



TUGAS AKHIR - MO 091336

**STUDI EKSPERIMEN REFLEKSI GELOMBANG PADA *ARTIFICIAL
HEXAREEF* AKIBAT PENGARUH KONFIGURASI HORIZONTAL**

BRYAN HOLY HARIANJA

NRP. 0431 1240 000 001

DOSEN PEMBIMBING I

Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II

Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D

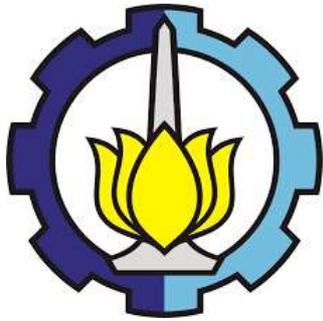
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Surabaya

2018



TUGAS AKHIR - MO 091336

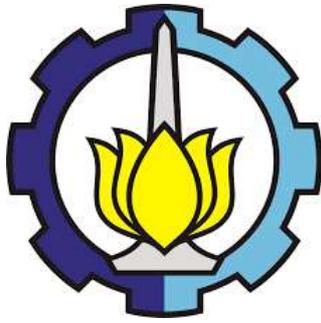
**STUDI EKSPERIMEN REFLEKSI GELOMBANG PADA
ARTIFICIAL HEXAREEF AKIBAT PENGARUH
KONFIGURASI HORIZONTAL**

**BRYAN HOLY HARIANJA
NRP. 0431 1240 000 001**

**DOSEN PEMBIMBING I
Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D**

**DOSEN PEMBIMBING II
Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - MO 091336

**EXPERIMENTAL STUDY OF WAVE REFLECTION ON
ARTIFICIAL HEXAREEF DUE TO THE EFFECT OF
HORIZONTAL CONFIFURATION**

BRYAN HOLY HARIANJA

NRP. 0431 1240 000 001

SUPERVISOR I

Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D

SUPERVISOR II

Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Surabaya

2018

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN REFLEKSI GELOMBANG PADA *ARTIFICIAL
HEXAREEF* AKIBAT PENGARUH KONFIGURASI HORIZONTAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

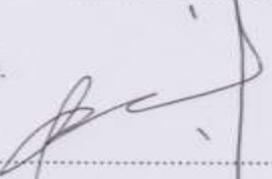
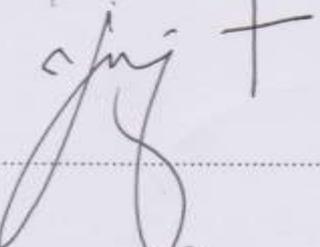
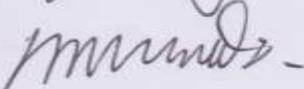
BRYAN HOLY HARIANJA

NRP. 0431 1240 000 001

Disetujui oleh :

1. Haryo Dwite Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Drs. Mahmud Mustafin, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. (Penguji 1)

4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Penguji 2)

4. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. (Penguji 3)


Surabaya, Januari 2018

STUDI EKSPERIMEN REFLEKSI GELOMBANG PADA ARTIFICIAL HEXAREEF AKIBAT PENGARUH KONFIGURASI HORIZONTAL

Nama : BRYAN HOLY HARIANJA
NRP : 0431 1240 000 001
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono ST, M.Eng, PhD
Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Wilayah kepulauan Indonesia yang memiliki Pesisir dan laut ekosistem, yang terdiri dari muara, bakau, rumput laut, dan terumbu karang yang produktif. Semakin tingginya aktivitas ataupun produktivitas yang berada pada pesisir pantai mengakibatkan terjadinya kerusakan pada pesisir pantai oleh manusia. Perlu adanya penanganan khusus pencegahan kerusakan ekosistem dengan mengurangi datangnya gelombang dengan cara memecah gelombang. Terumbu buatan berbentuk hexagonal akan dikaji kinerjanya dalam penelitian ini sehingga informasi kinerja artificial reef bentuk hexagonal tersebut dapat dijadikan alternatif dalam perancangan submerged breakwater sebagai pelindung pantai yang ramah lingkungan. Sesuai dengan tujuan penelitian, maka variabel yang diteliti adalah pengaruh periode gelombang (T), tinggi gelombang datang (H_i), dan variasi lebar (B) terhadap refleksi gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh parameter-parameter gelombang terhadap besar kecilnya refleksi sangat bervariasi. Refleksi terbesar pada konfigurasi A4 dengan penempatan terumbu buatan secara horizontal, susunan berjumlah 8 dan jarak lebar puncak 1,09 M dengan koefisien refleksi 0,9176. Sedangkan koefisien refleksi terkecil terdapat pada konfigurasi satu (A1) dengan susunan berjumlah 1 dan jarak lebar puncak 0,25 M dengan koefisien refleksi 0,1120

Kata Kunci— artificial reef, koefisien refleksi.

**STUDI EKSPERIMEN REFLEKSI GELOMBANG PADA
ARTIFICIAL HEXAREEF AKIBAT PENGARUH KONFIGURASI
HORIZONTAL**

Name : BRYAN HOLY HARIANJA
NRP : 0431 1240 000 001
Department : Teknik Kelautan FTK - ITS
Supervisors : Haryo Dwito Armono ST, M.Eng, PhD
Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

The Indonesian archipelago has coastal and marine productive ecosystems, such as, mangroves, seagrass, and coral reefs. Increasing human activity on the coast causing damage to the coastal ecosystem. A special handling of the prevention of destruction by nature itself is needed by reducing the arrival of destructing waves by breaking the wave. Artificial reefs will be studied this research, to provide information on the performance of hexagonal artificial reef that can be used as an alternative in the design of submerged breakwater as an environmentally friendly coastal protection. The influences of wave periods (T), wave height (Hi), and width variation (B) to the reflection coefficient it is found that the influence of wave parameters on the reflection coefficient varies greatly. The value of the reflection coefficient obtained varies depending on the dimensionless parameter that is used as a comparison on each arrangement of the model. The highest reflection coefficient occurs the reef configuration A4 where the reef were placed in horizontal, the arrangement is 8 and the peak width 1,09 Meters with reflection coefficient 0,9176. While the smallest reflection coefficient is in the configuration of one (A1) and the arrangement is 1 and a peak width of 0,25 Meters with reflection coefficient 0,1120.

Keyword : *artificial reef, coefficient reflection*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **STUDI EKSPERIMEN REFLEKSI GELOMBANG PADA ARTIFICIAL HEXAREEF AKIBAT PENGARUH KONFIGURASI HORIZONTAL** ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi S-1 Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tugas Akhir yang penulis susun berupa analisa refleksi gelombang yang terjadi pada struktur terumbu karang buatan (*Artificial Hexareef*) dengan empat konfigurasi susunan yang berbeda peredam gelombang dengan melakukan pengujian model fisik di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis dan berguna untuk perkembangan teknologi di bidang teknik kelautan.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Ayah dan ibu, serta keluarga besar penulis yang selalu mendukung, mendoakan dan memberikan motivasi kepada penulis agar tetap semangat dalam menyusun Tugas Akhir ini.
2. Bapak Haryo Dwito Armono, S. T., M. Eng., Ph. D., selaku dosen pembimbing pertama yang bersedia membimbing dan memberikan motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M. Sc., Ph. D., selaku dosen pembimbing kedua sekaligus kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut atas bimbingan dan dukungannya selama melakukan penelitian Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo P., S. T., selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan dan Bapak Yoyok Hadiwidodo S. T., M. T., Ph. D., selaku Sekretaris Departemen Teknik Kelautan, serta keluarga besar dosen dan karyawan atas bimbingan dan bantuannya selama ini.
5. Bapak M. Mochtar Arif selaku teknisi Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut atas dukungannya kepada penulis dalam melakukan penelitian Tugas Akhir.
6. Teman-teman tim "*Artificial Hexareef*" Abid, Hasnan, Ghifari, Kevin dan Leonard yang tanpa lelah berjuang bersama dan membantu dalam penelitian ataupun penyusunan Tugas Akhir.
7. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D (Penguji 1), Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc (Penguji 2), dan Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc (Penguji 3) yang selalu memberi nasihat, kritik, dan saran terhadap Tugas Akhir saya.
8. Keluarga besar "VARUNA" Teknik Kelautan angkatan 2012, atas semangat dan perjuangan bersama-sama dalam perkuliahan.

9. Teman satu kamar penulis, Oktavian Army Sadewo atas bantuannya dari awal pengerjaan penelitian sampai selesai.
10. Teman-teman Kerja Praktek di BPPT Balai Pantai - Bali yang memberikan refrensi maupun semangat dalam pengerjaan Tugas Akhir.
11. Teman-teman/Senior GMKI Surabaya yang selalu memberikan semangat melalui berbagai cara agar selesainya Tugas Akhir.
12. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga dukungan dan jasa yang telah diberikan oleh berbagai pihak, baik secara langsung atau tidak langsung mendapatkan balasan yang jauh lebih baik dari Tuhan Yang Maha Esa, Sang Kepala Gerakan.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
COVER	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Terumbu buatan (<i>Artificial Reef</i>)	6
2.2.2 Teori Gelombang	6
2.2.3 Pemodelan Fisik	13
2.2.4 Keserupaan Model-Prototipe	14
2.2.4.1 Keserupaan Geometrik	14
2.2.4.2 Keserupaan Dinamik	15
2.2.4.2.1 Keserupaan Reynolds	15
2.2.4.2.2 Keserupaan Froude	16
2.2.4.3 Keserupaan Kinematik	17
2.2.5 Analisa Dimensi	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 METODOLOGI PENELITIAN	22

3.2.1	Tinjauan Pustaka/Dasar Teori	22
3.2.2	Persiapan Alat dan Bahan Penelitian	22
3.2.3	Perancangan dan pembuatan model (<i>Artificial Hexareef</i>)	27
3.2.4	Pelaksanaan Uji Pengukuran Dan Data Gelombang Refleksi	32
3.2.5	Analisis Hasil dan Pembahasan	34
3.2.6	Hasil Akhir	34
3.2.7	Kesimpulan	34
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisa Data	35
4.1.1	Perhitungan Koesfisien Refleksi (K_r)	37
4.1.2	Koefisien Refleksi Terhadap Wave Steepness Dan Lebar Relatif	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam	7
Gambar 2.2. Ilustrasi gelombang dan parameter yang terkait	9
Gambar 2.3 Profil gelombang yang berdiri parsial	13
Gambar 2.4 Gambaran keserupaan geometrik	14
Gambar 3.1 Diagram alir Metodologi	21
Gambar 3.2 Tangki Pembangkit Gelombang	22
Gambar 3.3 Tangki saluran gelombang (flume)	23
Gambar 3.4 Tangki saluran gelombang (flume) dilihat dari atas	23
Gambar 3.5 Wave Probe	24
Gambar 3.6 Alat Kalibrasi dan Sistem Komputer	25
Gambar 3.7 Pengaturan Panel	26
Gambar 3.8 Mesin Utama	26
Gambar 3.9 Pulley	26
Gambar 3.10 Stroke	27
Gambar 3.11 Flap	27
Gambar 3.12 Desain Model Terumbu Buatan Hexagonal	28
Gambar 3.13 Susunan Terumbu Buatan	30
Gambar 3.14 Pelaksanaan Pengujian	32
Gambar 3.15 Output Ploting Gelombang Datang dan Gelombang Refleksi	33
Gambar 4.1 Hasil uji gelombang	35
Gambar 4.2 Plotting Wave Steepness	37
Gambar 4.3 Empat Konfigurasi (K_r) Terhadap (H/gT^2)	38
Gambar 4.4 Empat Konfigurasi (K_r) Terhadap (B/gT^2)	39
Gambar 4.5 Empat Konfigurasi (K_r) Terhadap (H_i) yang tercatat	39
Gambar 4.6 Perbandingan Penelitian	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi gelombang berdasarkan periode	8
Tabel 2.2 Batasan gelombang laut dangkal, transisi dan dalam	10
Tabel 2.3 Koefisien refleksi	12
Tabel 3.1. Konfigurasi Model	29
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian	29
Tabel 4.1 Maximum dan minimum kalibrasi	36
Tabel 4.2 Input data H (m) dan T (s) di kalibrasi dan sistem komputer	36

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DOKUMENTASI

LAMPIRAN 2 DATA PEMBACAAN *WAVE PROBE*

LAMPIRAN 3 TABEL PERHITUNGAN KOEFISIEN REFLEKSI

LAMPIRAN 4 LANGKAH PENGOLAHAN DATA

LAMPIRAN 5 KALKULASI PERSAMAAN GODA UNTUK
MENCARI KOEFISIEN REFLEKSI

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan garis pantai terpanjang di dunia. Potensi kekayaan di kawasan pesisir Indonesia tersebut sangat besar untuk dapat dimanfaatkan. Keuntungan yang dimiliki Indonesia tersebut tidak terlepas dari permasalahan yang berkaitan dengan kedaulatan negara yaitu terjadinya kemunduran garis pantai akibat energi gelombang yang merambat dari laut menuju ke daratan. Daerah pesisir adalah jalur yang membatasi daratan dengan laut atau danau dengan lebar bervariasi. Pemahaman tentang perubahan terbaru di sepanjang garis pantai akan memberikan indikasi laju erosi. Membandingkan peta dan gambar satelit untuk yang saat ini akan memberikan indikasi tingkat erosi.

Daerah yang terjadi erosi adalah masalah, mungkin ada pohon mangrove yang mati di tepi arah laut atau penurunan tajam antara permukaan mangrove dan mudflat yang berdekatan. Para ahli dapat menilai dinamika garis pantai atas dasar sejumlah parameter termasuk ukuran dan frekuensi gelombang, kisaran pasang surut, arus panjang pantai dan pasokan sedimen. Adapun upaya yang dilakukan memulihkan kondisi garis pantai tersebut yaitu terumbu karang menjadi kondisi awal adalah dengan transplantasi karang dan menggunakan teknologi terumbu karang buatan.

Terumbu karang buatan (*artificial reef*) adalah benda-benda atau struktur bangunan yang diletakkan pada dasar air yang memiliki karakteristik menyerupai terumbu karang alami. Menurut Armono (2004), benda atau struktur bangunan ini digunakan untuk memberikan tempat perlindungan bagi hewan-hewan laut namun juga berfungsi sebagai bangunan pemecah gelombang ambang benam (*submerged breakwater*) yang mereduksi energi gelombang datang sebelum mengenai pantai. Terdapat beberapa jenis terumbu buatan yang telah dikembangkan diantaranya *Aquia Reef*, *Turtle Reef*, *Reef Ball*, *Ultra Ball*, *Bay Ball*, *Square Reef*, dan *Bottle Reef*. Dari model-model

tersebut dikembangkan kembali dengan bentuk baru berpenampang segi enam atau hexagonal atau yang dapat di sebut pula sebagai *Hexareef*. Terumbu buatan yang sekaligus berfungsi sebagai *submerged breakwater* memiliki beberapa kelebihan diantaranya memiliki nilai estetika yang bagus untuk lingkungan pantai yang digunakan untuk pariwisata, selain itu juga memiliki kemampuan untuk penentuan aliran air yang penting dalam menjaga kualitas air. Kegagalan struktur meliputi *overturning*, *settling*, *sliding*, dan mode kegagalan untuk *submerged breakwater* (Hughes, 2001).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat ditentukan beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, adalah :

1. Berapa nilai koefisien refleksi gelombang paling besar dan paling kecil dari konfigurasi Artificial Hexareef?
2. Bagaimana perbandingan koefisien refleksi pada eksperimen dengan model lain yang sudah di uji nilai koefisien refleksi?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui nilai koefisien refleksi gelombang paling besar dan paling kecil dari konfigurasi Artificial Hexareef.
2. Mengetahui perbandingan koefisien refleksi *Artificial Hexareef* dengan model lain.

1.4 Manfaat

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui nilai koefisien refleksi gelombang dari masing masing konfigurasi akibat faktor gelombang struktur terumbu buatan Hexareef yang dimana nilai koefisien refleksi paling besar dan paling kecil. Selain itu juga mengetahui perbandingan nilai koefisien refleksi dengan model lain yang telah di uji sebelumnya. Dari hasil tersebut maka dapat

digunakan oleh instansi tertentu ataupun peneliti lain untuk menggunakan terumbu karang buatan bentuk *Hexagonal*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Material penyusun terumbu buatan ini adalah campuran semen pasir dengan kapur dalam bentuk heksagonal berongga.
2. Model diasumsikan memiliki porositas, ukuran, dan berat jenis sama.
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang iregular dengan spektrum JONSWAP.
4. Arah sudut datang gelombang tegak lurus model uji.
5. Nilai tinggi gelombang, periode gelombang ditentukan.
6. Nilai tinggi dan periode gelombang serta dimensi pada model ditentukan berdasarkan kemampuan pembangkit gelombang dan dimensi pada flume.
7. Lantai pada percobaan dianggap datar dan licin

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan refleksi gelombang juga merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan bangunan terumbu salah satunya yaitu hexareef untuk pemanfaatan peredaman gelombang pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan refleksi gelombang dapat menyebabkan fluktuasi muka air laut yang mempengaruhi besarnya energi gelombang yang dihasilkan untuk dimanfaatkan energinya. Adapun besarnya kemampuan suatu bangunan untuk memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i) (Goda, 1985).

Gelombang datang yang mengenai/membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi) dan sebagian dihancurkan (disipasi) melalui pecahnya gelombang. Pembagian besarnya gelombang yang dipantulkan dan dihancurkan, tergantung karakteristik, gelombang datang (periode, tinggi gelombang, kedalaman air), dan geometric profil pantai ataupun kemiringan profil pantai (PIANC, 1994).

Dalam menggunakan hasil uji model yang disajikan dalam hal ini laporkan keterbatasan dan penyederhanaan penelitian asli harus dipertimbangkan. Sebagian besar data yang digunakan untuk memperoleh metode empiris untuk memprediksi kinerja refleksi. Penurunan koefisien refleksi akibat penempatan batuan pada permukaan yang lain dan ketahanan struktur. Untuk revetment dengan satu lapis baju besi rock, mengubah nilai-nilai empiris, koefisien untuk mengoreksi prediksi yang diprediksi koefisien untuk permukaan miring halus menggunakan persamaan koefisien refleksi (Takahashi, 1996).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Terumbu buatan (*Artificial Reef*)

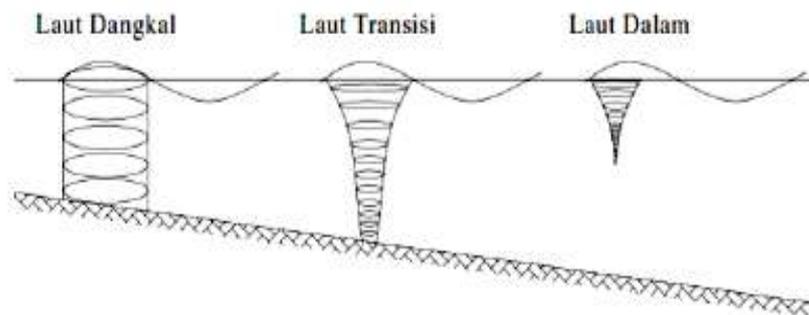
Terumbu buatan (*Artificial reef*) merupakan struktur bangunan bawah air yang memiliki karakteristik sama dengan terumbu alami. Material penyusun terumbu buatan dapat berupa balok beton, logam, ataupun ban bekas. Fungsi utama terumbu buatan adalah untuk mengganti habitat laut yang rusak sebagai tempat berlindung dan mencari makan, dapat juga berfungsi sebagai penahan gelombang yang membaurkan dan mengurangi energi gelombang yang mengenai pantai (Armono, 2004). Terumbu buatan biasanya ditempatkan pada lokasi dengan produktivitas habitat yang rendah, daerah dengan kondisi terumbu karang yang rusak, dan area yang memerlukan gelombang kecil untuk kegiatan pariwisata (Armono, 2004). Berbagai model terumbu buatan telah dikembangkan untuk pemecah gelombang, diantaranya *Bottle Reef*, *Reef Ball*, *Hemispheric Artificial Reef*, dan lain sebagainya. Ciri khas pada struktur terumbu buatan adalah sisi-sisi berongga yang berfungsi untuk lokasi perlindungan habitat dan memecah energi gelombang yang mengenai struktur.

2.2.2 Teori Gelombang

Deskripsi tentang sebuah gelombang hingga kini masih belum jelas dan akurat, oleh karena permukaan laut merupakan suatu bidang yang kompleks dengan pola yang selalu berubah dan tidak stabil (Garrison, 1993). Gelombang merupakan fenomena alam naik dan turunnya air secara periodik dan dapat dijumpai di semua tempat di seluruh dunia. Gross (1993) mendefinisikan gelombang sebagai gangguan yang terjadi di permukaan air. Sedangkan Sverdrup dkk, (1946) mendefinisikan gelombang sebagai sesuatu yang terjadi secara periodik terutama gelombang yang disebabkan oleh adanya peristiwa pasang surut.

Gelombang di laut merupakan gerakan partikel air laut pada jalurnya. Pergerakan partikel air laut disebabkan oleh gaya luar. Ada bermacam-macam gaya luar yang menyebabkan pergerakan partikel air laut seperti gaya angin dipermukaan laut, gaya gempa, gaya gravitasi, ataupun karena pergerakan benda sekitarnya. Gaya luar ini akan berinteraksi dengan gaya tarik permukaan air laut

dan akhirnya akan menyebabkan terjadinya gelombang (Lubis dkk, 2013). Pada umumnya terjadinya gelombang disebabkan oleh hembusan angin di permukaan air laut. Daerah dimana gelombang tersebut dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang. Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut *sea*, sedangkan yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut *swell*. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, pada gambar 2.1 adalah bentuk gerak partikel air laut dangkal, transisi dan dalam. Bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



Gambar 2.1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam (Triatmodjo, 1999)

Gelombang mempunyai ukuran yang bervariasi mulai dari riak dengan ketinggian beberapa centimeter sampai pada gelombang badai yang dapat mencapai ketinggian 30 m. Selain oleh angin, gelombang dapat juga ditimbulkan oleh adanya gempa bumi, letusan gunung berapi dan longsor bawah air yang menimbulkan gelombang yang bersifat merusak (Tsunami) serta oleh daya tarik bulan dan bumi yang menghasilkan gelombang tetap yang dikenal sebagai gelombang pasang surut.

Sebuah gelombang terdiri dari beberapa bagian antara lain:

- a. Puncak gelombang (*Crest*) adalah titik tertinggi dari sebuah gelombang.
- b. Lembah gelombang (*Trough*) adalah titik terendah gelombang, diantara dua puncak gelombang.
- c. Panjang gelombang (*Wave length*) adalah jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
- d. Tinggi gelombang (*Wave height*) adalah jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
- e. Periode gelombang (*Wave period*) adalah waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk melalui satu titik.

Menurut Nontji (1987) antara panjang dan tinggi gelombang tidak ada satu hubungan yang pasti akan tetapi gelombang mempunyai jarak antar dua puncak gelombang yang makin jauh akan mempunyai kemungkinan mencapai gelombang yang semakin tinggi. Pond and Pickard (1983) mengklasifikasikan gelombang berdasarkan periodenya, seperti yang disajikan pada Tabel 3.1 berikut ini.

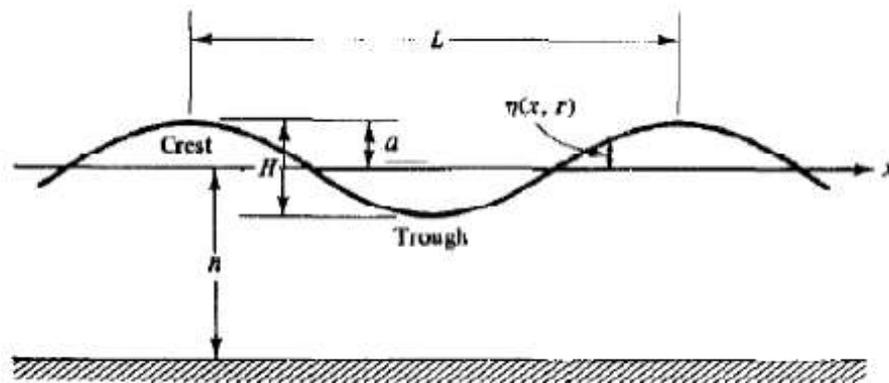
Tabel 2.1 Klasifikasi gelombang berdasarkan periode

Periode	Panjang Gelombang	Jenis Gelombang
0 – 0,2 detik	Beberapa centimeter	Riak (Ripples)
0,2 – 0,9 detik	Mencapai 130 meter	Gelombang angin
0,9 – 1,5 detik	Beberapa ratus meter	Gelombang besar (Swell)
15 – 30 detik 0,5 menit – 1 jam	Ribuan meter Ribuan kilometer	Long swell Gelombang periode panjang (termasuk Tsunami)
5, 12, 25 jam	Beberapa kilometer	Pasang surut

Bhatt (1978), Garisson (1993) dan Gross (1993) mengemukakan bahwa ada empat bentuk besaran yang berkaitan dengan gelombang, yakni :

- a. Amplitudo gelombang (A) adalah jarak antara puncak gelombang dengan permukaan rata-rata air.
- b. Frekuensi gelombang (f) adalah sejumlah besar gelombang yang melintasi suatu titik dalam suatu waktu tertentu (biasanya didefinisikan dalam satuan detik).
- c. Kecepatan gelombang (C) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu tertentu.
- d. Kemiringan gelombang (H/L) adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

Kondisi suatu gelombang dipengaruhi oleh 3 parameter utama, yaitu panjang gelombang (L), tinggi gelombang (H) dan kedalaman tempat gelombang terjadi. Dengan diketahuinya tiga parameter ini, nilai parameter yang lain dapat ditentukan secara teoritis. Parameter parameter yang dimiliki gelombang diilustrasikan dalam gambar gelombang harmonik dua dimensi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi gelombang dan parameter yang terkait (Dean and Dalrymple, 1991)

Pada ilustrasi gelombang harmonik dua dimensi di atas, terdapat parameter-parameter sebagai berikut:

L = Panjang gelombang

a = Amplitudo gelombang

H = Tinggi gelombang

h = Kedalaman dimana gelombang terjadi

η = Elevasi muka air laut. Pada ilustrasi di atas dinyatakan sebagai fungsi jarak dan waktu.

Hubungan panjang gelombang (L), kecepatan (*celerity*) gelombang (C) dan periode (T) adalah:

$$C = L / T \quad (2.1)$$

Perlu diperhatikan, bahwa kecepatan gelombang yang telah disebutkan di atas adalah untuk gelombang yang berjalan di laut dalam. Di perairan dangkal, kedalaman air berpengaruh pada kecepatan gelombang, kecepatan gelombang dapat dinyatakan dalam persamaan :

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

Parameter Gelombang

Dalam OCDI (2002), disebutkan bahwa parameter gelombang yang sangat berpengaruh dalam sebuah desain bangunan pantai adalah :

- a) Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan ($H_{1/3}$ dan $T_{1/3}$) Tinggi dan periode gelombang signifikan didapatkan dari rata – rata 3 tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar
- b) Tinggi dan Periode Gelombang Maksimum (H_{max} dan T_{max}) Tinggi gelombang paling tinggi dalam sebuah pengukuran
- c) $H_{1/10}$ dan $T_{1/10}$ Tinggi dan periode gelombang sepersepuluh ini didapatkan dari rata–rata 10 tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar.
- d) Tinggi dan Periode Gelombang Rata-Rata (\bar{H} dan \bar{T})
- e) Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Dalam (H_0 dan T_0) Gelombang di mana kedalaman laut setidaknya bernilai setengah dari panjang gelombang. Parameter gelombang ini diekspresikan pula dengan tinggi gelombang signifikan di laut dalam tersebut

f) Tinggi Gelombang Ekuivalen pada Laut Dalam (H_0') Gelombang hipotesa yang telah dikoreksi berdasarkan perubahan topografi seperti refraksi dan difraksi. Hal ini diekspresikan dengan tinggi gelombang signifikan.

Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam. Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu gelombang di laut dangkal, gelombang laut transisi, gelombang di laut dalam (Yuwono, 1982). Tabel 2.2 Klasifikasi dari gelombang ditunjukkan sebagai berikut:

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

Kategori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dangkal	> 0.5	$> \pi$	≈ 1
Laut transisi	$0.005 - 0.5$	$0.25 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dalam	< 0.05	< 0.25	$\approx 2\pi d/L$

Fourier Transformation

Fourier Transformation adalah sebuah alat untuk mentransformasikan suatu bentuk gelombang (Sebuah fungsi atau sinyal) ke dalam sebuah representasi alternatif, atau lebih gampang disebut sebagai sebuah alat untuk melihat sinyal tapi dengan kaca mata lain. Pada hakekatnya, semua benda di bumi ini dapat di deskripsikan menggunakan bentuk gelombang. Dalam hal ini Fourier Transform itu adalah metode dari pengoperasi Fast Fourier Transform. Fast Fourier Transform, biasa disingkat (FFT) adalah suatu algoritma untuk menghitung transformasi. Transformasi Fourier Cepat diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan diferensial parsial, dan untuk algoritma untuk mengalikan bilangan bulat besar.

Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang secara sederhana bisa diartikan sebagai besar gelombang yang terpantulkan oleh struktur pelindung dibandingkan dengan besar

nilai gelombang datang. Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pantai. H_r adalah tinggi gelombang setelah mengenai struktur yang lalu terpantulkan kembali (terrefleksikan) dan H_i adalah tinggi gelombang sebelum mengenai struktur. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif. Pada bangunan vertikal, halus dan dinding tidak *permeable*, gelombang akan dipantulkan seluruhnya. Fourier Transformation adalah sebuah alat untuk mentransformasikan suatu bentuk gelombang (Sebuah fungsi atau sinyal) ke dalam sebuah representasi alternatif, atau lebih gampang disebut sebagai sebuah alat untuk melihat sinyal tapi dengan kaca mata lain. Pada hakekatnya, semua benda di bumi ini dapat di deskripsikan menggunakan bentuk gelombang. Sebagai acuan adalah karakteristik gelombang yang terjadi dan koefisien refleksi yang terjadi akibat adanya struktur. Goda dan Suzuki menemukan metode yang menggunakan teknik perubahan Fourier. Persamaan yang bisa menggambarkan kejadian refleksi gelombang yang terjadi di wave flume saat struktur sudah terpasang

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i :

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

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan disajikan dalam Tabel 3.2. berikut ini:

Tabel 2.3. Koefisien refleksi

Tipe bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak diatas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7

Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan balok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan perbedaan energi	0,05 – 0,2

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Dinding vertikal dan tak *permeable* memantulkan sebagian besar gelombang. Pada bangunan seperti itu koefisien refleksi adalah $X=1$, dan tinggi gelombang yang dipantulkan sama dengan tinggi gelombang datang. Gelombang di depan dinding vertikal merupakan superposisi dari kedua gelombang dengan periode, tinggi dan angka gelombang yang sama tetapi berlawanan arah. Apabila refleksi adalah sempurna $X=1$ maka:

$$\eta = H_i \cos kx \cos \sigma t \quad (2.4)$$

Pada kondisi seperti di atas, maka tinggi gelombang di depan penghalang menjadi 2 kali lebih tinggi dari gelombang datang dan akan membentuk *node* dan *antinode* seperti pada gambar di bawah. Apabila dinding penahan tidak memberikan pantulan secara sempurna maka yang terjadi bukanlah *node* dan *antinode*, melainkan selubung dan dapat diketahui elevasi muka air minimum dan maksimum.

2.2.3 Pemodelan Fisik

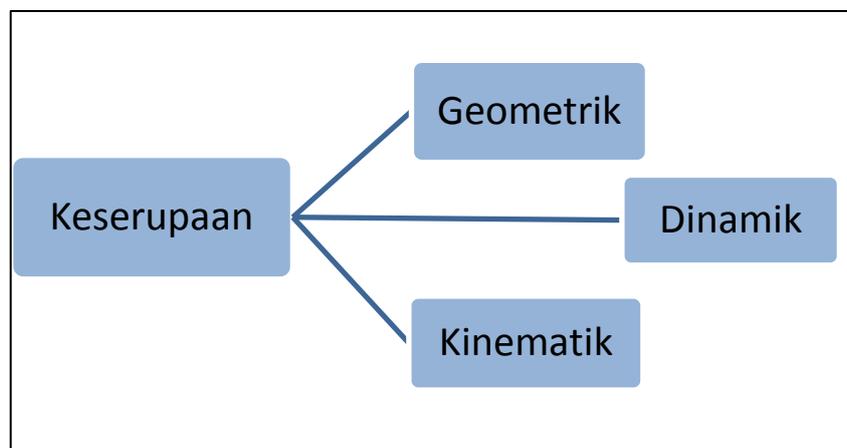
Pemodelan fisik terkait pengujian refleksi gelombang dilakukan dengan membuat suatu keadaan dilapangan ke dalam sebuah model yang mempunyai skala lebih kecil dengan beberapa parameter keserupaan atau kesebangunan yang harus dipenuhi (De Vries, M, 1977). Keserupaan yang dimaksud adalah berupa keserupaan geometrik dan kinematik (Nur Yuwono, 1992). Penentuan skala model ini dengan membandingkan parameter di prototipe dengan model. Skala merupakan rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model. Apabila skala dan kesebangunan telah dipenuhi, maka sebelum menetapkan besaran skala yang akan digunakan terlebih dahulu harus memperhatikan tingkat ketelitian (Sharp J.J., 1981).

Pemodelan fisik biasa dilakukan jika terdapat keterbatasan pada analisis fenomena permasalahan yang terjadi di lapangan. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan agar hasil yang diperoleh mampu mewakili kondisi yang ada di lapangan diantaranya adalah:

1. Keserupaan antara model dan prototype adalah Keserupaan antara model laboratorium dengan prototipe di lapangan.
2. Analisis dimensi adalah Analisis dimensi bertujuan untuk menyederhanakan variabel yang rumit menjadi variabel tak berdimensi.
3. Peralatan-peralatan yang digunakan selama pengujian

2.2.4 Keserupaan Model-Prototipe

Pemodelan fisik mensyaratkan keserupaan antara keadaan di alam (prototipe) dan di model. Terkait dengan hal tersebut, keserupaan dapat didefinisikan bahwa sebuah model fisik dan prototipe-nya tidak hanya sama secara geometri tetapi juga harus serupa secara kinematik dan dinamik. Gambar 2.3 menunjukkan golongan keserupaan pada Model-Prototipe



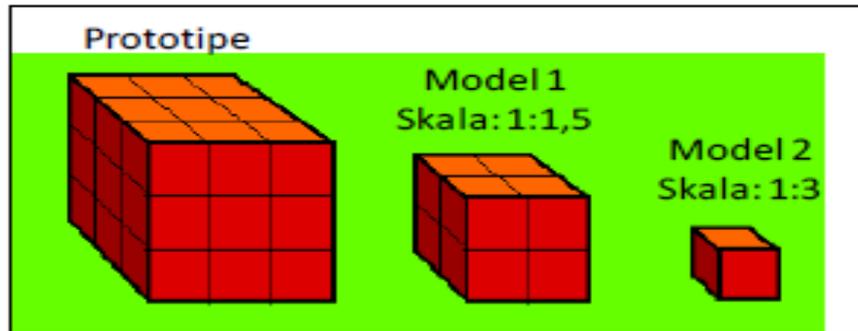
Gambar 2.3 Syarat keserupaan pada pemodelan fisik.

2.2.4.1 Keserupaan Geometrik

Keserupaan geometrik adalah bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama pada gambar 2.4 Ada dua macam keserupaan geometrik, yaitu keserupaan geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan keserupaan geometrik dengan distorsi (*distorted*). Pada keserupaan 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.

Gambar 2.4 Gambaran keserupaan geometrik (Husrin, 2015)



Skala panjang keserupaan geometrik dapat dinyatakan dengan notasi n_L dan notasi n_h untuk skala tingginya (Hughes, 1993):

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.5)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (2.6)$$

dimana,

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

2.2.4.2 Keserupaan Dinamik

Keserupaan dinamik mensyaratkan skala panjang, waktu dan gaya yang sama. Hal tersebut membutuhkan keserupaan perbandingan seluruh vektor gaya yang bekerja. Keserupaan dinamik secara matematis dijelaskan pada hukum Newton II, bahwa gaya inersia sebanding dengan vektor dari gaya tegangan permukaan, gaya gravitasi, gaya gesek/kekentalan, gaya tekanan dan gaya kompresi elastis, yang menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\vec{F}_i = \vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho \quad (2.7)$$

dimana,

\vec{F}_i = gaya inersia

\vec{F}_g = gaya gravitasi

\vec{F}_μ = gaya gesek

\vec{F}_σ = gaya elastis

\vec{F}_ρ = gaya tekanan

Rasio antara gaya inersia di model dan di prototipe harus sama dengan vektor gaya, sehingga mensyaratkan:

$$\frac{[\vec{F}_i]_m}{[\vec{F}_i]_p} = \frac{[\vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho]_m}{[\vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho]_p} \quad (2.8)$$

Pada hampir seluruh masalah teknik pantai, gaya akibat tekanan permukaan dan kompresi elastis biasanya kecil dan dapat diabaikan (D. Tom Reynolds 1982). Oleh karena itu, keserupaan dinamik dianggap dapat terpenuhi jika keserupaan Reynolds dan Froude terpenuhi.

2.2.4.2.1 Keserupaan Reynolds

Skala berdasarkan keserupaan Reynold harus dipenuhi apabila kekentalan fluida mendominasi gaya inersia yang terjadi. Hubungan dari gaya inersia dan kekentalan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\rho L^2 V^2}{\mu V L} = \frac{\rho L V}{\mu} \quad (2.12)$$

Keserupaan dapat terjadi apabila saat angka Reynold model sama dengan angka Reynold prototipe,

$$\left(\frac{\rho L V}{\mu}\right)_p = \left(\frac{\rho L V}{\mu}\right)_m \quad (2.13)$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{N_v N_L N_p}{N_\mu} = 1 \text{ atau } N_{Re} = 1 \quad (2.14)$$

Ingat bahwa :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.15)$$

Dari persamaan diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$\frac{N_v N_L}{N_v} = 1 \quad (2.16)$$

dengan skala kecepatan

$$N_v = \frac{N_L}{N_T} \quad (2.17)$$

Dengan mensubstitusi persamaan diatas, maka didapat hubungan skala waktu sebagai berikut,

$$N_T = \frac{N_L^2}{N_v} \quad (2.18)$$

Sangat sulit menemukan fluida dengan viskositas yang memenuhi kriteria Reynold. Namun demikian, pemodelan fisik tetap dapat dilakukan sepanjang bilangan Reynolds untuk model memenuhi persyaratan tertentu. Hal ini didapat dari suatu penelitian atau eksperimen yang telah banyak dilaksanakan. Persyaratan tersebut antara lain sebagai berikut :

$$R_e > 3 \times 10^4 \text{ (Hudson, 1976)}$$

$$R_e > 0.6 \times 10^4$$

R_e model tidak jauh berbeda dengan R_e prototipe (Dalrymple, 1985)

2.2.4.2.2 Keserupaan Froude

Dalam fenomena fisik apabila gaya gravitasi dominan maka skala berdasarkan keserupaan Froude harus terpenuhi.

Keserupaan Froude:

$$\frac{V_m}{(g_m L_m)^{\frac{1}{2}}} = \frac{V_p}{(g_p L_p)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.19)$$

Karena percepatan gravitasi tetap ($g_m = g_p$) sehingga $N_g = 1$, maka persamaan diatas dapat ditulis,

$$\frac{V_m}{\sqrt{L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{L_p}} \quad (2.20)$$

Dapat ditulis juga sebagai:

$$\frac{N_v}{\sqrt{N_L}} = 1 \quad (2.21)$$

Karena hampir tidak mungkin menemukan fluida dengan viskositas yang memenuhi kriteria Reynold, maka untuk pengujian ini diasumsikan kriteria Reynold sudah terpenuhi.

2.2.4.3 Kekerupaan Kinematik

Kekerupaan kinematik mengacu pada kesamaan gerak partikel antara model dengan prototipe. Pergerakan yang dimaksud adalah pergerakan dari sebuah sistem berupa fluida atau solid. Kekerupaan kinematik akan terpenuhi jika rasio seluruh pergerakan antar komponen adalah sama antara prototipe dan model. Maka aspek waktu di alam (t_n) dengan di model (t_m) dalam rasio yang konstan harus sejalan.

$$n_t = \frac{t_n}{t_m} \quad (2.9)$$

Dengan teori diatas maka faktor skala untuk kecepatan dan percepatan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$N_v = \frac{v_n}{v_m} = \frac{L_n/t_n}{L_m/t_m} = \frac{L_n/L_m}{t_n/t_m} = \frac{N_L}{N_t} \quad (2.10)$$

$$N_a = \frac{a_n}{a_m} = \frac{L_n/t_n^2}{L_m/t_m^2} = \frac{L_n/L_m}{(t_n/t_m)^2} = \frac{N_L}{N_t^2} \quad (2.11)$$

Kekerupaan kinematik diperlukan untuk pemodelan fisik. Namun pemodelan ini saja belum cukup untuk memenuhi prinsip kekerupaan suatu model fisik.

2.2.5 Analisa Dimensi

Konsep dasar analisa dimensi adalah menyatakan variabel fisik yang ada menjadi variabel tak berdimensi dengan jumlah variabel yang lebih sedikit. Analisa dimensi mengurangi jumlah kerumitan akibat jumlah variabel eksperimen yang mempengaruhi gejala fisik tertentu kemudian menyederhanakan variabel-variabel tersebut menjadi variabel baru yang tidak memiliki dimensi.

Langkah –langkah proses Analisis dimensi terdiri dari:

1. Mengidentifikasi variabel independen (variabel yang berdiri sendiri atau tidak bergantung pada variabel lainnya) yang penting.
2. Menentukan variabel yang bersifat dependen (variabel yang bergantung pada variabel lainnya).

3. Menetapkan berapa banyak variabel non-dimensi independen yang dapat dibentuk dari variabel-variabel tersebut.
4. Mengubah sistem variabel ke dalam variabel non-dimensi yang jumlahnya sudah ditentukan sebelumnya.

Manfaat dari analisa dimensi antara lain:

1. Mengurangi jumlah variabel yang diselidiki, sehingga mempermudah pekerjaan
2. Menghasilkan grafik non-dimensional yang berlaku umum
3. Mudah digunakan dalam model skala.

Metoda analisis dimensi yang akan dibahas pada tugas Akhir ini adalah Theorema Pi- Buckingham, yang merupakan salah satu metoda yang digunakan dalam mereduksi bilangan peubah dimensi ke dalam bilangan yang lebih kecil dari kelompok-kelompok dimensi.

Theorema Pi-Buckingham menyatakan pada suatu persamaan dimensi homogen yang melibatkan 'n' variabel, jumlah produk non-dimensi yang dapat dibentuk dari 'n' variabel adalah 'n-r' dimana 'r' adalah jumlah unit satuan dasar dari variabel yang terlibat.

Dengan Theorema Pi-Buckingham, rumus-rumus yang ada disusun kembali menjadi rumus baru yang dinyatakan dalam produk non-dimensi (istilah pi). Contohnya adalah :

$$\pi_1 = \Psi(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-r}) \quad (2.22)$$

Syarat variabel yang dapat dipilih dalam Buckingham Pi Theorem:

1. Variabel yang terpilih haruslah penting
2. Variabel yang terpilih harus meliputi semua dimensi
3. Variabel independen yang tidak berulang sedapat mungkin harus dimasukkan
4. Variabel aliran yang relevan harus dikelompokkan menjadi:

Variabel geometrik

Variabel kinematik

Variabel dinamik

Secara singkat langkah-langkah melakukan analisa dimensi dengan Buckingham Pi Theorm adalah sebagai berikut:

1. Mereduksi data

- Membuat daftar seluruh variabel fisik berdasarkan tipenya (geometrik, kinematik, dinamik).
- Memilih sistem dimensi untuk seluruh variabel yang dipakai seperti M (massa), L (panjang) dan T (waktu).
- Memilah variabel-variabel yang ada ke dalam sistem dimensi dasar, dengan bantuan matriks dimensi, misalnya

	A	B	N
L	X ₁	X ₂	X ₃
T	Y ₁	Y ₂	Y ₃
M	Z ₁	Z ₂	Z ₃

2. Menuliskan π untuk setiap variabel yang telah dipilih, misalkan

$$\begin{aligned} \pi_1 &= (A)^{x_1}(B)^{y_1}(n)^{z_1} \\ \pi_n &= (A)^{x_n}(B)^{y_n}(n)^{z_n} \\ \pi_n &= (A)^{x_n}(B)^{y_n}(n)^{z_n} \end{aligned} \tag{2.23}$$

Dan eksponen $x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_n, z_1 \dots z_n$ dicari dengan mencari jumlah eksponen variabel sejenis menjadi nol.

3. π dikonversikan dalam bentuk yang praktis dan π_i dapat dinyatakan dalam bentuk lain, misalkan

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3 \dots \pi_n) = 0 \tag{2.24}$$

atau

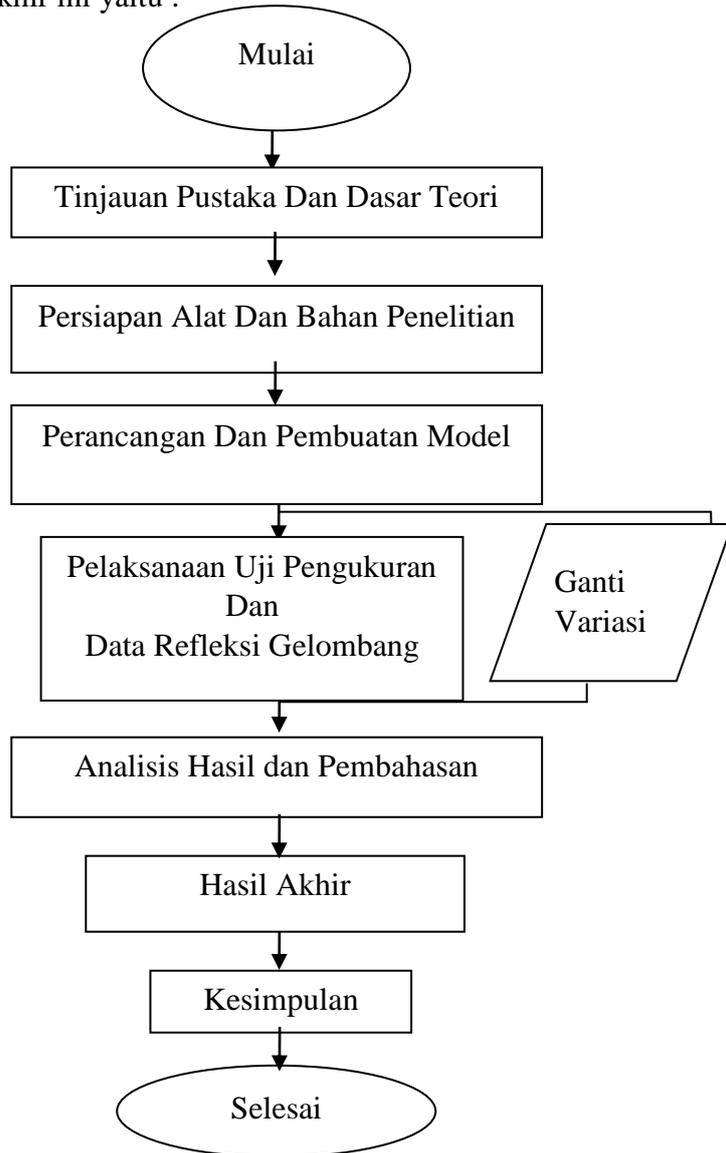
$$\pi_2 = f(\pi_1, \pi_3 \dots \pi_n) \tag{2.25}$$

Memeriksa ulang hasil yang telah didapat untuk memastikan bilangan yang didapatkan adalah bilangan non-dimensi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Adapun urutan pengerjaan atau diagram alir dalam penelitian serta penulisan laporan tugas akhir ini yaitu :



Gambar 3.1 Diagram alir Metodologi

3.2 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang merupakan langkah penjelasan dari diagram alir diatas. Dengan langkah-langkah sebagai berikut :

3.2.1 Tinjauan Pustaka/Dasar Teori

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi dari makalah ilmiah, jurnal, buku-buku dan laporan tugas akhir yang berkaitan dengan tugas akhir yang akan saya bahas untuk mendapatkan gambaran dan pemahaman terhadap materi. Literatur tersebut juga digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Adapun studi literatur antara lain :

- Studi mengenai refleksi gelombang
- Studi mengenai dampak refleksi
- Studi mengenai transmisi dan refleksi (Goda)
- Studi mengenai uji model fisik

3.2.2 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian:

Pelaksanaan pengujian di laboratorium *flume tank* sebagai alat untuk melaksanakan eksperimen *Artificial Hexareef* alat-alat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai pembangkit gelombang, gambar 3.3 sebagai saluran gelombang dilihat dari posisi memanjang dilengkapi dengan pengatur kedalaman air dan gambar 3.4 tampak dari atas pembangkit gelombang.

a. Saluran Pembangkit Gelombang (Wave Flume)



Gambar 3.2 Tangki Pembangkit Gelombang (*Wave Flume*)



Gambar 3.3 Tangki saluran gelombang (flume)



Gambar 3.4 Tangki saluran gelombang (flume) dilihat dari atas

b. *Wave Probe*

Wave probe adalah alat pengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda tersebut mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Gambar 3.5 dalam penelitian ini *wave probe* yang digunakan berjumlah 2 yang dipasang di depan dan 2 yang dipasang di belakang model uji. Sebelum melakukan *running*, *wave probe* terlebih dahulu dikalibrasi untuk menjadi acuan dalam pencatatan

semua hasil *running*. Hal ini disebabkan *wave probe* tidak selalu konstan dan stabil dalam pencatatan gelombang. Mengamati perhitungan koefisien refleksi dari data yang di peroleh, parameternya adalah tinggi gelombang refleksi dan tinggi gelombang datang. Probe 1 berfungsi membaca tinggi gelombang datang dan probe 3 untuk membaca tinggi gelombang refleksi serta tinggi gelombang datang, oleh karena itu diperlukan separasi antara tinggi gelombang datang dan tinggi gelombang refleksi dimana pada metode ini menggunakan pengamatan 2 titik. separasi itu adalah pemisahan data amplitudo gelombang datang dan gelombang refleksi, sehingga adanya korelasi data yg ada di probe 1 dan probe 3.



Gambar 3.5 *Wave Probe*

c. *Wave Absorber*

Fungsinya adalah peredam gelombang agar gelombang yang telah dibangkitkan pada kolam uji tidak terpantul. Terbuat dari stainless steel dan bahan kimia dengan panjang 3m. Wave absorber ini diletakkan pada ujung kolam gelombang.

d. Alat Kalibrasi

Fungsinya adalah mengkalibrasi hasil data yang diterima dari *wave probe* ke sistem komputer, agar mendapatkan hasil data yang lebih akurat pada saat pemodelan fisik, dengan cara mencatat titik nol dari *wave probe* dan merekam kalibrasinya dengan menaikkan serta menurunkan *wave probe* dari posisi titik nolnya. Setelah pencatatan selesai *wave probe* harus dikembalikan pada posisi awal. Kalibrasi dimaksudkan untuk mencari hubungan antar perubahan tinggi elektroda yang tercelup air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam alat perekam.

e. Sistem Komputer

Sistem komputer berfungsi sebagai perubah data analog dari *wave probe* menjadi data digital yang diproses dengan menggunakan perangkat lunak. Sistem komputer ini berfungsi sebagai alat perekam data pengujian yang nantinya hasil percobaan akan diketahui secara digital. Gambar 3.6 Komputer yang tersedia di laboratorium ini memiliki karakteristik :

- Type : Desk-top type
- CPU : Pentium (266MHz)
- RAM : 64 MB
- Hard Disk : 3 GB
- CRT : 14 inch
- Expanded Slot : 2
- CD-ROM Drive : 1
- Floppy Disk Drive : 3,5 inch . 1,4 MB
- System Software : Windows 95, MS-DOS Version 6.2



Gambar 3.6 Alat Kalibrasi dan Sistem Komputer

f. Unit Pembangkit Gelombang

Mesin pembangkit terdiri dari mesin utama (gambar 3.8), pulley (gambar 3.9) yang berfungsi mengatur waktu putaran piringan yang dihubungkan pada stroke (gambar 3.10) sehingga menggerakkan flap (gambar 3.11) pembangkit gelombang. Wave generator atau pembangkit gelombang adalah alat yang difungsikan untuk membangkitkan atau membuat gelombang buatan. Pembangkit gelombang dinyalakan melalui control panel

(gambar 3.7) dan diatur ketinggian dan periode gelombangnya oleh computer kendali.



Gambar 3.7 Pengaturan Panel



Gambar 3.8 Mesin Utama (MITSUBISHI MOTOR)



Gambar 3.9 Pulley



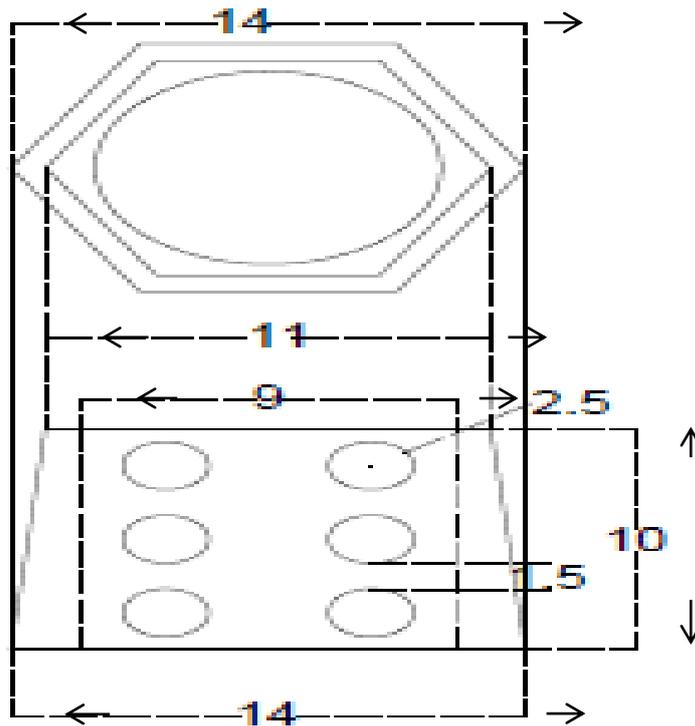
Gambar 3.10 Stroke



Gambar 3.11 Flap

3.2.3 Perancangan dan pembuatan model (*Artificial Hexareef*)

- a. Perancangan model berdasarkan variabel yang akan diteliti. Setelah desain model, selanjutnya dilakukan proses pembuatan model. Perancangan model dan parameter yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah bentuk hexagonal dengan spesifikasi pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Desain Model Terumbu Buatan Hexagonal (cm)

Model terumbu akan diuat berbahan semen, dengan bentuk hexagonal dan juga terumbu buatan yang akan diuji memiliki 6 buah lubang, dan dibuat menggunakan pipa berukuran kurang lebih 1 dim (inchi). Pada desain terumbu buatan, bagian dalam struktur berbentuk lingkaran dengan diameter 12,1 cm. Pada prototype terumbu buatan, bagian dalam struktur akan diisi ban dalam mobil berukuran diameter luar 121 cm, diameter dalam 64 cm, tebal 34 cm, dan tinggi 30 cm. Terumbu buatan pada prototype akan diisi 3 ban dengan tinggi total 90 cm, sedangkan terumbu buatan pada model yang akan diuji memiliki tinggi 10 cm.

- b. Tahap ini model disusun berdasarkan konfigurasi yang akan diteliti. Konfigurasi model yang sudah disusun nantinya akan diuji dengan variasi tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) ada pada tabel 3.2, dan konfigurasi model akan divariasikan dengan konfigurasi horizontal tanpa ada jarak (gap). Penyusunan konfigurasi terumbu buatan bentuk hexagonal pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Konfigurasi Model

Susunan	Kode Konfigurasi	Freeboard (m)	Lebar Puncak (m)	Tinggi Struktur (m)
		F	B	h
1	A1	0,2	0,25	0,1
		0,2		
		0,2		
2	A2	0,2	0,53	
		0,2		
		0,2		
3	A3	0,2	0,81	
		0,2		
		0,2		
4	A4	0,2	1,09	
		0,2		
		0,2		

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

No	Konfigurasi	Tipe Gelombang	Tinggi Gelombang (m)	Periode (s)	Durasi (s)
			H	T	
	A1, A2, A3, dan A4	Gelombang Irregular	0,02	1,1	180''
			0,03	1,1	
			0,04	1,1	
			0,05	1,1	
			0,02	1,2	
			0,03	1,2	
			0,04	1,2	
			0,05	1,2	
			0,06	1,2	
			0,07	1,2	

No	Konfigurasi	Tipe Gelombang	Tinggi Gelombang (m)	Periode (s)	Durasi (s)
			H	T	
	A1, A2, A3, dan	Gelombang Irregular	0,04	1,3	180''
	A4		0,05	1,3	
			0,02	1,4	
			0,04	1,4	
			0,05	1,4	

Dalam percobaan ini akan diteliti di setiap konfigurasi rancangan penelitian, dengan 15x setiap konfigurasi struktur bantuan alas papan yang memiliki slope 1:5 dengan tinggi 50 cm. Konfigurasi terumbu buatan dalam penelitian ini, akan dirancang dengan susunan horizontal tanpa adanya jarak (*gap*) antar struktur tersebut. Berikut gambaran konfigurasi terumbu buatan yang akan diuji.



Konfigurasi A1



Konfigurasi A2



Konfigurasi A3



Konfigurasi A4

Gambar 3.13 Susunan Terumbu Buatan

- c. Pembuatan model fisik dapat dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similarits yang cukup memadai. seluruh rancangan konfigurasi akan di uji, dengan memasukkan terumbu buatan ke *flume tank* dengan semua konfigurasi susunan dan semua rancangan variasi tinggi gelombang, elevasi muka air, dan periode yang telah di rancang.

Model terumbu buatan bentuk hexagonal dilakukan dengan prinsip keserupaan geometrik *undistorted*, dimana skala panjang arah horizontal (skala panjang) sama dengan skala panjang arah vertikal (skala tinggi). Berdasarkan pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, maka digunakan skala model 1 : 10. Berikut merupakan syarat sebangun geometrik dan dimensi dari model.

Sebangun Geometrik

Geometric quantity if $\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 0$

$$nL = \frac{Lp}{Lm}$$

$$nL = \frac{121}{12.1}$$

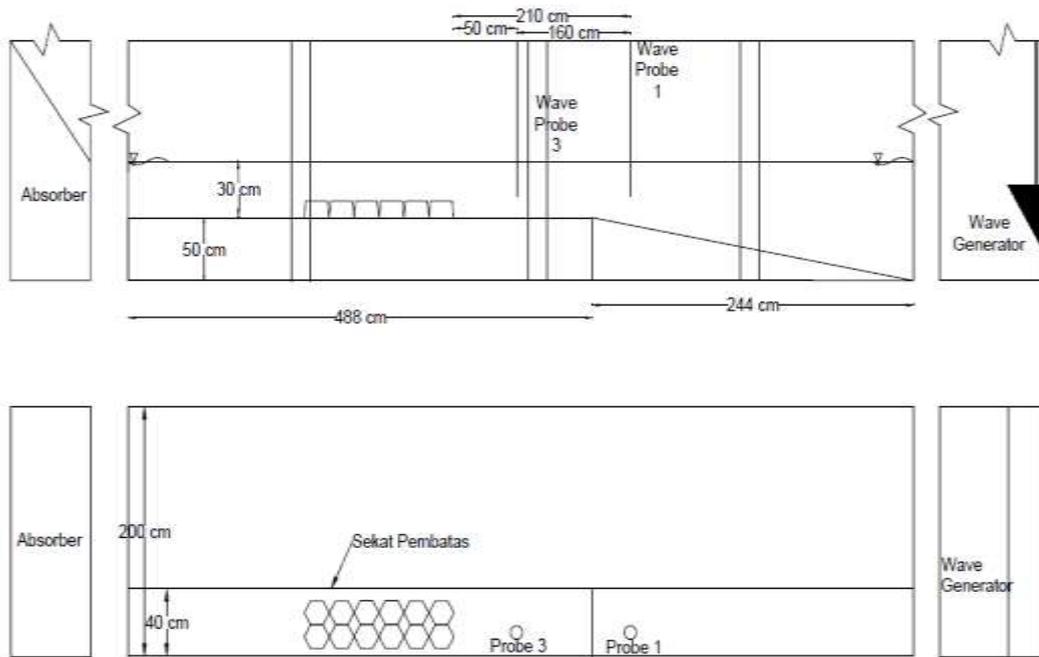
$$nL = 10$$

dengan : nL : Skala Panjang

Lp : Ukuran prototipe

Lm : Ukuran model

Berikut gambar 3.14 adalah sketsa percobaan yang akan dilakukan :



Gambar 3.14 Pelaksanaan Pengujian Konfigurasi A3

Pada area pengujian diberi sekat pembatas menggunakan tripleks sepanjang area uji dengan lebar pembatas 60 cm. Kemiringan slope dasar dirancang dengan perbandingan 1:5, ketinggian dasar dari model 30 cm. Kedalaman air adalah 30 cm dengan tinggi model 9 cm sehingga tinggi air diatas permukaan model 20 cm.

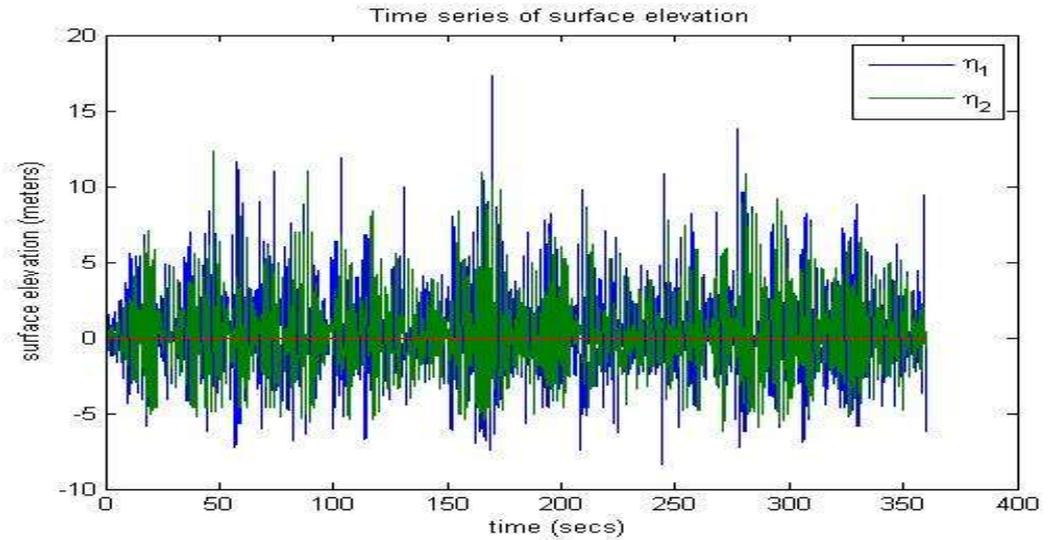
Tinggi air diatas permukaan model 20 cm. Untuk perletakan probe 1 berjarak 60 cm dihitung dari struktur model paling ujung kiri dan probe 2 berjarak 100 cm dihitung dari struktur model paling kanan. Probe akan berubah posisi ketika konfigurasi susunan model diubah menjadi konfigurasi A2, konfigurasi A3 dan konfigurasi A4. Lebar sekat pembatas yang digunakan sepanjang 40 cm.

3.2.4 Pelaksanaan Uji Pengukuran Dan Data Gelombang Refleksi

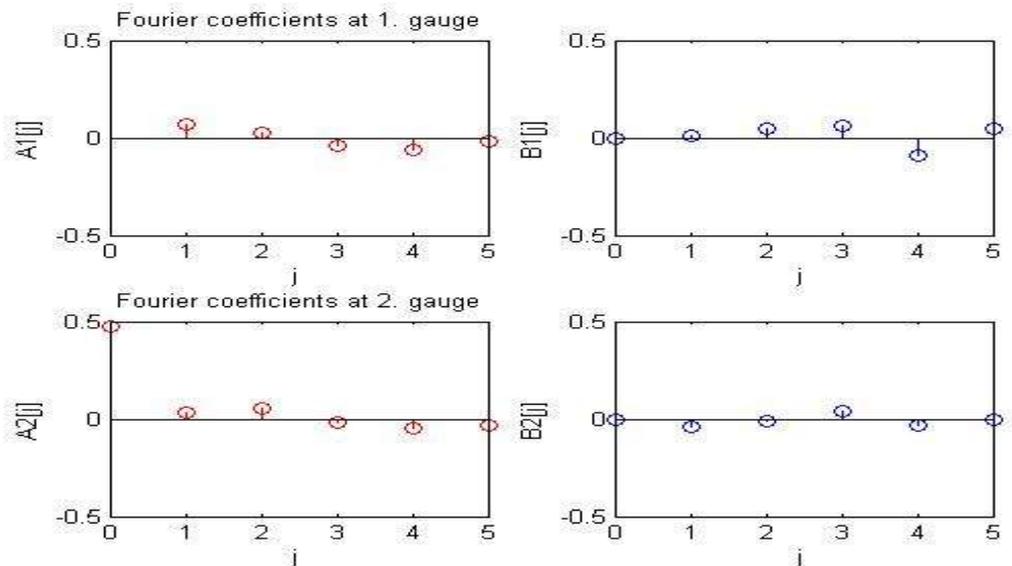
- a. Pelaksanaan Uji Pengukuran model disusun sesuai konfigurasi dan terpasang di laboratorium, maka pengujian bisa dilaksanakan sesuai dengan desain eksperimen model yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap variasi dengan tinggi gelombang dan periode gelombang yang sama.

- b. Pengecekan data ini dilakukan untuk memastikan bahwa data telah terekam dengan baik. Data – data tersebut antara lain: tinggi gelombang, periode gelombang dan lain-lain.

Berikut gambar 3.15 yang dimana pemisahan gelombang datang dan gelombang refleksi melalui *fourier transform*



(a)



(b)

Gambar 3.15 Output Gelombang Datang dan Gelombang Refleksi (a) dan (b).

3.2.5 Analisis Hasil dan Pembahasan

Setelah tahap-tahap diatas sudah dilakukan, maka pengukuran dapat dimulai. Pengecekan pada data terekam harus dilakukan secara terus menerus, dengan melihat angka statistiknya. Dari data yang didapat dihitung tinggi gelombang baik gelombang datang (H_i) maupun tinggi gelombang refleksi (H_r).

3.2.6 Hasil Akhir

Data hasil pengukuran akan diolah sesuai dengan rumus perhitungan pada dasar teori untuk memperoleh koefisien refleksi. Hasil perhitungan akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

3.2.7 Kesimpulan

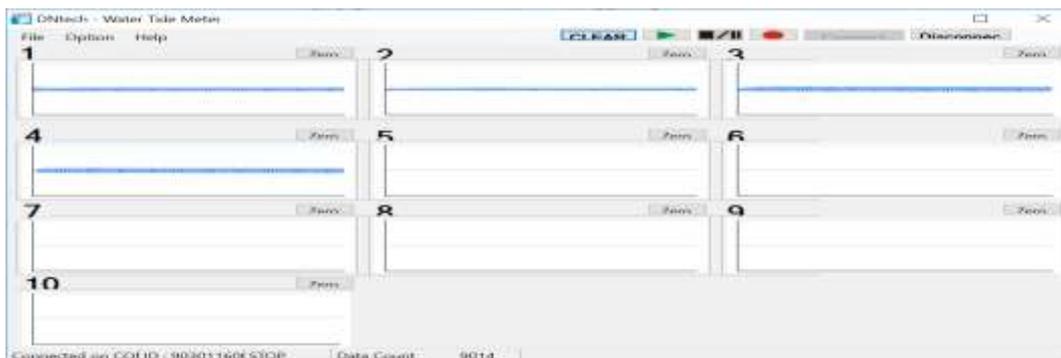
Dari hasil analisa akan diperoleh nilai koefisien refleksi yang teredam dari masing-masing konfigurasi. Nilai tersebut akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan akan diperoleh nilai koefisien refleksi yang paling baik untuk peredam gelombang dari model sebelumnya. Dimana koefisien refleksi yang baik adalah semakin besar nilai H/gT^2 maka semakin besar juga nilai K_r yang didapatkan yang berarti semakin baik untuk memantulkan gelombang.

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Setelah mendapatkan data dari pengujian, kita menganalisis data H_i (m) dan T (s) yang tercatat oleh software *Water Tide Meter* setiap runningan per konfigurasi. Konfigurasi pertama hingga keempat dilakukan 15 runningan per konfigurasi dengan meng-input tinggi gelombang dan periode gelombang (ditentukan) oleh alat kalibrasi dan sistem komputer. Sebelumnya dilakukan pengujian gelombang reguler dan irreguler di flume tank agar mengetahui apakah posisi *zero offset* sudah sesuai, dan juga melihat apakah *wave probe* melakukan pembacaan dengan tepat, berikut gambar 4.1 adalah uji gelombang reguler dan irreguler.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Hasil uji gelombang (a) Reguler; (b) Irreguler

Water Tide Meter mencatat data dengan durasi 3 menit yang dimana 1 detiknya menghasilkan 50 data, sehingga dapat menghasilkan total data sebesar 9000 data dalam waktu 3 menit. Adapun nilai kapasitor manimum hingga maximum pada setiap probe ada di tabel 4.1 dan daftar penginputan tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) di tabel 4.2.

Tabel 4.1 Maximum dan minimum kalibrasi

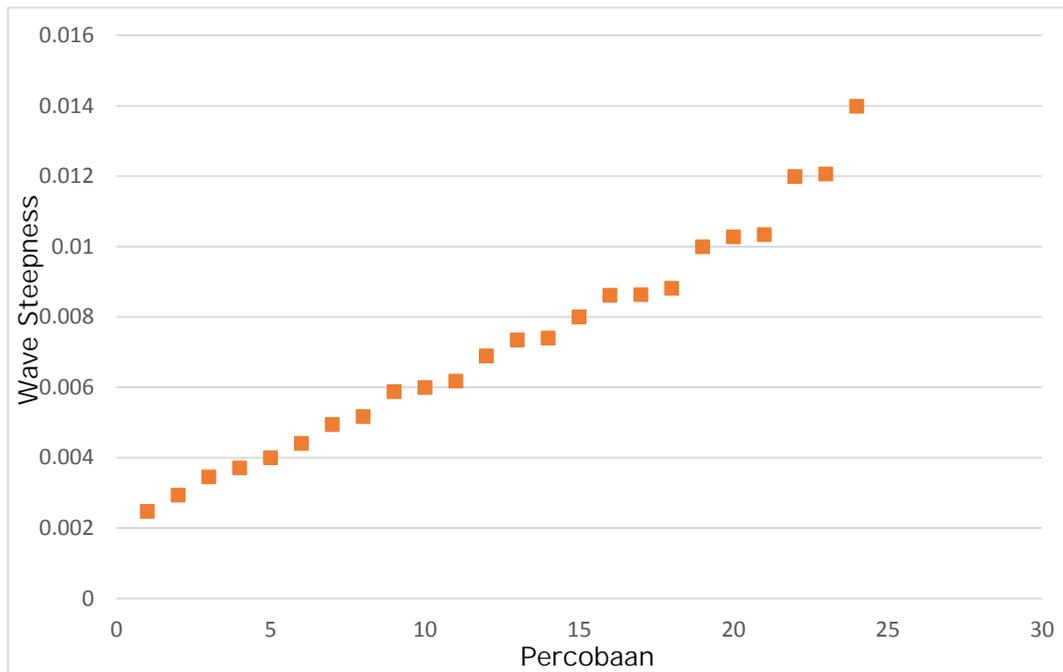
Nilai Kapasitor	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Maximum	3490	3540	3533
Minumum	1848	1847	1820

Tabel 4.2 Input data H (m) dan T (s) di kalibrasi dan sistem komputer

No	H (TinggiGelomban)g	T (PeriodeGelombang)
1	0,02	1,1
2	0,03	1,1
3	0,04	1,1
4	0,05	1,1
5	0,02	1,2
6	0,03	1,2
7	0,04	1,2
8	0,05	1,2
9	0,06	1,2
10	0,07	1,2
11	0,04	1,3
12	0,05	1,3
13	0,02	1,4
14	0,04	1,4
15	0,05	1,4

Pada saat menginput data didasari oleh kemampuan kinerja *Flume Tank* yang dimana angka diantara 0,001 sampai 0,01. Dalam hal ini belum tentu saat

running pembangkit gelombang tersebut memiliki gerak yang serupa dengan input yang telah dilakukan. Maka perlu adanya ukuran (pita ukur) yang di tempel pada dinding *flume* sehingga teliti bagaimana kemiringan gelombang tanpa struktur maupun adanya struktur dengan gelombang reguler/irreguler. Selanjutnya untuk menentukan tinggi gelombang dan periode kami menggunakan metode *plot* pada *wave steepness* dengan mengeliminasi nilai *wave steepness* yang sama. Sehingga grafik menunjukkan bentangan yang signifikan, dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 *Plotting Wave Steepness (Irregular Wave)*

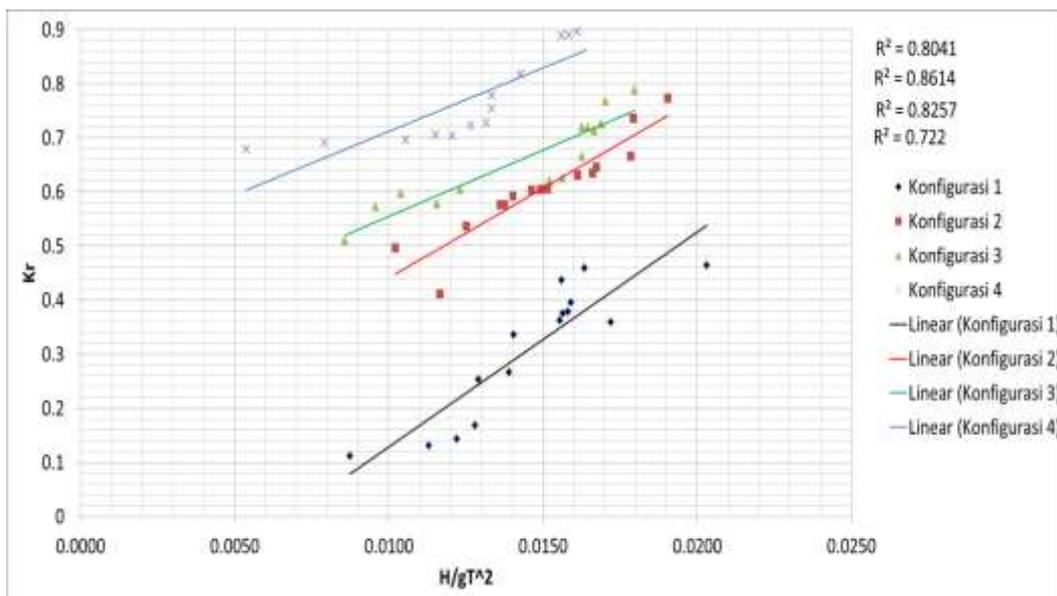
4.1.1 Perhitungan Koefisien Refleksi (K_r)

Empat konfigurasi dengan susunan berbeda tanpa gap, meliputi 15 variasi tinggi gelombang dan periode di setiap konfigurasinya. Menghitung koefisien refleksi digunakan persamaan algoritma Goda dan Suzuki. Software Matlab sebagai mediator untuk melakukan perhitungan tersebut. Begitu juga dengan amplitudo datang (a_i) dan amplitudo refleksi sudah terhitung oleh algoritma pada Matlab. Perlu diketahui pembacaan pada muka air berbeda pada setiap probe. Menentukan titik awal sampai akhir saat water level telah disesuaikan karena ada minimum dan maximum setiap probe. Adapun langkah-langkah tersebut ada di lampiran 5 dalam bentuk *Flow Chart*.

$$K_r = \frac{Hr}{Hr} = \sqrt{\frac{Er}{Er}} \quad (4.1)$$

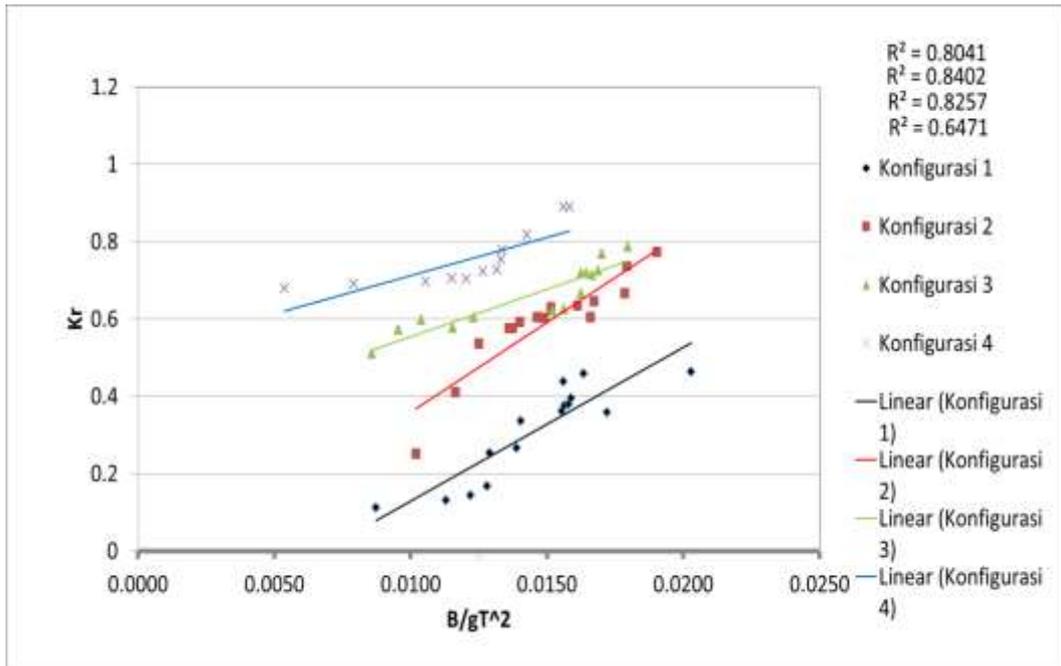
4.1.2 Koefisien Refleksi Terhadap Wave Steepness Dan Lebar Relatif.

Setelah melakukan pengujian dengan variasi tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T), maka didapatkan titik-titik penyebaran nilai koefisien refleksi. Dari keempat grafik perbandingan antara koefisien refleksi dan *wave steepness*, baik pada konfigurasi tanpa gap dengan lebar relatif 0,9, 0,56, 0,81, 1,09 didapatkan bahwa semakin besar *wave steepness* maka semakin besar juga koefisien refleksi gelombang. Atau dapat dikatakan bahwa hubungan antara koefisien refleksi dan *wave steepness* adalah berbanding lurus. Mengetahui hal tersebut dapat dilihat dari gambar 4.3 dan gambar 4.4. Grafik yang menunjukkan nilai koefisien refleksi berdasarkan pengaruh bentuk *wave steepness* (H/gT²).

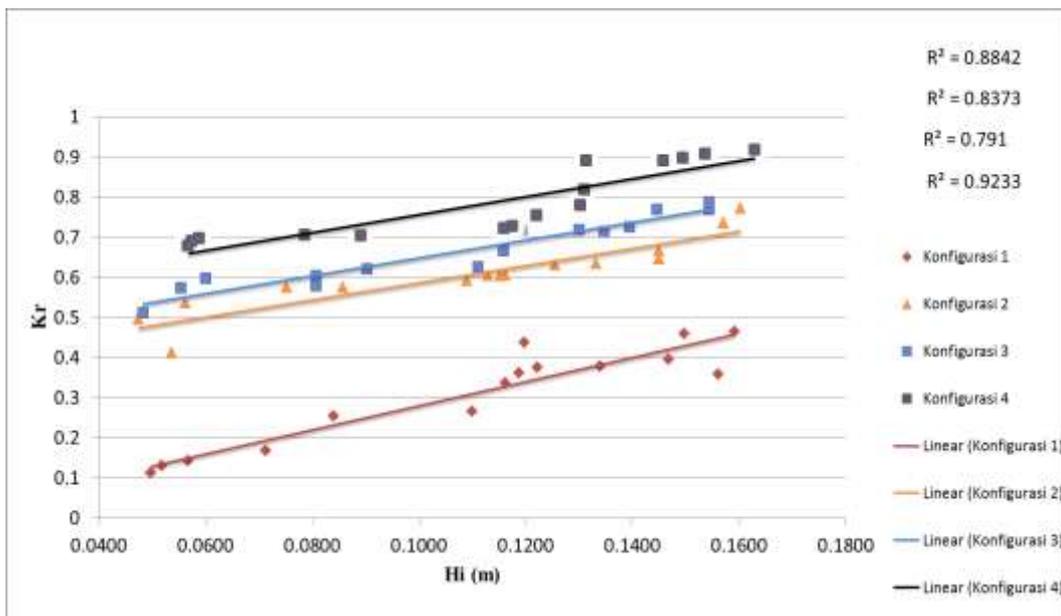


Gambar 4.3 Empat Konfigurasi (K_r) Terhadap (H/gT^2)

Melihat setiap konfigurasi pada gambar 4.3 bahwa konfigurasi A1 sampai pada konfigurasi A4 yang memiliki pantulan gelombang lebih baik ada pada konfigurasi A4 karena semakin gelombang yang jatuh pada panjang struktur. Sehingga gelombang yang melewati struktur akan mengenai permukaan struktur lebih besar dari perbandingan struktur yang lebih pendek jaraknya di konfigurasi A1.



Gambar 4.4 Empat Konfigurasi (K_r) Terhadap (B/gT^2)



Gambar 4.5 Empat Konfigurasi (K_r) Terhadap (H_i) yang tercatat.

Pada gambar 4.5 semakin besar gelombang datang di asumsikan, amplitudo puncak dan gelombang datang semakin besar, oleh karena itu saat gelombang datang semakin besar maka permukaan struktur yang terkena gelombang semakin luas sehingga gelombang pantul yg terbentuk akan semakin besar.

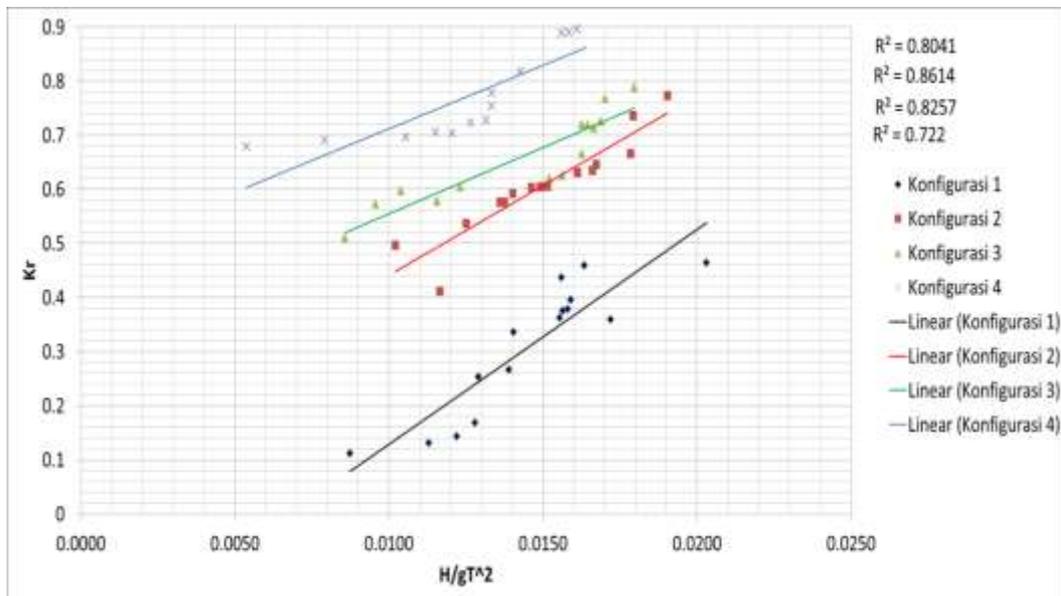
4.1.2.1 Analisa Grafik

Pada grafik Koefisien Refleksi (K_r) terhadap *wave steepness* (H/gT^2), lebar relatif (B/gT^2), dan tinggi gelombang tercatat (H_i) dapat dijelaskan bahwa semakin besar *wave steepness* maka semakin besar juga koefisien refleksi gelombang. Atau dapat dikatakan bahwa hubungan antara koefisien refleksi dan *wave steepness* adalah berbanding lurus, semakin besar lebar relatif maka semakin besar koefisien refleksi gelombang, dan semakin kecil tinggi gelombang K_r maka semakin besar nilai koefisien refleksi. Hal tersebut diakibatkan karena *wave steepness* kecuraman gelombang yang merupakan rasio dari tinggi gelombang dan panjang gelombang sehingga semakin curam gelombang jadi dapat diasumsikan semakin tinggi amplitudo yang terbentuk. Sedangkan lebar relatif karena gelombang yang jatuh dipengaruhi oleh panjang struktur. Gelombang yang melewati struktur pada konfigurasi A4 akan mengenai permukaan struktur lebih besar nilai B/gT^2 dari perbandingan struktur yang lebih pendek jaraknya yaitu konfigurasi A1. Sedangkan sekumpulan titik diantara garis seharusnya berada dekat pada garis, semakin tidak linear garis dari titik maka makin kecil R^2 . Hal tersebut dengan koefisien determinasi, adalah mengukur keselarasan data terhadap grafik (goodness of fit) dari persamaan regresi; yaitu memberikan proporsi atau persentase variasi total dalam variabel terikat yang dijelaskan oleh variabel bebas. Nilai R^2 terletak antara 0 – 1, dan kecocokan model dikatakan lebih baik kalau R^2 semakin mendekati 1.

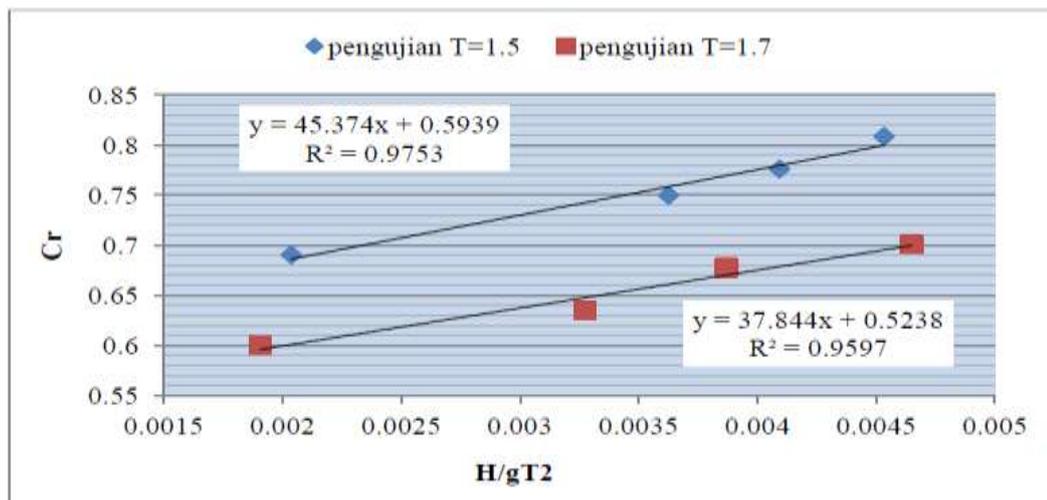
4.1.2.2 Analisa Perbandingan Grafik K_r Terhadap Wave Steepness

Pada Gambar 4.6 akan saya bandingkan dengan konfigurasi A4 yang telah diperoleh. Dari hasil Koefisien yang saya bandingkan dari penelitian sebelumnya memiliki K_r sebesar 0,91031 sedangkan saya memiliki K_r lebih besar senilai 0,9176. Maka dari grafik tersebut ketika K_r lebih besar, redaman gelombang yang lebih baik yaitu di Konfigurasi A4. Perbandingan grafik juga menunjukkan model fisik yang digunakan untuk menentukan efisiensi lebih baik model fisik tersebut karena suatu sifat penting R^2 adalah nilainya merupakan fungsi yang tidak pernah menurun dari banyaknya variabel bebas yang ada dalam model. Oleh

karenanya, untuk membandingkan dua R^2 dari dua model, orang harus memperhitungkan banyaknya variabel bebas yang ada dalam model. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan “adjusted R square”.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Perbandingan Konfigurasi A4 (a), Penelitian Rindy 2017 (b)

Disamping itu pada gambar 4.6 memiliki plot area yg berbeda (a dan b) sehingga tidak memungkinkan untuk membandingkan nilai, oleh karena itu metode yg digunakan untuk membandingkan adalah tren dari garis linear tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Koefisien refleksi terbesar terdapat pada konfigurasi keempat (A4) ketika susunan berjumlah 8 dan jarak lebar puncak 1,09 M dengan koefisien refleksi 0,9176. Sedangkan koefisien refleksi terkecil terdapat pada konfigurasi satu (A1) dengan susunan berjumlah 1 dan jarak lebar puncak 0,25 M dengan koefisien refleksi 0,1120.
2. Perbandingan penelitian di Konfigurasi A4 dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai koefisien refleksi pada pengujian (A4) lebih besar ataupun lebih baik dari pada nilai koefisien refleksi penelitian sebelumnya.

5.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya yang serupa adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian refleksi gelombang pada *Artificial Hexareef* dengan memperbanyak variasi periode dan tinggi gelombang, menambahkan susunan model struktur, kedalaman air serta jenis spektrum gelombang lain selain Jonswap.
2. Pada struktur penelitian harus melakukan penetapan (fix) agar struktur tersebut tidak bergeser dari tempat yg telah di tentukan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abrori, Zuhron., Armono, H.D., Zikra, Muhammad. 2009. **“Pengaruh Freeboard Terumbu Karang Buatan Bentuk Silinder Berongga Sebagai Breakwater Terbenam Dalam Mereduksi Gelombang”**. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah, 2009.
- Adrianto, P. (1988), **Penelitian Beach Reflection Coefficient dari Wave Damper**, Laboratorium Hidrodinamika, FTK-ITS. Laporan Penelitian Puslit, ITS.
- Armono, H.D., (2004). **“Wave Transmission over Hemispherical Shape Artificial Reefs”**. Marine Technology Conference (MARTEC), Johor Baru, Malaysia.
- Bhatt. 1978. **Oceanography: Exploring the Planet Ocean**. New York : D. Van Nostrand Company.
- Bleck, M. dan Oumeraci, H. (2002), **”Hydraulic Performance of Artificial Reefs : Global and Local Description”**, Proceeding of the 28th International Conference Coastal Engineering 2002, eds. Smith J.M., Cardif Wales, 2002, pp 1778-1790.
- CERC. 1984. **“Shore Protection Manual”**. Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington.
- De Vries, M, 1977. **Scale Model in Hydraulics Engineering**, Delft.
- Dean R.G., Dalrymple R.A., 1991, **Water Waves Mechanics For Engineers and Scientists**, World Scientific, Singapore.
- Garrison, T. 1993. **Oceanography, an Invitation to Marine Science**. Wadsworth Inc, California.
- Goda, Yoshimi. 1985. **“Random Seas and Design of Maritim Structure”**. Japan: University of Tokyo Press.
- Gross, M., Grant., 1993. **Oceanography a View of Earth. 6th Edition**. Prentice-Hall. New Jersey. 191 pp.
- Hughes, S.A. 1993. **“Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal”**
- Lubis. A.M., Hashima, A. Dan Sato, T., 2013. **Analysis of afterslip distribution following the 2007 September Southern Sumatera earthquake using poroelastic and viscoelastic media**. Geophys. J. Int., 192,18-37.
- Nontji, A., 1987. **Laut Nusantara. Penerbit Djambatan**. Jakarta.
- OCDI. (2002). **Technical Standards And Commentaries For Port And Harbour Facilities In Japan**. Tokyo: Daikousha Printing Co., Ltd.

- Sharp, J. J., 1981. **Hydraulic Modelling, Butterworths, London** – England, 1981.
- Supriharyono. 2000. “**Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis.**” Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Sverdrup, H. V. and W. H. Munk, 1946, **Empirical and theoretical relations between wind, sea and swell, Trans. Am. Geophys. Union, 27, 823–827**
- Takahashi, Shigeo. 1996. **Design of Vertical Breakwaters, Revised in July, 2002** Version 2.1. Port and Airport Research Institute, Japan.
- Triadmodjo, Bambang. 1999. “**Teknik Pantai**”. Beta Offset. Yogyakarta.
- PIANC. 1994. “**Floatings Breakwater A Practical Guide for Design and Construction**”, Report of Working Group No.13 of The Permanent Technical Comitte II, Brussel, Belgium
- Pond, S., and Pickard, G., 1983, **Introductory Dynamical Oceanography Second Edition**, Pergamon Press, Great Britain.
- Putra, A., S, Husrin dan J. Kelvin. 2015. **Identifikasi Perubahan Luasan Greenbelt di Kabupaten Pangandaran – Jawa Barat Menggunakan Citra Landsat. J. Akuatika 2 (1). 39 – 67.**
- Priest, S.D. and J.A. Hudson, 1976, **Discontinuity Spacings in rock**, Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech.
- Reynolds, D. Tom. 1982. “**Unit Operation and Processes in Environmental Engineering**”, Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California.
- Rindy, G. Nur Sawitri. 2017. “**Pengaruh Kemiringan Batu Pelindung BPPT-LOCK Terhadap Koefisien Refleksi Gelombang Pada Seawall**”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Yuwono, Nur. 1982. **Teknik Pantai**. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Yuwono.Nur, **Teknik Pantai Volume 1**, Yogyakarta, Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM, 1986
- Yuwono, Nur. 1992. **Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume II**. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.

LAMPIRAN 1 DOKUMENTASI



Proses pembuatan cetakan struktur *Artificial Reef* dengan bentuk *Hexagonal* yang dimana setiap sisinya dibuat berlubang sejumlah enam.



Proses cetakan struktur yang dimana perbandingan campuran semen dan pasir halus lumajang sebesar 1:3 serta lem rajawali sebanyak $\frac{1}{4}$ sendok. Pengeringan dilakukan 3 jam untuk melepaskan cetakannya setelah itu di lakukan pengeringan langsung di terik matahari selama 4 jam. Jumlah struktur tercetak sebanyak 21 buah.



Proses pengaturan letak probe berjumlah 3 buah.



Proses pembuatan slope dan platform bersama tim penelitian Tugas Akhir *Artificial Hexareef*.





Proses running pada pembangkit gelombang (*flume tank*) yang dimana pada dinding flume di buat grid pengukuran agar mengetahui tinggi gelombang dan panjang gelombang dengan adanya struktur maupun tidak adanya struktur.

LAMPIRAN 2 INPUT DATA PEMBACAAN WAVE PROBE

DNtech	WTM-903		DNtech	WTM-903	
Water Tide Meter			Water Tide Meter		
Interface	9.03E+09		Interface	9.03E+09	
Time	Ch 1	Ch 3	Time	Ch 1	Ch 3
(S)	(mm)	(mm)	(S)	(mm)	(mm)
0.02	-2	0	0.82	-3	0
0.04	2	-1	0.84	-4	0
0.06	1	-1	0.86	-4	0
0.08	2	-1	0.88	-3	2
0.1	3	0	0.9	-4	0
0.12	4	0	0.94	-2	0
0.14	2	0	0.96	-2	2
0.16	0	-2	0.98	0	1
0.18	2	0	1	0	5
0.2	1	0	1.02	1	2
0.22	-2	0	1.04	2	-1
0.24	2	2	1.06	2	0
0.26	2	0	1.08	5	1
0.28	1	0	1.1	3	0
0.3	1	0	1.12	1	0
0.32	0	0	1.14	3	0
0.34	1	1	1.16	2	4
0.36	1	-1	1.18	4	0
0.38	0	0	1.2	4	0
0.4	0	0	1.22	6	0

```

function L=findL(h,T,g)
% syntax by call: L=findL(h,T,g)
%                or L=findL(h,T)    (g=9.82 is assumed)
%
% The wave length L is calculated by iteration
% First guess on L is L0 (deep water wave length)
% Input:  h   Water depth [m]
%         T   Period [secs]
%         g   Garavitational acc. [m/s2]
% Output: L   Wave length

if nargin==2
    g=9.82;
end

% First guess:
L0=g*T*T/2/pi;

L=g*T*T/2/pi*tanh(2*pi*h/L0);

while abs(L0-L)>0.001*L
    L0=L;
    L=g*T*T/2/pi*tanh(2*pi*h/L0);
end

```

LAMPIRAN 3 TABEL PERHITUNGAN KOEFISIEN REFLEKSI

KONFIGURASI	Input		Tercatat				
	H (cm)	T (s)	Hi (cm)	T (s)	ai	ar	Kr
A4	0.02	1.1	0.0567	0.6000	0.0268	0.0056	0.6787
	0.03		0.0574	0.7495	0.0390	0.0098	0.6903
	0.04		0.0587	0.9417	0.0580	0.0335	0.6963
	0.05		0.0786	0.9264	0.0657	0.0389	0.7053
	0.02	1.2	0.0891	0.8554	0.0284	0.0263	0.7037
	0.03		0.1159	0.9278	0.0446	0.0263	0.7224
	0.04		0.1175	0.9971	0.0588	0.0350	0.7277
	0.05		0.1221	0.9184	0.0655	0.0395	0.7537
	0.06		0.1302	0.9773	0.0768	0.0445	0.7785
	0.07		0.1309	1.0157	0.0815	0.0507	0.8175
	0.04	1.3	0.1313	0.9916	0.0611	0.0587	0.8896
	0.05		0.1458	1.0554	0.0729	0.0523	0.8898
	0.02	1.4	0.1495	1.0442	0.0287	0.0197	0.8965
	0.04		0.1536	1.0044	0.0601	0.0364	0.9079
	0.05		0.1629	1.1506	0.0748	0.0489	0.9176

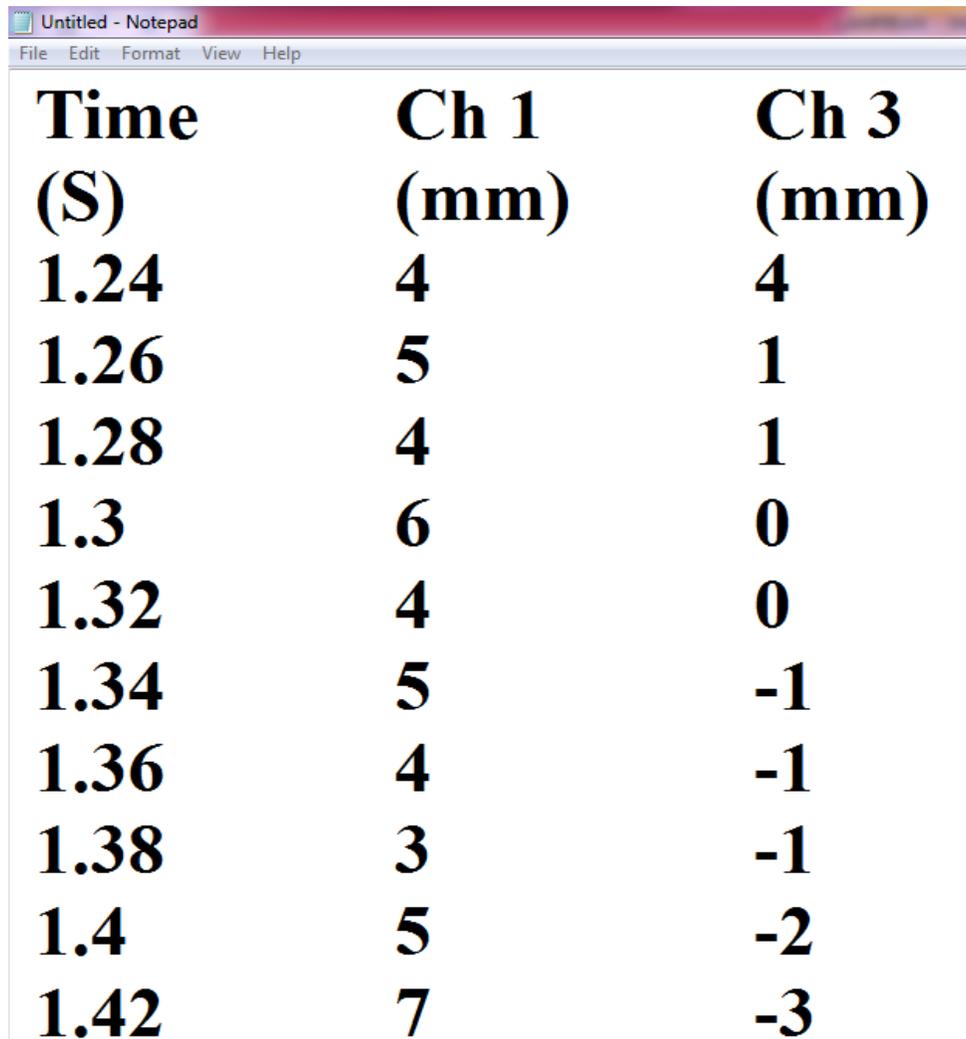
Konfigurasi	Nilai Kr terbesar	Nilai Kr terkecil
A1	0.463706	0.11203
A2	0.772785	0.4967
A3	0.78776	0.51073
A4	0.9176	0.678748

LAMPIRAN 4 LANGKAH PENGOLAHAN DATA

1. Setelah melakukan pengujian dengan gelombang irregular pada struktur *hexareef* akan didapatkan hasil pembacaan pada *wave tide meter software*. Dimana, hasilnya akan berisi amplitudo yang disimpan dalam format .csv yang bisa dibuka dengan Ms. Excel. Seperti tampilan dibawah ini :

DNtech	WTM-903	
Water Tide Meter		
Interface	9.03E+09	
Time	Ch 1	Ch 3
(S)	(mm)	(mm)
1.24	4	4
1.26	5	1
1.28	4	1
1.3	6	0
1.32	4	0
1.34	5	-1
1.36	4	-1
1.38	3	-1
1.4	5	-2
1.42	7	-3
1.44	4	-3
1.46	4	-4
1.48	6	-6
1.5	4	-6
1.52	2	-6
1.54	0	-4
1.56	2	-4
1.58	0	-7
1.6	-1	-7
1.62	-2	-6

2. Mengubah file dengan format .csv kedalam aplikasi notepad, koversi ini dilakukan karena matlab menggunakan format konten notepad dalam membaca data hasil pengujian. Seperti tampilan dibawah :



The image shows a screenshot of a Notepad window titled "Untitled - Notepad". The window contains a table with three columns: "Time (S)", "Ch 1 (mm)", and "Ch 3 (mm)". The data is as follows:

Time (S)	Ch 1 (mm)	Ch 3 (mm)
1.24	4	4
1.26	5	1
1.28	4	1
1.3	6	0
1.32	4	0
1.34	5	-1
1.36	4	-1
1.38	3	-1
1.4	5	-2
1.42	7	-3

3. Data yang sudah dipindah ke aplikasi notepad harus di save satu folder dengan matlab editor yang berisikan persamaan Goda dan Suzuki. Setelah itu buka file matlab editor dengan software matlab, lalu dalam software matlab akan muncul *coding* seperti dibawah ini:

- Untuk mencari nilai koefisien refleksi

Input parameter yang digunakan dalam pengujian

Input file dalam bentuk notepad

```

1 % Solution to exercise 11 in coastal hydraulics
2 %
3
4 clear all;
5 load -ascii refleksi.txt % data are read into the matrix 'refleksi'
6
7
8
9
10 delta=1.60; % distance between gauges
11 h=0.3; % water depth
12 T=0.6618; % wave period
13 L=findL(h,T); % wave length
14 k=2*pi/L; % wave number
15
16
17
18 etal=refleksi(1:9000,2); % the first 9000 values from column 2 are put into 'etal'
19 etal=refleksi(1:9000,3); % the first 9000 values from column 3 are put into 'etal2'
20 n=length(etal);
21
22
23 delta=refleksi(2,1)-refleksi(1,1); % time between measurements
24 delta_f=1./delta; % basic frequency in Fourier Series

```

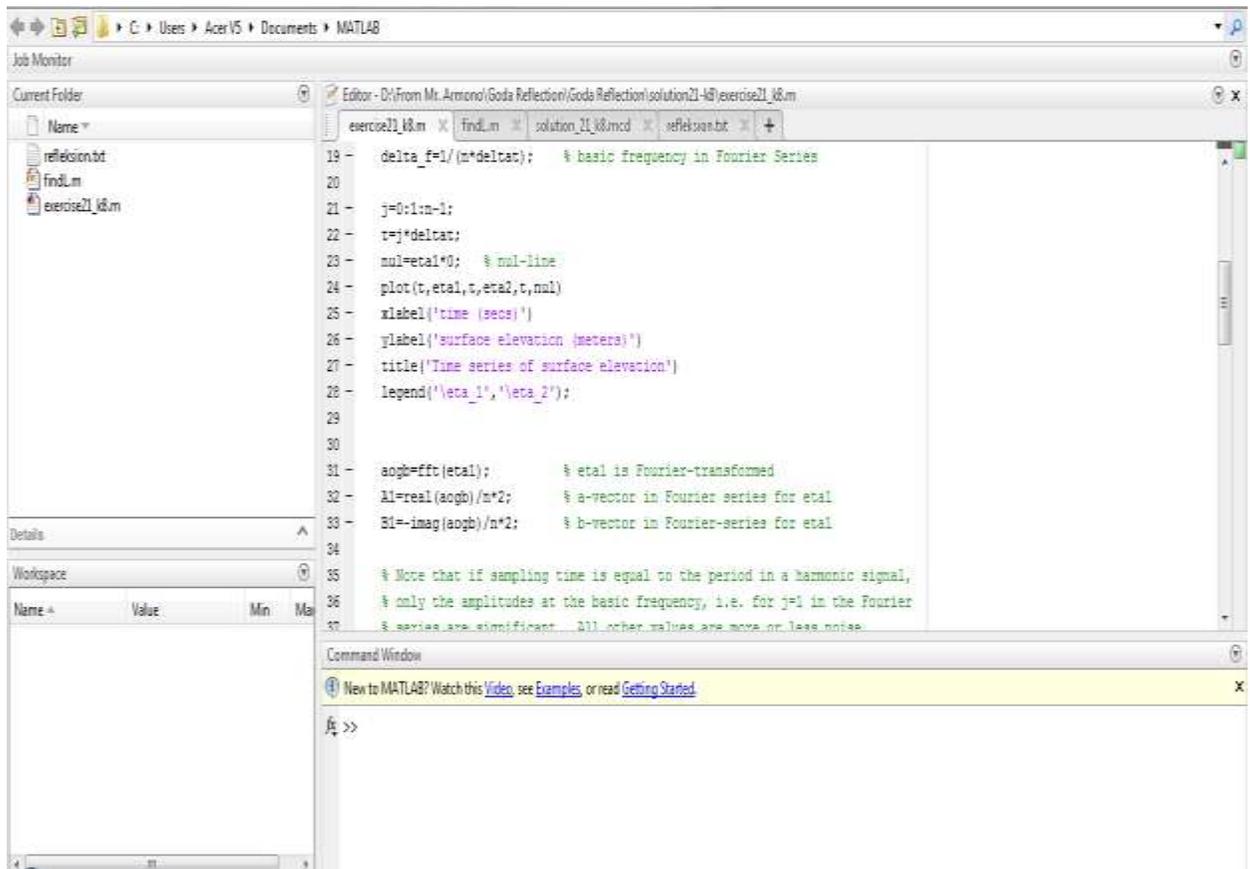
Persamaan Goda

```

73 K1=A2-A1*cos(k*delta)-B1*sin(k*delta);
74 K2=B2+A1*sin(k*delta)-B1*cos(k*delta);
75
76 a1=(K1.^2+K2.^2).^0.5/2/abs(sin(k*delta));
77
78 K3=A2-A1*cos(k*delta)+B1*sin(k*delta);
79 K4=B2-A1*sin(k*delta)-B1*cos(k*delta);
80
81 a2=(K3.^2+K4.^2).^0.5/2/abs(sin(k*delta));
82
83 Cr=a1/a2;
84
85 % even though all values in the Cr-vector are different from zero, it is only
86 % the values corresponding to j=1 in the Fourier series that has a physical meaning
87 % All other values are found by dividing noise by noise because
88 % etal og etal are not perfect sine-functions (the values are taken from
89 % numerical model)
90
91 disp(['The Reflection Coefficient is ' num2str(Cr(1))])

```

- Untuk melihat hasil separasi plotting grafik gelombang η_1 (*incidents*) dan η_2 (*reflections*)



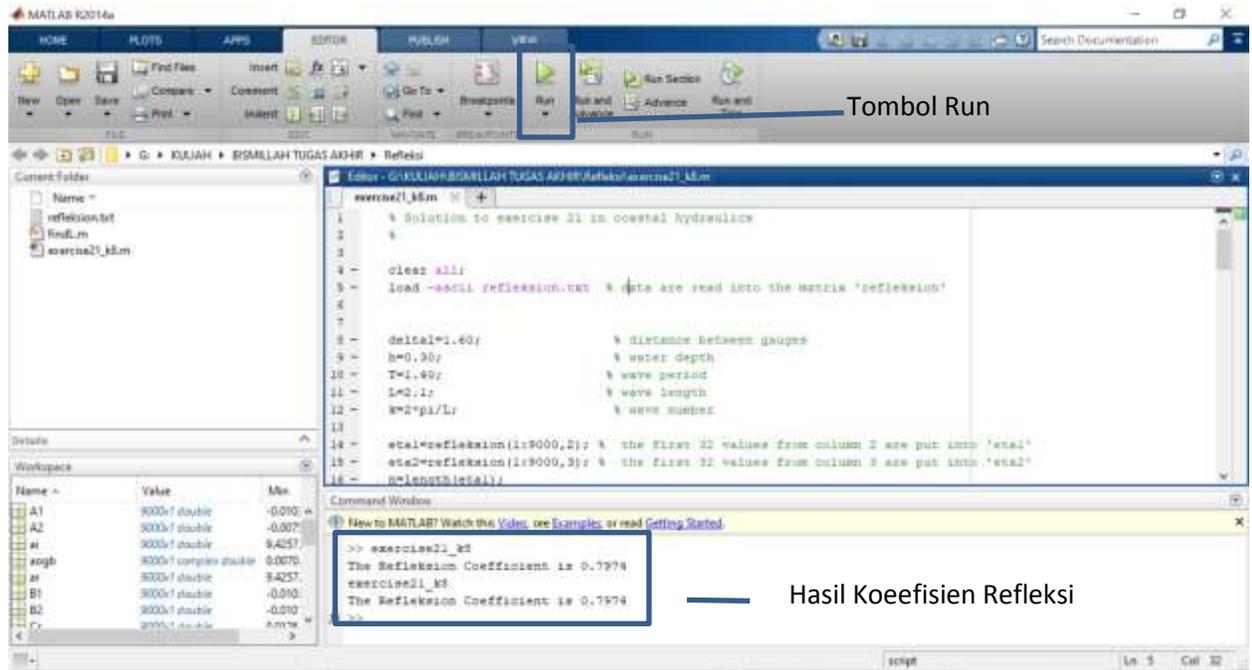
The screenshot shows the MATLAB IDE interface. The main editor window displays a script with the following code:

```
19 - delta_f=1/(n*deltat); % basic frequency in Fourier Series
20
21 - j=0:1:n-1;
22 - t=j*deltat;
23 - m1=etal*0; % m1-line
24 - plot(t,etal,t,eta2,t,m1)
25 - xlabel('time (secs)')
26 - ylabel('surface elevation (meters)')
27 - title('Time series of surface elevation')
28 - legend('eta_1','eta_2');
29
30
31 - aogb=fft(etal); % etal is Fourier-transformed
32 - A1=real(aogb)/n*2; % a-vector in Fourier series for etal
33 - B1=-imag(aogb)/n*2; % b-vector in Fourier-series for etal
34
35 % Note that if sampling time is equal to the period in a harmonic signal,
36 % only the amplitudes at the basic frequency, i.e. for j=1 in the Fourier
37 % series are significant. All other values are more or less noise.
```

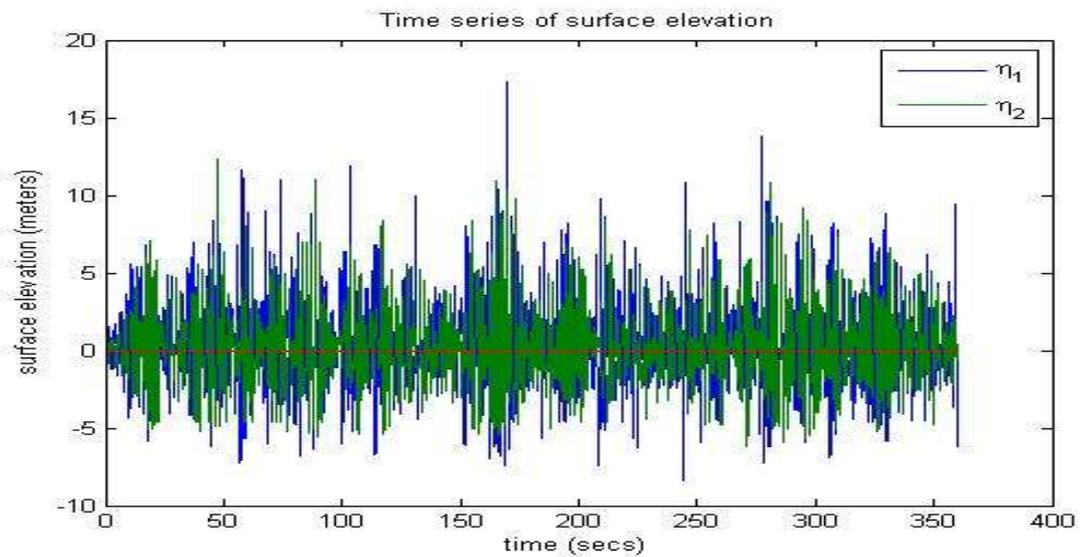
The Command Window at the bottom shows a message: "New to MATLAB? Watch this [Video](#), see [Examples](#), or read [Getting Started](#)."

4. Klik tombol *run* untuk mengolah data, setelah itu muncul output berupa nilai koefisien refleksi dan plotting separasi gelombang datang dan gelombang refleksi. *Output* yang dimaksud adalah sebagai berikut :

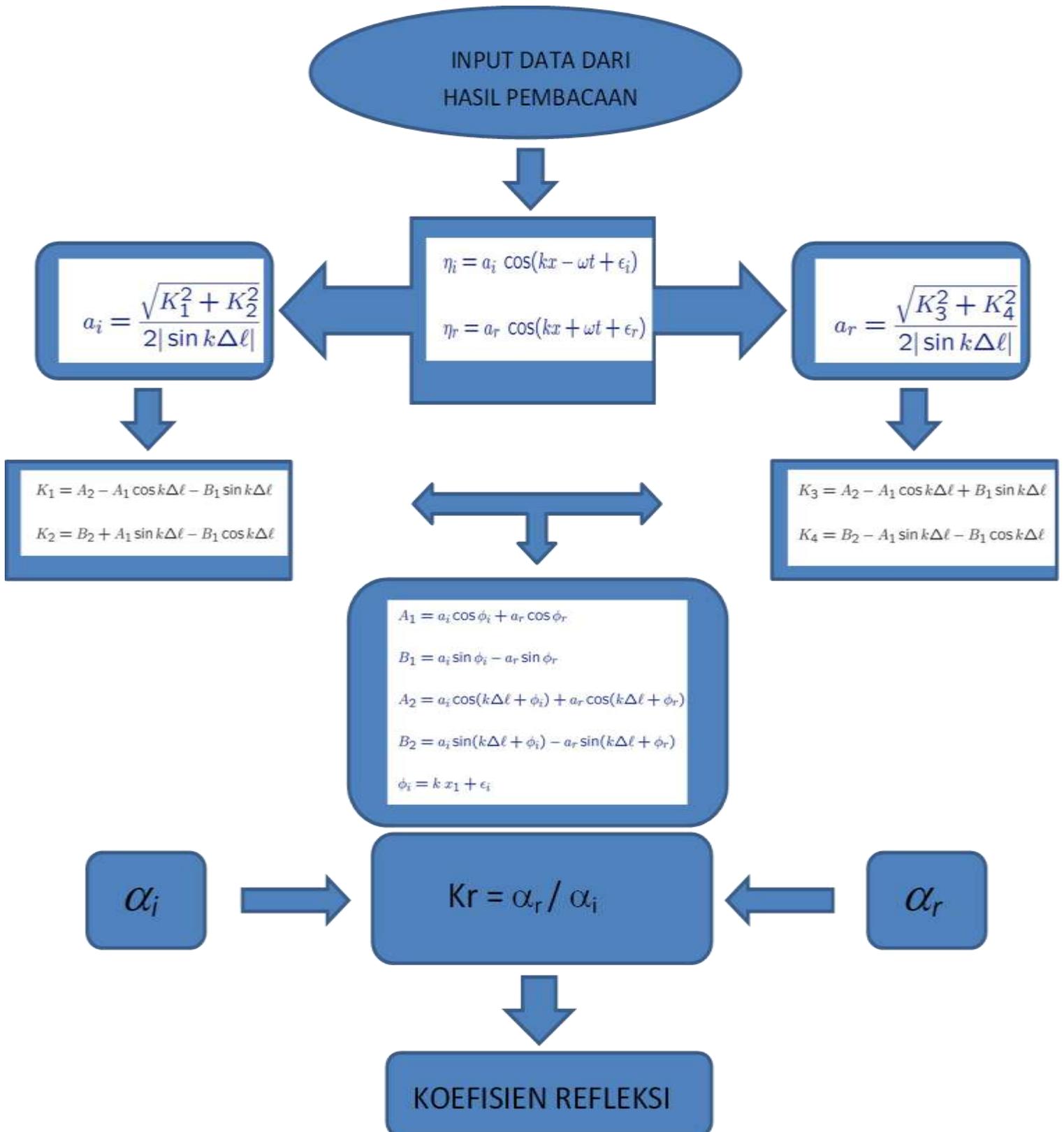
- Nilai koefisien



- Untuk hasil plotting separasi gelombang datang dan refleksi



LAMPIRAN 5 KALKULASI PERSAMAAN GODA UNTUK
MENCARI KOEFISIEN REFLEKSI



BIODATA PENULIS



Bryan Holy Hariandja dilahirkan di Kota Medan pada tanggal 17 Agustus 1993, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang pendidikan dasar di SD Budi Murni 2, Medan pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Santo Thomas 1

Medan, pada tahun 2006-2009 dan SMA Santo Thomas 1, Medan pada tahun 2009-2012. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN-Undangan) dengan Nomor Registrasi Peserta 4312100001. Pada tahun 2017 penulis mendapat kesempatan melaksanakan Kerja Praktik di Balai Penelitian dan Pengembangan Teknik Pantai yang berlokasi di Kecamatan Gerokgak, Buleleng, Bali. Penulis juga berkontribusi di dalam organisasi ekstra kampus yaitu Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia (GMKI) Cabang Surabaya yang dimana menjabat sebagai Departemen Bidang Aksi dan Pelayanan pada tahun 2013-2014 serta Ketua Bidang Aksi dan Pelayanan selama 2 periode pada tahun 2014-2015 / 2015-2016.

Kontak Penulis :

Email : bryanholyhariandja@gmail.com

Telepon : +62 81361388693