanuddin. Adapun parameter dalam penelitian ini dilakukan variasi tinggi gelombang sebanyak 5 variasi, periode gelombang (T) sebanyak 5 variasi, dan lebar model (B) sebanyak 3 variasi.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan, maka dapat disimpulkan bahwa : Nilai koefisien transmisi (K_t) memiliki hubungan berbanding terbalik dengan kecuraman gelombang (H_i/L). sedangkan nilai koefisien refleksi nya (K_r) berbanding lurus dengan kecuraman gelombang (H_i/L). dan untuk koefisien disipasi (K_d) sama dengan koefisien transmisi yaitu berbanding terbalik dengan nilai kecuraman gelombang (H_i/L). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila dibandingkan antara variasi model ($b_1 = 40$ cm; $b_2 = 50$ cm; dan $b_3 = 60$ cm) dengan kondisi kedalaman ($d = 70$ cm) dan dengan variasi periode (T 1; T 1,2; T 1,5; T 1,8 dan T2 dtk) maka dapat dilihat bahwa nilai K_t condong lebih rendah pada variasi model ke tiga yaitu $b_3 = 60$ cm dengan nilai $0,095 \leq K_t \leq 0,530$ dan $b_2 = 0,108 \leq K_t \leq 0,608$ serta $b_1 = 0,163 \leq K_t \leq 0,584$. Hal ini menunjukkan bahwa Pemecah Gelombang tipe *hanging breakwater* lebih efektif jika semakin lebar model uji yang diberikan.

Kata-kata Kunci: *Hanging Breakwater, Koefisien Transmisi, Koefisien Refleksi, Koefisien Disipasi.*

ABSTRACT

Deny Mulyawan. *Experimental Study of the Effect of Structure Length on Wave Propagation Through Hanging Breakwater* (supervised 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 the price issued is also very expensive. Therefore, an alternative type of new breakwater is needed with smaller dimensions and less construction costs. One solution that can be applied is Hanging Breakwater.

The purpose of this study was to determine the effect of wave parameters on reflection, transmission and dissipation of waves through the hanging breakwater; To determine the effect of the length of the hanging breakwater structure on the coefficient of transmission, reflection and dissipation.

This research was conducted at the Marine Technology Research Laboratory, Hasanuddin University. The parameters in this study were carried out by 5 variations of wave height, 5 variations of the wave period (T), and 3 variations of the model width (B).

Based on the results of the research that we have done, it can be concluded that: The value of the transmission coefficient (K_t) has an inverse relationship with the steepness of the wave (H_i/L). while the value of its reflection coefficient (K_r) is directly proportional to the steepness of the wave (H_i/L). and the dissipation coefficient (K_d) is the same as the transmission coefficient, which is inversely proportional to the steepness of the wave (H_i/L). From research results shows that when compared between model variations ($b_1 = 40$ cm; $b_2 = 50$ cm; and $b_3 = 60$ cm) with depth conditions ($d = 70$ cm) and with period variations (T 1; T 1,2; T 1.5; T 1.8 and T2 s) it can be seen that the value of K_t tends to be lower in the third variation of the model, namely $b_3 = 60$ cm with a value of $0.095 < K_t < 0.530$ and $b_2 = 0.108 < K_t < 0.608$ and $b_1 = 0.163 < K_t < 0.584$. This shows that the hanging breakwater type breakwater is more effective if the wider test model is given.

Keywords: *Hanging Breakwater, Transmission Coefficient, Reflection Coefficient, Dissipation Coefficient.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I 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	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	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. Refleksi Gelombang	14
2.2. Breakwater	16
2.2.1. <i>Breakwater</i> Sisi Miring.....	18
2.2.2. <i>Breakwater</i> Sisi Tegak	19
2.2.3. Breakwater Gabungan	21
2.3. <i>Hangin</i> Breakwater.....	23
2.4. Pemodelan Fisik.....	27
2.4.1. Sebangun Geometrik	28
2.4.2. Sebangun Kinematik	29
2.4.3. Sebangun Dinamik	30
2.5. Penelitian Yang Relevan.....	31
2.6. Kerangka Pikir Penelitian	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1. Lokasi Penelitian	36
3.2. Jenis Data.....	36

3.3. Bahan dan Alat.....	36
3.4. Skala Model.....	37
3.5. Perancangan Model	38
3.6. Pembuatan Model	40
3.7. Pelaksanaan Pengujian	40
3.8. Metode Analisis Data	41
3.9. Alur Pelaksanaan Simulasi	41
3.10. Alur Penelitian	43
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	44
1.1. Hasil Analisis	44
1.2. Pembahasan	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan.....	62
5.2. Saran	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam.....	7
Gambar 2.2. Sketsa definisi parameter gelombang (Yuwono, 1982).....	9
Gambar 2.3. Gelombang Knoidal.....	12
Gambar 2.4. Skema Terjadinya Refleksi Gelombang.....	15
Gambar 2.5. Ilustrasi Pelindung Breawater Pada Areal Pelabuhan.....	17
Gambar 2.6. Potongan Melintang Breakwater Tipe Miring.....	18
Gambar 2.7. Lapisan Pelindung Breakwater Tipe Sisi Miring.....	19
Gambar 2.8. Potongan Melintang Breakwater Tipe Caisson.....	21
Gambar 2.9. Sheet Pile Cells.....	21
Gambar 2.10. Potongan Melintang Breakwater Tipe Gabungan.....	22
Gambar 2.11. Breakwater Tipe Semburan Air dan Udara.....	23
Gambar 2.12. Kerangka Pikir Penelitian.....	35
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian.....	36
Gambar 3.2. Tampak Depan.....	38
Gambar 3.3. Tampak Atas.....	38
Gambar 3.4. Tampak Samping.....	39
Gambar 3.5. (a). Model 3D Hanging Breakwater, (b) Model 3D Wave Flume....	39
Gambar 3.6. Proses Pembuatan Model.....	46
Gambar 3.7. Proses Pengujian Model.....	41
Gambar 3.8. Alur Penelitian.....	43
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian.....	36
Gambar 3.2. Tampak Depan.....	38
Gambar 3.3. Tampak Atas.....	38
Gambar 3.4. Tampak Samping.....	39
Gambar 3.5. (a). Model 3D Hanging Breakwater, (b) Model 3D Wave Flume.....	39
Gambar 4.1. Fluktuasi Muka Air Terhadap Waktu.....	47
Gambar 4.2. Hubungan Non-dimensional.....	50
Gambar 4.3. Perbandingan H_i/L terhadap K_t untuk semua model.....	53
Gambar 4.4. Perbandingan H_i/Gt^2 terhadap K_r untuk semua model.....	53
Gambar 4. 5. Perbandingan H_i/L terhadap K_d untuk semua model.....	54
Gambar 4.6. Perbandingan h/L terhadap K_t untuk semua model.....	55
Gambar 4.7. Perbandingan h/L terhadap K_r untuk semua model.....	55
Gambar 4.8. Perbandingan h/L terhadap K_d untuk semua model.....	56

Gambar 4.9. Perbandingan D/L terhadap K_t untuk semua model.....	57
Gambar 4.10. Perbandingan D/L terhadap K_r untuk semua model.....	57
Gambar 4.11. Perbandingan D/L terhadap K_d untuk semua model.....	58
Gambar 4.12. Perbandingan BL terhadap K_t untuk semua model.....	59
Gambar 4.13. Perbandingan B/Gt^2 terhadap K_r untuk semua model	59
Gambar 4.14. Perbandingan B/L terhadap K_d untuk semua model.....	60
Gambar 4.15. Grafik perbandingan nilai kecuraman gelombang (H_i/Gt^2) terhadap koefisien transmisi (K_t)	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klarifikasi Gelombang Berdasarkan Periode (Beer, 1997)	6
Tabel 2.2. Klarifikasi Gelombang Airy (Yuwono, 1982)	7
Tabel 2.3. Koefisien Refleksi untuk Beberapa Tipe Bangunan (Triatmodjo, 1999)	14
Tabel 2.4. Studi penelitian yang relevan	31
Tabel 3.1. Parameter gelombang	39
Tabel 3.2. Variasi perubahan panjang model struktur	40
Tabel 4.1. Perhitungan Panjang Gelombang dengan Metode Iterasi.....	44
Tabel 4.2. Rekap data panjang gelombang pada variasi model.....	45
Tabel 4.3. Fluktuasi muka air pada masing-masing probe	46
Tabel 4.4. Rekap parameter gelombang hasil analisis aplikasi <i>fortran</i>	47
Tabel 4.5. Rekap data kecuraman gelombang setiap variasi model.....	50

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
H	<i>Tinggi Gelombang (m)</i>
T	<i>Periode Gelombang (s)</i>
D	<i>Kedalaman (m)</i>
B	<i>Lebar Celah (m)</i>
s	<i>Sarat Model (m)</i>
H_i	<i>Tinggi Gelombang Datang (m)</i>
H_t	<i>Tinggi Gelombang Transmisi (m)</i>
K_t	<i>Koefisien Transmisi</i>
K_r	<i>Koefisien Refleksi</i>
H_0	<i>Tinggi Gelombang Laut Dalam (m)</i>
L	<i>Panjang Gelombang (m)</i>
L_0	<i>Panjang Gelombang Laut Dalam (m)</i>
k	<i>Bilangan Gelombang</i>
ω	<i>Frekuensi Sudut Hz/rad</i>
C	<i>Kecepatan Gelombang (m/s)</i>
C_0	<i>Kecepatan Gelombang Laut Dalam (m/s)</i>
u	<i>Kecepatan Partikel Air (m/s)</i>
g	<i>Percepatan Gravitasi (m/s)</i>
a	<i>Percepatan Partikel Air (m/s)</i>
nL	<i>Skala Panjang (m)</i>
nT	<i>Skala Waktu (s)</i>
KD	<i>Koefisien Difraksi</i>
HD	<i>Tinggi Gelombang Difraksi (m²)</i>

KATA PENGANTAR

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat 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 **STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG STRUKTUR TERHADAP PERAMBATAN GELOMBANG MELALUI HANGING BREAKWATER** 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. M. Saleh** dan Ibunda **Hamria** 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. Serta saya mengucapkan banyak terimakasih kepada keluarga besar **H. Johan** yang selalu membantu dalam kesulitan dan permasalahan yang saya hadapi 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 **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, 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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah pantai merupakan daerah yang intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia seperti kawasan pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian, perikanan, pariwisata dan sebagainya. Pantai juga merupakan bagian dari lingkungan kawasan pesisir yang dinamis dan selalu berubah. Proses perubahan yang terjadi di pantai merupakan akibat kombinasi berbagai gaya yang bekerja di pantai meliputi angin, gelombang (Triatmodjo,1999).

Permasalahan yang sering muncul pada daerah pantai adalah abrasi pantai yang terutama disebabkan oleh aktivitas gelombang laut. Salah satu metode menanggulangi abrasi pantai adalah penggunaan struktur penahan gelombang pada area tertentu. Gempuran gelombang yang besar dapat diredam dengan cara mengurangi energi gelombang datang, sehingga gelombang yang menuju pantai energinya menjadi kecil. Untuk dapat menanggulangi kerusakan pantai akibat gempuran gelombang di pantai maka diperlukan konstruksi pemecah gelombang yang berfungsi untuk memecahkan, merefleksikan dan mentransmisikan energi gelombang sebelum tiba di pantai. (Rizqi, Haryo and Sujantoko, 2010)

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). (Paotonan, Kasim and Rahman, 2018).

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 and Mani, 1997). Desain struktur pelindung garis pantai atau pemecah gelombang biasanya didasarkan pada koefisien transmisi gelombang K_T . Nilai K_T yang lebih rendah menunjukkan peningkatan efektivitas pemecah gelombang.(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 “*STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG STRUKTUR TERHADAP PERAMBATAN GELOMBANG MELALUI HANGING BREAKWATER*”.

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*. Permasalahan yang timbul adalah kinerja pemecah gelombang tipe *hanging breakwater* dalam meredam dan merefleksikan gelombang belum diketahui. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian gelombang terhadap model *prototype* *hanging breakwater* yang di uji dalam *wave flum* dilakukan di Laboratorium Riset Teknologi Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, melalui eksperimen laboratorium permasalahan penelitian yang harus dikaji adalah :

1. Bagaimana pengaruh parameter gelombang terhadap koefisien refleksi, koefisien transmisi dan koefisien disipasi gelombang pada *hanging breakwater*?
2. Bagaimana pengaruh panjang struktur *hanging breakwater* terhadap gelombang datang dengan nilai koefisien transmisi, koefisien refleksi dan koefisien disipasi?.

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang terhadap koefisien transmisi, koefisien refleksi dan koefisien disipasi gelombang melalui hanging breakwater;
2. Untuk mengetahui pengaruh panjang struktur hanging breakwater terhadap koefisien transmisi, koefisien refleksi dan koefisien disipasi.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai bahan atau tolak ukur untuk diperhitungkan dalam perancangan pemecah gelombang *hanging breakwater* sebagai pemecah gelombang yang inovatif dan dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lain yang relevan.

1.5. Batasan Masalah

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

1. Fluida yang digunakan dalam eksperimen adalah air tawar;
2. Daya dukung tanah tidak dikaji;
3. Arah datang gelombang tegak lurus struktur;
4. Kajian kekuatan dan stabilitas struktur tidak dilakukan;
5. Kekuatan material/bahan konstruksi tidak dikaji; dan
6. Biaya konstruksi tidak dikaji.
7. Kedalaman dan sarat model tidak divariasikan

1.6. Sistematika Penulisan

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

Di dalamnya terdapat teori-teori yang mendukung dan relevan dengan penelitian. Teori-teori tersebut dapat berupa penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, seperti jurnal, tugas akhir, tesis, makalah, dan literatur lain yang relevan tentang penelitian tersebut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tahapan atau kegiatan pelaksanaan penelitian yang mencerminkan alur berpikir dari awal penelitian hingga akhir dan pengumpulan data yang mendukung proses tersebut.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil analisis dan data perambatan gelombang pada posisi *wave probe* yang di tempatkan didalam *wave flum* dengan mempevariasikan frekuensi serta amplitudo gelombang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi hasil analisis dan evaluasi yang diperoleh dari penelitian serta saran untuk pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang

Gelombang laut pada umumnya timbul oleh pengaruh angin, walaupun masih ada faktor-faktor lain yang dapat menimbulkan gelombang di laut seperti aktifitas seismik di dasar laut (gempa), letusan gunung api, gerakan kapal, gaya tarik benda angkasa (bulan dan matahari). (Nining, 2002).

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. (Triatmodjo 2016).

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. (Triatmodjo 2016).

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. (Triatmodjo 2016).

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. (Triatmodjo 2016).

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

Gelombang laut selalu menimbulkan sebuah ayunan air yang bergerak tanpa henti-hentinya pada lapisan permukaan laut dan jarang dalam keadaan sama sekali diam. Hembusan angin sepoi-sepoi pada cuaca yang tenang sekalipun sudah cukup untuk dapat menimbulkan riak gelombang. Sebaliknya dalam keadaan di mana badai yang besar dapat menimbulkan suatu gelombang besar yang dapat mengakibatkan suatu kerusakan di daerah pantai. (Azis, 2006).

Tabel 2. 1. Klarifikasi Gelombang Berdasarkan Periode (Beer, 1997)

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

2. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Kedalaman Relatif

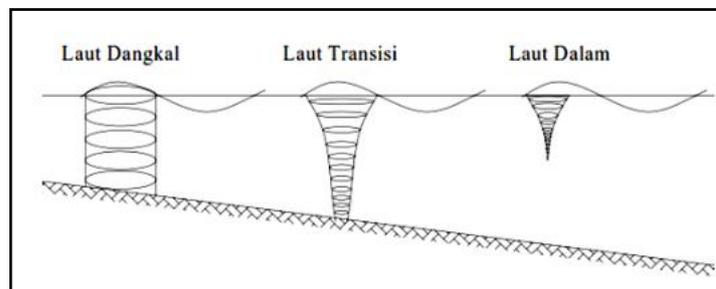
Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam (Triatmodjo 2016).

1. Gelombang perairan dalam (Deep water waves) dimana $d/L > 1/2$
2. Gelombang perairan transisi (Transitional waves) dimana $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang perairan dangkal (Shallow water waves) dimana $d/L < 1/20$

Tabel 2. 2. Klarifikasi Gelombang Airy (Yuwono, 1982)

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

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6. Orbit perpindahan partikel berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam. Di laut transisi dan dangkal lintasan partikel berbentuk ellips. Semakin besar kedalaman bentuk ellips semakin pipih, dan di dasar gerak partikel adalah horizontal.



Gambar 2.1. gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam.
Sumber: Triatmodjo (1999)

2.1.2. Teori Gelombang

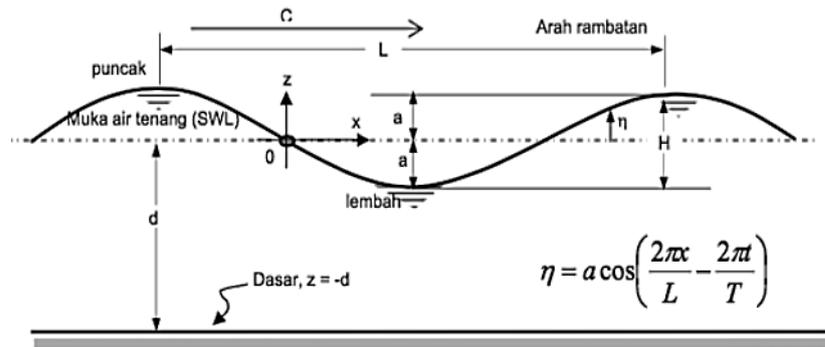
Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit di gambarkan secara matematis karena ketidak-linieran. Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam. Ada beberapa teori dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Knoidal, dan lain-lain. Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. (Triatmodjo, 2016).

2.1.2.1. Teori Gelombang Airy

Teori ini merupakan teori gelombang yang paling sederhana atau biasa disebut juga teori gelombang amplitudo kecil, teori ini pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845. Teori amplitudo kecil di turunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air didapat dengan melinierkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap. Penyelesaian persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak rotasional, potensial kecepatan ini kemudian digunakan untuk menurunkan persamaan dari berbagai karakteristik gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, kecepatan rambat gelombang, dan sebagainya.

Anggapan-anggapan yang di gunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut.

1. Zat cair adalah homogeny dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa 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 rotasi.
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

Sumber: 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:

- d : Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(x,t)$: Fluktasi 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.

$$\begin{aligned} \eta = a \cos(kx - \sigma t) + a^2 B_2(L,d) \cos 2(kx - \sigma t) \\ + a^3 B_3(L,d) \cos 3(kx - \sigma t) + \dots \\ + a^n B_n(L,d) \cos n(kx - \sigma t). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Dengan B_2, B_3, \dots, B_n adalah fungsi dari panjang gelombang dan kedalaman air.

Teori gelombang linier (orde satu) hanya memperhitungkan suku pertama dari ruas kanan. Apabila diperhitungkan dua suku pertama disebut teori orde kedua; dan bila tiga suku pertama disebut teori orde ketiga; dan seterusnya.

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:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2.2)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah:

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

2. Fluktuasi muka air

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

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh kd}{\sinh^3 kd} (2 + \cosh 2kd) \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.4)$$

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

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_0} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{\pi H_0^2}{4L_0} \cos\left(\frac{4\pi x}{L_0} - \frac{4\pi t}{T}\right) \quad (2.5)$$

3. Kecepatan partikel

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

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 c \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \sin 2(kx - \sigma t) \quad (2.6)$$

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

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 ys diukur terhadap dasar diberikan oleh;

$$Y_s = y_t + Hcn^2 \left\{ 2K(k) \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), k \right\} \quad (2.8)$$

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;

$$\frac{y_t}{d} = \frac{y_c}{d} = \frac{H}{d} = \frac{16d^2}{3L^2} K(k) [K(k) - E(k)] + 1 - \frac{H}{d} \quad (2.9)$$

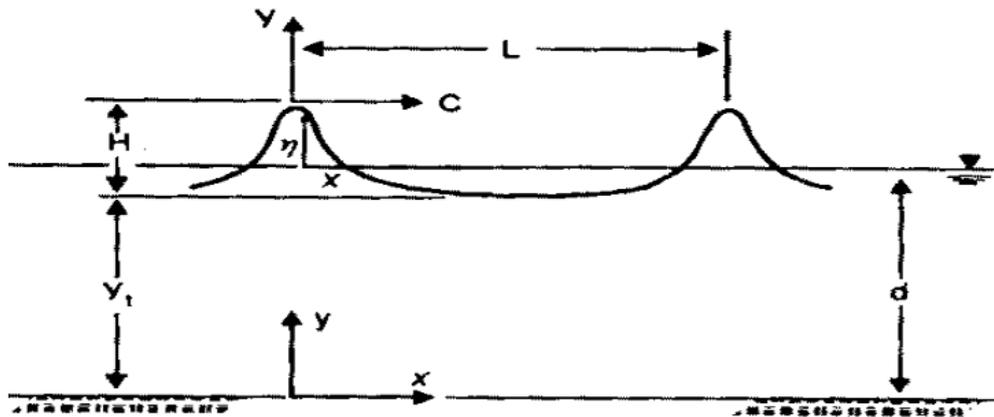
Dengan y_c adalah jarak dari dasar ke puncak gelombang.

Panjang gelombang diberikan oleh:

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} kK(k) \quad (2.10)$$

Periode gelombang:

$$T = \sqrt{\frac{g}{d}} = L = \sqrt{\frac{16yt}{3H}} \frac{d}{yt} \left[\frac{kK(k)}{1 + \frac{H}{ytK^2} \left(\frac{1}{2} - \frac{E(k)}{K(k)} \right)} \right] \quad (2.11)$$



Gambar 2.3. Gelombang Knoidal.

Sumber: Triatmodjo (1999)

2.1.3. Transformasi Gelombang

Gelombang yang merambat menuju tepi pantai akan mengalami beberapa proses perubahan ketinggian gelombang sebagai akibat dari proses pendangkalan (wave shoaling), refraksi, difraksi atau proses refleksi sebelum akhirnya gelombang tersebut pecah (wave breaking) (Pratikto et al, 1997& Triatmodjo, 1999).

Menurut Carter (1988), jika suatu muka barisan gelombang datang membentuk sudut miring terhadap tepi pantai yang mempunyai kemiringan dasar landai dengan kontur-kontur kedalaman sejajar dengan pantai, maka muka gelombang akan berubah arah dan cenderung menjadi sejajar dengan garis pantai atau mengalami proses pembiasan (refraksi). Selanjutnya arah perambatan berangsur-angsur berubah dengan berkurangnya kedalaman (shoaling), sehingga dapat diamati bahwa muka gelombang cenderung sejajar dengan kedalaman. Hal ini disebabkan perubahan bilangan gelombang yang mengakibatkan perubahan kecepatan fase gelombang. Bila keadaan pantai landai, ada kemungkinan bahwa gelombang tersebut tidak pecah tetapi pemantulan gelombang (refleksi), selain itu refleksi juga dapat terjadi jika mengenai/membentur suatu rintangan. Arah dari perambatan dapat juga berubah atau mengalami pelenturan (proses difraksi), ketika gelombang melewati perairan dengan kedalaman air yang konstan, seperti ketika gelombang menuju ke suatu pulau atau pemecah gelombang. Pola difraksi dapat diamati bila suatu gelombang melewati suatu tanjung atau ujung sebuah tanggul buatan, maka gelombang akan mengalami pemanjangan puncak secara melengkung ke arah sisi belakang tanjung atau tanggul perintang tersebut. Peristiwa ini terjadi karena

perembesan energi ke dalam bayang-bayang yang merupakan daerah aliran tenang di belakang rintangan.

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,

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

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

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 (Triatmodjo, 1999)

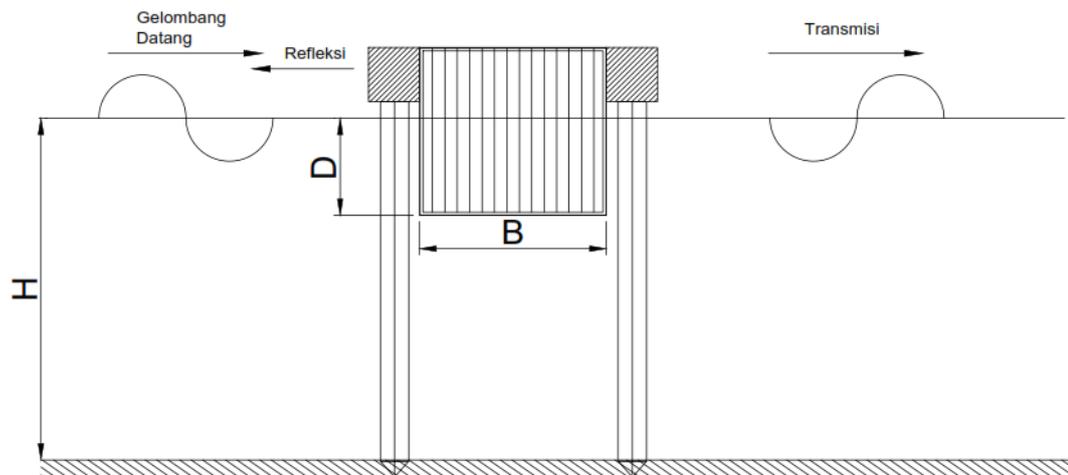
Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak diatas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan balok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal degan peredam energi (diberi lubang)	0,05 – 0,2

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 (terefleksikan) 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:

$$a_i = \frac{\sqrt{K_1^2 + K_2^2}}{2 \sin k\Delta_L} \quad (2.30)$$

Dengan :

$$K_1 = A_2 - A_1 \cos k\Delta_L - B_1 \sin k\Delta_L \quad (2.31)$$

$$K_2 = B_2 - A_1 \sin k\Delta_L - B_1 \cos k\Delta_L \quad (2.32)$$

$$K_3 = A_2 - A_1 \cos k\Delta_L - B_1 \sin k\Delta_L \quad (2.33)$$

$$K_4 = B_2 - A_1 \sin k\Delta_L - B_1 \cos k\Delta_L \quad (2.34)$$

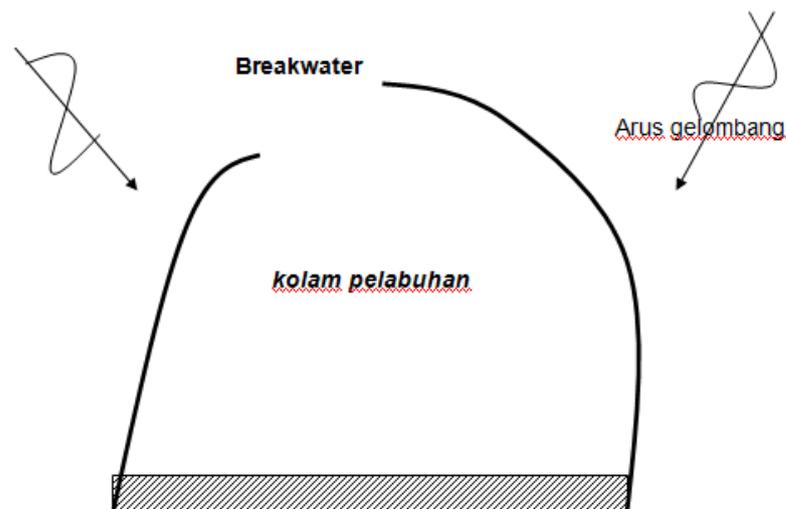
2.2. Breakwater

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 panta*" dan "*lepas panta*". 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 Areal Pelabuhan
Sumber: 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

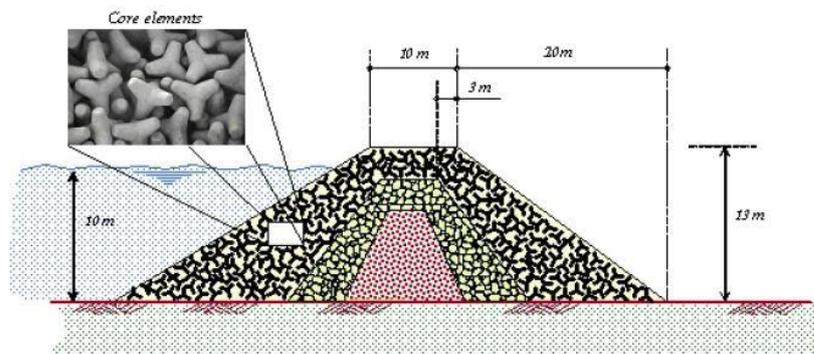
- dipantulkan (Refleksi), sebagian diteruskan (*Transmisi*) dan sebagian dihancurkan (*Disipasi*) melalui pecahnya gelombang, kekentalan *fluida*, gesekan dasar dan lain-lainnya.
- Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan).
 - 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.

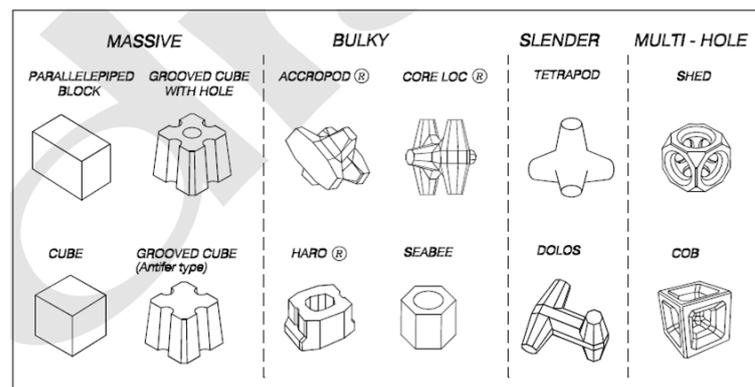
Breakwater sisi miring bersifat fleksibel karena jika serangan gelombang merusak yang terjadi tidak secara tiba-tiba, meskipun beberapa butiran longsor. Biasanya butir batu pemecah gelombang sisi miring disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin 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 2.6. Potongan Melintang Breakwater Tipe Miring

Sumber: <http://jamesthengsal.blogspot.com/p/breakwater.html>

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: *Tetrapod, cube, tribar, quadripod, accropod, core-loc, dan dolos.*



Gambar 2.7. Lapisan Pelindung Breakwater Tipe Sisi Miring
Sumber: 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:

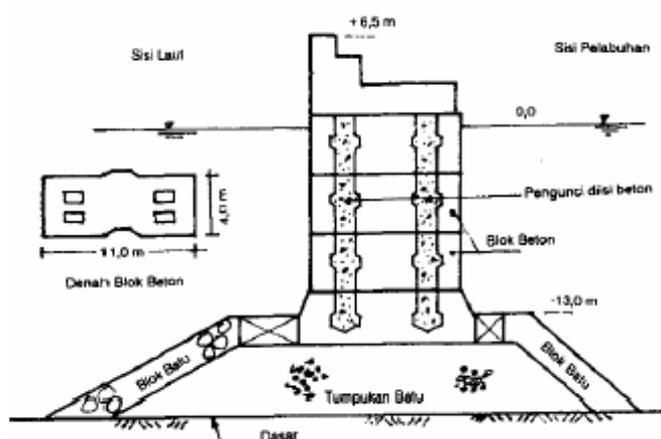
- Tinggi pemecah gelombang dia atas muka air pasang tertinggi tidak boleh kurang dari $1 \frac{1}{3}$ - $1 \frac{1}{2}$ kali tinggi gelombang datang.
- Kedalaman di bawah muka air terendah ke dasar bangunan tidak kurang dari $1 \frac{1}{4}$ - $1 \frac{1}{2}$ kali atau lebih baik 2 kali tinggi gelombang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

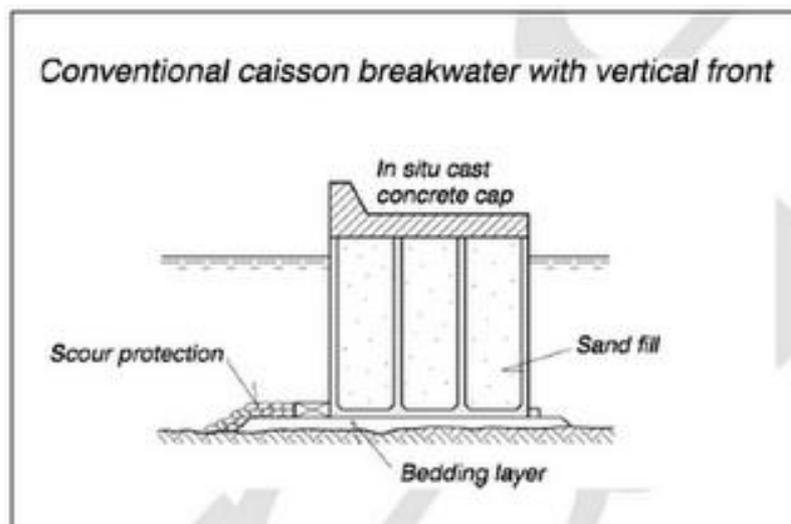


Gambar 2.8. Breakwater Blok Beton

Sumber: <https://jamesthoengsal.blogspot.com/p/breakwater.html>

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.

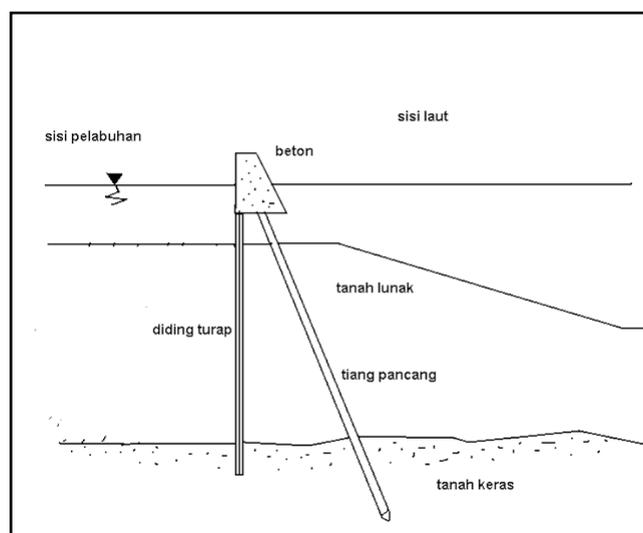


Gambar 2.8. Potongan Melintang Breakwater Tipe Caisson

Sumber: <http://jamesthengsal.blogspot.com/p/breakwater.html>

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 2.9. Sheet Pile Cells

Sumber: Triatmodjo, 2003

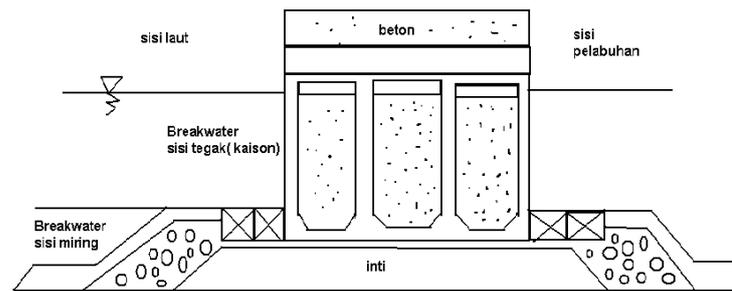
2.2.3. Breakwater Gabungan

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.



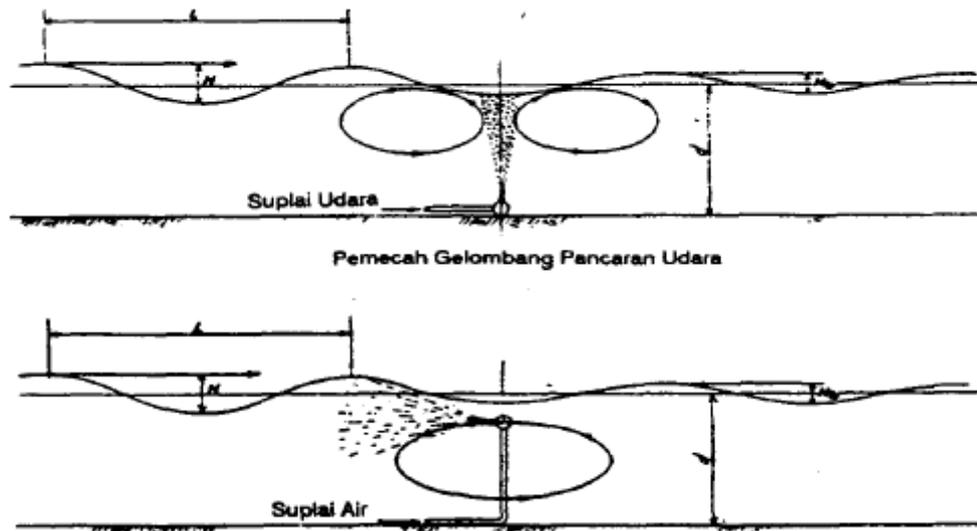
Gambar 2.10. Potongan Melintang Breakwater Tipe Gabungan

Sumber: 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 *supplay* udara dan air untuk dipancarkan ke permukaan laut yang berfungsi sebagai penghancur gelombang yang datang.



Gambar 2.11. Breakwater Tipe Semburan Air dan Udara

Sumber: 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 :

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

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. 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 & 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 C, 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 C, 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 penentian 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/m^3)

V = Volume prototip (m^3)

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 :

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

n_L^3 = Skala Panjang

Dengan demikian berat model dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.30) 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.

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

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:

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

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

2.5. Penelitian Yang Relevan

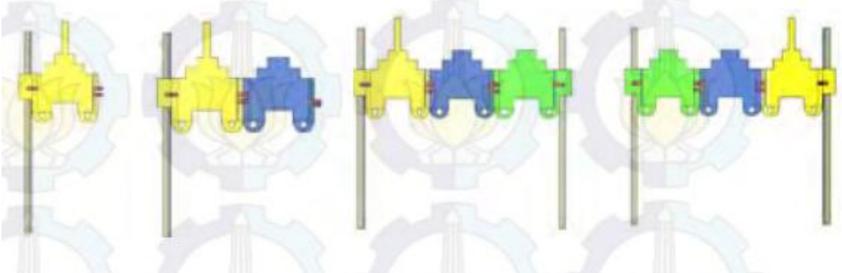
Dibawah ini merupakan beberapa literatur yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan (lihat Tabel 2.4)

Tabel 2. 4. Studi penelitian yang relevan

No	Penulis	Judul	Tujuan	Variabel Diteliti	Metode Penelitian	Struktur Model
1.	Paotonan, C dan Yuwono, N	Disipasi energi gelombang yang merambat melalui struktur bawah air	Mengidentifikasi Pengaruh Parameter gelombang dan struktur terhadap peredaman gelombang yang merambat melalui struktur bawah air	Kecuraman gelombang (H_i/L), panjang relative (B/L) dan kombinasi antar parameter (H_iB/L^2)	Penelitian experimental yang dilakukan dalam saluran gelombang (wave flume) yang dilengkapi dengan alat pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang.	
2.	Huddiankuwera, A, Rahcman, T, Thaha, M. A, dan Dewa, S	Studi model pengaruh kedalaman air terhadap Deformasi gelombang pada pemecah gelombang	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan pengaruh kedalaman air pada pemecah gelombang sisi miring	Variabel yang diteliti meliputi tinggi gelombang transmisi (H_t), tinggi gelombang refleksi (H_r),	Penelitian experimental yang dilakukan dalam saluran gelombang (wave flume) yang dilengkapi dengan alat	

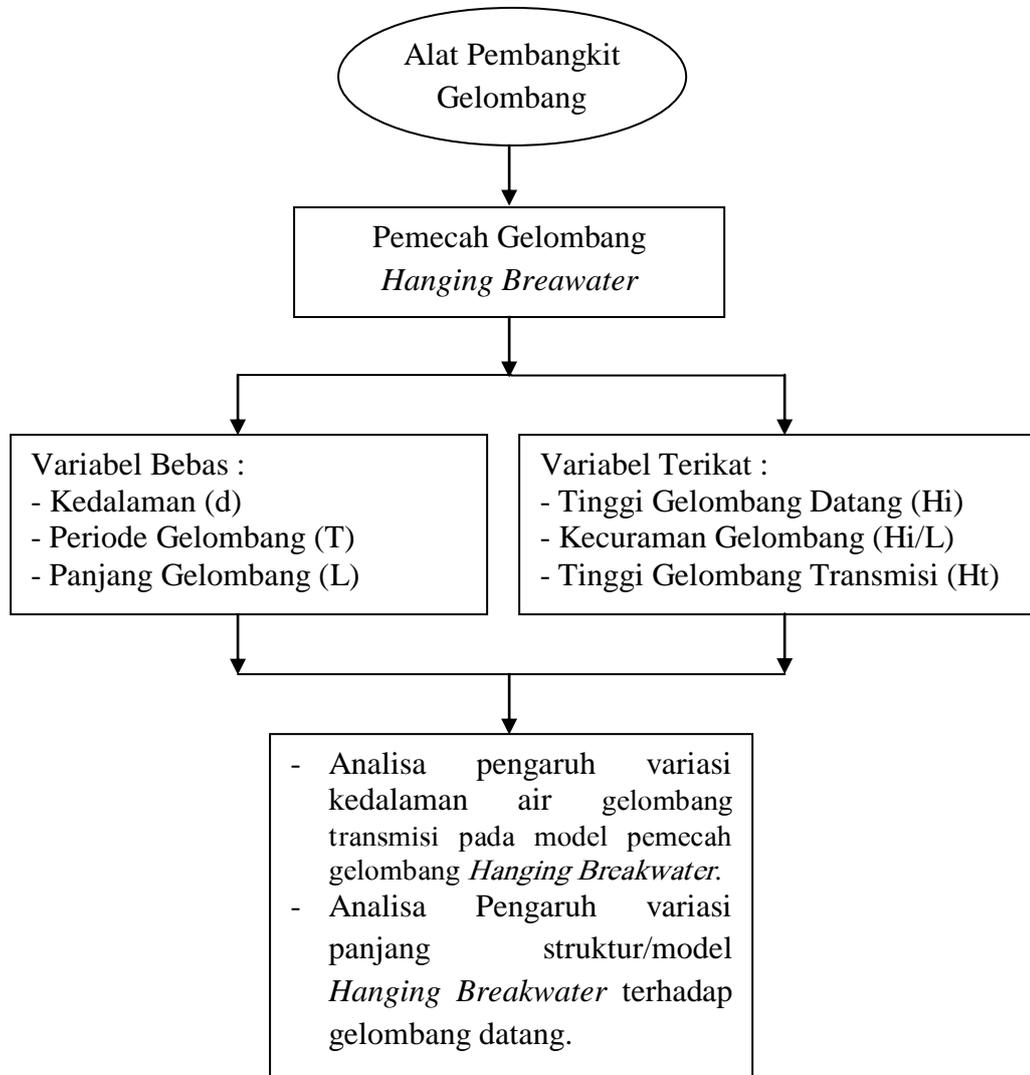
	<p>sisi Miring berongga</p>	<p>berongga terhadap deformasi gelombang</p>	<p>koefisien transmisi (K_t) dan koefisien refleksi (K_r), periode gelombang (T), tinggi gelombang (H_i) serta koefisien disipasi (K_d).</p>	<p>pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang.</p>		
3.	<p>Chairul Paotonan 1), Alif Hidayat Kasim 2), dan Sabaruddin Rahman 3)</p>	<p>Kajian eksperimental pengaruh lebar celah relatif pada hanging sheet pile breakwater akibat gelombang beraturan (regular wave)</p>	<p>Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh parameter gelombang (H_i/gT^2) dan struktur (b/D) terhadap gelombang transmisi yang dihasilkan oleh respon struktur dalam saluran gelombang (<i>wave flume</i>) yang dilengkapi</p>	<p>Penelitian ini difokuskan untuk meneliti pengaruh kecuraman gelombang (H_i/gT^2) dan lebar celah relatif (b/D) pemecah gelombang tipe sheet pile terhadap koefisien transmisi gelombang (K_t).</p>	<p>Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Teknologi Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin melalui eksperimen laboratorium. Pembangkit gelombang yang digunakan adalah piston</p>	

			dengan alat pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang.		type wave maker yang terdiri dari aktuator dan penggerak elektrik.	
4.	Andi Makbul Syamsuri 1), Dadang Suriamihardja 2), Arsyad Thaha 3), Taufiqur Rachman 4).	Pengaruh periode dan kedalaman air terhadap kecuraman gelombang pada flume persiapan percobaan peredaman gelombang	mengetahui perbandingan karakteristik gelombang dimana panjang dan tinggi gelombang yang akan menentukan kecuraman gelombang (H/L) yang dipengaruhi oleh periode gelombang (T).	d Kedalaman air h Tinggi Model H Tinggi gelombang Hmax Tinggi gelombang maksimum Hmin Tinggi gelombang minimum H/L Kecuraman gelombang L Panjang gelombang T Periode gelombang	eksperimental laboratorium dengan menggunakan flume gelombang dengan karakteristik gelombang yang dibangkitkan terdiri dari 3 variasi periode	
5.	Hendra Achiari11), Ayu Libiaty Ahmad 2), & Dede M Sulaiman 3)	Analisis refleksi dan transmisi gelombang pada Pemecah gelombang	Untuk Mengetahui Pengaruh H_i/L dan H_i/gT^2 terhadap Koefisien Transmisi, dan	Kt dan Kr dibandingkan dengan variabel non-dimensional kecuraman gelombang	Penelitian experimental yang dilakukan dalam saluran gelombang (wave flume)	

	tiang pancang	Untuk Mengetahui Pengaruh H_i/L dan H_i/gT_2 terhadap Koefisien Refleksi	(H_t/gT_2) dan kemiringan gelombang (H_t/L).	yang dilengkapi dengan alat pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang.		
6.	Rizqi Haryono A 1) Haryo Dwito Armono 2) Sujantoko 3).	Studi eksperimen transmisi gelombang pada pemecah Gelombang terapung tipe pile	bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecuraman gelombang dan lebar struktur relative terhadap transmisi gelombang.	H_i = tinggi gelombang datang (m) H_t = tinggi gelombang tertransmisi (m) T = periode gelombang (detik) B = lebar floaton (m) L = panjang gelombang (m) (H_i/gT_2)	Penelitian dengan uji model fisik di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS	

2.6. Kerangka Pikir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dengan model pemecah gelombang *Hanging Breakwater* bentuk persegi panjang memiliki tahapan mekanisme penelitian sesuai dengan kerangka pikir penelitian pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.12. Kerangka Pikir Penelitian