

SKRIPSI

**PENGARUH JARAK PENEMPATAN BREAKWATER
TERHADAP GELOMBANG REFLEKSI DAN TRANSMISI**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2023



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Abdullah No. 255 Telp. (0411) 804 972 Fax (0411) 805 588 Makassar 90221

Website : www.umh.ac.id Email : umh@umh.ac.id

Website : <http://www.umh.ac.id>

Kampus
Merdeka

وَبَشِّرِ الصَّالِحِينَ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muhammad Syamsir** dengan nomor induk mahasiswa 105 81 11157 18 dan **Nurfitra Rahmadani** dengan nomor induk mahasiswa 105 81 11223 18, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor 0008/TSK-Y22201/091004/2023, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengajaran Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Selasa tanggal 5 Agustus 2023.

Panitia Ujian

1. Pengawas Ujian

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Prof. Dr. H. Asro Asro, M.Pd.
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
Prof. Dr. Eng. Muhammad Izzat Ramli, MT

2. Penguji

- a. Ketua : Dr. Muhammad Agus ST, MT, IPM
 - b. Sekretaris : Indrawati ST, MT, IPM
3. Anggota
1. Dr. Ir. Hamzah Al Imran ST, MT, IPM
 2. Dr. Ir. Indri Mardul Syamsuri ST, MT, IPM
 3. Kasmawati ST, MT

Mengetahui

Pembimbing I

Dr. Ir. Hamzah Al Imran, ST, MT, IPM

Pembimbing II

Dr. Israil, ST, MT, IPM



Dr. Ir. Nurul Huda, ST, MT, IPM

NGM 269 104



PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Hassanudin No. 258 Telp. (0411) 365 512 Fax (0411) 365 548 Makassar 90231

Website : www.um.ac.id e-mail : info@um.ac.id

Website : www.um.ac.id e-mail : info@um.ac.id



Kampus
Merdeka

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Judul Skripsi : PENGARUH JARAK PENEMPATAN BREAKWATER TERHADAP GELOMBANG REFLEKSI DAN TRANSMISI

Nama : MUHAMMAD SYAMSIR
NURFITRA FAHMADANI

No. Stambul : 105 81 11 57 18
105 81 11 23 18

Makassar, Agustus 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Hamzah Al Jarran, ST, MT, IPM


Dr. Israil, ST, MT



Mengetahui

Kapus Program Studi Teknik Pengairan


M. Aqsalim, ST, MT
NPM : 947 993



PENGARUH JARAK PENEMPATAN BREAKWATER CAISSON SUSUN SERI TERHADAP GELOMBANG REFLEKSI DAN TRANSMISI

Muhammad Syamsir¹, Nurfitra Rahmadani², Hamzah Al Imran³, Israil⁴

^{1,2,3,4}) Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
Jl. Sultan Alauddin No. 259 Makassar, Sulawesi Selatan
syamsir.mohammad@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian eksperimental mengenai breakwater caisson sudah banyak dilakukan di berbagai laboratorium di seluruh dunia. Keunggulan caisson lebih dipermudah dengan teknologi beton pra cetak sehingga lebih cepat dalam proses pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak penempatan breakwater caisson susun seri terhadap besarnya nilai koefisien refleksi dan transmisi. Jarak penempatan menggunakan metode coba coba dengan variabel panjang gelombang (L) sebagai faktor pengali yaitu $0,25L$, $0,5L$ dan $0,75L$. Kedalaman air yang digunakan adalah 12 cm, 18 cm dan 24 cm dan variasi periode yang digunakan adalah 1,2 detik, 1,3 detik dan 1,4 detik. Parameter gelombang yang digunakan adalah rasio antara tinggi gelombang datang dengan kedalaman air (H_i/d), sedangkan parameter model adalah rasio antara jarak penempatan model dengan panjang gelombang (x/L). Pengaruh parameter x/L terhadap nilai koefisien refleksi adalah berbanding terbalik, dengan nilai koefisien refleksi maksimum = 0,316; koefisien refleksi minimum = 0,045 atau mengalami penurunan sebesar 27,1 %. Pengaruh parameter x/L terhadap nilai koefisien transmisi juga berbanding terbalik, dengan nilai koefisien transmisi maksimum = 0,838 ; koefisien transmisi minimum = 0,077 atau menurun sebesar 76,1 %.

Kata Kunci: Jarak Penempatan, Caisson, Susun Seri, Refleksi, Transmisi.

ABSTRACT

Experimental research on caisson breakwaters has been carried out in many laboratories around the world. The advantages of caisson are made easier by pre-cast concrete technology so that it is faster in the process of carrying out work in the field. Laboratory tests were carried out to determine the effect of the distance between the placement of a series caisson breakwater on the magnitude of the reflection and transmission coefficient values. The placement distance used the trial and error method with the variable wavelength (L) as the multiplier, namely $0.25L$, $0.5L$ and $0.75L$. The water depths used were 12 cm, 18 cm and 24 cm and the variations in the periods used were 1.2 seconds, 1.3 seconds and 1.4 seconds. The wave parameter used is the ratio between the incident wave height and the water depth (H_i/d), while the model parameter is the ratio between the distance of the model placement and the wavelength (x/L). The effect of the x/L parameter on the reflection coefficient value is inversely proportional, with the maximum reflection coefficient value = 0.316; minimum reflection coefficient = 0.045 or decreased by 27.1%. The influence of the x/L parameter on the value of the transmission coefficient is also inversely proportional, with the maximum transmission coefficient value = 0.838 ; minimum transmission coefficient = 0.077 or decreased by 76.1%.

Keywords: placement distance, caisson, series stacking, reflection, transmission.

KATA PENGANTAR



Puji syukur kami panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas kehendak-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan judul "Pengaruh Jarak Penempatan Breakwater Terhadap Gelombang Refleksi Dan Transmisi". Sholawat dan salam senantiasa kita haturkan kepada Nabiullah Muhammad Sallallahu Alaihi Wassalam sebagai tauladan kepada kita semua. Proposal skripsi ini disusun sebagai syarat untuk mengerjakan skripsi Strata-1 pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penulis bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, secara khusus penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H.Ambo Asse M.Ag selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST.,MT.,IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ir. M. Agusalm, ST.,MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Kasmawati, ST.,MT., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Dr.,Ir. Hamzah Al Imran, ST.,MT.,IPM sebagai Dosen Pembimbing I, Dr. Israil, ST.,MT., ssebagai Pembimbing II dalam penyusunan proposal skripsi ini.

5. Bapak dan Ibu Dosen serta para Staf administrasi pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara/saudari kami di Program Studi Teknik Pengairan khususnya “Dinamika NR 18”.
7. Terkhusus penulis persembahkan sujud dan rasa terima kasih kepada kedua orang tua atas segala dukungan selama ini.

Kami menyadari proposal skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan dan kekeliruan. Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pendidikan dan pengetahuan di masa sekarang dan masa yang akan datang.

“Billahi fii sabilil haq, fastabiqul khaerat”

Makassar, 05 Agustus 2023

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	III
DAFTAR GAMBAR	VII
DAFTAR TABEL	X
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	VIII
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
A. Pemecah Gelombang	6
1. Beberapa Studi Perforated Breakwater	7
2. Parameter Pemecah Gelombang	11
B. Teori Dasar Gelombang	14
1. Klasifikasi Teori Gelombang	15
2. Teori Gelombang Amplitudo Kecil	17
3. Parameter Gelombang	18
4. Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang	22
5. Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif	23

6. Fluktuasi Muka Air	25
7. Energi Dan Tenaga Gelombang	26
8. Teori Redaman Gelombang.....	29
9. Gelombang Berdiri Parsial	30
C. Deformasi Gelombang	33
1. Refraksi Gelombang	33
2. Difraksi Gelombang	34
3. Refleksi Atau Pemantulan Gelombang	34
D. Hukum Dasar Model	36
1. Sebangun Geometrik	37
2. Sebangun Kinematik	38
3. Sebangun Dinamik	38
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Tempat Dan Waktu Penelitian	41
B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data	41
1. Jenis Penelitian	41
2. Sumber data	41
C. Bahan Dan Alat.....	42
D. Variabel Penelitian	44
E. Pelaksanaan Studi Model	44
F. Rancangan Simulasi	47
G. Pelaksanaan Simulasi Model	47
H. Diagram Proses Penelitian Laboratorium.....	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	51
1. Kalibrasi Statis	51
2. Panjang Gelombang (L)	54
3. Data Tinggi Gelombang	55
B. Analisa Dimensi	59
C. Hasil Penelitian	61
1. Pengaruh Variabel Periode Gelombang (T)	63
2. Pengaruh Parameter Jarak Penempatan relatif (X/L)	66
3. Pengaruh Parameter Kedalaman Berdasarkan Struktur (d/h)	71
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	76
B. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

<i>Perforated-wall caisson/breakwater</i>	7
Sketsa model <i>perforated-wall caisson breakwater</i>	8
Sketsa konfigurasi penelitian <i>Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs (HSAR)</i>	9
Sketsa percobaan <i>perforated breakwater</i>	10
Sketsa <i>Perforated Skirt Breakwater</i>	10
Sketsa definisi gelombang	15
Gerak partikel air dalam gelombang	16
Parameter fungsi kedalaman relatif	24
Profil muka air karena adanya gelombang	26
Penurunan energi gelombang	26
Profil gelombang berdiri parsial	32
Saluran pembangkit gelombang (<i>wave tilting flume</i>)	40
Unit pembangkit gelombang tipe flap	40
Gambar model	42
Sketsa model	43
Sketsa rangkaian model	43
Rangkaian model	43
Sketsa penempatan model dalam wave flum	45
Penempatan model dalam <i>wave flum</i>	46
Dokumentasi simulasi pelaksanaan model	46
Diagram alur penelitian	48
Grafik Regresi Linier pada kedalaman 24 cm	50

Pengamatan tinggi gelombang pada model.....	53
Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L)	61
Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L)	62
Hubungan koefisien refleksi (K_r) terhadap kedalaman relatif (d/L)	63
Hubungan koefisien transmisi (K_t) dengan kedalaman relatif (d/L).....	64
Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L)	65
Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)	66
Hubungan koefisien refleksi (K_r) dengan kedalaman relatif (d/L)	67
Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kedalaman relatif (d/L)	68
Hubungan Koefisien Refleksi (K_r) dengan Parameter Kecuraman Gelombang (H_i/L).....	69
Hubungan koefisien transmisi (K_t) dengan Parameter Kecuraman Gelombang (H_i/L).....	70
Hubungan gelombang refleksi (H_r) terhadap kedalaman relatif (d/L)...	71
Hubunngan antara gelombang transmisi (H_t) terhadap parameter kedalaman relatif (d/L)	72

DAFTAR TABEL

Koefisien refleksi pada bangunan peredam energi.....	11
Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam.....	16
Batasan gelombang air dangkal, transisi, dan dalam.....	23
Variasi Parameter Gelombang.....	42
Variasi parameter gelombang.....	44
Rancangan simulasi.....	44
Pengukuran parameter gelombang.....	47
<i>Kalibrasi Probe</i> pada kedalaman 24 cm.....	50
Tabel hasil iterasi Panjang gelombang L.....	51
Rekap data panjang gelombang (L).....	52
Data pengamatan tinggi gelombang pada jarak 0,25L.....	53
Data hasil perhitungan tinggi gelombang.....	56
Variabel yang berpengaruh dalam penelitian.....	57
Hasil perhitungan untuk model pemecah gelombang.....	60

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	amplitudo gelombang
X	=	Jarak penempatan Panjang relatif model
a_x	=	percepatan horizontal partikel air
a_y	=	percepatan vertikal partikel air
B	=	lebar konstruksi model
B	=	diameter pipa
C_0	=	cepat rambat gelombang di laut dalam
C	=	cepat rambat gelombang
D	=	kedalaman air tenang
D	=	tinggi total pemecah gelombang vertikal
E	=	energi gelombang
E_i	=	energi gelombang datang / total
E_r	=	energi gelombang refleksi
E_t	=	energi gelombang transmisi
E_L	=	energi gelombang hilang / diserap
G	=	percepatan gravitasi
H	=	tinggi muka air tenang
H	=	tinggi gelombang
H_0	=	tinggi gelombang di laut dalam
H_i	=	tinggi gelombang datang
H_r	=	tinggi gelombang yang direfleksikan
H_t	=	tinggi gelombang yang ditransmisikan

K	=	angka gelombang = $2\pi/L$
L_0	=	panjang gelombang di laut dalam
L	=	panjang gelombang
U	=	kecepatan horizontal partikel air
V	=	kecepatan vertikal partikel air
Ξ	=	perpindahan horizontal partikel air
E	=	perpindahan vertikal partikel air
H	=	fluktuasi permukaan air
Σ	=	frekuensi gelombang
Φ	=	potensial kecepatan
Λ	=	skala Panjang
CEM	=	Coastal Engineering Manual
CERC	=	Coastal Engineering Research Centre
SPM	=	Shore Protection Manual

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemecah gelombang (*breakwater*) merupakan prasarana yang sangat penting dibangun untuk menyerap atau meredam dan merefleksikan sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus pantai. Dampak dari erosi pantai ini dapat merusak kawasan pemukiman dan prasarana kota yang berupa mundurnya garis pantai (Triatmodjo, 1999). Gelombang sangat mempengaruhi daerah pantai, baik terhadap garis pantai maupun terhadap struktur bangunan-bangunan yang berada di daerah pantai. Untuk melindungi daerah pantai dari serangan gelombang, pantai memerlukan perlindungan buatan berupa bangunan pemecah gelombang, yaitu suatu bangunan yang dimaksudkan untuk mereduksi atau menghancurkan energi gelombang (Edy Febriando, dkk 2012).

Banyak penelitian mengenai pemecah gelombang tipe *submerged breakwater* yang didasarkan oleh permasalahan-permasalahan yang sering terjadi di pantai. (Nugroho dkk., 2018) meneliti tentang penanggulangan kerusakan pantai terdampak erosi dengan pemecah gelombang ambang rendah atau PEGAR, keberhasilan penerapan bangunan Pemecah Gelombang Ambang Rendah (PEGAR), meliputi tata letak vertikal dan horizontalnya. (Kuswadi, dkk 2022) meneliti tentang refleksi gelombang menggunakan model breakwater tipe dinding berpori dengan pemodelan fisik 2-d. (Achiary, dkk 2020) meneliti tentang analisis

refleksi dan transmisi gelombang pada pemecah gelombang tiang pancang.

Ada begitu banyak model dan tipe pemecah gelombang dalam penelitian laboratorium dan yang diterapkan di pantai, namun belum ada yang dipasang secara rangkai atau susun seri maka dari itu penulis tertarik melakukan penelitian eksperimental dengan judul **“Pengaruh Jarak Penempatan Breakwater Terhadap Gelombang Refleksi dan Transmisi.”**

B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Parameter apa saja yang mempengaruhi tinggi gelombang refleksi dan transmisi pada jarak penempatan breakwater ?
2. Bagaimana pengaruh jarak penempatan breakwater terhadap tinggi gelombang refleksi dan gelombang transmisi ?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui parameter yang mempengaruhi tinggi gelombang refleksi dan transmisi pada jarak penempatan breakwater.
2. Untuk menganalisis pengaruh jarak penempatan breakwater terhadap tinggi gelombang refleksi dan gelombang transmisi.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan pemecah gelombang ambang rendah atau submerged breakwater yang bertujuan untuk meminimalisir energi gelombang datang. Manfaat dari penelitian ini di antaranya adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan informasi bagi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan struktur pemecah gelombang ambang rendah.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan inovasi struktur bangunan pemecah gelombang ambang rendah yang efektif dan efisien serta ramah lingkungan.
3. Dapat mengurangi pemakaian material dibandingkan dengan pemecah gelombang konvensional serta mudah dalam proses pelaksanaan.

E. Batasan Masalah

Penelitian ini mengikuti prosedur ilmiah pemodelan fisik, namun bagaimanapun juga sebagai mana penelitian yang lain masalahnya harus dibatasi agar tercapai kedalaman penelitian yang ilmiah. Berdasarkan fasilitas dan kondisi laboratorium yang ada, maka batasan penelitian ditetapkan sebagai berikut :

1. Model yang diteliti adalah model breakwater kaison yang di susun secara seri dengan pengaturan jarak berdasarkan panjang gelombang (L).

2. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*regular wave*) yang belum pecah.
4. Fluida yang digunakan adalah air tawar dengan tidak memperhitungkan salinitas dan pengaruh mineral air.
5. Gaya gelombang terhadap stabilitas model uji tidak dikaji.
6. Dasar perairan model adalah rata dan kedap.
7. Struktur model dianggap kokoh / tidak bergeser.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar tetap terarah pada tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Sistematika penulisan yang dituliskan dalam penelitian ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN, bab ini berisi tentang latar belakang mengapa penulis mengangkat penelitian ini, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta batasan penelitian serta sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan permasalahan yang diamati, menjelaskan tujuan dan pentingnya hasil penelitian bagi pengembangan tipe pemecah gelombang, ruang lingkup serta batasan dalam penelitian.

BAB II KAJIAN PUSTAKA, dalam bab ini, memberikan gambaran tentang teori dasar gelombang , karakteristik gelombang, deformasi gelombang dan klasifikasi teori gelombang serta informasi mengenai penelitian-penelitian terdahulu tentang pemecah gelombang (*breakwater*) berpori serta kerangka pikir penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN, dijelaskan metode yang digunakan, kapan dan dimana penelitian dilaksanakan, bagaimana prosedur pembuatan model dan penskalaan, apa dasar penempatan model dan alat perekam gelombang diletakkan, serta penentuan variabel apa saja yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, pada bab ini berisi analisis data, bagaimana data diolah sesuai dengan metode ilmiah.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari hasil olah data dan saran kepada pembaca/peneliti untuk pengembangan penelitian ini



BAB II

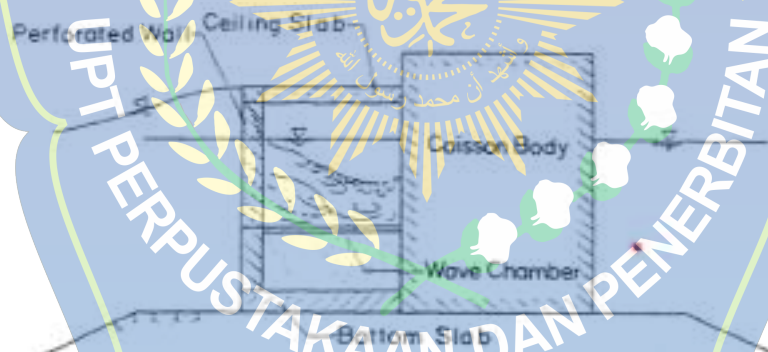
KAJIAN PUSTAKA

A. Pemecah Gelombang

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. Pengendapan tersebut menyebabkan terbentuknya cusplate, sedangkan apabila bangunan ini cukup panjang terhadap jaraknya dari garis pantai, maka akan terbentuk tombolo. Berdasarkan bentuknya, pemecah gelombang terdiri pemecah gelombang sisi miring, pemecah gelombang sisi tegak dan pemecah gelombang campuran (Triatmojo, 1999).

Perforated wall breakwater pertama kali diusulkan pada tahun 1961 oleh G. E. Jarlan. Breakwater jenis ini diadopsi dari breakwater bentuk kaisan dengan memodifikasi dinding vertikal bagian depan kaisan (yang menghadap ke laut) diberi perforasi, sedangkan dinding kaisan 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 kaisan tersebut dimanfaatkan dan diadopsi sebagai seawall dan breakwater. Meskipun pada awalnya perforated wall caisson (kaisan dinding berpori) ditujukan untuk laut yang relatif tenang, pada tahap selanjutnya sudah dimanfaatkan untuk laut terbuka (Takahashi, 1996).



Gambar 1 *Perforated-Wall Caisson/Breakwater* (Takahashi, 1996 dalam Indra, 2011)

1. Beberapa Studi Perforated Breakwater

Suh dkk (2006) dalam Indra (2011) mengembangkan model numerik untuk menghitung refleksi dari gelombang irreguler untuk breakwater kaisan dengan perforasi pada sebagian dindingnya. Mereka memodifikasi penelitian sebelumnya tentang model numerik dari refleksi gelombang reguler pada breakwater kaisan dengan perforasi penuh pada

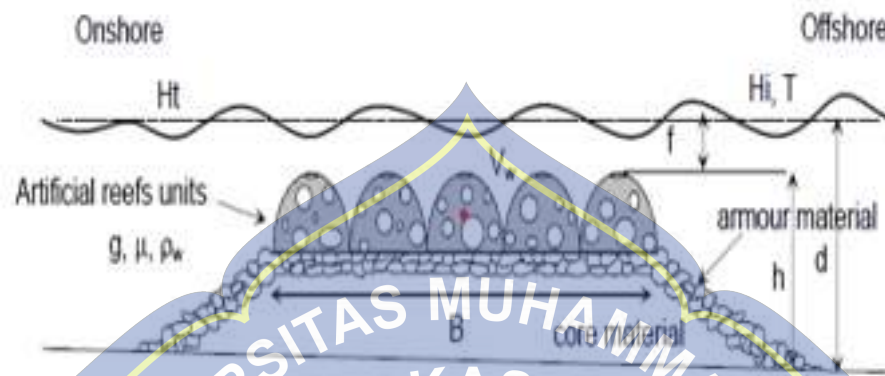
dindingnya. Model numerik tersebut kemudian diverifikasi dengan melakukan pengujian model fisik di laboratorium. Dari pengujian model kaisan dengan perforasi pada sebagian dindingnya (*partially perforated-wall caisson breakwater*) diperoleh bahwa, koefisien refleksi bernilai minimum baik untuk gelombang regular dan irregular pada saat B/L_c dan B/L_{cs} adalah sekitar 0,2 dimana B adalah lebar *wave chamber*, L_c adalah panjang gelombang didalam *wave chamber* dan L_{cs} adalah panjang gelombang signifikan didalam *wave chamber*.



Gambar 2 Sketsa model *perforated-wall caisson breakwater* : (a) *fully perforated-wall* (b) *partially perforated-wall* (Suh dkk, 2006 dalam Indra 2011)

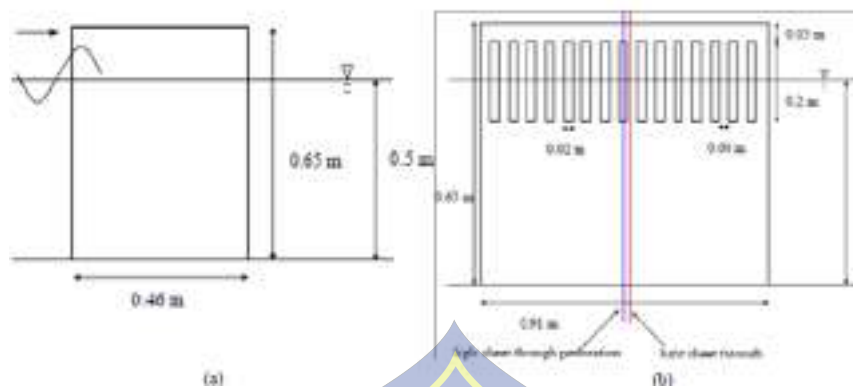
Armono dan Hall 2002 dalam Ariyaratne 2007 dalam Andojo dkk 2010 melakukan penelitian terhadap terumbu karang berongga/*Hollow Hemispherical Shape Artificial Reef* (HSAR), mengungkapkan pengurangan tinggi gelombang dipengaruhi oleh kecuraman gelombang (*wave steepness*), kedalaman struktur yang tenggelam dan geometri karang. Hasil penelitian mengungkapkan sekitar 60% energi gelombang yang datang dapat dikurangi. Konfigurasi penelitian oleh Armono dan Hall dapat dilihat pada Gambar 2 beserta dengan parameter penelitian, dimana B adalah lebar total dari beberapa terumbu karang, h adalah jarak dari dasar perairan hingga bagian teratas dari terumbu karang, dan d

adalah kedalaman perairan. Adapun dalam penelitian tersebut, Armono dan Hall meletakkan terumbu karang buatan berongga di atas struktur solid.



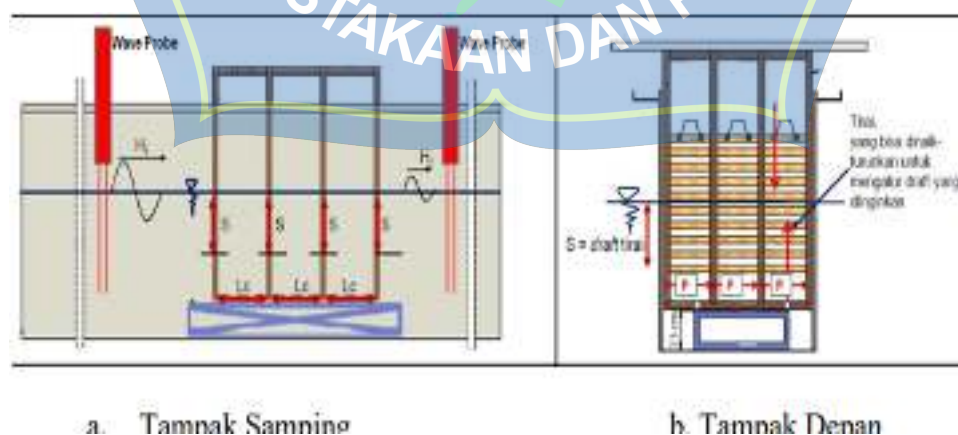
Gambar 3 Sketsa konfigurasi penelitian *Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs (HSAR)* oleh Armono dan Hall 2002

Ariyaratne 2007 dalam Andojo dkk 2010, melakukan penelitian terhadap Perforated Breakwater. Dimana struktur breakwater terdiri dari struktur masif dari dasar hingga ke bagian atas breakwater dengan bagian perforasi pada bagian atas (gambar 2.2), Ariyaratne menemukan refleksi, transmisi dan energy disipasi II-4 tergantung pada parameter B/L , dimana B adalah lebar struktur dan L adalah panjang gelombang. Untuk kondisi gelombang yang diuji, energi disipasi berkisar antara 56% dan 78%, dan untuk lebih dari 75% dari kasus yang diuji, energi disipasinya di atas 69%. Ini berarti struktur sangat efektif untuk energy disipasi. Sementara koefisien refleksi menurun dengan meningkatnya B/L sampai sekitar 0,225 dan nilai koefisien refleksi mulai meningkat kembali. Koefisien refleksi minimum terjadi pada $B/L \approx 0,2 - 0,25$. Hal ini sejalan dengan Kondo (1979), Suh, dkk. (2006) dan Hagiwara (1984).



Gambar 4 Sketsa percobaan *perforated breakwater* oleh Ariyaratne, 2007 (a) Tampak samping (b) Tampak depan

Sementara itu Andoyo Wurjanto, Harman Ajiwibowo, dan Rahmat Zamzami 2010 dalam Jurnal Teknik Sipil vol.17 no.3 Desember 2010 Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, meneliti Perforated Skirt Breakwater. Andoyo dkk mendapatkan semakin besar nilai draft II-5 breakwater (S), maka nilai koefisien transmisi semakin kecil (KT) atau semakin besar energi disipasi yang terjadi. Semakin kecil nilai koefisien KT berarti semakin baik fungsi dari breakwater. Sketsa Penelitian Andoyo dkk dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Sketsa Perforated Skirt Breakwater oleh Andoyo dkk 2010

2. Parameter Pemecah Gelombang

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Parameter refleksi gelombang biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi (K_r) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \quad (2.1)$$

Dimana energi refleksi $E_r = \frac{1}{8} \rho g H_r^2$ 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 hingga 0 untuk tidak ada refleksi. Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model, koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam tabel 1.

Tabel 1 Koefisien refleksi pada bangunan peredam energi

Tipe Bangunan Peredam Energi	K_r
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 – 0,5
Tumpukan blok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi Lubang)	0,05 – 0,2

Sumber: Triatmodjo 1999

Transmisi gelombang (H_t) adalah tinggi gelombang yang diteruskan melalui rintangan dan diukur dengan koefisien transmisi (K_t) dihitung dengan persamaan 2.2 berikut:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \quad (2.2)$$

Dimana energi gelombang transmisi adalah $E_t = \frac{1}{8}\rho g H_t$ Tinggi gelombang datang (H_i) dan tinggi gelombang transmisi (H_t) adalah tinggi gelombang rerata dari nilai maksimum dan minimum tinggi gelombang terukur masing-masing sebelum dan sesudah melewati rintangan. Sedangkan tinggi gelombang refleksi (H_r) adalah setengah dari selisih tinggi gelombang maksimum dan minimum terukur sebelum melalui rintangan.

Menurut Horikawa (1978) dalam (Huddiankuwera et al., 2022) bahwa besarnya energi gelombang yang didipasikan/diredam (K_d) adalah besarnya energi gelombang datang dikurangi energi gelombang yang ditransmisikan dan direflesikan :

$$K_d = 1 - K_t - K_r \quad (2.3)$$

Untuk gelombang yang menjalar dalam kondisi gesekan, tinggi gelombang akan mengalami pengurangan secara eksponensial. Panjang gelombang akan berkurang dengan adanya gesekan menyebabkan menurunkan kecepatan rambat gelombang. Dengan demikian meningkatnya koefisien gesek *Darcy-Weisbach* (f) akan mengurangi tinggi gelombang. Perubahan

elevasi muka air (η) setelah satu panjang gelombang (L) dapat dihitung dengan ekspresi berikut (Dean, Robert G & Dalrymple, 1984)

$$\eta(x + L) = \eta(x)e^{-kil} \quad (2.4)$$

Dimana angka gelombang setelah tereduksi $ki = kl \cdot A / 2\sigma$; angka gelombang datang $kl = \sigma / (g d)^{1/2}$ dan konstanta gesek $A = f \cdot Um / 3\pi d$. Um adalah kecepatan partikel air maksimum. Gelombang air tidak mentransfer/memindahkan massa tetapi mentransfer/memindahkan energi. Laju transfer energi disebut fluks energi P . Untuk teori gelombang linier fluks energi adalah laju kerja yang dilakukan oleh fluida pada suatu sisi dari suatu potongan vertikal, terhadap fluida di sisi yang lain. Energi yang ditransfer (*energi flux*) adalah energi gelombang persatuan waktu yang terkandung atau tersebar dalam arah perambatan gelombang. Energi yang ditransfer rata-rata dalam satu gelombang (Dean dan Dalrymple, 1992) dalam (Paotonan, 2006) adalah:

$$\bar{P} = E \cdot n \cdot C \quad (2.5)$$

dengan :

P = transfer energi gelombang rata-rata

C = cepat rambat gelombang

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2K_d}{\sinh 2K_d} \right)$$

Nilai n tergantung pada kedalaman dan panjang gelombang. Radianta, 2002 memberikan nilai n untuk laut dangkal sama dengan 1, sedangkan untuk laut dalam sama dengan $\frac{1}{2}$.

Dengan asumsi bahwa nilai $n.C$ dari Persamaan (5) adalah konstan sebab tidak ada perubahan kedalaman, maka *flux* energi hanya merupakan fungsi dari energi gelombang. Dengan asumsi ini, maka Persamaan (5) dapat dibentuk kembali seperti berikut :

$$P = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2.6)$$

B. Teori Dasar Gelombang

Gelombang didefinisikan sebagai getaran yang merambat melalui medium, berupa zat padat, cair, dan gas. Bentuk ideal dari suatu gelombang akan mengikuti gerak sinusoide. Selain radiasi elektromagnetik, dan mungkin radiasi gravitasional, yang bisa berjalan lewat vakum, gelombang juga terdapat pada medium (yang karena perubahan bentuk dapat menghasilkan gaya memulihkan yang lentur) di mana mereka dapat berjalan dan dapat memindahkan energi dari satu tempat kepada lain tanpa mengakibatkan partikel medium berpindah secara permanen; yaitu tidak ada perpindahan secara masal. Malahan, setiap titik khusus berosilasi di sekitar satu posisi tertentu. Ditinjau dari zat penghantar atau juga medium yang dilalui dengan gelombang, kita dapat membedakan Terdapat dua macam gelombang, ialah gelombang mekanik serta gelombang elektromagnetik.

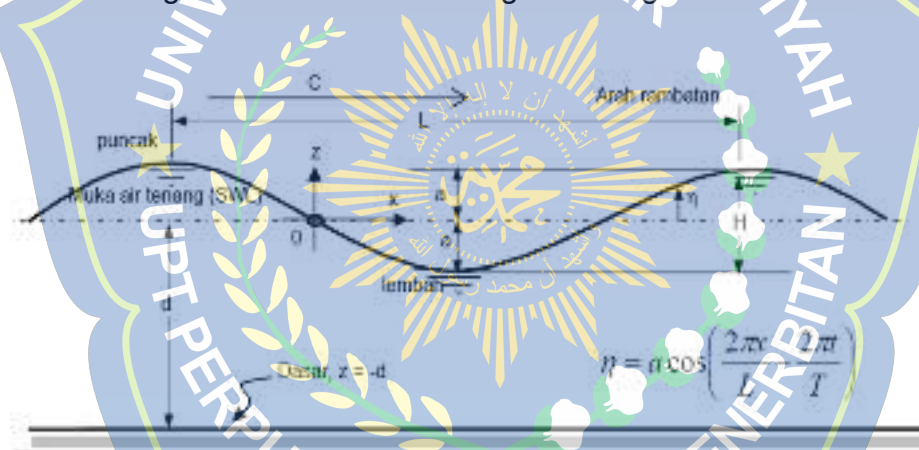
Suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-y menjalar pada arah sumbu x, beberapa notasi yang digunakan adalah:

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

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

- a : amplitudo gelombang
 H : tinggi gelombang
 L : panjang gelombang
 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 = $2\pi/T$

berikut adalah gambar sketsa definisi gelombang



Gambar 6 Sketsa definisi gelombang (B.Triatmodjo 1999)

Gelombang terdiri dari dua jenis, yakni gelombang transversal (*transverse wave*) dan gelombang longitudinal (*longitudinal wave*).

1. Klasifikasi Teori Gelombang

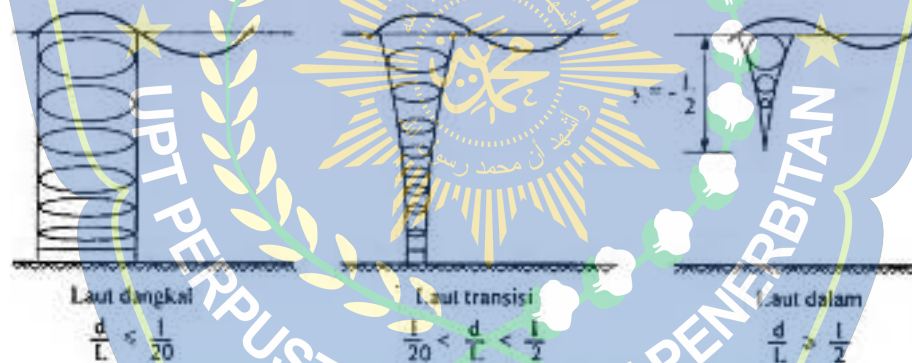
Jika ditinjau dari kedalaman relatif dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu gelombang laut dangkal, gelombang laut transisi dan gelombang laut dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan

panjang gelombang (d/L). Batasan penggunaannya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2 Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam.

Kategori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dalam	$> 1/2$	$> \pi$	~ 1
Laut transisi	$1/20 - 1/2$	$0,25 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dangkal	$< 1/20$	$< 0,25$	$2\pi d/L$

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



Gambar 7 Gerak partikel air dalam gelombang (Triatmodjo 1999)

Gelombang laut dapat dibedakan berdasarkan gaya pembangkitnya, yakni gelombang yang dibangkitkan oleh angin yang disebut gelombang angin, dan gelombang yang dibangkitkan oleh gaya Tarik benda-benda langit seperti matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami yang dibangkitkan oleh gempa di laut, dan gelombang yang di akibatkan oleh pergerakan kapal di laut.

Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus sepanjang pantai, serta mengakibatkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai, gelombang merupakan factor utama dalam penentuan tata letak Pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai. Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara otomatis karena ketidak linearan tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random (suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode berbeda) beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam.

Teori yang paling sederhana adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil yang pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1945, dalam buku ini hanya mempelajari teori gelombang Airy, Stokes, Knoidal, dan tunggal.

2. Teori Gelombang Amplitudo Kecil.

Teori amplitudo kecil diturunkan berdasarkan berdasarkan persamaan *Laplace* untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi dipermukaan air dan dasar laut. Kondisi batas dipermukaan air didapat dengan melinearkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap, penyelesaian persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodic untuk aliran 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.

Angapan-anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Zat cair adalah homogen 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 berotasi
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeabel 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.

3. Parameter Gelombang

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

- a. 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.

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan cara iterasi maka persamaan (3.1) dapat diselesaikan untuk menentukan panjang gelombang (L). Pada persamaan (3.1) diperlukan panjang gelombang awal (L_0) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (3.2)$$

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

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

Teori gelombang amplitudo kecil dapat diturunkan dari persamaan kontinuitas untuk aliran tak rotasi (persamaan Leplace) yaitu:

- Kemiringan gelombang (wave steepness) = H/L
- Ketinggian relatif (relative height) = H/d
- Kedalaman relatif (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

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (3.3)$$

Dengan :

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad \text{dan} \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad (3.4)$$

Kondisi batas di dasar laut dari persamaan tersebut adalah kecepatan vertikal nol.

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \quad \text{di } y = -d \quad (3.5)$$

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

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2) + gy + \frac{p}{\rho} = 0 \quad (3.6)$$

dengan :

g : percepatan gravitasi (m/det^2)

p : tekanan (Kg/cm^2)

ρ : rapat massa zat cair (Kg/m^3)

Apabila persamaan (3.6) diliniierkan dengan mengabaikan u^2 dan v^2 , dan pada permukaan $y = \eta$, serta mengambil tekanan di permukaan adalah nol (tekanan atmosfer), maka persamaan Bernoulli menjadi:

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y=\eta} \quad (3.7)$$

Dengan menganggap bahwa gelombang adalah kecil terhadap kedalaman, maka kondisi batas di $y = 0$ adalah kira-kira sama dengan di y

= η . Dengan anggapan tersebut maka kondisi batas pada permukaan adalah:

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y=0} = 0 \quad (3.8)$$

Persamaan yang diselesaikan adalah sebagai berikut :

1. Persamaan *Laplace*

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0$$

2. Kondisi batas persamaan tersebut adalah :

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

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

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

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (3.9)$$

φ : potensial kecepatan

g : percepatan gravitasi

σ : frekuensi gelombang

- k : angka gelombang
 d : kedalaman laut
 y : jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap muka air diam
 x : jarak horizontal
 t : waktu

4. Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang

Komponen vertikal kecepatan partikel pada permukaan air v adalah

$v = \frac{\partial \eta}{\partial t}$, dimana η diberikan oleh persamaan (3.6), sehingga :

$$v = \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} \right) = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (4.1)$$

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

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (4.2)$$

Apabila nilai ϕ dari persamaan (4.1) disubstitusikan ke dalam persamaan (4.2), maka akhirnya didapat :

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

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

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

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

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) \quad (4.3)$$

Oleh karena $\sigma = kC$, maka persamaan (4.3) menjadi :

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh(kd) \quad (4.4)$$

Jika nilai $k = 2\pi/L$ disubstitusikan ke dalam persamaan (4.4), didapat :

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh(kd) \quad (4.5)$$

Persamaan (4.5) menunjukkan laju penjalaran gelombang sebagai fungsi kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L). Jika nilai $k = \sigma/C = (2\pi/T)/C$ disubstitusikan ke dalam persamaan (9), akan didapat nilai C sebagai fungsi T dan d .

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (4.6)$$

Dengan memasukkan nilai $k = 2\pi/L$ dan $C = L/T$ ke dalam persamaan (4.6) akan diperoleh panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (4.7)$$

Dengan menggunakan persamaan (4.7), jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dengan cara iterasi atau (coba banding) maka akan didapat panjang gelombang L .

5. Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif

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

Tabel 3 Batasan gelombang air dangkal, transisi, dan dalam

Kategori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dalam	$> 1/2$	$> \pi$	~ 1
Laut transisi	$1/20 - 1/2$	$0,25 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dangkal	$< 1/20$	$< 0,25$	$2\pi d/L$

Sumber : Triatmodjo 1999.

Klasifikasi ini dilakukan untuk menyederhanakan rumus-rumus gelombang (Triatmodjo, 1999). Penyederhaan ini dapat dijelaskan dengan menggunakan gambar 2 yang menunjukkan berbagai parameter sebagai



fungsi dari kedalaman (Huddiankuwera et al., 2022) relatif.

Gambar 8 Parameter fungsi kedalaman relatif (B.triatmodjo 1999)

Apabila kedalaman relatif d/L adalah lebih besar dari 0,5; nilai $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$ sehingga persamaan menjadi :

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (5.1)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (5.2)$$

Indeks 0 menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut adalah nilai untuk kondisi di laut dalam apabila percepatan gravitasi adalah $9,81 \text{ m/d}^2$ maka persamaan menjadi

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (5.3)$$

Apabila kedalaman relatif adalah kurang dari 1/20, nilai $\tanh(2\pi d/L) = 2\pi d/L$ sehingga persamaan menjadi :

$$C = \sqrt{gd} \quad (5.4)$$

$$L = \sqrt{gd} T = CT \quad (5.5)$$

Untuk gelombang di laut transisi, maka cepat rambat dan panjang gelombang dihitung menggunakan persamaan (4.6) dan (4.7). Apabila persamaan (4.6) dibagi dengan persamaan (5.1) atau persamaan (4.7) dibagi dengan persamaan (5.2) akan didapat :

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (5.6)$$

Apabila kedua ruas dari persamaan (17) dikalikan dengan d/L maka akan didapat :

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (5.7)$$

Persamaan (5.7) dapat digunakan untuk menghitung panjang gelombang di setiap kedalaman apabila panjang gelombang di laut dalam (L_0) diketahui.

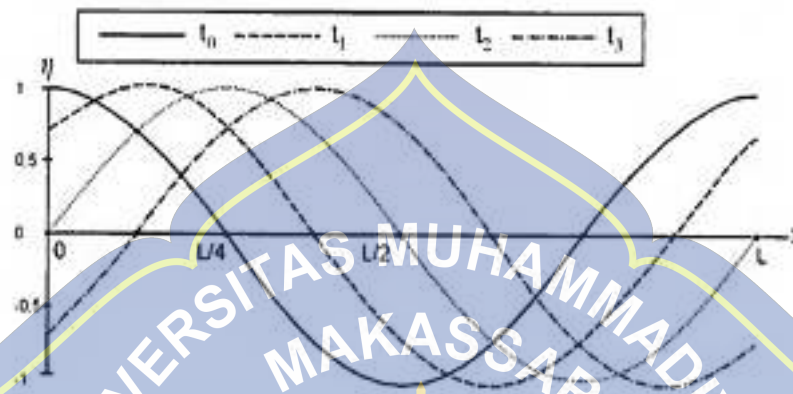
6. Fluktuasi Muka Air

Profil muka air dapat dihitung dari kondisi batas dimuka air dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = a \cos(kx - \sigma t) \quad (6.1)$$

Rumus diatas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air adalah periodik terhadap x dan t , dan merupakan gelombang sinusoidal dan progresif menjalar dalam arah x positif Gambar (9) adalah bentuk dari persamaan

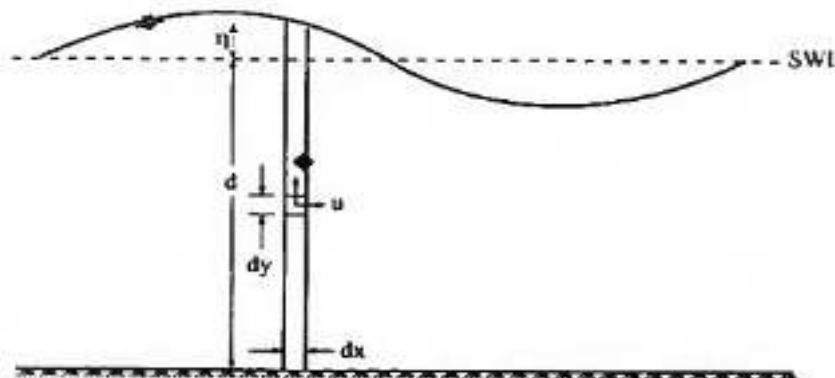
(6.1) untuk 4 nilai t yaitu $t_0 = 0$, $t_1 = T/8$, $t_2 = T/4$, $t_3 = 3T/8$; dengan T adalah periode gelombang. Penjalaran tersebut terlihat dengan bergesernya puncak gelombang, sementara partikel air tetap pada posisi yang sama dan hanya bergerak naik-turun.



Gambar 9 Profil muka air karena adanya gelombang (B.triatmodjo 1999)

7. Energi Dan Tenaga Gelombang

Untuk teori gelombang airy, jika energi potensial ditetapkan relatif terhadap muka air diam dan semua gelombang menjalar dalam arah yang sama maka komponen energi potensial dan kinetiknya adalah sama. Energi total gelombang adalah penjumlahan dari energi kinetik dan energi potensialnya (Triatmodjo 1999) penurunan persamaan energi gelombang. Dipandang satu elemen berukuran dx , dy seperti pada gambar 4 berikut:



Gambar 10 Penurunan energi gelombang (B.triatmodjo 1999)

$$dE_k = \frac{1}{2} dm V^2$$

$$= \frac{1}{2} \rho dx, dy (u^2 + v^2)$$

Energi kinetik total adalah integrasi dari persamaan diatas,

$$E_k = \int_0^L \int_{-d}^0 \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2) dy, dx$$

Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang. Energi kinetik didapatkan dengan mengintegrasikan dari dasar ke permukaan dan meratakan satu panjang gelombang didapatkan energi kinetik tiap satuan lebar gelombang adalah :

$$E_k = \frac{\rho}{2} \int_0^L \int_{-d}^0 \left[\frac{\pi H \cosh k(d+y)}{T \sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \right]^2 + \left[\frac{\pi H \sinh k(d+y)}{T \sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \right]^2 dy dx$$

$$E_k = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \quad (7.1)$$

Energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang dikurangi dengan energi potensial dari massa air diam. Dengan menggunakan dasar laut sebagai referensi maka energi potensial yang ditimbulkan oleh satu panjang gelombang tiap satuan lebar puncak gelombang adalah :

$$E_p = \int_0^L \rho g (d + \eta) \left(\frac{d + \eta}{2} \right) dx - \rho g L d \left(\frac{d}{2} \right)$$

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \quad (7.2)$$

Jadi energi potensial dan kinetik adalah sama dan energi total tiap satu satuan lebar adalah :

$$E = E_p + E_k = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \quad (7.3)$$

Energi gelombang berubah dari satu titik ke titik yang lain sepanjang satu panjang gelombang, dan energi rerata satu satuan luas adalah :

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (7.4)$$

Tenaga gelombang adalah energi gelombang tiap satuan waktu yang menjalar dalam arah penjararan gelombang, dengan pengertian lain tenaga gelombang adalah hasil kali dari gaya yang bekerja pada bidang vertikal yang tegak lurus penjararan gelombang dengan kecepatan partikel melintasi bidang tersebut (Triatmodjo, 1999) dengan rumus :

$$P = \frac{nE}{T} = \frac{n\bar{E}L}{T} \quad (7.5)$$

Dengan

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$$

pergerakan muka air relatif terhadap muka air tenang (SWL)

a = amplitudo = $H/2$; H = tinggi gelombang

$k = 2\pi/L$; L = panjang gelombang

$\omega = 2\pi/T$; T = periode gelombang

Sehingga persamaan gelombang dapat juga dituliskan menjadi :

$$\eta = a \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

Persamaan (7.4) menunjukkan laju penjaran gelombang sebagai fungsi kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L). Jika nilai $k = \sigma/C = (2\pi/T)/C$ disubstitusikan ke dalam persamaan (7.5), akan didapat nilai C sebagai fungsi T dan d .

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (7.6)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (7.7)$$

8. Teri redaman 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 :

$$Kr = \frac{Hr}{Hi} = \sqrt{\frac{Er}{Ei}} \quad (8.1)$$

Dimana energi refleksi $Er = \frac{1}{8} \rho g H_r^2$ dan energi gelombang datang adalah $Ei = \frac{1}{8} \rho g H_i^2$ dengan ρ adalah rapat massa zat cair dan g adalah percepatan gravitasi. Nilai Kr berkisar dari 1,0 untuk refleksi total dan 0 untuk tidak ada refleksi. Sedangkan koefisien transmisi (Kt) dihitung dengan persamaan berikut :

$$Kt = \frac{Ht}{Hi} = \sqrt{\frac{Et}{Ei}} \quad (8.2)$$

dimana energi gelombang transmisi adalah $Et = \frac{1}{8} \rho g H_t^2$ Menurut Horikawa (1978) bahwa besarnya energi gelombang yang didipasikan (dihancurkan/diredam) adalah besarnya energi gelombang datang dikurangi energi gelombang yang ditransmisikan dan direflesikan ($Kd = 1 - Kr - Kt$).

9. 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.

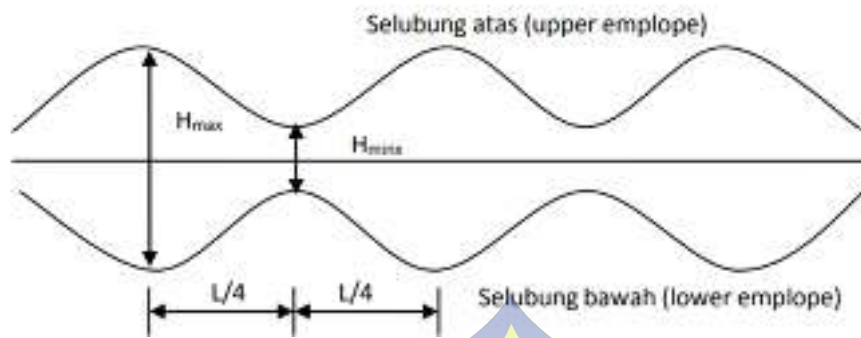
Jika suatu gelombang yang mengalami pemantulan yang tidak sempurna membentur suatu penghalang, maka tinggi gelombang datang H_i akan lebih besar dari tinggi gelombang yang direfleksikan H_r . Periode gelombang datang dan yang dipantulkan adalah sama, sehingga panjang gelombangnya juga sama. Profil gelombang total di depan penghalang adalah (Dean dan Dalrymple, 1994) :

$$\eta t = \frac{H_1}{2} (\cos kx \cos \sigma t) + \frac{H_r}{2} (\cos(kx + \epsilon) \cdot \cos \sigma t - \sin(Kx + \epsilon) \cdot \sin \sigma t) \quad (9.1)$$

Karena pemantulan yang tidak sempurna, menyebabkan tidak ada node yang sebenarnya dari profil gelombang tersebut. Profil gelombang untuk gelombang berdiri parsial ini dapat dilihat pada (Gambar 2.6). Untuk memisahkan tinggi gelombang datang dan tinggi gelombang yang direfleksikan, maka Persamaan (9.1) ditulis dalam bentuk lain seperti berikut :

$$\eta t = \frac{H_1}{2} (\cos kx \cos \sigma t + \sin kx \cdot \sin \sigma t) + \frac{H_r}{2} (\cos(kx + \epsilon) \cdot \cos \sigma t - \sin(Kx + \epsilon) \cdot \sin \sigma t) \quad (9.2)$$

$$\eta t = \left\{ \frac{H_1}{2} \cos kx + \frac{H_1}{2} \cos(kx + \epsilon) \right\} \cos \sigma t + \left\{ \frac{H_r}{2} \sin kx + \frac{H_1}{2} \sin(kx + \epsilon) \right\} \sin \sigma t \quad (9.3)$$



Gambar 11 Profil gelombang berdiri parsial

dengan menguraikan persamaan (9.2) dan (9.3) diperoleh elevasi muka air maksimum dan minimum untuk gelombang berdiri sebagian seperti berikut (Pao'tonan.C, 2006) :

$$H_i \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (9.4)$$

$$H_r \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (9.5)$$

Jika gelombang datang menghantam penghalang sebagian ditransmisikan, maka gelombang yang lewatpun akan mengalami hal yang sama seperti ketika membentur penghalang. Apabila gelombang yang ditransmisikan terhalang oleh suatu penghalang, maka tinggi gelombang transmisi H_t dapat dihitung dengan rumus :

$$H_t \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (9.6)$$

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.

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (9.5) sampai (9.6) tinggi gelombang datang, refleksasi dan transmisi dapat dihitung.

C. Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah suatu perubahan sifat gelombang yang terjadi pada saat ada gelombang bergerak merambat menuju ke pantai. Perubahan atau biasa disebut deformasi gelombang tersebut meliputi Refraksi, Difraksi dan Refleksi.

1. Refraksi Gelombang

Refraksi gelombang adalah suatu peristiwa terjadinya pembelokan arah gelombang yang memasuki perairan yang dangkal yang disebabkan karena sebagian gelombang masih merambat dengan kecepatan gelombang laut dalam pada waktu masuk ke laut dangkal. Selain mempengaruhi arah gelombang, refraksi juga sangat berpengaruh terhadap tinggi gelombang dan distribusi energi gelombang di sepanjang pantai itu. Pada laut dalam dimana dasar laut yang mempunyai jarak sangat jauh dari permukaan maka pengaruh dasar laut terhadap pergerakan gelombang hampir tidak ada. Ketika gelombang yang berasal dari lautan dalam tersebut menuju atau bergerak ke arah perairan dangkal dimana faktor kedalaman laut menjadi semakin berperan dalam perambatannya maka apabila dilihat suatu garis puncak gelombang dan pada bagian puncak gelombang yang berada di laut yang lebih dangkal akan bergerak lebih lambat dibanding di laut yang lebih dalam sehingga akibatnya garis puncak gelombang akan mengalami pembelokan dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut/pantai.

2. Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang akan terjadi apabila gelombang yang datang terhalang oleh suatu penghalang yang dapat berupa bangunan pemecah gelombang maupun pulau-pulau kecil yang ada disekitarnya. Akibatnya dari terhalang gelombang datang akan membelok di sekitar ujung rintangan/penghalang dan masuk ke daerah terlindung yang ada di belakangnya. Dalam hal ini, akan terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus ke daerah terlindung. Fenomena difraksi gelombang sangat penting diperhatikan dalam Perencanaan Pelabuhan dan Bangunan Pemecah Gelombang.

3. Refleksi Atau Pemantulan Gelombang

Refleksi gelombang merupakan pemantulan suatu gelombang yang terjadi apabila gelombang yang datang membentur atau menghantam suatu tembok atau penghalang seperti bangunan pemecah gelombang. Fenomena refleksi dapat ditemukan di kolam pelabuhan. Pemantulan gelombang dapat ditentukan oleh koefisien refleksi yang berbeda-beda untuk berbagai macam dan tipe bangunan. Menurut Krisnaldi (2012), kondisi pantulan gelombang yang tidak sempurna atau sebagian, menghasilkan gelombang tegak sebagian *Partially Standing Wave*. Persamaan muka air dapat diturunkan dari kondisi fisik yang terjadi, dimana dua gelombang dengan frekuensi sama dan amplitudo yang berbeda merambat pada arah yang berlawanan maka superposisi dari kedua gelombang tersebut.

D. 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 kinematic (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.

1. Sebangun geometric

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 :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (1.1)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (1.2)$$

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

2. Sebangun Kinematik

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. 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 :

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (2.1)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (2.2)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^3}{n_T} n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (2.3)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad (2.4)$$

3. Sebangun Dinamik

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

Untuk penelitian refleksi dan transmisi gelombang terhadap gelombang yang merambat melalui pemecah gelombang terapung banyak dipengaruhi gaya gravitasi sehingga digunakan kesebangunan Froud. Dengan pertimbangan fasilitas yang ada di laboratorium, maka pada

penelitian ini, akan menggunakan skala panjang yang sama dengan skala tinggi (undistorted models) dan menggunakan kesebangunan Froude.

$$F_r = \frac{(\rho L^3) \left(\frac{U^2}{L} \right)}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} P = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (3.1)$$

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

$$n_{F_r} = \frac{n_U}{n_{L^{0.5}}} \quad (3.2)$$

$$n_{F_r} = \frac{F_{r_p}}{F_{r_m}} = 1 \quad (3.3)$$

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 :

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \quad (3.4)$$

Sedangkan skala waktu n_T dan skala gravitasi ditulis seperti berikut:

$$n_T = n_{L^{1/2}} \quad (3.5)$$

$$n_g = 1 \quad (3.6)$$

BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika kampus Teknik Gowa Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan waktu rencana penelitian tiga pekan.

B. Jenis penelitian dan Sumber Data

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental. (Nazir, 1988) mendefinisikan eksperimen yakni observasi dibawah kondisi buatan (*artificial condition*), dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti, dengan demikian penelitian eksperimental adalah penelitian yang dilakukan dengan mengadakan manipulasi terhadap obyek penelitian serta adanya kontrol, dengan tujuan untuk menyelidiki ada atau tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan.

2. Sumber Data

Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data yakni :

1. Data primer yakni data yang diperoleh langsung dari pengamatan di lapangan.

2. Data sekunder yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan di Laboratorium Hidrolika Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian gelombang.

C. Bahan dan Alat

Saluran pembangkit gelombang (*wave tilting flume*) dengan panjang 15 m, lebar 0,3 m dan tinggi 0,45 m. Alat ini dilengkapi dengan panel kontrol, unit pembangkit gelombang, peredam, pompa dan bak



penampungan.

Gambar 12 Saluran pembangkit gelombang (*wave tilting flume*) mesin pembangkit terdiri dari mesin utama, pulley yang berfungsi mengatur waktu putaran piringan yang dihubungkan pada stroke sehingga menggerakkan flap pembangkit gelombang. Berikut adalah gambar unit pembangkit gelombang tipe flap.



Gambar 13 Unit pembangkit gelombang tipe flap

Model pemecah gelombang berongga dibuat sedemikian rupa sehingga lebar, tinggi dan panjang dstruktur atau model pemecah gelombang akan sesuai dengan keinginan dan berdasarkan kebutuhan yang diperlukan (menyesuaikan *flume*). Bahan yang akan digunakan dalam penelitian adalah multipleks dengan ukuran lebar (B) = 30 cm (disesuaikan dengan lebar flume), panjang model (P) = 10 cm (disesuaikan dengan panjang gelombang) dan tinggi model (h) = 12 cm (disesuaikan dengan tinggi flume).

1. Unit pembangkit gelombang
2. Mistar ukur digunakan untuk mengukur kedalaman air,
3. Meteran untuk mengukur tinggi gelombang,
4. Stopwatch untuk mengukur periode gelombang,
5. Kamera untuk dokumentasi,
6. Tabel dan Alat Tulis,

D. Variabel Penelitian

Variabel terikat yang diteliti adalah tinggi gelombang transmisi (H_t), tinggi gelombang refleksi (H_r), koefisien transmisi (K_t) dan koefisien

refleksi (K_r), sedangkan variabel bebas dalam penelitian adalah periode gelombang (T), tinggi gelombang (H_i), kedalaman air (d), serta jarak panjang relatif model atau jarak penempatan relatif model (x).

E. Pelaksanaan Studi Model

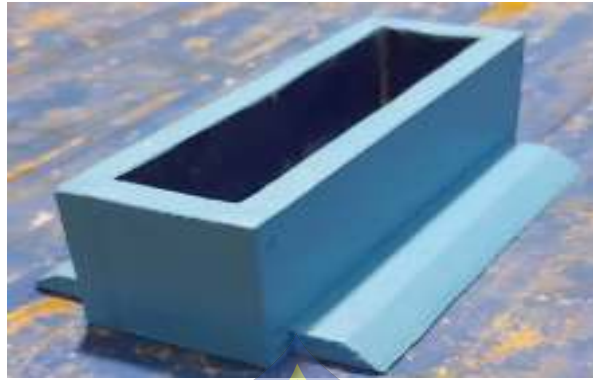
Berdasarkan variabel yang akan diteliti, perancangan model pemecah gelombang berongga didasarkan pada beberapa spesifikasi sebagai berikut :

1. Berdasarkan pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, maka digunakan skala model 1:10, nilai skala model Parameter gelombang yang diteliti merupakan tinggi gelombang (H), periode gelombang (T) serta kedalaman air. Variasi parameter gelombang diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4 Variasi Parameter Gelombang

Variabel	Notasi	Skala
Skala tinggi	n_H	20
Skala Panjang	n_L	20
Kedalaman	n_d	20
Waktu (periode)	n_T	4,47

2. Model terbuat dari bahan multipleks yang dibuat rongga berbentuk persegi dan diberi lubang dengan jarak tertentu di depan dan belakang model.



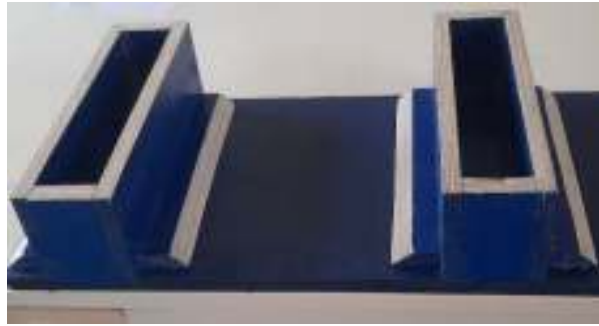
Gambar 14 Gambar model

3. Panjang model = 30 cm, lebar model = 10 cm dan tinggi model = 12 cm, seperti terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Gambar sketsa model

Gambar 16 Gambar sketsa rangkaian model



Gambar 17 Gambar rangkaian model

4. Parameter gelombang yang diteliti adalah tinggi gelombang (H), periode gelombang (T) serta kedalaman air. Variasi parameter gelombang diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5 Variasi parameter gelombang

No.	Jenis variasi	Jumlah variasi
1.	Tinggi gelombang (H)	3 variasi
2.	Periode gelombang (T)	3 variasi
3.	Kedalaman air (d)	3 variasi

F. Rancangan Simulasi

Rancangan simulasi model beserta parameternya diperlihatkan pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Rancangan simulasi

Model	Jarak Penempatan	Kedalaman Air (d) cm	Periode (T) detik	Stroke	Tinggi Gelombang (H)
Caisson	$\frac{1}{4} L$	h = 12	1,2	4	9 variasi
		$1\frac{1}{2} h = 18$		5	
	$\frac{1}{2} L$			6	
				1,3	4

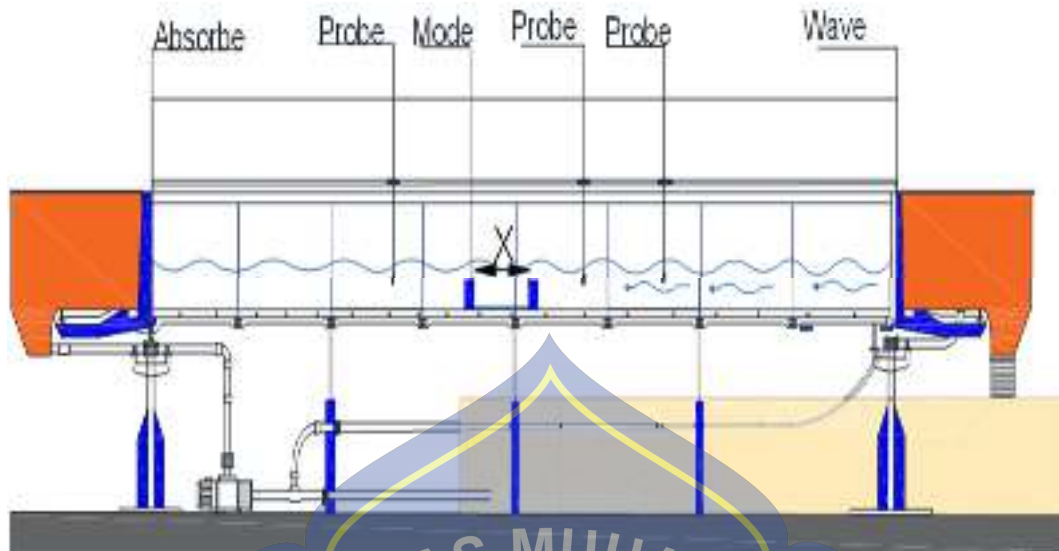
	$\frac{3}{4} L$	$2h = 24$		5	
				6	
	L		1,4	4	9 variasi
				5	
				6	

G. Pelaksanaan Simulasi Model

Model diletakan pada saluran gelombang (*wave flume*) pada posisi yang tepat sehingga efektif terhadap gelombang.

Secara garis besar prosedur simulasi model dan perolehan data adalah sebagai berikut :

1. Mula-mula model (M-1) diletakkan di jarak ± 10 m dari pembangkit gelombang dimana ukuran *flume* yang digunakan sepanjang 15 m dan diatur sedemikian rupa sehingga tidak berubah dan bergoyang pada saat dilakukan running.
2. Atur tinggi muka air diam ($d = 2h$ dan $1,5h$) yang direncanakan dengan menggunakan mesin pompa pada flume hingga tercapai kedalaman yang ditentukan serta mengatur variasi tinggi gelombang (H_1) dan variasi periode gelombang (T).
3. Setelah semua komponen siap, running dimulai dengan membangkitkan gelombang dengan menyalakan mesin pada unit pembangkit gelombang.
4. Pembacaan tinggi gelombang di depan dan di belakang model direkam menggunakan wave probe. Adapun titik penempatan wave probe diperlihatkan pada Gambar 19 dan gambar 20.



Gambar 18 Gambar sketsa penempatan model dalam wave flum



Gambar 19 Gambar penempatan model dalam wave flum

5. Pada model prosedur (2) sampai (4) dilakukan sesuai dengan variasi kedalaman air, tinggi gelombang dan periode gelombang. Berikut adalah gambar dokumentasi simulasi pelaksanaan model





Gambar 20 Gambar dokumentasi simulasi pelaksanaan model

Pengukuran tinggi gelombang dilakukan setelah gelombang dibangkitkan yaitu pada saat gelombang dalam kondisi stabil. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data tinggi gelombang maksimum (H_{max}) dan tinggi gelombang minimum (H_{min}) sehingga akan diperoleh tinggi gelombang datang (H_i). Data yang diukur, dicatat pada tabel berikut.

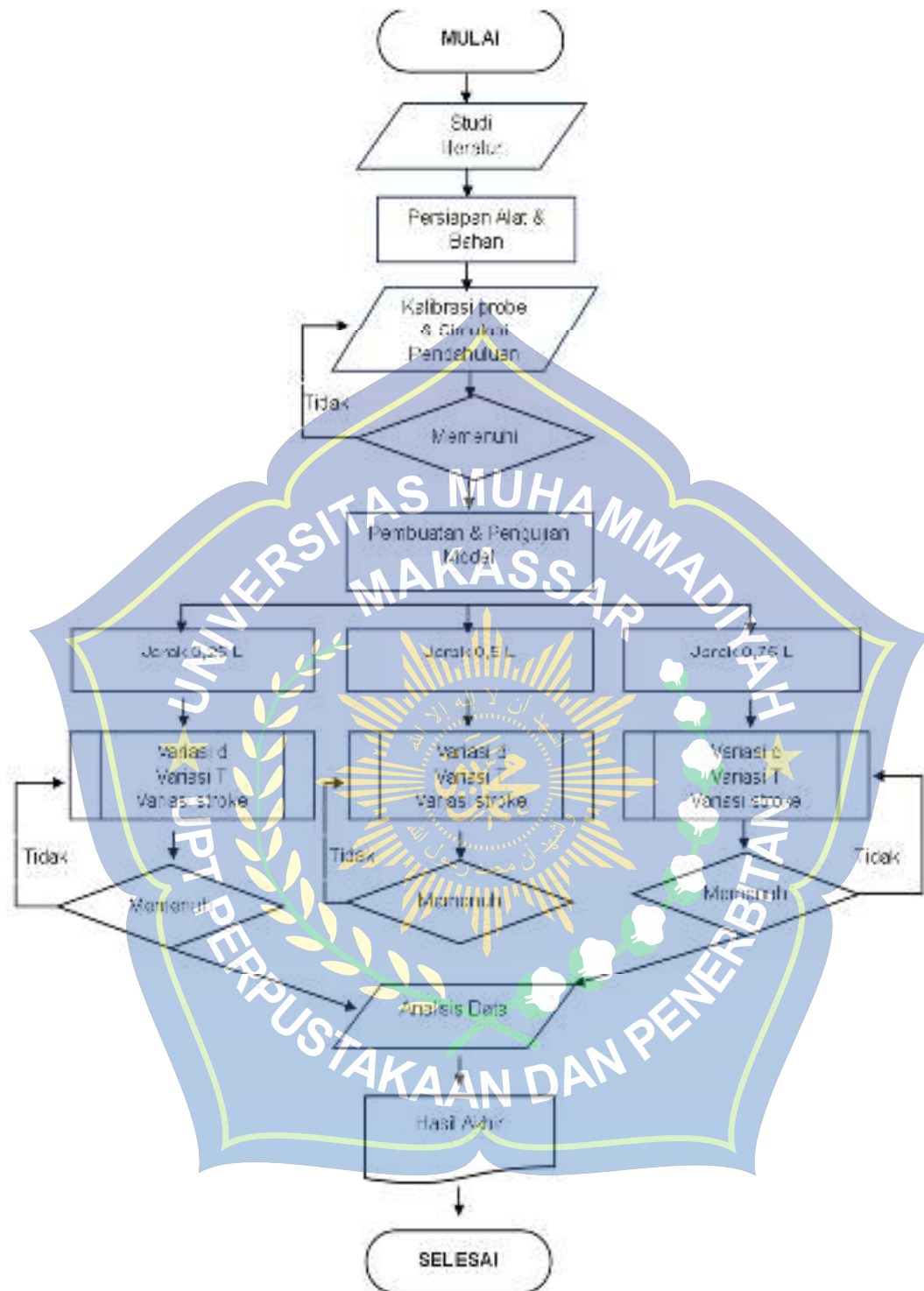
Tabel 7 Pengukuran parameter gelombang

Model	Variasi Jarak	Kedalaman air (d)	Periode gel. (T)	Tinggi gel. (H)	Depan model		Belakang model
					H_{max} (cm)	H_{min} (cm)	H (cm)
1	Var.1	1 h	1,3	27 variasi			
		1,5 h	1,4				
		2 h	1,5				
	Var.2	1 h	1,3	27 variasi			
		1,5 h	1,4				
		2 h	1,5				
	Var.3	1 h	1,3	27 variasi			
		1,5 h	1,4				
		2 h	1,5				

H. Diagram Proses Penelitian Laboratorium

Tahapan penelitian yang dilakukan sesuai dengan bagan alir pada Gambar berikut ini :





Gambar 21 Diagram alur penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Sebaran data gelombang pada penelitian ini berada pada daerah gelombang laut transisi. Data yang diperoleh kemudian dianalisis melalui beberapa tahapan. Teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil (*Airy Wave Theory*). Hasil analisis pengaruh parameter gelombang dan parameter struktur pemecah gelombang terhadap gelombang refleksi dan transmisi akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Hasil penelitian dari seluruh kegiatan eksperimen yang telah dilakukan di laboratorium akan dipaparkan sebagai berikut :

1. Kalibrasi Statis

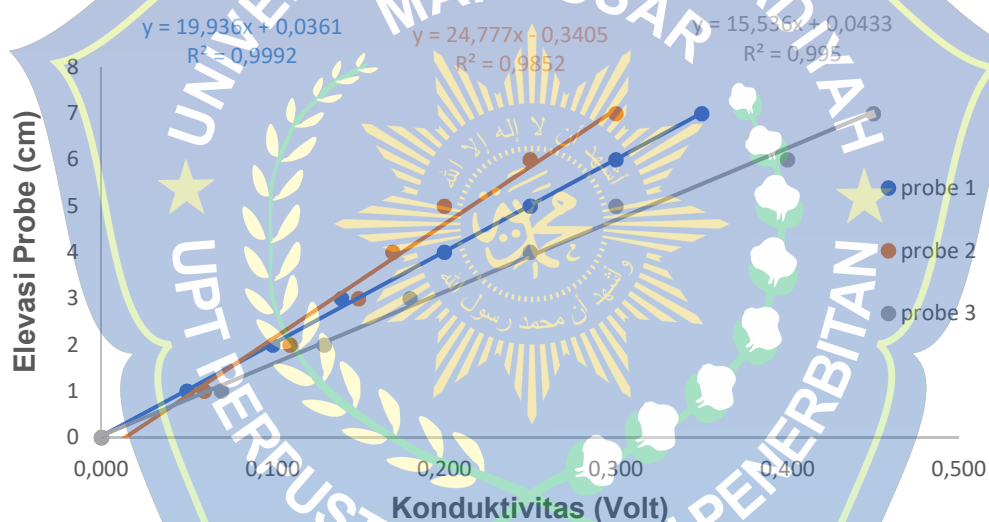
Hasil rekaman fluktuasi muka air pada *software oscilloscope* adalah data fluktuasi muka air dengan satuan tegangan (*volt*), dengan demikian harus diubah terlebih dahulu ke dalam satuan panjang misalnya *centimeter (cm)*. Untuk mengubah satuan tegangan ke satuan panjang, pada penelitian ini digunakan persamaan regresi linier. Ada variabel yang tetap pada *wave probe* yaitu jarak antar lubang yaitu *1 cm*. Batang sensor dinaikkan per *1 cm* kemudian nilai tegangan dicatat, selanjutnya dinaikkan lagi hingga mencapai *7 cm*. *Kalibrasi statis* dilakukan pada setiap kedalaman rencana, semua data yang dicatat seperti tabel berikut :

Tabel 8 Kalibrasi Probe pada kedalaman 24 cm

Wave Probe 1		Wave Probe 2		Wave Probe 3	
Elevasi WaveProbe (cm)	Tegangan (volt)	Elevasi WaveProbe (cm)	Tegangan (volt)	Elevasi WaveProbe (cm)	Tegangan (volt)
0	0,000	0	0,000	0	0,000
1	0,050	1	0,060	1	0,070
2	0,100	2	0,110	2	0,130
3	0,140	3	0,150	3	0,180
4	0,200	4	0,170	4	0,250
5	0,25	5	0,200	5	0,300
6	0,300	6	0,250	6	0,400
7	0,350	7	0,300	7	0,450

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas dapat disajikan gambar grafik regresi linear pada



kedalaman 24 cm sebagai berikut:

Gambar 22 Grafik Regresi Linier pada kedalaman 24 cm

1. Panjang Gelombang (L)

Penentuan nilai besaran panjang gelombang dapat diketahui melalui dua cara, yaitu :

- pengukuran secara langsung menggunakan dua *wave probe* dengan cara menggeser *wave probe* hingga kedua gelombang berimpit atau

sefasa kemudian jarak antar *wave probe* tersebut merupakan panjang gelombang terukur (*L ukur*).

- b. metode iterasi dari persamaan panjang gelombang menggunakan data periode rencana dan kedalaman rencana, hasil perhitungan ini merupakan panjang gelombang hitung (*L hitung*).

Salah satu contoh perhitungan panjang gelombang dengan metode iterasi pada periode 1,2 detik dan kedalaman air 0,24 m yaitu sebagai berikut.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

Hubungan $L_0 - L$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \tanh \frac{2\pi d}{L} ; L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} ; L_0 = 1,56 T^2$$

Tabel 9 Tabel hasil iterasi Panjang gelombang L.

Iterasi ke	L_0	L	$E (\%)$
1	2,25	1,32	-70,5572
2	1,78	1,55	-14,9950
3	1,67	1,62	-3,0491
4	1,64	1,63	-0,6141
5	1,64	1,63	-0,1235

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan menggunakan metode iterasi diketahui nilai $L = 1,63 \text{ m}$ pada iterasi ke 5 dengan nilai kesalahan terkecil = -0, 1235. Perhitungan panjang gelombang (L) untuk semua variasi periode dan kedalaman air dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 10. Rekap data panjang gelombang (L).

Kedalaman air (d) (cm)	Periode Gelombang (T) ($detik$)	Panjang Gelombang (L) (cm)
12,00	1,2	123
	1,3	134
	1,4	146
18,00	1,2	146
	1,3	160
	1,4	174
24,00	1,2	163
	1,3	180
	1,4	197

Sumber: Hasil perhitungan

2. Data Tinggi Gelombang

Dari hasil percobaan dan perekaman tinggi gelombang di tiap titik diambil nilai amplitudo maksimum dan minimum di depan dan belakang model. Data yang direkam sebanyak 500 data dengan *time base* 0,06 detik, frekuensi 50 Hz serta durasi perekaman selama 30 detik. Jumlah gelombang yang terekam bervariasi tergantung periode yang diinput.

Pada penelitian ini, data tinggi gelombang masing-masing probe dihitung berdasarkan tinggi amplitudo maksimum dan minimum yang berurutan kemudian dijumlahkan. Amplitudo minimum yang bernilai negatif harus diabsolutkan untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang pada setiap *wave probe*.

Nilai tinggi gelombang kemudian diolah untuk mendapatkan tinggi gelombang rata-rata. Data pada *wave probe 1* digunakan untuk menentukan tinggi gelombang maksimum (H_{maks}), data pada *wave*

probe 2 digunakan untuk menentukan tinggi gelombang minimum, dan data pada *wave probe 3* digunakan untuk menentukan tinggi gelombang transmisi (H_t). Berikut disajikan tabel hasil pengamatan tinggi gelombang pada setiap kedalaman dan periode.

Tabel 11 Data pengamatan tinggi gelombang pada jarak 0,25L

Kedalaman air (d) (cm)	Periode (T) (detik)	Probe 1 H Maks (cm)	Probe 2 H Min (cm)	Probe 3 Ht (cm)
12	1,2	2,63	2,02	0,20
	1,3	2,29	1,72	0,15
	1,4	2,62	2,35	0,27
18	1,2	3,70	2,76	2,72
	1,3	3,13	2,52	2,19
	1,4	2,69	2,47	1,73
24	1,2	4,07	3,14	2,66
	1,3	3,48	3,17	2,75
	1,4	3,38	2,93	2,79

Sumber : Hasil perhitungan

Adapun gambar dari pengamatan tinggi gelombang adalah sebagai berikut:



Gambar 23 Pengamatan tinggi gelombang pada model

3. Data Tinggi Gelombang H_i , H_r dan H_t

Tinggi gelombang datang (H_i) yang terjadi akibat adanya model pemecah gelombang tergantung dari berapa besar tinggi gelombang maksimum (H_{maks}) dan tinggi gelombang minimum (H_{min}) dihitung menggunakan persamaan 3.3 dan 3.4. Contoh perhitungan tinggi gelombang datang (H_i) pada kedalaman 12 cm periode 1,2 detik pada model, amplitudo maksimum pada probe 1 = 2,63 cm, amplitudo minimum pada probe 2 = 2,02 cm, adalah sebagai berikut:

$$H_i = \frac{h_{max} + h_{min}}{2}$$

$$H_i = \frac{(2,63) + (2,02)}{2}$$

$$H_i = 2,33 \text{ cm}$$

Gelombang datang yang membentur suatu rintangan/hambatan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya, fenomena ini disebut gelombang refleksi/gelombang pantul. Tinggi gelombang refleksi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6. Contoh perhitungan tinggi gelombang datang (H_r) pada kedalaman 12 cm periode 1,2 detik pada model, amplitudo maksimum probe 1 = 2,63 cm, amplitudo maksimum probe 2 = 2,02 cm, adalah sebagai berikut :

$$H_r = \frac{h_{max} - h_{min}}{2}$$

$$H_r = \frac{(2,63) - (2,02)}{2}$$

$$H_r = 0,31 \text{ cm}$$

Parameter gelombang refleksi biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi (K_r) yaitu rasio antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Berikut ini diberikan contoh perhitungan koefisien refleksi (K_r) dengan persamaan (40) pada kedalaman 12 cm periode 1,2 detik dengan $H_i = 2,33$ cm, $H_r = 0,31$ cm adalah sebagai berikut:

$$K_r = \frac{H_r}{H_i}$$

$$K_r = \frac{0,31}{2,33}$$

$$K_r = 0,13$$

Gelombang datang yang membentur suatu rintangan/model pemecah gelombang akan dipantulkan dan diteruskan atau ditransmisikan. Contoh perhitungan tinggi gelombang transmisi (H_t) pada kedalaman 12 cm periode 1,2 detik pada model, amplitudo maksimum dan minimum pada probe 3 = 0,091 cm dan -0,099 cm adalah sebagai berikut:

$$H_t = |a_{maks} + a_{min}|$$

$$H_t = |0,91 + -0,099|$$

$$H_t = 0,20 \text{ cm}$$

Parameter gelombang transmisi biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien transmisi (K_t) yaitu rasio antara tinggi gelombang transmisi (H_t) dan tinggi gelombang datang (H_i). Berikut ini diberikan contoh perhitungan koefisien transmisi (K_t) dengan persamaan (41) pada kedalaman 12 cm periode 1,2 detik dengan model, $H_i = 2,33$ cm, $H_t = 0,20$ cm adalah sebagai berikut :

$$K_t = \frac{H_t}{H_i}$$

$$K_t = \frac{0,20}{2,33}$$

$$K_t = 0,09$$

Data hasil perhitungan tinggi gelombang diperlihatkan pada tabel 12.

Tabel 12 Data hasil perhitungan tinggi gelombang.

d	T	1/4L	1/2L	3/4L	1L	Stroke
12	1.2	30.8	61.5	92.25	123	4
						5
						6
						4
	1.3	33.5	67.0	100.5	134	5
						6
						4
						5
1.4	36.5	73.0	109.5	146	6	
					4	
					5	
					6	
18	1.2	36.5	73.0	109.5	146	4
						5
						6
	1.3	40.0	80.0	120.0	160	4
						5
						6
	1.4	43.5	87.0	130.5	174	4
						5
						6

24	1.2	40.8	81.5	122.3	163	4
						5
						6
	1.3	45.0	90.0	135.0	180	4
						5
						6
	1.4	49.3	98.5	147.8	197	4
						5
						6

Sumber : Hasil perhitungan

B. Analisis Dimensi

Pada penelitian ini terdapat 2 buah model dengan 1 variasi model, 3 variasi kedalaman air, 3 variasi periode dan 3 variasi jarak penempatan. Untuk model digunakan model kaisan. Untuk variasi kedalaman air digunakan kedalaman 12 cm, 18 cm, dan 24 cm atau setinggi model, satu setengah model, dan 2 kali tinggi model. Untuk variasi periode gelombang (T) digunakan periode 1,2 detik, 1,3 detik dan 1,4 detik.

Paradigma penelitian adalah hubungan antara konsep dan variabel yang akan diteliti yang bertujuan agar arah penelitian dan peran dari setiap variabel lebih terlihat jelas dalam menganalisis untuk menjawab tujuan dari penelitian ini. Parameter dari gelombang dan struktur yang diperkirakan mempengaruhi fenomena yang akan diteliti terhadap tinggi gelombang refleksi dan transmisi seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 13 Variabel yang berpengaruh dalam penelitian

Variabel	Simbol	Unit	Dimensi
Parameter gelombang :			

1. Tinggi gelombang datang	H_i	L	Geometrik
2. Panjang gelombang	L	L	Geometrik
3. Kedalaman air	d	L	Geometrik
4. Percepatan gravitasi	g	$L T^{-2}$	Kinematik

Parameter Air :

5. Kekentalan dinamik zat cair	μ	$M L^{-1} T^{-1}$	Dinamik
6. Kerapatan massa zat cair	ρ	$M L^{-3}$	Dinamik

Parameter Model :

7. Jarak penempatan	x	L	Geometrik
8. Lebar model	b	L	Geometrik
9. Tinggi model	h	L	Geometrik

Parameter dari gelombang adalah C , H , L , T akan tetapi karena letak pemecah gelombang berada pada kondisi transisi maka parameter C dan T dapat dinyatakan dalam L sehingga tinggi gelombang di laut dalam (H_0) dan panjang gelombang di laut dalam (L_0) yang menjadi variabel dalam eksperimen ini. Parameter model yang mempengaruhi tinggi gelombang refleksi dan transmisi adalah kedalaman air (d), Jarak penempatan (x) Parameter ini dipilih secara rasional berdasarkan penelitian terdahulu. Variabel dimensi yang mempengaruhi gelombang refleksi dan transmisi adalah $H_r, H_t, H_d = f(H_i, L, h, x, b, d,)$.

Karena hanya ada satu dimensi yang terlibat dalam semua variabel yaitu dimensi panjang, maka variabel L dipilih sebagai pembagi untuk menghilangkan semua dimensi. Notasi 2π digunakan untuk angka gelombang $k = 2\pi/L$

Analisa dimensi dengan metode Buckingham diperoleh parameter tak berdimensi sebagai berikut.

$$Kr = \frac{Hr}{Hi} = f \left[\frac{Hi}{L}, \frac{x}{L}, \frac{d}{h} \right]$$

$$Kt = \frac{Ht}{Hi} = f \left[\frac{Hi}{L}, \frac{x}{L}, \frac{d}{h} \right]$$

$$Kd = \frac{Hd}{Hi} = f \left[\frac{Hi}{L}, \frac{x}{L}, \frac{d}{h} \right]$$

dengan :

Hi/L = Kecuraman gelombang (*wave steepness*)

x/L = jarak penempatan dan panjang gelombang (L)

d/h = Rasio kedalaman air dan tinggi model

C. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisa dimensi, data tinggi gelombang kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara parameter yang berpengaruh terhadap gelombang refleksi (Kr) dan gelombang transmisi (Kt). Kemudian data hasil perhitungan disusun dalam bentuk tabulasi seperti ditampilkan pada tabel 14, dengan hasil lengkap perhitungan terlampir.

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel pada gelombang refleksi dan transmisi pada pemecah gelombang caisson susun seri. Ketinggian nilai gelombang refleksi dan transmisi dipengaruhi oleh kedalaman air (d), tinggi gelombang datang (Hi), jarak penempatan antar model atau jarak Panjang model relatif (x), dan tinggi model atau struktur (h). Pada penelitian ini, analisis dilakukan terhadap model pemecah gelombang tipe caisson susun seri dengan jarak penempatan bervariasi, yakni 0,25L, 0,50L, dan 0,75L.

Berikut adalah tabel 14 hasil perhitungan untuk model pemecah gelombang model *caisson* susun seri.

Tabel 14 Hasil perhitungan untuk model pemecah gelombang



NO	X/L	d	T	L	h	X	HMax	HMin	HProbe 3	Hi	Hr	Ht	Kr	Kt	Kd	Hi/L	d/L	d/h
1	0.25	12	1.2	123	12	30.80	2.63	2.02	0.20	2.886	0.319	0.27	0.111	0.092	0.80	0.023	0.098	1.00
2	0.25	18	1.2	146	12	36.50	3.70	2.76	2.72	3.25	1.03	2.72	0.316	0.838	-0.15	0.022	0.123	1.50
3	0.25	24	1.2	163	12	40.80	4.07	3.14	2.66	3.76	0.65	3.15	0.172	0.838	-0.01	0.023	0.147	2.00
4	0.50	12	1.2	123	12	61.50	2.65	2.26	0.16	2.325	0.282	0.18	0.121	0.077	0.80	0.019	0.098	1.00
5	0.50	18	1.2	146	12	73.00	3.73	2.18	2.03	2.95	0.56	2.19	0.188	0.740	0.07	0.020	0.123	1.50
6	0.50	24	1.2	163	12	81.50	3.96	3.47	2.43	3.42	0.28	2.75	0.083	0.804	0.11	0.021	0.147	2.00
7	0.75	12	1.2	123	12	92.25	2.39	1.83	0.15	2.005	0.196	0.16	0.098	0.077	0.82	0.016	0.098	1.00
8	0.75	18	1.2	146	12	109.50	3.77	2.73	2.49	2.72	0.30	1.73	0.111	0.636	0.25	0.019	0.123	1.50
9	0.75	24	1.2	163	12	122.25	4.40	3.11	2.26	3.23	0.22	2.43	0.069	0.753	0.18	0.020	0.147	2.00
10	0.25	12	1.3	134	12	33.50	2.29	1.72	0.15	2.486	0.309	0.21	0.124	0.084	0.79	0.019	0.090	1.00
11	0.25	18	1.3	160	12	40.00	3.13	2.52	2.19	3.23	0.77	2.49	0.239	0.769	-0.01	0.020	0.113	1.50
12	0.25	24	1.3	180	12	45.00	3.48	3.17	2.75	3.72	0.47	3.11	0.125	0.836	0.04	0.021	0.133	2.00
13	0.50	12	1.3	134	12	67.00	2.26	1.68	0.16	2.126	0.281	0.18	0.132	0.083	0.78	0.016	0.090	1.00
14	0.50	18	1.3	160	12	80.00	3.90	1.85	1.96	2.87	0.52	2.03	0.181	0.708	0.11	0.018	0.113	1.50
15	0.50	24	1.3	180	12	90.00	3.35	2.79	2.36	3.33	0.26	2.74	0.077	0.822	0.10	0.018	0.133	2.00
16	0.75	12	1.3	134	12	100.50	2.11	1.47	0.18	1.970	0.184	0.15	0.093	0.078	0.83	0.015	0.090	1.00
17	0.75	18	1.3	160	12	120.00	3.92	2.44	2.49	2.58	0.15	1.66	0.056	0.643	0.30	0.016	0.113	1.50
18	0.75	24	1.3	180	12	135.00	3.45	3.02	2.74	3.15	0.22	2.36	0.068	0.749	0.18	0.018	0.133	2.00
19	0.25	12	1.4	146	12	36.50	2.62	2.35	0.27	2.457	0.286	0.20	0.116	0.081	0.80	0.017	0.082	1.00
20	0.25	18	1.4	174	12	43.50	2.69	2.47	1.73	3.18	0.74	2.49	0.232	0.782	-0.01	0.018	0.103	1.50
21	0.25	24	1.4	197	12	49.25	3.38	2.93	2.79	3.60	0.34	2.79	0.094	0.774	0.13	0.018	0.122	2.00
22	0.50	12	1.4	146	12	73.00	2.31	1.94	0.21	2.111	0.268	0.16	0.127	0.077	0.80	0.014	0.082	1.00
23	0.50	18	1.4	174	12	87.00	3.07	1.96	1.66	2.83	0.47	1.96	0.166	0.694	0.14	0.016	0.103	1.50
24	0.50	24	1.4	197	12	98.50	3.76	3.08	3.11	3.29	0.24	2.66	0.074	0.810	0.12	0.017	0.122	2.00
25	0.75	12	1.4	146	12	109.50	3.15	2.62	0.18	1.786	0.134	0.15	0.075	0.083	0.84	0.012	0.082	1.00
26	0.75	18	1.4	174	12	130.50	2.87	2.58	1.50	2.52	0.11	1.50	0.045	0.595	0.36	0.014	0.103	1.50
27	0.75	24	1.4	197	12	147.75	3.55	3.03	3.15	3.07	0.16	2.26	0.050	0.736	0.21	0.016	0.122	2.00

Sumber: Hasil perhitungan

1. Pengaruh variabel periode gelombang (T)

Periode gelombang (T) dalam penelitian ini merupakan variabel bebas, yakni variabel yang mempengaruhi variabel terikat atau dependen gelombang refleksi dan transmisi pada jarak penempatan breakwater. Dalam penelitian ini terdapat tiga variasi periode gelombang (T) yaitu $T=1,2$ dtk, $T=1,3$ dtk, dan $T=1,4$ dtk.

a. Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Adapun hubungan antara koefisien refleksi (K_r), dengan kecuraman gelombang (H_i/L), terhadap periode gelombang (T) dapat kita lihat pada gambar 24.



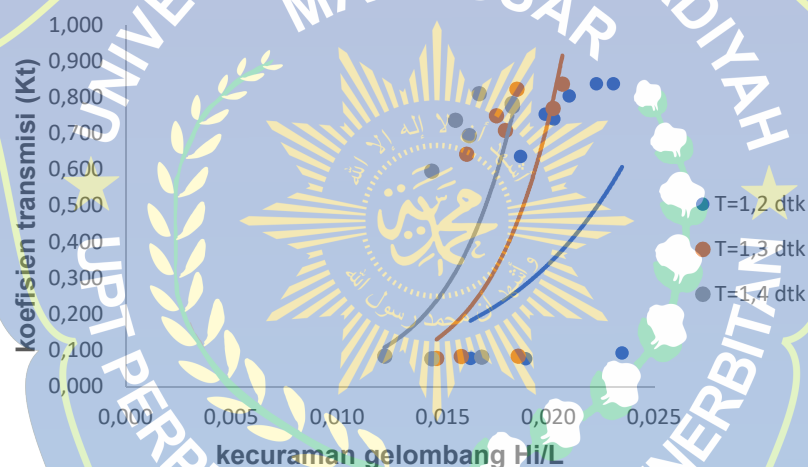
Gambar 24 Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L)

Pada gambar 24 dapat dilihat bahwa ke tiga variasi periode gelombang $T=1,2$ dtk, $T=1,3$ dtk, dan $T=1,4$ dtk, hubungan antara koefisien refleksi (K_r) dengan kecuraman gelombang (H_i/L) terhadap periode gelombang (T) adalah nilai koefisien refleksi (K_r) semakin tinggi seiring dengan peningkatan nilai kecuraman gelombang (H_i/L), dimana

nilai koefisien refleksi tertinggi berada pada periode $T=1,2$ dengan nilai $K_r \approx 0,069 - 0,316$ dengan nilai kecuraman gelombang (H_i/L) $\approx 0,016-0,023$. sedangkan nilai koefisien refleksi (K_r) terendah berada pada periode $T=1,4$ dtk dengan nilai minimum $K_r \approx 0,045-0,232$.

b. Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Adapun hubungan antara koefisien transmisi (K_t), dengan kecuraman gelombang (H_i/L), terhadap periode gelombang (T) dapat kita lihat pada gambar 25 berikut.



Gambar 25 Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L)

Pada gambar 25 dapat dilihat bahwa ke tiga variasi periode gelombang $T=1,2$ dtk, $T=1,3$ dtk, dan $T=1,4$ dtk, hubungan antara koefisien transmisi (K_t) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L) adalah nilai koefisien transmisi (K_t) semakin tinggi seiring dengan peningkatan nilai kecuraman gelombang (H_i/L), dimana nilai koefisien transmisi tertinggi berada pada periode $T=1,2$ dtk dengan nilai maksimum dari koefisien transmisi (K_t) $\approx 0,077-0,838$ dengan nilai kecuraman gelombang (H_i/L) $\approx$

0,016-0,023. sedangkan nilai koefisien transmisi (K_t) terendah berada pada periode $T=1,4$ dtk dengan nilai $K_t \approx 0,077-0,810$ dengan nilai kecuraman gelombang $H_i/L \approx 0,012-0,018$.

c. Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) dengan kedalaman relatif (d/L)

Adapun hubungan antara koefisien refleksi (K_r), dengan kedalaman relatif (d/L), dapat kita lihat pada gambar 26 berikut.

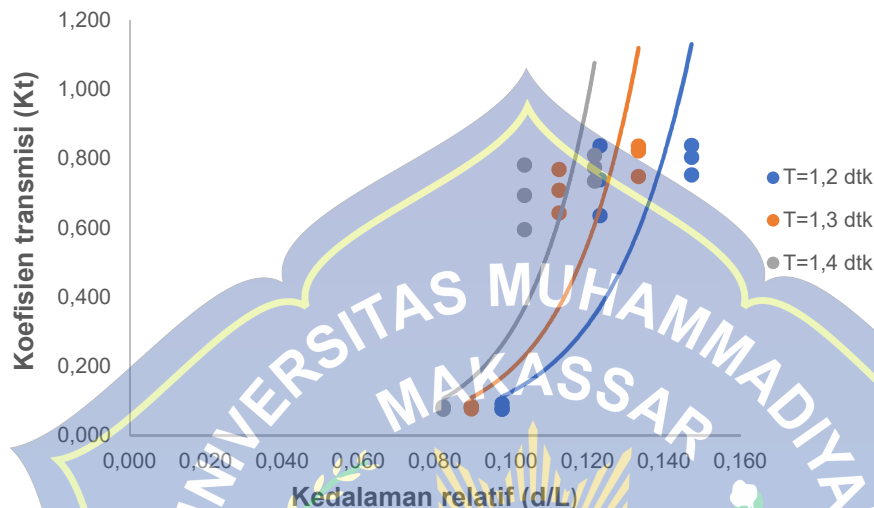


Gambar 26 Hubungan koefisien refleksi (K_r) terhadap kedalaman relatif (d/L)

Pada gambar 26 dapat dilihat bahwa ketiga variasi periode gelombang $T=1,2$ dtk, $T=1,3$ dtk, dan $T=1,4$ dtk, hubungan antara koefisien refleksi (K_r) terhadap kedalaman relatif (d/L) adalah nilai koefisien refleksi (K_r) semakin menurun seiring dengan peningkatan nilai dari kedalaman relatif (d/L) adapun nilai koefisien refleksi terbesar berada pada periode gelombang $T=1,2$ detik dengan nilai maksimum 0,306 pada nilai kedalaman relatif 0,123, sedangkan koefisien refleksi terkecil berada pada periode gelombang $T=1,4$ dtk dengan nilai koefisien refleksi (K_r) = 0,045 pada kedalaman relatif (d/L) = 0,103.

d. Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kedalaman relatif (d/L)

Adapun hubungan antara koefisien transmisi (K_t), dengan kedalaman relatif (d/L), dapat kita lihat pada gambar 27 berikut.



Gambar 27 Hubungan koefisien transmisi (K_t) dengan kedalaman relatif (d/L)

Pada gambar 27 dapat dilihat bahwa ketiga variasi periode gelombang $T=1,2$ dtk, $T=1,3$ dtk, dan $T=1,4$ dtk, hubungannya antara koefisien transmisi (K_t) terhadap kedalaman relatif (d/L) adalah nilai koefisien transmisi (K_t) semakin tinggi seiring dengan peningkatan nilai dari kedalaman relatif (d/L) adapun nilai koefisien refleksi terbesar berada pada periode gelombang $T=1,2$ detik dengan nilai maksimum 0,838 pada nilai kedalaman relatif 0,147, sedangkan koefisien refleksi terkecil berada pada periode gelombang $T= 1,4$ dtk dengan nilai koefisien transmisi (K_t) = 0,810 pada kedalaman relatif (d/L) = 0,122.

2. Pengaruh parameter jarak penempatan relatif (x/L)

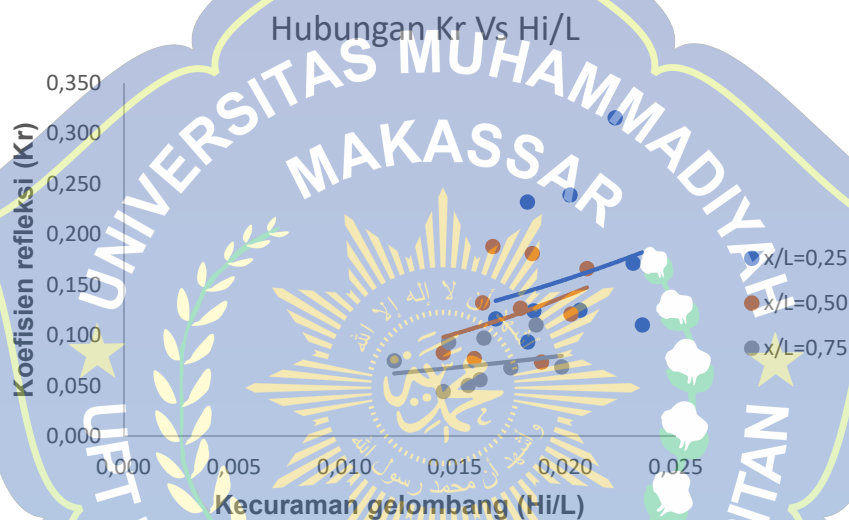
Untuk melihat pengaruh parameter jarak penempatan relatif (x/L) terhadap gelombang refleksi (H_r) dan Gelombang transmisi (H_t), jarak

penempatan dibagi menjadi tiga yaitu $x/L = 0,25$, $x/L = 0,50$, dan $x/L = 0,75$.

Yang akan disajikan dalam bentuk gambar grafik.

a. Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Adapun hubungan antara koefisien refleksi (K_r), dengan kecuraman gelombang (H_i/L) terhadap jarak penempatan relatif (x/L) dapat kita lihat pada grafik gambar 28.

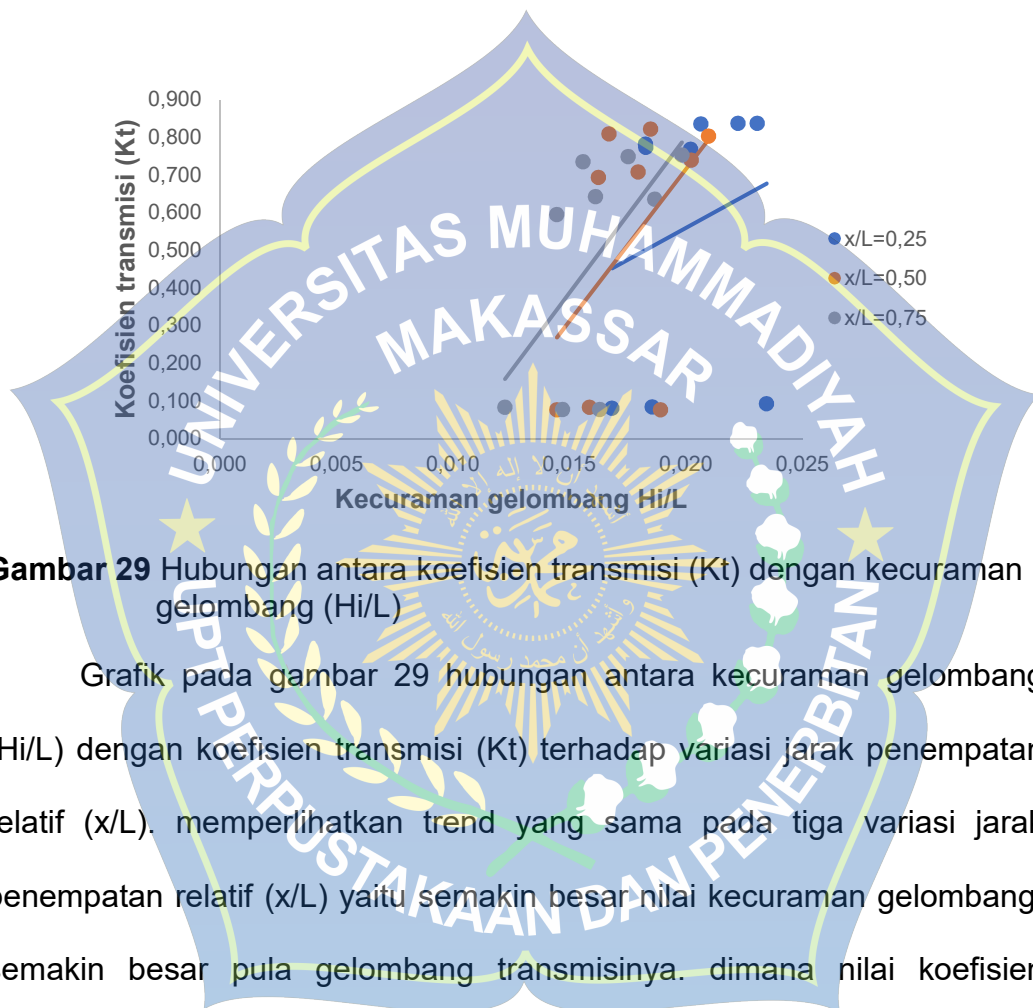


Gambar 28 Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) terhadap kecuraman gelombang (H_i/L)

Grafik pada gambar 28 memperlihatkan hubungan antara kecuraman gelombang (H_i/L) dengan koefisien refleksi (K_r) terhadap variasi jarak penempatan relatif (x/L). dimana nilai koefisien refleksi (K_r) pada jarak 0,25 $\approx$ 0,094 – 0,316, pada jarak 0,50 $\approx$ 0,074 – 0,188, dan pada jarak 0,75 $\approx$ 0,045 - 0,111. Dengan nilai kecuraman gelombang (H_i/L) pada jarak 0,25 $\approx$ 0,018 – 0,023, jarak 0,50 $\approx$ 0,14 – 0,021, dan pada jarak 0,75 $\approx$ 0,012 – 0,020. Pada jarak 0,25, 0,50 dan 0,75 memiliki trend yang sama yakni semakin tinggi nilai kecuraman gelombang maka semakin besar pula koefisien refleksinya.

b. Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Adapun hubungan antara koefisien transmisi (K_t), dengan kecuraman gelombang (H_i/L) terhadap jarak penempatan relatif (x/L) dapat kita lihat pada grafik gambar 29.



Gambar 29 Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Grafik pada gambar 29 hubungan antara kecuraman gelombang (H_i/L) dengan koefisien transmisi (K_t) terhadap variasi jarak penempatan relatif (x/L). memperlihatkan trend yang sama pada tiga variasi jarak penempatan relatif (x/L) yaitu semakin besar nilai kecuraman gelombang, semakin besar pula gelombang transmisinya. dimana nilai koefisien transmisi (K_t) pada jarak 0,25 $\approx$ 0,081 – 0,838, pada jarak 0,50 $\approx$ 0,077 – 0,822, dan pada jarak 0,75 $\approx$ 0,077 – 0,753. Dengan nilai kecuraman gelombang (H_i/L) pada jarak 0,25 $\approx$ 0,018 – 0,023, jarak 0,50 $\approx$ 0,14 – 0,021, dan pada jarak 0,75 $\approx$ 0,012 – 0,020. Jarak penempatan yang terbaik adalah jarak yang memiliki nilai koefisien transmisi terkecil yaitu pada jarak $x/L=0,75$ dengan nilai koefisien transmisi $K_t \approx$ 0,077 – 0,753..

c. Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) dengan kedalaman relatif (d/L)

Adapun hubungan antara koefisien refleksi (K_r), dengan kedalaman relatif (d/L), terhadap jarak penempatan relatif (x/L) dapat kita lihat pada gambar 30.



Gambar 30 Hubungan antara koefisien refleksi (K_r) dengan kedalaman relatif (d/L)

Grafik pada gambar 30 hubungan antara Kedalaman relatif (d/L) dengan koefisien refleksi (K_r) terhadap variasi jarak penempatan relatif (x/L). memperlihatkan trend yang sama pada tiga variasi jarak penempatan relatif (x/L) yaitu pada 0,25, 0,50, dan 0,75 besarnya koefisien refleksi (K_r) seiring dengan meningkatnya kedalaman relatif (d/L) dimana nilai koefisien refleksi (K_r) pada jarak 0,25 $\approx$ 0,094 – 0,316, pada jarak 0,50 $\approx$ 0,074 – 0,188, dan pada jarak 0,75 $\approx$ 0,045 - 0,111. Dengan nilai kedalaman relatif (d/L) pada jarak 0,25 $\approx$ 0,082 – 0,147, jarak 0,50 $\approx$ 0,082 – 0,147, dan pada jarak 0,75 $\approx$ 0,082 – 0,147. Jarak penempatan yang efektif adalah jarak yang menunjukkan koefisien refleksi terkecil

yaitu pada jarak $x/L=0,75$ dengan nilai koefisien refleksi $K_r \approx 0,045 - 0,111$.

d. Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kedalaman relatif (d/L)

Adapun hubungan antara koefisien transmisi (K_t), dengan kedalaman relatif (d/L), terhadap jarak penempatan relatif (x/L) dapat kita lihat pada gambar 32.



Gambar 31 Hubungan antara koefisien transmisi (K_t) dengan kedalaman relatif (d/L)

Pada gambar 31 dapat dilihat bahwa ke tiga jarak penempatan relatif (x/L), hubungan antara koefisien transmisi (K_t) terhadap kedalaman relatif (d/L) koefisien transmisi (K_t) mengalami trend yang sama atau peningkatan nilai seiring berubahnya nilai dari kedalaman relatif. Semakin tinggi kedalaman relatif (d/L) maka semakin tinggi pula koefisien transmisinya (K_t). dimana nilai koefisien transmisi (K_t) pada jarak 0,25 $\approx 0,081-0,838$, pada jarak 0,50 $\approx 0,077-0,822$, dan pada jarak 0,75 $\approx 0,077-0,753$. Dengan nilai kedalaman relatif (d/L) pada jarak 0,25 $\approx 0,082-0,133$, jarak 0,50 $\approx 0,082-0,133$, dan pada jarak 0,75 $\approx 0,082-0,133$. Jarak

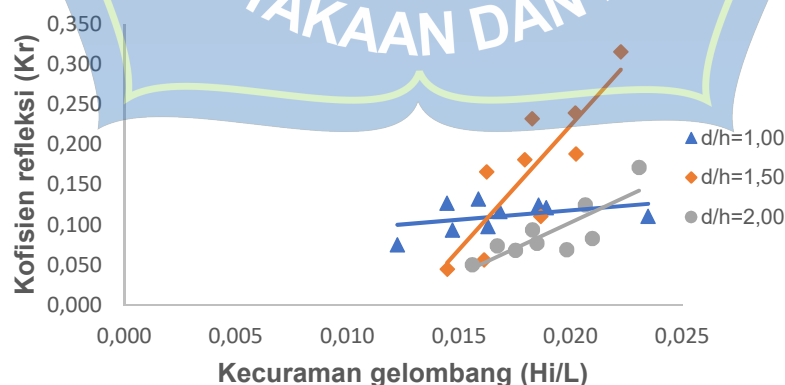
penempatan yang efektif adalah jarak yang menunjukkan koefisien transmisi (K_t) yang terendah yaitu pada jarak $x/L=0,75$ dengan nilai koefisien transmisi $K_t \approx 0,077-0,753$.

3. Pengaruh parameter kedalaman berdasarkan struktur (d/h)

Tinggi struktur atau model digunakan sebagai parameter kedalaman air. Dalam penelitian ini kedalaman air terbagi tiga yakni 1 tinggi struktur = 12 cm, 1,5 tinggi struktur 18 cm, dan 2 kali tinggi struktur = 24 cm, atau $d/h=1,00$, $d/h= 1,50$ dan $d/h= 2,00$.

a. Hubungan koefisien refleksi (K_r) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Jika mengambil H_i/L sebagai variabel sumbu X dan koefisien refleksi (K_r) sebagai variabel sumbu Y untuk tiap nilai kedalaman maka akan didapatkan grafik seperti gambar 32 Grafik tersebut menjelaskan besaran koefisien refleksi terdistribusi secara linear seiring dengan semakin besarnya nilai kecuraman gelombang (H_i/L) berdasarkan penelitian.



Gambar 32 Hubungan Koefisien Refleksi (K_r) dengan Parameter Kecuraman Gelombang (H_i/L)

Nilai koefisien refleksi (K_r) terbesar atau nilai maksimumnya berada pada kedalaman 18 cm, atau 1,5 struktur dengan nilai koefisien refleksi 0,316 pada kecuraman gelombang (H_i/L) = 0,022. Sedangkan untuk koefisien refleksi yang terkecil berada pada kedalaman 1 struktur atau 12 cm dengan nilai koefisien refleksi berada pada 0,111 pada kecuraman gelombang (H_i/L) = 0,23. Efektifitas dari model caisson susun seri dengan variasi jarak penempatan dihubungkan dengan kecuraman gelombang (H_i/L) terhadap kedalaman relatif struktur, dapat dilihat berdasarkan nilai koefisien refleksi terkecil, yakni pada kedalaman $d/h=1,00$ atau setinggi struktur 12 cm, dengan nilai koefisien refleksi 0,111.

b. Hubungan koefisien transmisi (K_t) dengan kecuraman gelombang (H_i/L)

Berikut adalah grafik hubungan antara koefisien refleksi (K_t) dengan kecuraman gelombang (H_i/L) terhadap kedalaman relatif (d/h) struktur.

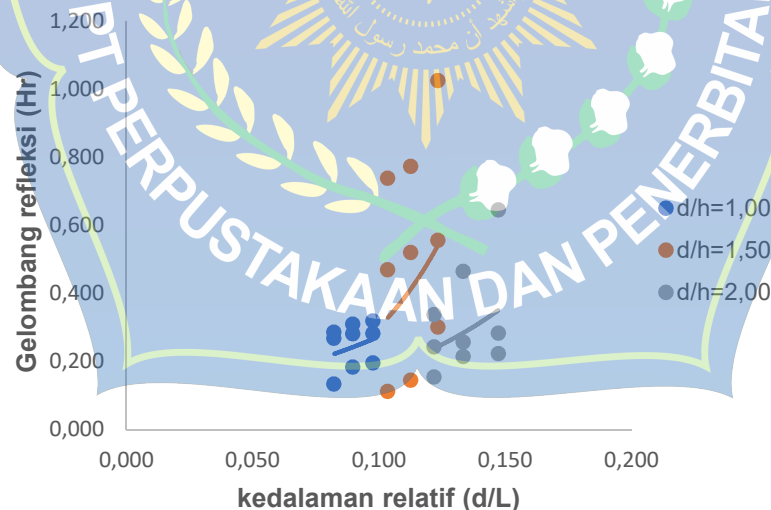


Gambar 33 Hubungan Koefisien transmisi (K_t) dengan Parameter Kecuraman Gelombang (H_i/L)

Dari gambar 33 dapat di lihat bahwa nilai koefisien transmisi (K_t) semakin besar seiring meningkatnya kecuraman gelombang (H_i/L). Untuk pengaruh dari kedalaman airnya sendiri, nilai koefisien transmisi (K_t) terbesar atau nilai maksimumnya berada pada kedalaman 2,00 atau 2 kali lipat struktur yakni 24 cm, dengan nilai koefisien transmisi 0,838 dengan nilai kecuraman gelombang (H_i/L) = 0,023, Sedangkan untuk koefisien refleksi yang terkecil berada pada kedalaman 1 struktur atau 12 cm dengan nilai koefisien refleksi berada pada 0,077 pada kecuraman gelombang (H_i/L) = 0,014.

c. Hubungan gelombang refleksi (H_r) terhadap parameter kedalaman relatif (d/L)

Berikut adalah grafik hubungan antara gelombang refleksi (H_r) terhadap kedalaman relatif.



Gambar 34 Hubungan gelombang refleksi (H_r) terhadap kedalaman relatif (d/L)

Dari gambar 34 terlihat bahwa nilai gelombang refleksi (H_r) semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai dari kedalaman relatif (d/L). pada tiga variasi kedalaman yakni $d_{12} = 12$ cm, $d_{18} = 18$ cm,

dan $d_{24} = 24$ cm. Untuk tinggi gelombang refleksi (H_r) itu sendiri yang terbesar berada pada kedalaman 18 cm (d_{18}), atau 1,5 tinggi struktur/model, dengan nilai gelombang refleksi tertinggi (H_r) adalah 1,025, dan nilai dari kedalaman relatif (d/L) adalah 0,123. Sedangkan gelombang refleksi terendah berada pada kedalaman d_{12} , dengan nilai gelombang refleksi (H_r) = 0,134, pada nilai kedalaman relatif (d/L) = 0,082.

d. Hubungan gelombang transmisi (H_t) terhadap kedalaman relatif (d/L)

Adapun hubungan antara gelombang refleksi (H_r), terhadap parameter kedalaman relatif (d/L) dapat kita lihat pada grafik gambar 35 berikut:



Gambar 35 Hubungan antara gelombang transmisi (H_t) terhadap parameter kedalaman relatif (d/L)

Dari gambar 27 dapat dilihat bahwa nilai gelombang transmisi (H_t), meningkat seiring dengan perubahan peningkatan kedalaman relatif (d/L). pada tiga variasi kedalaman yakni $d_{12} = 12$ cm, $d_{18} = 18$ cm, dan $d_{24} = 24$ cm. Untuk tinggi gelombang transmisi (H_t) itu sendiri yang terbesar berada pada kedalaman 24 cm (d_{24}), atau 2 kali tinggi struktur model,

dengan nilai gelombang transmisi (H_t) tertinggi adalah 3,15, dan nilai dari kedalaman relatif (d/L) adalah 0,147. Sedangkan gelombang refleksi terendah berada pada kedalaman d_{12} , dengan nilai gelombang transmisi (H_t) = 0,15, pada nilai kedalaman relatif (d/L) = 0,082



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat di tarik kesimpulan bahwa:

1. Parameter yang mempengaruhi gelombang refleksi (H_r), dan gelombang transmisi (H_t), pada jarak penempatan breakwater dalam hal ini model caisson yang disusun seri adalah parameter kecuraman gelombang (H_i/L), kedalaman relatif (d/L), Koefisien refleksi (K_r), Koefisien transmisi (K_t) dan jarak penempatan relatif antar model (x/L).
2. Semakin jauh jarak penempatan maka semakin kecil koefisien refleksi (K_r), dan koefisien transmisi (K_t). Sehingga jarak yang paling efektif adalah jarak 0,75 L yakni jarak rangkaian penempatan antar model breakwater yang terjauh

B. Saran

Adapun yang menjadi saran penulis dalam penelitian ini adalah Sebaiknya diberi tambahan pada parameter model, seperti variasi dimensi beda tinggi antara dua model, atau lubang perforasi pada model, untuk mengetahui seberapa signifikan pengaruh dari variasi bentuk model terhadap gelombang refleksi (H_r) dan transmisi (H_t).

DAFTAR PUSTAKA

- Achiary,. et al., (2020),. Analisis Refleksi Dan Transmisi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Tiang Pancang. *Department of Marine Science and Technology FPIK-IPB, ISOI, and HAPPI*
- Ariyaratne, H.A.K.S., 2007, *Efficiency Of Perforated Breakwater And Associated Energy Dissipation, Thesis. Civil Engineering of Texas A&M University.*
- Armono, D.H., Hall,K.R., 2010,, *Wave Transmission On Submerged Breakwaters Made Of Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs.* Jurnal Teknik Pantai. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Dean, Robert G & Dalrymple R. 1984. *Water Wave for Engineers and Scientists.* Prentice Hall.
- Horikawa, K. 1978. Dirgayusa. 1997 *Coastal Engineering.* University Of Tokyo Press. Tokyo
- Edy, Febriando, Wiby., Aprizal., Sadad, Ilyas. (2012). Analisa Perilaku Gelombang Air Setelah Melewati Breakwater Tenggelam Yang Berbentuk Tumpukan Pipa. Jurnal Teknik sipil. Universitas Bandar Lampung. UBL. Vol 3 No 1
- Huddiankuwera, A., Rachman, T., Thaha, M.A., & Dewa, S. (2022). Deformasi Gelombang pada Pemecah Gelombang Berongga Miring.
- Jarlan, G.E., 1961. *A perforated vertical wall breakwater.* The Dock & Harbour Authority XII486
- Kondo, H., 1979. *Analysis of breakwaters having two porous walls. Proc. Coastal Structures '79, vol. 2. American Society of Civil Engineers, Reston VA, USA.*
- Kuswadi, Didit., Tugiono, Subuh., EP, Wahono., Zakaria, Ahmad,. (2022). Study Refleksi Gelombang Menggunakan Model Breakwater Tipe Dinding Berpori Dengan Pemodelan Fisik 2-D. JRSDD. Vol.10, No.2
- Nazir, M. (1988). *Metode Penelitian.* Jakarta : Ghalia Indonesia
- Nugroho, et al. (2018) *Penanggulangan Kerusakan Pantai Terdampak Erosi Dengan Pemecah Gelombang Ambang Rendah.* Balai Litbang Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kem PUPR.

Saptarini, D. (2010). Evaluasi terumbu buatan dalam peningkatan kualitas lingkungan Pantai Pasir Putih Situbondo.

Suh, K.D., Son, S.Y., Lee, J.I., Lee, T.H., 2002. *Calculation of irregular wave reflection from perforated-wall caisson breakwaters using a regular model*, *Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering*, vol. 2. ASCE, Cardiff, UK.

Takahashi, S., Shimosako, K., 1996. Wave Pressure On A Perforated Caisson, *Proceedings of The Hydro-Port '94*, vol. 1. Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan.

Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta : Beta Offset

Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik pantai*. Yogyakarta : Beta Offset

Yuwono, Nur. (1996). *Perencanaan Model Hidraulik (Hydraulic Modelling)* Yogyakarta : Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada.

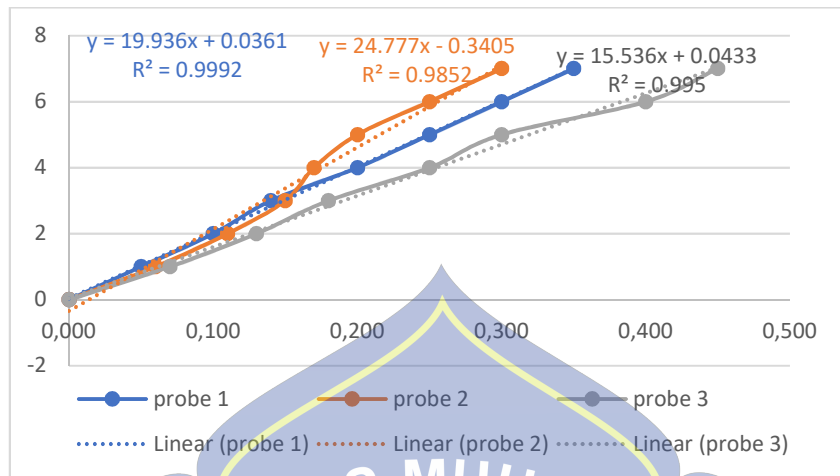




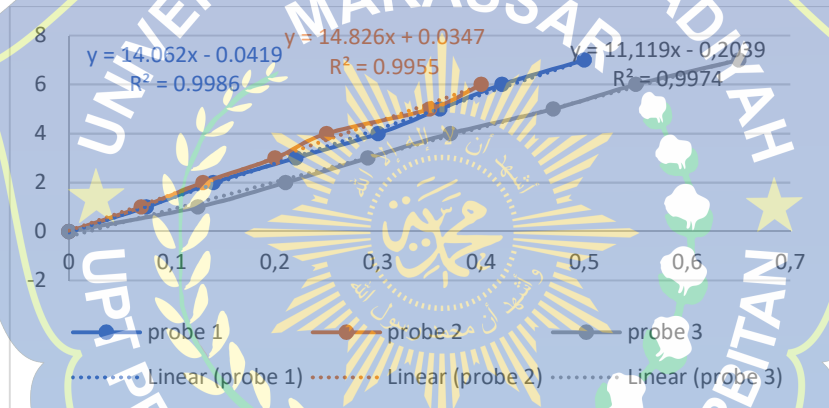
DOKUMENTASI



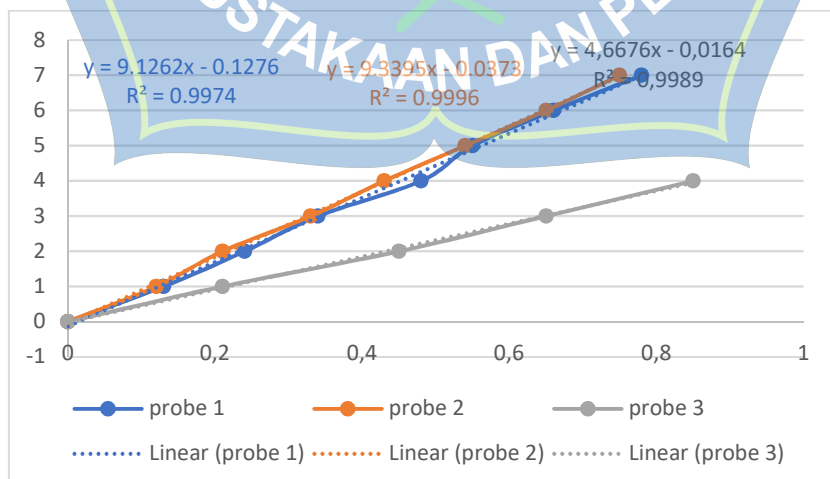
KALIBRASI PROBE SETIAP KEDALAMAN



Kedalaman 24 Cm



Kedalaman 18 Cm



Kedalaman 12 Cm

DATA HITUNGAN PANJANG GELOMBANG

d	T	0.25	0.50	0.75	1,00	Stroke
		1/4L	1/2L	3/4L	1L	
12	1.2	30.8	61.5	92.25	123	4
						5
						6
	1.3	33.5	67.0	100.5	134	4
						5
						6
	1.4	36.5	73.0	109.5	146	4
						5
						6
18	1.2	36.5	73.0	109.5	146	4
						5
						6
	1.3	40.0	80.0	120.0	160	4
						5
						6
	1.4	43.5	87.0	130.5	174	4
						5
						6
24	1.2	40.8	81.5	122.3	163	4
						5
						6
	1.3	45.0	90.0	135.0	180	4
						5
						6
	1.4	49.3	98.5	147.8	197	4
						5
						6

DATA HASIL PERHITUNGAN

Susun d

N0	X/L	d	T	L	h	X	H Max	H Min	H Probe 3	Hi	Hr	Ht	Kr	Kt	Kd	Hi/L	d/L	d/h
1	0.25	12	1.2	123	12	30.80	2.63	2.02	0.20	2.886	0.319	0.27	0.111	0.092	0.80	0.023	0.098	1.00
2	0.25	12	1.3	134	12	33.50	2.29	1.72	0.15	2.486	0.309	0.21	0.124	0.084	0.79	0.019	0.090	1.00
3	0.25	12	1.4	146	12	36.50	2.62	2.35	0.27	2.457	0.286	0.20	0.116	0.081	0.80	0.017	0.082	1.00
4	0.50	12	1.2	123	12	61.50	2.65	2.26	0.16	2.325	0.282	0.18	0.121	0.077	0.80	0.019	0.098	1.00
5	0.50	12	1.3	134	12	67.00	2.26	1.68	0.16	2.126	0.281	0.18	0.132	0.083	0.78	0.016	0.090	1.00
6	0.50	12	1.4	146	12	73.00	2.31	1.94	0.21	2.111	0.268	0.16	0.127	0.077	0.80	0.014	0.082	1.00
7	0.75	12	1.2	123	12	92.25	2.39	1.83	0.15	2.005	0.196	0.16	0.098	0.077	0.82	0.016	0.098	1.00
8	0.75	12	1.3	134	12	100.50	2.11	1.47	0.18	1.970	0.184	0.15	0.093	0.078	0.83	0.015	0.090	1.00
9	0.75	12	1.4	146	12	109.50	3.15	2.62	0.18	1.786	0.134	0.15	0.075	0.083	0.84	0.012	0.082	1.00
10	0.25	18	1.2	146	12	36.50	3.70	2.76	2.72	3.25	1.025	2.72	0.316	0.838	-0.15	0.022	0.123	1.50
11	0.25	18	1.3	160	12	40.00	3.13	2.52	2.19	3.23	0.773	2.49	0.239	0.769	-0.01	0.020	0.113	1.50
12	0.25	18	1.4	174	12	43.50	2.69	2.47	1.73	3.18	0.738	2.49	0.232	0.782	-0.01	0.018	0.103	1.50
13	0.50	18	1.2	146	12	73.00	3.73	2.18	2.03	2.95	0.556	2.19	0.188	0.740	0.07	0.020	0.123	1.50
14	0.50	18	1.3	160	12	80.00	3.90	1.85	1.96	2.87	0.521	2.03	0.181	0.708	0.11	0.018	0.113	1.50
15	0.50	18	1.4	174	12	87.00	3.07	1.96	1.66	2.83	0.470	1.96	0.166	0.694	0.14	0.016	0.103	1.50
16	0.75	18	1.2	146	12	109.50	3.77	2.73	2.49	2.72	0.301	1.73	0.111	0.636	0.25	0.019	0.123	1.50
17	0.75	18	1.3	160	12	120.00	3.92	2.44	2.49	2.58	0.145	1.66	0.056	0.643	0.30	0.016	0.113	1.50
18	0.75	18	1.4	174	12	130.50	2.87	2.58	1.50	2.52	0.112	1.50	0.045	0.595	0.36	0.014	0.103	1.50
19	0.25	24	1.2	163	12	40.80	4.07	3.14	2.66	3.76	0.645	3.15	0.172	0.838	-0.01	0.023	0.147	2.00
20	0.25	24	1.3	180	12	45.00	3.48	3.17	2.75	3.72	0.465	3.11	0.125	0.836	0.04	0.021	0.133	2.00
21	0.25	24	1.4	197	12	49.25	3.38	2.93	2.79	3.60	0.338	2.79	0.094	0.774	0.13	0.018	0.122	2.00
22	0.50	24	1.2	163	12	81.50	3.96	3.47	2.43	3.42	0.283	2.75	0.083	0.804	0.11	0.021	0.147	2.00
23	0.50	24	1.3	180	12	90.00	3.35	2.79	2.36	3.33	0.257	2.74	0.077	0.822	0.10	0.018	0.133	2.00
24	0.50	24	1.4	197	12	98.50	3.76	3.08	3.11	3.29	0.243	2.66	0.074	0.810	0.12	0.017	0.122	2.00
25	0.75	24	1.2	163	12	122.25	4.40	3.11	2.26	3.23	0.223	2.43	0.069	0.753	0.18	0.020	0.147	2.00
26	0.75	24	1.3	180	12	135.00	3.45	3.02	2.74	3.15	0.215	2.36	0.068	0.749	0.18	0.018	0.133	2.00
27	0.75	24	1.4	197	12	147.75	3.55	3.03	3.15	3.07	0.155	2.26	0.050	0.736	0.21	0.016	0.122	2.00

Susun x/L

N0	X/L	d	T	L	h	X	H Max	H Min	H Probe 3	Hi	Hr	Ht	Kr	Kt	Kd	Hi/L	d/L	d/h
1	0.25	12	1.2	123	12	30.80	2.63	2.02	0.20	2.886	0.319	0.27	0.111	0.092	0.80	0.023	0.098	1.00
2	0.25	12	1.3	134	12	33.50	2.29	1.72	0.15	2.486	0.309	0.21	0.124	0.084	0.79	0.019	0.090	1.00
3	0.25	12	1.4	146	12	36.50	2.62	2.35	0.27	2.457	0.286	0.20	0.116	0.081	0.80	0.017	0.082	1.00
4	0.25	18	1.2	146	12	36.50	3.70	2.76	2.72	3.25	1.03	2.72	0.316	0.838	-0.15	0.022	0.123	1.50
5	0.25	18	1.3	160	12	40.00	3.13	2.52	2.19	3.23	0.77	2.49	0.239	0.769	-0.01	0.020	0.113	1.50
6	0.25	18	1.4	174	12	43.50	2.69	2.47	1.73	3.18	0.74	2.49	0.232	0.782	-0.01	0.018	0.103	1.50
7	0.25	24	1.2	163	12	40.80	4.07	3.14	2.66	3.76	0.65	3.15	0.172	0.838	-0.01	0.023	0.147	2.00
8	0.25	24	1.3	180	12	45.00	3.48	3.17	2.75	3.72	0.47	3.11	0.125	0.836	0.04	0.021	0.133	2.00
9	0.25	24	1.4	197	12	49.25	3.38	2.93	2.79	3.60	0.34	2.79	0.094	0.774	0.13	0.018	0.122	2.00
10	0.50	12	1.2	123	12	61.50	2.65	2.26	0.16	2.325	0.282	0.18	0.121	0.077	0.80	0.019	0.098	1.00
11	0.50	12	1.3	134	12	67.00	2.26	1.68	0.16	2.126	0.281	0.18	0.132	0.083	0.78	0.016	0.090	1.00
12	0.50	12	1.4	146	12	73.00	2.31	1.94	0.21	2.111	0.268	0.16	0.127	0.077	0.80	0.014	0.082	1.00
13	0.50	18	1.2	146	12	73.00	3.73	2.18	2.03	2.95	0.56	2.19	0.188	0.740	0.07	0.020	0.123	1.50
14	0.50	18	1.3	160	12	80.00	3.90	1.85	1.96	2.87	0.52	2.03	0.181	0.708	0.11	0.018	0.113	1.50
15	0.50	18	1.4	174	12	87.00	3.07	1.96	1.66	2.83	0.47	1.96	0.166	0.694	0.14	0.016	0.103	1.50
16	0.50	24	1.2	163	12	81.50	3.96	3.47	2.43	3.42	0.28	2.75	0.083	0.804	0.11	0.021	0.147	2.00
17	0.50	24	1.3	180	12	90.00	3.35	2.79	2.36	3.33	0.26	2.74	0.077	0.822	0.10	0.018	0.133	2.00
18	0.50	24	1.4	197	12	98.50	3.76	3.08	3.11	3.29	0.24	2.66	0.074	0.810	0.12	0.017	0.122	2.00
19	0.75	12	1.2	123	12	92.25	2.39	1.83	0.15	2.005	0.196	0.16	0.098	0.077	0.82	0.016	0.098	1.00
20	0.75	12	1.3	134	12	100.50	2.11	1.47	0.18	1.970	0.184	0.15	0.093	0.078	0.83	0.015	0.090	1.00
21	0.75	12	1.4	146	12	109.50	3.15	2.62	0.18	1.786	0.134	0.15	0.075	0.083	0.84	0.012	0.082	1.00
22	0.75	18	1.2	146	12	109.50	3.77	2.73	2.49	2.72	0.30	1.73	0.111	0.636	0.25	0.019	0.123	1.50
23	0.75	18	1.3	160	12	120.00	3.92	2.44	2.49	2.58	0.15	1.66	0.056	0.643	0.30	0.016	0.113	1.50
24	0.75	18	1.4	174	12	130.50	2.87	2.58	1.50	2.52	0.11	1.50	0.045	0.595	0.36	0.014	0.103	1.50
25	0.75	24	1.2	163	12	122.25	4.40	3.11	2.26	3.23	0.22	2.43	0.069	0.753	0.18	0.020	0.147	2.00
26	0.75	24	1.3	180	12	135.00	3.45	3.02	2.74	3.15	0.22	2.36	0.068	0.749	0.18	0.018	0.133	2.00
27	0.75	24	1.4	197	12	147.75	3.55	3.03	3.15	3.07	0.16	2.26	0.050	0.736	0.21	0.016	0.122	2.00

Susun T

N0	X/L	d	T	L	h	X	H Max	H Min	H Probe 3	Hi	Hr	Ht	Kr	Kt	Kd	Hi/L	d/L	d/h
1	0.25	12	1.2	123	12	30.80	2.63	2.02	0.20	2.886	0.319	0.27	0.111	0.092	0.80	0.023	0.098	1.00
2	0.25	18	1.2	146	12	36.50	3.70	2.76	2.72	3.25	1.03	2.72	0.316	0.838	-0.15	0.022	0.123	1.50
3	0.25	24	1.2	163	12	40.80	4.07	3.14	2.66	3.76	0.65	3.15	0.172	0.838	-0.01	0.023	0.147	2.00
4	0.50	12	1.2	123	12	61.50	2.65	2.26	0.16	2.325	0.282	0.18	0.121	0.077	0.80	0.019	0.098	1.00
5	0.50	18	1.2	146	12	73.00	3.73	2.18	2.03	2.95	0.56	2.19	0.188	0.740	0.07	0.020	0.123	1.50
6	0.50	24	1.2	163	12	81.50	3.96	3.47	2.43	3.42	0.28	2.75	0.083	0.804	0.11	0.021	0.147	2.00
7	0.75	12	1.2	123	12	92.25	2.39	1.83	0.15	2.005	0.196	0.16	0.098	0.077	0.82	0.016	0.098	1.00
8	0.75	18	1.2	146	12	109.50	3.77	2.73	2.49	2.72	0.30	1.73	0.111	0.636	0.25	0.019	0.123	1.50
9	0.75	24	1.2	163	12	122.25	4.40	3.11	2.26	3.23	0.22	2.43	0.069	0.753	0.18	0.020	0.147	2.00
10	0.25	12	1.3	134	12	33.50	2.29	1.72	0.15	2.486	0.309	0.21	0.124	0.084	0.79	0.019	0.090	1.00
11	0.25	18	1.3	160	12	40.00	3.13	2.52	2.19	3.23	0.77	2.49	0.239	0.769	-0.01	0.020	0.113	1.50
12	0.25	24	1.3	180	12	45.00	3.48	3.17	2.75	3.72	0.47	3.11	0.125	0.836	0.04	0.021	0.133	2.00
13	0.50	12	1.3	134	12	67.00	2.26	1.68	0.16	2.126	0.281	0.18	0.132	0.083	0.78	0.016	0.090	1.00
14	0.50	18	1.3	160	12	80.00	3.90	1.85	1.96	2.87	0.52	2.03	0.181	0.708	0.11	0.018	0.113	1.50
15	0.50	24	1.3	180	12	90.00	3.35	2.79	2.36	3.33	0.26	2.74	0.077	0.822	0.10	0.018	0.133	2.00
16	0.75	12	1.3	134	12	100.50	2.11	1.47	0.18	1.970	0.184	0.15	0.093	0.078	0.83	0.015	0.090	1.00
17	0.75	18	1.3	160	12	120.00	3.92	2.44	2.49	2.58	0.15	1.66	0.056	0.643	0.30	0.016	0.113	1.50
18	0.75	24	1.3	180	12	135.00	3.45	3.02	2.74	3.15	0.22	2.36	0.068	0.749	0.18	0.018	0.133	2.00
19	0.25	12	1.4	146	12	36.50	2.62	2.35	0.27	2.457	0.286	0.20	0.116	0.081	0.80	0.017	0.082	1.00
20	0.25	18	1.4	174	12	43.50	2.69	2.47	1.73	3.18	0.74	2.49	0.232	0.782	-0.01	0.018	0.103	1.50
21	0.25	24	1.4	197	12	49.25	3.38	2.93	2.79	3.60	0.34	2.79	0.094	0.774	0.13	0.018	0.122	2.00
22	0.50	12	1.4	146	12	73.00	2.31	1.94	0.21	2.111	0.268	0.16	0.127	0.077	0.80	0.014	0.082	1.00
23	0.50	18	1.4	174	12	87.00	3.07	1.96	1.66	2.83	0.47	1.96	0.166	0.694	0.14	0.016	0.103	1.50
24	0.50	24	1.4	197	12	98.50	3.76	3.08	3.11	3.29	0.24	2.66	0.074	0.810	0.12	0.017	0.122	2.00
25	0.75	12	1.4	146	12	109.50	3.15	2.62	0.18	1.786	0.134	0.15	0.075	0.083	0.84	0.012	0.082	1.00
26	0.75	18	1.4	174	12	130.50	2.87	2.58	1.50	2.52	0.11	1.50	0.045	0.595	0.36	0.014	0.103	1.50
27	0.75	24	1.4	197	12	147.75	3.55	3.03	3.15	3.07	0.16	2.26	0.050	0.736	0.21	0.016	0.122	2.00