

TUGAS AKHIR

**REFLEKSI GELOMBANG PADA MODEL BANGUNAN
PEMECAH GELOMBANG SISI MIRING DENGAN RONGGA
BERISI BATUAN**

***WAVE REFLECTION ON SLOPING HOLLOW
BREAKWATER CONTAINING ROCKS***

**NUR ANISA SYAFIRA BESTARI
D011 17 1805**



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

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**REFLEKSI GELOMBANG PADA MODEL BANGUNAN PEMECAH GELOMBANG
SISI MIRING DENGAN RONGGA BERISI BATUAN**

Disusun dan diajukan oleh:

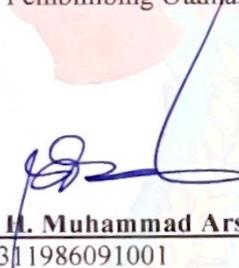
NUR ANISA SYAFIRA BESTARI**D011 17 1805**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Januari 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.I
NIP. 196012311986091001



Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST, M.I
NIP. 197305121999031002

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, NUR ANISA SYAFIRA BESTARI, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "REFLEKSI GELOMBANG PADA MODEL BANGUNAN PEMECAH GELOMBANG SISI MIRING DENGAN RONGGA BERISI BATUAN ", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

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

Makassar, 7 Nopember 2021
smbuat pernyataan,



NUR ANISA SYAFIRA BESTARI
NIM: D111 17 1805

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi kami pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selanjutnya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini , kami banyak sekali mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini izinkan kami menghaturkan rasa terima kasih yang sebesar- besarnya kepada :

- Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng selaku Ketua Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanudin.
- Bapak Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT selaku Sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Bapak Prof. Dr. Ir Muhammad Arsyad Thaha, MT. selaku pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
- Bapak Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, ST.MT. selaku pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
- Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT selaku Kepala Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

- Bapak-Ibu dosen dan staf administrasi pada Departemen Sipil Fakultas Teknik.
- Pak Asep Huddiankuwera selaku rekan penelitian.
- Pak Ahmad Yani selaku Laboran di Laboratorium Hidraulika Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Andi Fachrizal selaku rekan penelitian pada Tugas Akhir ini
- Kelas Sipil Internasional 2017, Jinan, Anjelie, Agil, Dirga, Fachri, Fahmy, Rafli, Athar, Dio, dan Yutan sebagai tempat saling bertukar pikiran, berbagi suka-duka, dan bantuan serta dukungan kepada penulis selama menjadi mahasiswa.
- Seluruh saudara-saudariku PLASTIS 2017 yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
- Saudari Adel, Siva, Ainun, Cicu, Aza, dan Judith yang selalu memberi dukungan moril & materil.
- Tengku Mahmud Aria Lamantjiji yang membantu penulis selama menyusun tugas akhir & mengolah data penelitian.
- Terkhusus penulis persembahkan sujud dan rasa terima kasih kedua orang tua Ayahanda H.M Natsir Akib dan Ibunda Hj. Hamidah Nur atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun materil, serta seluruh keluarga besar atas dorongan dan dukungan do'a yang telah diberikan.

Penulis sadar bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, tidak luput dari segala kesalahan dan kekurangan sehingga tidak menutup kemungkinan

dalam tugas akhir ini terdapat kekeliruan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu kami akan menerima segala kritik dan saran yang sifatnya membangun.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain doa kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang melimpahkan karunia-Nya kepada kita semua. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi dunia Teknik Sipil dan bagi kita semua.

Makassar, 7 Nopember 2021

Penulis

ABSTRAK

Pemecah gelombang adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan ombak/gelombang air laut dengan menyerap sebagian energi gelombang. Bangunan air ini digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus pantai dan untuk menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal dapat merapat di pelabuhan dengan lebih mudah dan cepat.

Penelitian ini bertujuan untuk memahami parameter yang berpengaruh terhadap refleksi gelombang serta mengetahui pengaruh porositas terhadap koefisien refleksi yang dihasilkan pada masing-masing variasi porositas. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Adapun metode yang digunakan berbasis eksperimental. Karakteristik gelombang yang dihasilkan terdiri dari dua variasi kedalaman, dua variasi stroke dan tiga variasi periode. Model penelitian merupakan pemecah gelombang sisi miring dengan rongga berisi batuan. Pembacaan fluktuasi muka air dilakukan secara elektronik melalui pembacaan wave monitor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh parameter Periode (T) cukup signifikan terhadap tinggi gelombang H_r khususnya untuk porositas yang lebih besar. Semakin kecil porositas (P) maka semakin besar gelombang refleksi yang terjadi. Selain itu pengaruh H_i/L terhadap K_r cukup signifikan, semakin besar nilai H_i/L , maka semakin kecil nilai K_r . Didapatkan nilai K_r yang menurun berkisar $K_r = 0.05 - 0.25$. Adapun pengaruh d/L terhadap K_r berbanding lurus semakin besar nilai d/L maka nilai K_r akan semakin besar. Juga dapat dilihat nilai K_r pada $P = 0.5$ & 0.6 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, lain hal dengan $P = 0.4$ terjadi perbedaan yang cukup signifikan.

Kata Kunci : Sisi Miring Berongga, Porositas (P), Batuan, dan Koefisien Refleksi (K_r).

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	i
DAFTAR TABEL	iii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah.....	3
F. Manfaat Penelitian	4
G. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Definisi Perforated breakwater.....	7
B. Beberapa Studi Perforated Breakwater	8
C. Landasan Teori	9
D. Teori Energi Gelombang.....	14
E. Gelombang Berdiri Parsial	15
F. Refleksi Gelombang	16
G. Bangunan Pantai.....	17
H. Hukum Dasar Model	18
BAB 3. METODE PENELITIAN	22
A. Lokasi Penelitian	22
B. Instrumen Penelitian	22
C. Karakteristik Gelombang.....	24
D. Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	26
E. Parameter yang Diteliti.....	27

F. Prosedur dan Rancangan Penelitian	29
G. Rancangan Simulasi	32
H. Pelaksanaan Penelitian.....	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Hasil Penelitian	36
B. Pembahasan	41
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	48
A. Kesimpulan	48
B. Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perforated-Wall Caisson/ Breakwater	7
Gambar 2.2 Sketsa model perforated-wall caisson breakwater : (a) fully perforated-wall (b) partially perforated-wall (Suh dkk, 2006 dalam Indra 2011)	8
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Tangki Pembangkit Gelombang (Wave Flume).....	22
Gambar.3.2. Unit Pembangkit Gelombang Tipe Flap	23
Gambar 3.3 <i>Wave Monitor</i>	24
Gambar 3.4 <i>Wave Probe</i>	24
Gambar 3.5 Komputer	25
Gambar 3.3. Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 3.4 Ilustrasi model Peredam Gelombang dengan rongga isi Batuan (Tampak Samping & Tampak Depan).....	31
Gambar 3.5 Sketsa model Pemecah Gelombang	31
Gambar 3.6 Sketsa pengujian model pada wave flume	32
a. Grafik Hubungan H_i vs H_r pada porositas 0.6	41
b. Grafik Hubungan H_i vs H_r pada porositas 0.5	42
c. Grafik Hubungan H_i vs H_r pada porositas 0.4	42
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang (H_i) terhadap Gelombang Refleksi (H_r) untuk 3 variasi Periode (T).....	42
a. Grafik Hubungan H_i/L vs K_r pada porositas 0.6	44
b. Grafik Hubungan H_i/L vs K_r pada porositas 0.5	44

b. Grafik Hubungan H_i/L vs K_r pada porositas 0.4	45
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kecuraman Gelombang (H_i/L) terhadap Koefisien Refleksi (K_r)	45
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Kedalaman Relatif (d/L) terhadap Koefisien Refleksi (K_r)	46
Gambar 4.4 Grafik Hubungan P terhadap K_r pada d/L	47
Gambar : Software Wave View For Windows	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Keuntungan dan kerugian pemecah gelombang sisi miring	10
Tabel 2.2. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam	12
Tabel 3.1 Deskripsi parameter yang berpengaruh	28
Tabel. 3.6 Skala Model	30
Tabel 3.3. Variasi Parameter Model	31
Tabel 3.4. Variasi Parameter Gelombang	32
Tabel 3.5. Rancangan Simulasi	33
Tabel 4.1 Tinggi Gelombang Datang (H_i)	37
Tabel 4.2 Tinggi Gelombang Refleksi (H_r)	38
Tabel 4.2 Koefisien Refleksi (K_r)	39
Tabel 4.3 Rekapitulasi Koefisien Refleksi (K_r).....	40

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemecah gelombang atau dalam bahasa Inggris *breakwater* adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan ombak/gelombang air laut dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus pantai dan untuk menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal dapat merapat di pelabuhan dengan lebih mudah dan cepat.

Gelombang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (*refleksi*), sebagian diteruskan (*transmisi*), dan sebagian dihancurkan (*disipasi*) melalui pecahnya gelombang. Pembagian besarnya gelombang yang dipantulkan, dihancurkan, dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi gelombang, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus dan kasar, lolos air dan tidak lolos air) dan geometri bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan)

Mengingat pentingnya wilayah pantai di Indonesia dan sangat intensif pemanfaatan untuk kegiatan manusia serta pengaruh gelombang, arus dan pasang surut secara terus menerus mengakibatkan timbulnya masalah-masalah seperti erosi, abrasi, akresi. Energi gelombang laut biasanya dibangkitkan oleh banyak hal, misalnya oleh angin, pasang-surut, arus, dll. Ketika gelombang datang menghantam pantai, gelombang

tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang menyebabkan tinggi gelombang tidak menentu yang akhirnya gelombang tersebut pecah dan melepaskan energinya yang mengakibatkan daerah pesisir rentan terhadap perubahan bentuk.

Maka dari itu diperlukan suatu bangunan pantai yang dapat mematahkan atau menahan energi gelombang yang datang menuju pantai sehingga karakteristik gelombang yang datang sesuai dengan yang direncanakan atau disyaratkan. Pemecah gelombang merupakan salah satu struktur yang berfungsi untuk meredam energi gelombang.

Dari permasalahan-permasalahan tersebut maka peneliti menuangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir atau skripsi dengan judul:
“ REFLEKSI GELOMBANG PADA MODEL BANGUNAN PEMECAH GELOMBANG SISI MIRING DENGAN RONGGA BERISI BATUAN “

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh parameter terhadap refleksi gelombang.
2. Bagaimana pengaruh porositas batuan terhadap besarnya koefisien refleksi.

C. Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari Penelitian ini yaitu:

1. Memahami parameter-paramater yang berpengaruh terhadap refleksi gelombang.
2. Mengetahui pengaruh porositas terhadap besarnya koefisien refleksi gelombang .

D. Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian ini, maka diperlukan batasan dalam penulisan agar ruang lingkup pembahasannya tidak meluas sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup pembahasan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
2. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang dengan kondisi belum pecah.
3. Hanya mengkaji deformasi gelombang berupa refleksi gelombang.
4. Fluida yang digunakan dalam flume merupakan air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.
5. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*reguler wave*).
6. *Overtopping* pada bangunan air tidak dikaji.

F. Manfaat Penelitian

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

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dalam perencanaan struktur peredam gelombang
2. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

G. Sistematika Penulisan

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

BAB 1. PENDAHULUAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

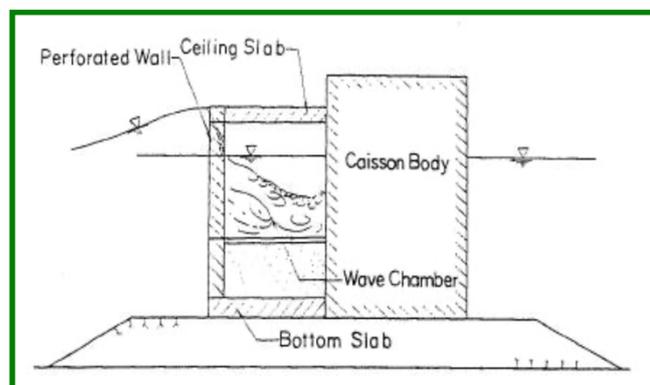
Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Perforated breakwater

Perforated wall breakwater pertama kali diusulkan pada tahun 1961 oleh G. E. Jarlan. *Breakwater* jenis ini diadopsi dari *breakwater* bentuk kaison dengan memodifikasi dinding vertikal bagian depan kaison (yang menghadap ke laut) diberi perforasi, sedangkan dinding kaison bagian belakang adalah dinding *impermeable*. Ruang yang ada diantara dinding depan dan belakang disebut *wave chamber*.

Karena kemampuannya dalam menyerap energi gelombang dan stabilitas yang tinggi terhadap gelombang, tipe kaison tersebut dimanfaatkan dan diadopsi sebagai *seawall* dan *breakwater*. Meskipun pada awalnya *perforated wall caisson* (kaison dinding berpori) ditujukan untuk laut yang relatif tenang, pada tahap selanjutnya sudah dimanfaatkan untuk laut terbuka (Takahashi, 1996).



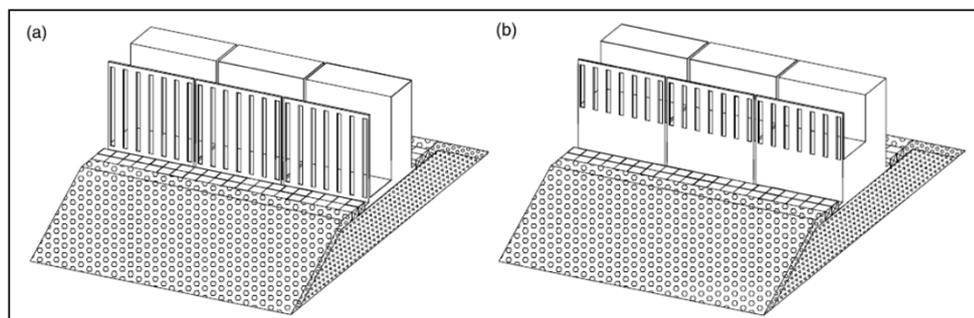
Gambar 2.1 Perforated-Wall Caisson/ Breakwater

(Takahashi, 1996 dalam Indra, 2011 dalam Leyn D, 2017)

B. Beberapa Studi Perforated Breakwater

Suh dkk (2006) dalam Indra (2011) dalam Leyn D (2017) mengembangkan model numerik untuk menghitung refleksi dari gelombang *irreguler* untuk *breakwater* kaison dengan perforasi pada sebagian dindingnya. Mereka memodifikasi penelitian sebelumnya tentang model numerik dari refleksi gelombang *reguler* pada *breakwater* kaison dengan perforasi penuh pada dindingnya. Model numerik tersebut kemudian diverifikasi dengan melakukan pengujian model fisik di laboratorium.

Dari pengujian model kaison dengan perforasi pada sebagian dindingnya (*partially perforated-wall caisson breakwater*) diperoleh bahwa, koefisien refleksi bernilai minimum baik untuk gelombang *regular* dan *irregular* pada saat B/Lc dan B/Lcs adalah sekitar 0,2 dimana B adalah lebar *wave chamber*, Lc adalah panjang gelombang didalam *wave chamber* dan Lcs adalah panjang gelombang signifikan didalam *wave chamber*.



Gambar 2.2 Sketsa model perforated-wall caisson breakwater : (a) fully perforated-wall (b) partially perforated-wall (Suh dkk, 2006 dalam Indra 2011 dalam Leyn D 2017)

C. Landasan Teori

C.1 Pemecah Gelombang / Breakwater

Pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Pemecah gelombang sambung pantai merupakan bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Dengan adanya pemecah gelombang ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang dan kapal bisa melakukan kegiatan bongkar muat. Sedangkan pemecah gelombang lepas pantai merupakan bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak di belakangnya dari serangan gelombang.

Perlindungan oleh pemecah gelombang lepas pantai terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan. Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung akan mengurangi transpor sedimen yang menyebabkan pengendapan sedimen di daerah tersebut.

Berdasarkan bentuknya, pemecah gelombang terdiri pemecah gelombang sisi miring, pemecah gelombang sisi tegak dan pemecah gelombang campuran (Triatmojo, 1999). Salah satu keuntungan dan

kerugian tipe pemecah gelombang sisi miring tersebut disajikan pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Tabel Keuntungan dan kerugian pemecah gelombang sisi miring

<i>Tipe</i>	<i>Keuntungan</i>	<i>Kerugian</i>
Pemecah Gelombang Sisi Miring	1. Elevasi puncak bangunan rendah 2. Gelombang refleksi kecil 3. Kerusakan berangsur-angsur 4. Perbaikan mudah 5. Murah	1. Dibutuhkan jumlah material besar 2. Pelaksanaan pekerjaan lama 3. Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan besar 4. Lebar dasar besar

Sumber : Triatmodjo, 1999.

C.2 Pemecah Gelombang / Breakwater

Gelombang di alam memiliki bentuk sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang tidak teratur. Adapun beberapa teori gelombang yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam.

Terdapat beberapa teori untuk menjelaskan fenomena gelombang yang terjadi di alam, antara lain sebagai berikut :

1. Teori gelombang linier (*Airy Wave Theory, Small-Amplitude Wave Theory*)
2. Teori gelombang non linier (*Finite-Amplitude Wave Theories*), diantaranya :
 - a. Gelombang *Stokes* orde 2, orde 3, orde 4 dan seterusnya.
 - b. Gelombang *Cnoidal*
 - c. Gelombang *Solitary*

Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. Teori gelombang *Airy* merupakan gelombang amplitudo kecil, sedang teori yang lain adalah gelombang amplitudo terbatas (*finite amplitudo waves*).

C.3. Klasifikasi teori gelombang

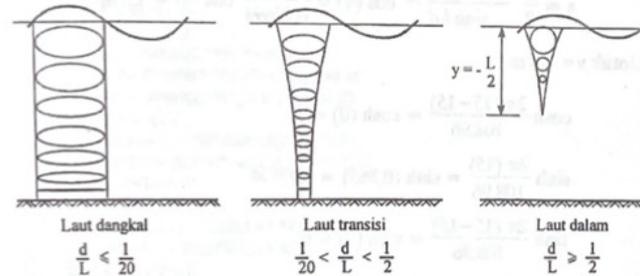
Jika ditinjau dari kedalaman relatif dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu gelombang laut dangkal, gelombang laut transisi dan gelombang laut dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan penggunaannya dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam

Kategori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	$\text{Tanh}(2\pi d/L)$
Laut dalam	$>1/2$	$>\pi$	≈ 1
Laut transisi	$1/20 - 1/2$	$0,25 - \pi$	$\text{Tanh}(2\pi d/L)$
Laut dangkal	$<1/20$	$<0,25$	$2\pi d/L$

Sumber : Triatmodjo, 1999.

Dalam gelombang terdapat partikel-partikel air yang berubah selama penjaralan gelombang dari laut dalam sampai laut dangkal. Bentuk partikel yang terdapat dalam gelombang yang bergerak menuju laut dangkal digambarkan pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Gerak partikel air dalam gelombang (Triatmodjo, 2010)

C.4 Parameter Gelombang

Berdasarkan teori *Airy* maka gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*sinusoidal progressive wave*), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmojo, 1999) berdasarkan :

- Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode gelombang.

- b. Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan menggunakan cara iterasi maka persamaan (2.1) dapat diselesaikan untuk menentukan panjang gelombang (L). Pada persamaan (2.1) diperlukan panjang gelombang awal (L_o) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L_o = 1,56T^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

- c. Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (d) atau kedalaman laut.

Ketiga parameter tersebut diatas digunakan untuk menentukan parameter gelombang lainnya, seperti :

- a. Kemiringan gelombang (*wave steepness*) = H/L
- b. Ketinggian relative (*relative height*) = H/d
- c. Kedalaman relative (*relative depth*) = d/L

Parameter penting lainnya seperti :

- Amplitudo gelombang (A), biasanya diambil setengah tinggi gelombang ($\frac{H}{2}$),
- Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*),

- Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per-detik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, $f = \frac{1}{T}$. Satu periode gelombang dapat juga dinyatakan dalam ukuran sudut (θ) = 2π seperti dijelaskan pada gambar dibawah ini.

D. Teori Energi Gelombang

Gelombang yang menjalar melalui suatu rintangan, sebagian dari energi gelombang akan dihancurkan melalui proses gesekan, turbulensi dan gelombang pecah, dan sisanya akan dipantulkan (refleksi), dihancurkan (disipasi) dan yang diteruskan (transmisi) tergantung dari karakteristik gelombang datang (periode, tinggi gelombang dan panjang gelombang), tipe perlindungan pantai (permukaan halus atau kasar) dan dimensi serta geometri perlindungan (kemiringan, elevasi dan lebar halangan) serta kondisi lingkungan setempat (kedalaman air dan kontur dasar pantai) (CERC, 1984). Parameter refleksi gelombang biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi (K_r) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana energi refleksi $E_r = \frac{1}{8}\rho g H^2$ dan energi gelombang datang adalah $E_i = \frac{1}{8}\rho g H_i^2$ dengan ρ adalah rapat massa zat cair dan g adalah

percepatan gravitasi. Nilai K_r berkisar dari 1,0 untuk refleksi total dan 0 untuk tidak ada refleksi.

E. Gelombang Berdiri Parsial

Apabila gelombang yang merambat melewati suatu penghalang, maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh penghalang tersebut. Apabila pemantulanya sempurna atau gelombang datang dipantulkan seluruhnya, maka tinggi gelombang di depan penghalang menjadi dua kali tinggi gelombang datang dan disebut gelombang berdiri (standing wave). Akan tetapi jika penghalang memiliki porositas atau tidak dapat memantulkan secara sempurna, maka tinggi gelombang di depan penghalang akan kurang dari dua kali tinggi gelombang datang dan pada kondisi ini disebut gelombang berdiri parsial (sebagian). Contoh kejadian gelombang parsial adalah gelombang yang membentur pantai atau pemecah gelombang (breakwater) mengalami pemantulan energi yang tidak sempurna.

Untuk memisahkan tinggi gelombang datang dan tinggi gelombang yang direfleksikan, maka Persamaan (2.5) ditulis dalam bentuk lain seperti berikut :

$$H_r = \frac{H_i}{2} \cos(k_x \cos \sigma t + \sin k_x \sin \sigma t) + \frac{H_t}{2} (\cos(k_x + \mathcal{E}) \cos \sigma t - \sin k_x / \mathcal{E} \sin \sigma t) \dots (2.5)$$

$$h = \left(\frac{H_i}{2} \cos k_x + \frac{H_r}{2} \right) \cos k_x + \mathcal{E} \cos \sigma t + \left(\frac{H_i}{2} \sin k_x - \frac{H_r}{2} \sin(k_x + \mathcal{E}) \right) \dots (2.6)$$

Dengan menguraikan persamaan (2.5) dan (2.6) diperoleh elevasi muka air maksimum dan minimum untuk gelombang berdiri sebagian seperti berikut (Pao'tonan.C, 2006) :

$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan demikian untuk eksperimen di laboratorium, dilakukan pengukuran pada beberapa titik baik di depan model maupun di belakang model guna menentukan tinggi gelombang maksimum dan minimum.

F. Refleksi Gelombang

Gelombang merambat dari laut dalam ke laut dangkal. Selama penjalaran tersebut, gelombang mengalami perubahan-perubahan atau disebut deformasi gelombang. Deformasi gelombang dapat disebabkan karena variasi kedalaman air laut dan juga karena terdapatnya rintangan (pantai atau bangunan pantai).

Apabila suatu gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi, pendangkalan gelombang, difraksi, dan refleksi. (Triatmodjo, 2012) Refleksi gelombang yaitu peristiwa pemantulan energi gelombang yang biasanya disebabkan oleh suatu bidang bangunan di lokasi pantai.

Gelombang datang yang mengenai atau membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang penting didalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pelabuhan. Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i).

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \dots\dots\dots(2.9)$$

G. Bangunan Pantai

Bangunan pantai merupakan salah satu cara penanggulangan dalam mengatasi masalah yang ada di daerah pantai. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, seperti diberikan berikut ini.

1. Memperkuat/melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang,
2. Mengubah laju transport sedimen sepanjang pantai,
3. Mengurangi energi gelombang yang sampai kepantai,
4. Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain.

Sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu:

1. Konstruksi yang dibangun di pantai sejajar dengan garis pantai, yang berupa revetment dan dinding pantai yang berfungsi untuk

melindungi pantai dari serangan gelombang dan limpasan gelombang (over topping) ke darat

2. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai. Contohnya groin dan jetty.
3. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan sejajar dengan garis pantai yang disebut pemecah gelombang lepas pantai dan yang menjorok ke arah laut yang disebut pemecah gelombang sambung pantai.

H. Hukum Dasar Model

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

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

H.1 Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua macam kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik dengan distorsi (*distorted*). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horisontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada *distorted* model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk :

Dengan :

$n_L =$ skala panjang

$n_h =$ skala tinggi

$L_p =$ ukuran panjang prototipe

$L_m =$ ukuran panjang model

$h_p =$ ukuran tinggi pada prototipe

$h_m =$ ukuran tinggi pada model

H.2 Sebangun kinematic

Sebangun kinematik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe 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.

H.3 Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototipe 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.

I. Porositas Batuan

Batupasir adalah batu-batu yang renggang (loose) tapi padat (compact), yang terdiri dari fragmen-fragmen dengan diameter berkisar antara 0,05 mm sampai 0,2 mm, dan fragmen-fragmen tersebut menyatu dan mengeras (cemented).

Perbandingan antara volume total ruang pori dan volume total batuan disebut porositas total atau absolut. Perbandingan antara ruang pori yang saling berhubungan dan volume total batuan disebut porositas efektif. Porositas menurut Levorsen (1954) adalah:

$$\phi = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan batuan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Sedangkan menurut Judson (1987) porositas efektif didefinisikan sebagai:

$$\phi_e = \frac{\text{volume pori bersambungan}}{\text{volume keseluruhan batuan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$$

Menurut Koesoemadinata (1978) porositas yang terdapat pada batupasir bersifat intergranuler. Pori-pori yang terdapat diantara butir-butir dan khususnya terjadi secara primer, jadi rongga-rongga terjadi pada waktu pengendapan. Jika bentuk butiran mendekati bentuk bola maka porositasnya akan lebih meningkat. Segala bentuk yang menyudut biasanya memperkecil rongga, karena masing-masing sudutnya akan mengisi rongga yang ada, dan karenanya akan memberikan kemas yang lebih ketat.