



Tesis - MO 2528

**PERBANDINGAN PERFORMA BENTUK TERUMBU
BUATAN DALAM MENGURANGI TINGGI GELOMBANG**

**MUHAMMAD ALDHIANSYAH RIFQI FAUZI
NRP 4115205002**

DOSEN PEMBIMBING

**R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D
Drs., Mahmud mustain, M.Sc., Ph.D.**

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK DAN MANAJEMEN PANTAI

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



Tesis - MO 2528

PERBANDINGAN PERFORMA BENTUK TERUMBU BUATAN DALAM MENGURANGI TINGGI GELOMBANG

MUHAMMAD ALDHIANSYAH RIFQI FAUZI
NRP 4115205002

DOSEN PEMBIMBING

R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D
Drs., Mahmud mustain, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK DAN MANAJEMEN PANTAI
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

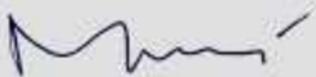
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Muhammad Aldhiansyah Rifqi Fauzi
NRP 4115205002

Tanggal Ujian : 27 Juli 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

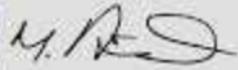

1. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D (Pembimbing I)
NIP 19680810 199512 1 001


2. Drs., Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)
NIP 19610805 198910 1 001


3. Suntoyo ST., M.Eng., Ph.D (Penguji I)
NIP 19710723 199512 1 001


4. Dr. Eng. Muhammad Zikra, ST., M.Sc. (Penguji II)
NIP 19770225 200212 1 002




Prof. Dr. Danis M. Rosyid, Ph.D.
NIP 19690705 198803 1 003

PERBANDINGAN PERFORMA BENTUK TERUMBU BUATAN DALAM MENGURANGI TINGGI GELOMBANG

Nama Mahasiswa : Muhammad Aldhiansyah Rifqi Fauzi
NRP : 4115205002
Pembimbing : 1. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.
2. Drs., Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Hampir semua nelayan pada jaman sekarang ini menggunakan metode yang tidak pantas untuk menjaga lingkungan sekitarnya. Terbatasnya perlindungan lingkungan dan pencegahan polusi menyebabkan lingkungan pesisir menjadi tidak bisa ditinggali lagi. Ketersediaan stok ikan di laut tidak lagi cukup untuk memenuhi aktivitas perikanan dan permintaan konsumsi. Hal ini berdasarkan studi statistika pada tahun 1950-2006 yang dilakukan oleh Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2012). Stabilitas artificial reef adalah hal penting yang dapat mencegah kegagalan fungsi reef terhadap beban gelombang dan arus. Bentuk terumbu karang terus mengalami modifikasi guna mendapatkan kesesuaian dan efisiensinya sebagai pemecah gelombang, Performa artificial reef dalam perlindungan struktur ini secara umum dievaluasi dari persentase pengurangan gelombang laut dengan struktur. Pada penelitian ini terdapat 5 macam jenis artificial reef yang diuji dalam permodelan numerik, antara lain *hexareef*, *bootle reef*, *star reef*, *seadome* dan *cube reef*. Kelima jenis artificial reef tersebut diuji dengan kondisi nilai kemiringan gelombang yang berkisar antara 0,0064-0,0112. Penelitian ini menghasilkan *star reef* merupakan terumbu buatan dengan kemampuan menurunkan gelombang paling baik.

Kata kunci : *artificial reef*, *submerged breakwater*, koefisien transmisi, *Flow-3D*

COMPARATION STUDY OF ARTIFICIAL REEF TYPE PERFORMANCE TO REDUCE WAVE HEIGHT

By : Muhammad Aldhiansyah Rifqi Fauzi
Student Identity Number : 4115205002
Pembimbing : 1. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.
2. Drs., Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Most fishermen used inappropriate methods to sustain their livelihoods, severely destroying fishery resources. Furthermore, a lack of environmental protection and pollution prevention lead the best coastal and estuarial nurseries to become uninhabitable. Several studies have pointed out that fish stocks in coastal waters could be no longer sufficient for the increasing fishing activity and consumption requests. Based on the 1950–2006 global statistics conducted by Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2012). Artificial reefs are most often constructed to increase the efficiency of fishery resource harvest (Seaman and Sprague, 1991). In engineering practice, the stability of artificial reefs is an important issue in preventing the failure of reef units due to wave and current actions. Artificial reef model keep looking for modification to get compatibility and efficiency as submerged breakwater because the feasibility of artificial reefs for coastal protection is typically evaluated based on the percentage of surface wave height reduction. Wave transformation analysis in artificial reef do with consideration from some non dimensional variables. Wave transmission process defined with ratio between transmission wave height and incoming wave height. This research compares 5 type of Artificial reef in numeric model. There are hexareef, bottle reef, star reef, seadome and cube reef. They are tested with wave steepness which has value between 0,0064 and 0,0112.

Keywords : *artificial reef, submerged breakwater, transmsion coefficient, flow-3d*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala syukur penulis persembahkan kepada Allah SWT karena rahmat, izin dan hidayah-nya, thesis dengan judul : **PERBANDINGAN PERFORMA BENTUK TERUMBU BUATAN DALAM MENGURANGI TINGGI GELOMBANG** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Semoga thesis ini dapat bermanfaat bagi kemajuan riset tentang kondisi gelombang di Indonesia dan dapat dikembangkan lagi oleh penelitian-penelitian selanjutnya yang melakukan penelitian dengan bidang yang sama. Juga penulis berharap data yang telah tersusun dalam tesis ini dapat digunakan untuk menunjang penelitian-penelitian yang membutuhkan data tinggi gelombang dan terumbu buatan di Indonesia.

Penulis juga mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang membantu terselesaikannya tesis ini. Penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat diperlukan agar tulisan ini dapat diperbaiki kedepannya.

Surabaya, Juli 2017

M. Aldhiansyah R.F.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu tesis ini secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah penulis, Djoko Pratmodjo, ibu penulis, Nuniek Dwi Harijati dan dua kakak penulis, Aniendhita dan Anggara yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan motivasi baik secara material maupun moral kepada penulis.
2. Pembimbing tesis penulis, Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D dan Drs., Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D. yang sudah meluangkan waktu untuk membimbing dengan penuh kesabaran, memberi masukan dan saran sehingga tesis ini dapat diselesaikan tepat waktu.
3. Teman seperjuangan tesis bidang teknik dan manajemen pantai, Dendy Satrio, Andi Mega, Nurul Fatimah, Haris Fattah, Devi Gusman, Thesyandra, Reza, Winda Amalia, Yani Nurita dan teman teman lain yang memberikan semangat serta gagasan yang dapat membantu saya menyelesaikan thesis ini tepat waktu
4. Layanan Pelanggan Program Flow 3d yang telah memberikan bantuan dalam permodelan gelombang dalam tesis ini
5. Seluruh dosen dan staf karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS. Khususnya yang mengurus bagian program pascasarjana

Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.

Surabaya, Juli 2017

M. Aldhiansyah R.F.

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Abstract	iv
Kata Pengantar	v
Ucapan Terima Kasih	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel	x
Daftar Lampiran.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	8
2.2.1 Gelombang.....	8
2.2.2 Teori Gelombang stokes	8
2.2.3 Transmisi Gelombang.....	10
2.2.4 Metode Volume of Fluid.....	11
2.2.5 Persamaan Umum Kontinuitas Massa	13
2.2.6 Validasi dan Verifikasi	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1. Metode Penelitian	18
3.2. Alur Penelitian	18
3.2.1 Studi literature	18
3.2.2 Validasi kondisi batas.....	18
3.2.3 Validasi dengan hasil uji fisik	18

3.2.4 Uji transmisi gelombang pada <i>artificial reef</i>	18
3.2.5 Analisa hasil	18
3.3 Desain Penelitian	19
3.4. Pembuatan model 3 dimensi.....	19
3.5. Persiapan model numerik dengan flow 3D	24
3.6. Validasi.....	26
BAB 4 HASIL DAN ANALISA	29
4.1. Hasil Permodelan Numerik	29
4.2. Analisa Hasil Permodelan Numerik Terumbu Buatan	32
4.3 Ringkasan nilai performa terumbu buatan	42
BAB 5 KESIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA	xii
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Orbit partikel air pada gelombang stokes.....	10
Gambar 2.2 Tipikal sel permukaan terbuka	12
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir	17
Gambar 3.2 : <i>Hexareef</i> dalam bentuk CAD	20
Gambar 3.3 : <i>Star shaped reef</i> dalam bentuk CAD	21
Gambar 3.4 : <i>Bottle reef</i> dalam bentuk CAD	22
Gambar 3.5 : <i>Cube reef</i> dalam bentuk CAD	22
Gambar 3.6 : <i>Seadome reef</i> dalam bentuk CAD	23
Gambar 3.7 : Sketsa lingkungan penelitian dan posisi terumbu buatan	25
Gambar 3.8 : Kondisi batasan yang digunakan pada permodelan numerik.....	25
Gambar 4.1 : Gelombang yang melewati <i>cube reef</i>	29
Gambar 4.2 : Perubahan kecepatan partikel di dalam <i>seadome</i>	31
Gambar 4.3 : Nilai kecepatan partikel pada <i>hexareef</i>	33
Gambar 4.4 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada <i>hexareef</i>	33
Gambar 4.5 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada <i>Cube reef</i>	35
Gambar 4.6 : Nilai kecepatan partikel pada <i>star reef</i>	37
Gambar 4.7 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada <i>star reef</i>	37
Gambar 4.8 : Nilai kecepatan partikel pada <i>bottle reef</i>	39
Gambar 4.9 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada <i>bottle reef</i>	39
Gambar 4.10 : Nilai kecepatan partikel pada <i>bottle reef</i>	40
Gambar 4.11 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada <i>bottle reef</i>	41
Gambar 4.12 : Grafik koefisien transmisi dari terumbu buatan.....	43
Gambar 4.13 : Grafik kecepatan rata-rata terumbu buatan di bagian luar	44
Gambar 4.14 : Grafik kecepatan rata-rata terumbu buatan di bagian dalam	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Ringkasan kode dan jenis simulasi numerik.....	20
Tabel 3.2 : Perhitungan teori stoke dan historis uji gelombang.....	26
Tabel 4.1 : Analisa fluida di sekitar terumbu buatan	34
Tabel 4.2 : Nilai performa <i>cube reef</i>	36
Tabel 4.3 : Nilai performa <i>bottle reef</i>	38
Tabel 4.4 : Nilai performa <i>star reef</i>	40
Tabel 4.5 : Nilai performa <i>seadome</i>	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : File Input Flow 3D

Lampiran B : Grafik Kecepatan Terumbu Buatan

Lampiran C : Grafik Gelombang Transmisi Terumbu Buatan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.Latar belakang

Hampir semua nelayan pada jaman sekarang ini menggunakan metode yang tidak pantas untuk mempertahankan mata pencaharian mereka, beberapa nelayan menghancurkan sumber daya alamnya sendiri. Lebih dari itu, terbatasnya perlindungan lingkungan dan pencegahan polusi menyebabkan lingkungan pesisir terbaik menjadi tidak bisa ditinggali oleh ikan, *moluska* dan *crustacean*. Pada saat ini keberlanjutan terhadap system perikanan sekarang sedang dipertanyakan apakah sumber daya alam kita over eksploitasi atau sangat tereksplorasi (Garcia and de Leiva Moreno, 2001). Beberapa studi menunjukkan bahwa ketersediaan stok ikan di laut tidak lagi cukup untuk memenuhi aktivitas perikanan dan permintaan konsumen. Hal ini berdasarkan studi statistika pada tahun 1950-2006 yang dilakukan oleh Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2012).

Dalam dunia keteknikan secara praktis, stabilitas *artificial reef* adalah hal penting yang dapat mencegah kegagalan fungsi *reef* terhadap beban gelombang dan arus. Stabilitas dari *reef* dan erosi sedimen di dasar *artificial reef* bergantung pada interaksi dari arus dan material dibawah *artificial reef*. Hasilnya, pola arus memainkan peranan penting untuk meningkatkan ikan dan menurunkan erosi pesisir. Lebih dari itu, aspek hidrodinamik merupakan isu penting untuk mempelajari pola aliran di sekitar *artificial reef* dan menciptakan kondisi optimal untuk ikan dan meningkatkan performa *artificial reef*.

Desain *artificial reef* sebagai *breakwater* yang ada di dunia sudah banyak dibuat oleh para peneliti. Mulai dari yang paling sederhana dan berbentuk kubus biasa hingga yang mempunyai bentuk kompleks seperti *hemispherical* ataupun *seadome*. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk menganalisa *artificial reef* dalam hal performanya dalam mengurangi ketinggian gelombang berdasarkan ukuran yang di ujikan secara proporsional.

1.2. Perumusan masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah ;

1. Bagaimana cara memodelkan *artificial reef* sebagai struktur terendam (*submerged structure*)?
2. Bagaimana pola aliran hidrodinamika yang ada di sekitar terumbu buatan?
3. Berapakah nilai koefisien transmisi dan intensitas turbulensi di sekitar terumbu buatan dalam fungsinya sebagai struktur terendam?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah;

1. Membuat model numerik dari *artificial reef* sebagai struktur terendam.
2. Mengetahui bentuk aliran fluida yang ada di sekitar *breakwater*.
3. Mengetahui performa masing-masing *artificial reef* dalam mengurangi gelombang.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai batasan yang jelas sehingga tujuan penelitian bisa terpenuhi, antara lain;

1. Penelitian dilakukan dengan kondisi kedalaman tertentu,
2. Pengujian dilakukan dengan tipe dan nilai gelombang yang sama,
3. Jenis tanah dasar laut dianggap solid,
4. Penelitian dilakukan dengan model numerik FLOW 3d,
5. Jenis gelombang yang digunakan sesuai dengan teori tipe gelombang,
6. Fluida yang digunakan *inkompresibel*, *viscous* dan fluida *newtonian*.
7. Stabilitas terumbu buatan diabaikan

1.5. Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan di dalam penyusunan tugas akhir yaitu;

Bab I. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang mengapa perlunya dilakukan penelitian ini yang dibahas dalam latar belakang dan dibahas pula mengenai perumusan masalah, tujuan serta manfaat dilakukannya penelitian ini. Batasan masalah juga di bahas

dalam bab ini supaya pembahasan masalahnya tidak terlalu luas. Selain itu untuk memudahkan pemahaman tentang laporan dari penelitian ini, maka akan dijelaskan pula sistematika dari penyusunan laporan.

Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini menjelaskan dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Bagian ini berisi dasar teori yang digunakan sebagai landasan penyelesaian tugas akhir ini dan juga berisikan rumus-rumus serta kode yang digunakan.

Bab III. Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Selain itu bab ini juga menjelaskan tentang persiapan permodelan numerik dan lingkungan yang dibutuhkan agar simulasi numerik ini memenuhi kaidah penelitian serta mendapat hasil yang dibutuhkan.

Bab IV. Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang semua hasil analisa dari penelitian ini. Bab ini juga membahas tentang hasil pengolahan data yang nantinya akan menjawab tujuan dilakukannya penelitian ini.

Bab V. Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi semua jawaban dari permasalahan yang ada dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian pustaka

Artificial reef seringkali dibangun untuk meningkatkan efisiensi dari panen sumberdaya perikanan (Seaman and Sprague, 1991). Setelah itu, banyak Negara maritim di dunia ini yang mendirikan organisasi yang berdedikasi dan berinvestasi dalam dana signifikan untuk penelitian dan pengembangan dari *artificial reef*. Organisasi tersebut secara sistematis mengimplementasikan proyek keteknikan untuk perikanan laut terbarukan. Untuk mendukung efektivitas pencegahan penolakan dari nelayan dan menambah lingkungan bentik, beberapa *artificial reef* dari berbagai jenis dipasang untuk meningkatkan sumber daya lingkungan dari laut dengan menyediakan habitat dan tempat berkembang biak untuk ikan. Budidaya perikanan laut dan pencegahan *trawler* dari lingkungan laut adalah proteksi jangka panjang dari perlindungan sumberdaya perikanan ini (Terashima, 2006).

European Artificial Reef Research (EARRN) mendefinisikan *artificial reef* sebagai struktur terendam yang terletak di dasar laut atau *seabed* yang berfungsi untuk meniru karakteristik dari terumbu karang alami. Kegunaan mereka sebagai alat pada manajemen pesisir yang mempunyai banyak fungsi seperti contohnya di Negara Jepang yang menggunakannya untuk lahan dan produksi perikanan, wisata selam di Amerika dan pencegahan *trawling* di Eropa.

Dalam aturan penampilan fisik dan interaksi dengan gelombang dan hidrodinamika, submerged *breakwater* hampir sama seperti *artificial reef* yang pada dasarnya digunakan untuk peningkatan lingkungan ekologis (Duedall and Champ, 1991). Beberapa *artificial reef* juga didesain sebagai proteksi pesisir yang berada di bawah permukaan laut (Dalrymple et al., 1991a; Ranasinghe et al., 2006.). *Reef ball* tersedia di bentuk dan ukuran yang berbeda (Sherman and Gilliam, 2002) adalah suatu desain dari perlindungan struktur. Salah satu kelebihan utama *artificial reef* dibandingkan dengan submerged *breakwater* adalah multi fungsi dan bisa didapat

dengan biaya yang lebih murah serta ramah lingkungan dalam proses pembuatannya (Harris, 1995; Buccino et al., 2007).

Performa *artificial reef* dalam perlindungan struktur ini secara umum dievaluasi dari persentase pengurangan gelombang laut dengan struktur yang disusun parallel (Shirlal et al., 2006; Shirlal and Rao, 2007). Armono and Hall (2002) meneliti kapabilitas susunan *hemispherical shaped reef balls* menggunakan model fisik dan mengumumkan penurunan ketinggian gelombang mencapai 70% dengan bergantung pada kedalaman terendamnya, susunan dan ukuran *reef*. Ward (2011) melakukan beberapa percobaan dengan mengoptimasikan desain *reef ball* dan konfigurasi. Namun menghasilkan pengurangan gelombang maksimum hanya mencapai 50% yang diambil dari Buccino et al. (2013). Meskipun peningkatan lebar pantai bergantung pada banyak hal dan tidak pada reduksi gelombang semata.

Dari segi fisik dan teknik, untuk meningkatkan kesuburan perairan perlu desain model terumbu buatan yang dapat memenuhi kebutuhan pola aliran yang sesuai, sehingga manfaat terumbu buatan sebagai tempat pemijahan, pertumbuhan dan perkembang biakan dapat terpenuhi. Aspek yang perlu dipertimbangkan agar fungsi terumbu buatan dapat berfungsi sesuai dengan pola aliran yang dapat melindungi habitat seperti pengaruh aliran dan distribusi turbulen (Margalef, 1987; Estrada dan Berdalet, 1997; Kirboe, 1997). Aspek penting seperti penempatan terumbu serta material penyusun juga dipertimbangkan untuk mempercepat pertumbuhan habitat yang ada di sekitar terumbu.

Proses transformasi gelombang yang melalui *artificial reef* bisa dideskripsikan sesuai dengan *submerged breakwater*, pada umumnya dimana permeabilitas dari *breakwater* juga menjadi pertimbangan. Pada kasus ini, formula klasik untuk *wave damping* pada media berpori di kenalkan oleh Sollitt and Cross (1972). Tsai et al (2006), mengembangkan model numeris berbasis 3 lapis batas untuk menjelaskan *breakwater* dan seabed sebagai media berpori. Wiryanto (2011) menurunkan model linear berbasis persamaan gelombang laut dangkal dengan berbagai aturan yang dapat menyatukan berbagai mekanisme damping secara bersama sama. Dari semua studi

tersebut, persamaan yang bisa diambil adalah adanya hubungan antara amplitude gelombang, tinggi struktur, dan kedalaman air yang selalu terlihat sebagai sesuatu yang paling berpengaruh terhadap dissipasi energy dan reduksi ketinggian gelombang.

Bentuk terumbu karang terus mengalami modifikasi guna mendapatkan kesesuaian dan efisiensinya sebagai pemecah gelombang, salah satunya dilakukan oleh Akhwady et al. (2013), bentuk model yang digunakan adalah adopsi dari bentuk model silinder dan bentuk model *Turtle Reef* sehingga muncul bentuk model baru yaitu *Bottle Reef*. Untuk selanjutnya akan dilakukan penelitian mengenai transmisi gelombang pada terumbu buatan bentuk *hexagonal* yang merupakan adopsi dari model *reef ball*.

Kinerja peredam gelombang yakni dengan memperkecil gelombang transmisi yang banyak dipengaruhi oleh faktor bentuk, luas permukaan struktur geometri serta karakter gelombang yang bekerja CERC (1984). Akibat gesekan antar luas terumbu dengan gelombang akan menyebabkan hambatan aliran, sehingga energi gelombang akan berkurang. Dengan membuat rongga-rongga, aliran dapat mengalir melalui celah-celahnya sehingga gesekan antara gelombang dengan struktur menjadi lebih kecil dan tidak membahayakan struktur. Menurut Sidek, et al (2007), semakin besar rongga terumbu, maka koefisien transmisi (K_t) juga menjadi lebih besar dan kehilangan energi menjadi lebih kecil. Karena bentuk silinder berlubang memungkinkan gelombang menembus struktur dan melepaskan energi dalam.

Menurut Putra, AOP et all (2013) meneliti tentang pengaruh elevasi muka air laut pada koefisien transmisi dan refleksi *composite breakwater* menyatakan bahwa semakin rendah elevasi muka air lautnya maka semakin baik bagi *composite breakwater* untuk meredam gelombang.

Tamrin, dkk (2014) meneliti tentang pemecah gelombang tenggelam tipe blok beton berpori dan menyatakan bahwa parameter-parameter yang mempengaruhi refleksi, transmisi, dan dissipasi gelombang pada pemecah gelombang adalah desain blok yang membuat pemecah gelombang lolos air, tinggi gelombang datang (H_i), periode gelombang (T), panjang susunan blok (B/L) dan kedalaman air ($d-k$).

2.2. Dasar Teori

Dasar teori yang ada dalam bab ini mencakup hal hal yang bisa mempengaruhi kondisi dan hasil penelitian, antara lain;

2.2.1 Gelombang

Gelombang merupakan faktor penting dalam perencanaan pelabuhan dan bangunan pantai lainnya. Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada daya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak. Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut *sea*, sedangkan gelombang 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, 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.

2.2.2 Teori Gelombang stokes

Teori Gelombang Stokes mengembangkan teori orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tetapi berhingga. Beberapa karakteristik pengerjaan Teori Gelombang Stokes diberikan berikut ini;

a) Panjang dan kecepatan rambat gelombang.

Panjang dan kecepatan rambat gelombang untuk Teori Gelombang Stokes sama dengan Teori Gelombang Airy yaitu : Hubungan cepat rambat gelombang dengan T dan d adalah

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}. \quad (1)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi hd}{L}. \quad (2)$$

b) Fluktuasi muka air

Persamaan muka air untuk teori orde kedua adalah sebagai berikut :

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

Untuk laut dalam ($d/l > 0.5$) persamaan di atas menjadi :

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

c) Kecepatan partikel.

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

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 C \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (5)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 C \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (6)$$

d) Perpindahan (*displacement*) partikel.

Persamaan orde kedua dari perpindahan partikel terhadap posisi rerata untuk gelombang amplitudo berhingga mempunyai bentuk berikut ini.

$$\zeta = \frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{1}{\sinh^2 kd} \left[1 - \frac{3}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \right] \sin 2(kx - \sigma t) + \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \frac{Ct}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \quad (7)$$

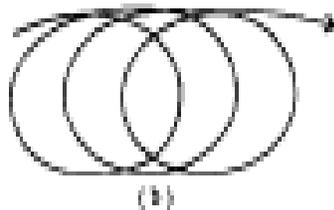
$$\varepsilon = \frac{H}{2} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} + \frac{3}{16} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \frac{\sinh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (8)$$

e) Kecepatan transpor massa

Teori Stokes menganggap bahwa partikel air bergerak dalam orbit berupa lingkaran atau elips tidak tertutup. Sehingga hal ini menyebabkan terjadinya aliran

$$U_{(y)} = \left[\frac{\pi H}{L} \right]^2 \frac{C}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \quad (9)$$

massa air dalam arah penjalaran gelombang, seperti terlihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 : Orbit partikel air pada gelombang stokes.

f) Tekanan gelombang

Distribusi tekanan gelombang pada kedalaman air diberikan oleh bentuk berikut :

$$p = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \cos(kx - \sigma t) - \rho g y - \frac{1}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh kd}{\sinh^2 kd} [\cosh 2k(d+y) - 1] + \frac{3}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh kd}{\sinh^2 kd} \left\{ \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} - \frac{1}{3} \right\} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (10)$$

2.2.3 Transmisi Gelombang

Respon garis pantai terhadap keberadaan pemecah gelombang dikendalikan oleh sedikitnya 14 variabel delapan diantaranya adalah variabel yang sangat berperan yaitu :

- (1) Jarak dari pantai
- (2) Panjang struktur
- (3) Karakteristik transmisi dari struktur
- (4) Kemiringan dasar pantai
- (5) Tinggi gelombang

- (6) Periode gelombang
- (7) Orientasi sudut dari struktur
- (8) Arah gelombang dominan.

Analisis transformasi gelombang pada pemecah gelombang dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai variabel non-dimensional dalam bentuk grafik. Proses transmisi gelombang didefinisikan sebagai Kt , yaitu rasio antara tinggi gelombang transmisi (H_t) dan tinggi gelombang datang (H_i) atau akar dari energi gelombang transmisi (E_t) dengan energi gelombang datang (E_i).

$$Kt = \frac{H_t}{H_i} \quad (11)$$

Dengan :

Kt : koefisien transmisi

H_i : tinggi gelombang datang (m)

H_t : tinggi gelombang transmisi (m)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien transmisi tergantung dari tinggi relative pemecah gelombang (h_c/H_i) dan kecuraman gelombang (wave steepness, sp). Efek tinggi gelombang datang, kemiringan sisi struktur, dan lebar puncak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya transmisi gelombang. Struktur dengan sisi lebih curam (sudut lebih besar), melewatkan gelombang lebih besar dibandingkan dengan sisi yang lebih landai, baik untuk kondisi puncak tenggelam maupun tidak. Secara fisik perbedaan ini dapat dijelaskan dengan efek gesekan dasar. Energi gelombang yang berjalan sepanjang slope akan terdisipasi melalui gesekan permukaan. Sisi yang landai mempunyai panjang yang lebih besar dibandingkan dengan sisi tegak, sehingga energi gelombang akan terdisipasi lebih besar yang menyebabkan transmisi gelombang menjadi lebih kecil.

2.2.4 Metode Volume of Fluid

Metode *Volume Of Fluid* (VOF) merupakan metode yang bisa digunakan untuk membuat model aliran permukaan dan kemampuannya untuk mendefinisikan beberapa nilai permukaan bebas (*free surface value*) sebagai nilai ruang (*function of space*) dan

fenomena model multi permukaan seperti gelombang pecah yang terdapat seperti gambar berikut.



Gambar 2.2 : Tipikal sel permukaan terbuka.

Hirt et. Al. merupakan yang pertama dalam memperkenalkan teknik *Volume of Fluid* pada tahun 1975 dan selanjutnya metode ini diperluas pada tahun 1981. Persamaan fluida 2-D yang harus diselesaikan adalah persamaan Navier-Stokes,

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial u}{\partial x} + \mathbf{w} \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mathbf{g}_x + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (12)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial w}{\partial x} + \mathbf{w} \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mathbf{g}_z + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (13)$$

Dimana u dan w adalah komponen kecepatan dalam x dan z arah masing-masing, g_x dan g_z adalah Percepatan gravitasi pada arah x dan z , p adalah tekanan, dan ν adalah koefisien Viskositas kinematic. Karena air laut diasumsikan inkompresibel, kondisi tersebut harus diselesaikan dengan

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = \mathbf{0} \quad (14)$$

Namun untuk membatasi efek kompresibilitas, persamaan diatas disederhanakan sebagai berikut

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (15)$$

Dimana c merupakan kecepatan suara dalam air dan t merupakan waktu. Secara essential, teknik VLF ini terdiri dari tiga komponen. Persamaan fluida F dari VOF untuk mengetahui posisi permukaan air. Di dalam air, nilai F sama dengan persamaan utama dan menjadi nol saat diluar dari area permukaan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.1. Persamaan yang mengatur tentang hal ini adalah sebagai berikut;

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial F}{\partial x} + \mathbf{w} \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (16)$$

Yang kedua, algoritma sangat dibutuhkan untuk mengikuti pergerakan permukaan saat dia bergerak dan berbentuk dalam suatu kisi komputasi. Seperti yang diungkapkan oleh Hrt dan Nichols (1981) untuk persamaan (14) diatas, fluks F bergerak dengan fluida melalui suatu sel perlu dihitung, namun perbedaan pendekatan *finite standard* yang mengakibatkan semaring pada fungsi F dan menjadi kehilangan kejelasanya.

2.2.5 Persamaan Umum Kontinuitas Massa

Persamaan umum kontinuitas yang digunakan di model numerik kali ini adalah

$$V_F \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (17)$$

Dengan

V_F = pecahan dari volume ke aliran

ρ = massa jenis

R_{DIF} = difusi turbulen

R_{SOR} = sumber massa

Komponen kecepatan (u, v, w) merupakan koordinat dari arah (x, y, z) atau r , (R_{SOR}, z). A_x merupakan area pecahan dari aliran arah x . A_y dan A_z secara berurutan juga merupakan pecahan dari arah aliran di y dan z . koefisien dari R bergantung pada

sistem koordinat yang digunakan. Saat sistem koordinat silindris digunakan, penurunan dari y harus diubah kedalam *azimuthal derivatives*.

$$\frac{\partial}{\partial y} \rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad (18)$$

Persamaan ini dilakukan dengan cara yang lebih sederhana

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} = \frac{r_m}{r} \frac{\partial}{\partial y} \quad (19)$$

Dengan

$$y = r_m \theta$$

r_m = referensi radius tetap

Transformasi yang diberikan oleh persamaan diatas sangat tepat karena implementasinya hanya membutuhkan perkalian dari $R = rm/r$ dalam tiap turunan y di persamaan koordinat kartesian awal. Saat sistem koordinat kartesian digunakan, R diatur dalam persamaan dan ξ diatur sebagai nol.

Dalam persamaan tersebut, bagian kanan menyipakan persamaan difusi turbulen

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} (\mathbf{u}_\rho A_x \frac{\partial p}{\partial x}) + R \frac{\partial}{\partial y} (\mathbf{u}_\rho A_y \frac{\partial p}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mathbf{u}_\rho A_z \frac{\partial p}{\partial z}) + \xi \frac{u_\rho A_x}{x} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (20)$$

Dimana :

- v sebagai koefisien ρ setara dengan $Sc \mu/\rho$, yang artinya μ adalah koefisien momentum difusi (*viskositas*).
- Sc is merupakan nilai konstan sebagai nilai timbal balik dari angka turbulen scmidt.
- jenis difusi massa hanya berlaku untul proses pencampuran turbulen yang mempunyai massa jenis yang tidak berbeda.

Nilai R_{sor} yang ada di bagian kanan persamaan tersebut merupakan massa jenis sumber yang bisa digunakan seperti model massa yang dimasukkan ke dalam benda berpori. Permasalahan aliran kompresibel membutuhkan solusi persamaan transportasi kepadatan penuh yang ada dalam persamaan tersebut. Untuk kondisi fluida yang

inkompresibel, pada saat ρ konstan, persamaan tersebut bisa dilakukan dengan mengurangi kondisi inkompresibel.

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{sor}}{\rho} \quad (21)$$

Untuk permasalahan dimana propagasi dari tekanan gelombang akustik itu sangat penting, tetapi fluida di dalamnya diperlakukan sebagai inkompresibel. Selain itu, kepadatan waktu diturunkan sebagai berikut.

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial \theta} \quad (22)$$

Dengan

C^2 = kuadrat kecepatan suara

P = tekanan

Pendekatan ini valid dalam kondisi

$$\left| \frac{\delta p}{p} \right| < 0.1$$

Sehingga persamaan pendekatan kontinuitas massa berubah menjadi

$$\frac{V_F}{pc^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial uA_x}{\partial x} + R \frac{\partial vA_y}{\partial y} + \frac{\partial wA_z}{\partial z} + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{sor}}{\rho} \quad (23)$$

2.2.6 Validasi dan Verifikasi

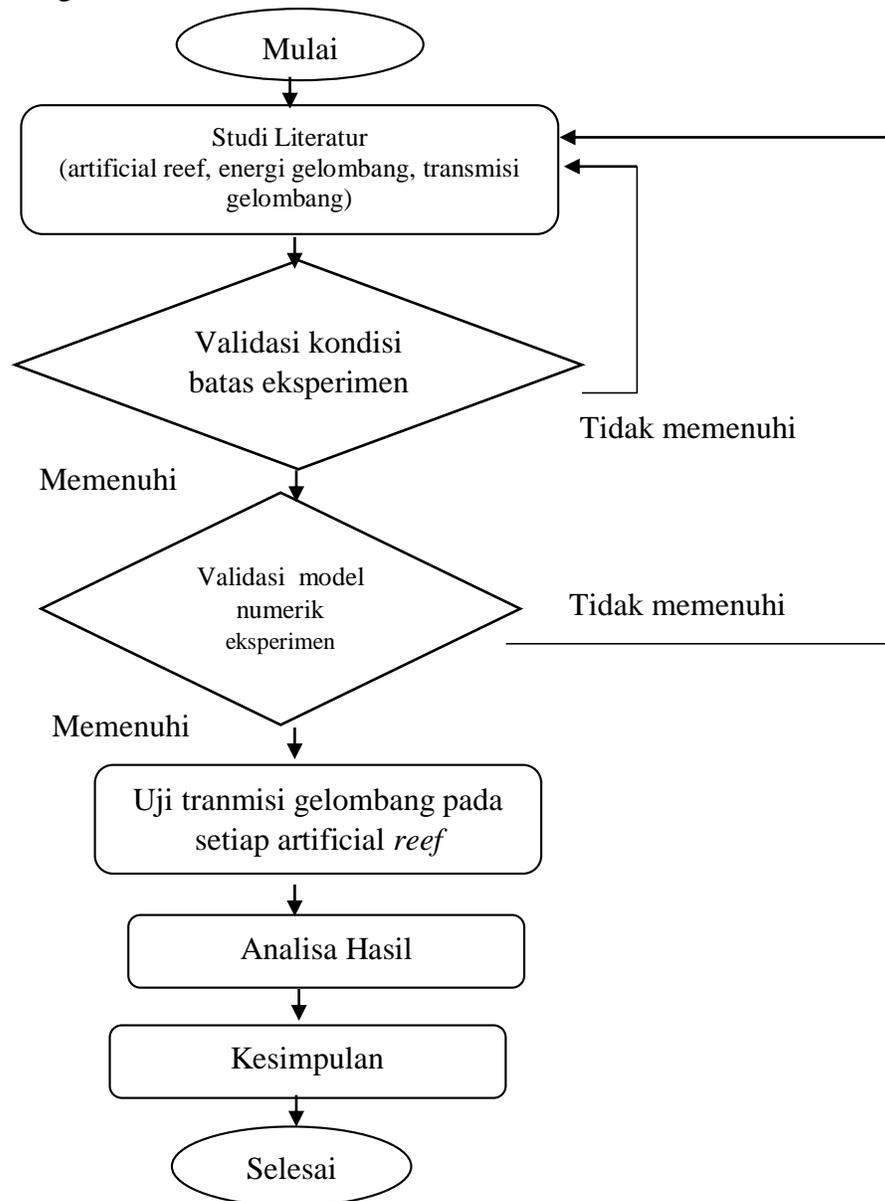
Validasi adalah suatu tindakan yang membuktikan bahwa suatu proses/metode dapat memberikan hasil yang konsisten sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan dan terdokumentasi dengan baik, setelah tahap permodelan selesai dilakukan. Setelah itu, verifikasi model dengan data percobaan fisik bisa dilakukan untuk menentukan berapa koreksi kesesuaian nilai. Hal ini penting untuk menentukan apakah model numerik yang ada dalam penelitian ini sesuai dengan model fisik yang telah dilakukan sebelumnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan digambarkan dalam diagram alir pengerjaan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir

3.2 Alur Penelitian

3.2.1. Studi literatur

Pada tahap ini pengumpulan referensi yang mendukung topik penelitian ini baik dari dalam dan luar negeri dikumpulkan agar dapat mempunyai pemahaman lebih terhadap apa yang akan dilakukan pada penelitian nanti. Dari studi literature ini lah bisa tersusun rencana penelitian dan pengembangan suatu topik.

3.2.2. Validasi kondisi batas

Pada tahap ini validasi model yang ada pada program model numerik diperiksa untuk bisa melihat kesesuaian model numerik dengan kondisi asli. Hal utama yang harus diperiksa pada tahap ini antara lain : kedalaman, massa jenis air laut, sifat sifat dasar gelombang dan lain lain

3.2.3. Validasi dengan hasil uji fisik

Pada tahap ini dilakukan pengecekan model numerik dengan model fisik yang telah dilakukan sebelumnya. Pada tahap kalibrasi ini model diklaibrasi dengan penelitian oleh rekan tentang uji transmisi gelombang dengan menggunakan *hexareef*

3.2.4. Uji transmisi gelombang pada *artificial reef*

Dalam tahap ini model aritifical *reef* yang dibuat secara tiga dimensi dengan bantuan computer akan dimasukan ke dalam kolam model numerik dan dilihat bagaimana performanya dalam mengurangi ketinggian gelombang.

3.2.5. Analisa hasil

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

3.3 Desain Penelitian

Adapun beberapa kondisi penelitian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini antara lain. Penelitian performa terumbu buatan ini dilakukan melalui uji model numerik. Permodelan numerik dilakukan dengan menggunakan program *flow* 3D versi 11.0.4. Program ini dipilih karena memiliki interface yang mudah dipahami dan mempunyai beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan untuk menyelesaikan penelitian.

Dalam tabel 3.1 dibawah ini dijelaskan bahwa dalam penelitian ini terdapat 20 kali simulasi numerik yang dilakukan pada 5 jenis *artificial reef* yang berbeda. Pada tiap *artificial reef*, dilakukan uji gelombang sebanyak 4 kali. Uji gelombang tersebut dilakukan pada kedalaman 3 meter. Tinggi gelombang yang akan diujikan pada masing masing *artificial reef* mempunyai nilai ketinggian mulai 1 hingga 1,75 meter dengan periode 4 detik sehingga *wave steepness* atau kemiringan gelombang yang terdapat pada penelitian ini 0,0064-0,0112.

3.4 Pembuatan model 3 dimensi

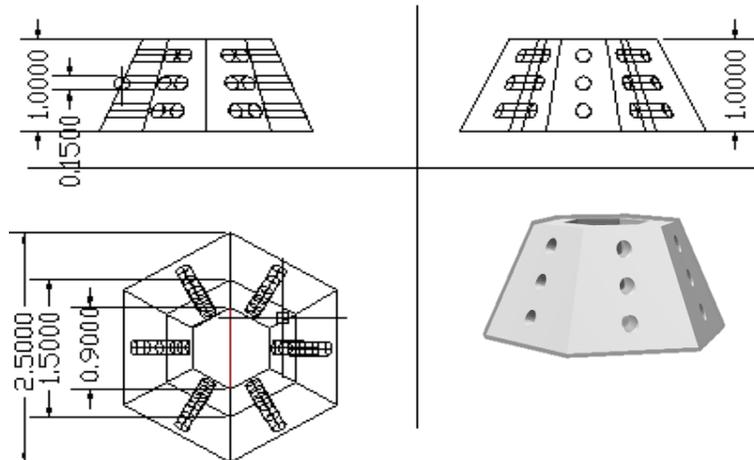
Langkah awal dari permodelan numerik yang ada pada penelitian kali ini adalah membuat model 3 dimensi di masing masing terumbu buatan. Pembuatan model terumbu buatan kali ini dibantu dengan program Autocad karena program ini mempunyai presisi yang tinggi dan kemudahan dalam penggunaannya. Selain itu output dari program ini juga dapat di ekspor dengan ekstensi stl yang menjadi syarat input untuk program flow3d. Jenis *artificial reef* yang dipakai pada penelitian ini antara lain :

a. *Hexareef*

Merupakan modifikasi dari *reef ball* dengan bentuk menyerupai prisma hexagonal dengan ukuran luasan alas lebih besar. Desain *hexareef* ini dilengkapi dengan 3 lubang kecil pada tiap sisinya serta lubang besar pada tengahnya untuk tempat hidup makhluk laut. Pada penelitian ini *hexareef* dibuat dengan diameter alas m, diameter bagian atas m dan tinggi 1 meter.

Tabel 3.1 : Ringkasan kode dan jenis simulasi numerik

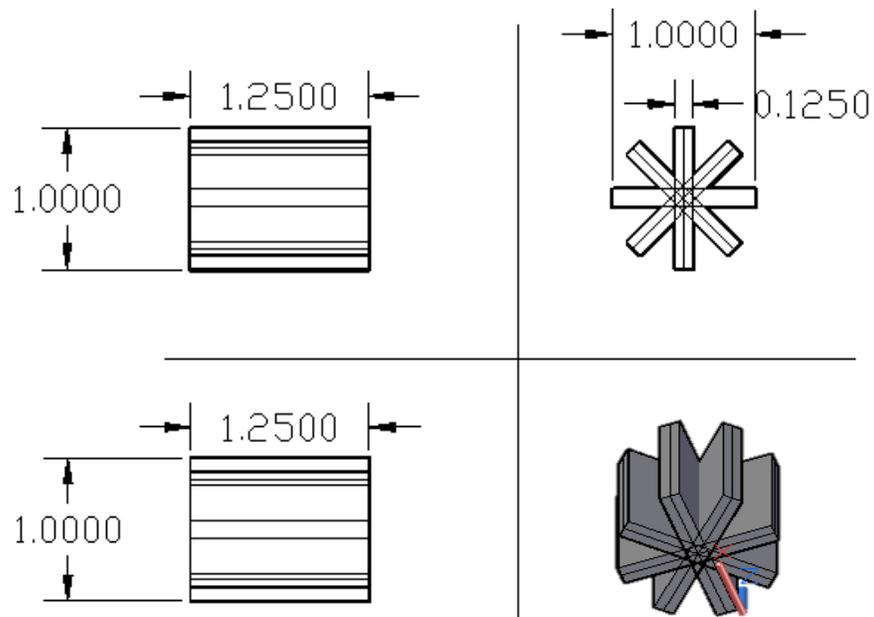
Kode simulasi	<i>Artificial reef</i>	Tinggi gelombang (Hi)	Periode gelombang (T)	Kemiringan gelombang
A1	<i>Hexareef</i>	1	4 detik	0.0064
A2	<i>Hexareef</i>	1.25	4 detik	0.0080
A3	<i>Hexareef</i>	1.5	4 detik	0.0096
A4	<i>Hexareef</i>	1.75	4 detik	0.0112
B1	Cube	1	4 detik	0.0064
B2	Cube	1.25	4 detik	0.0080
B3	Cube	1.5	4 detik	0.0096
B4	Cube	1.75	4 detik	0.0112
C1	<i>Bottle reef</i>	1	4 detik	0.0064
C2	<i>Bottle reef</i>	1.25	4 detik	0.0080
C3	<i>Bottle reef</i>	1.5	4 detik	0.0096
C4	<i>Bottle reef</i>	1.75	4 detik	0.0112
D1	<i>Star reef</i>	1	4 detik	0.0064
D2	<i>Star reef</i>	1.25	4 detik	0.0080
D3	<i>Star reef</i>	1.5	4 detik	0.0096
D4	<i>Star reef</i>	1.75	4 detik	0.0112
E1	<i>Seadome</i>	1	4 detik	0.0064
E2	<i>Seadome</i>	1.25	4 detik	0.0080
E3	<i>Seadome</i>	1.5	4 detik	0.0096
E4	<i>Seadome</i>	1.75	4 detik	0.0112



Gambar 3.2 : *Hexareef* dalam bentuk CAD.

b. *Star shaped reef*

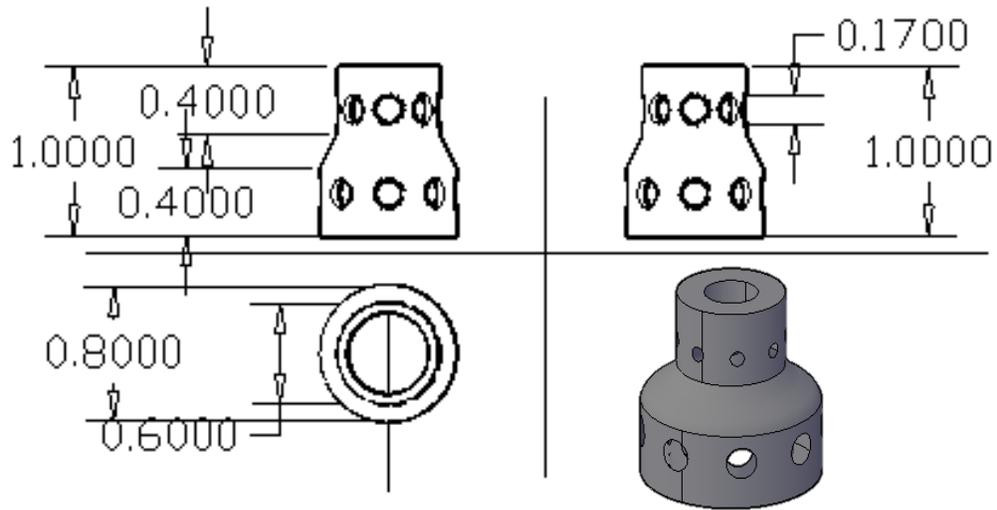
Star shaped reef merupakan suatu bentuk *artificial reef* yang dikembangkan Liu et al (2013). *Artificial reef* ini mempunyai bentuk seperti prisma yang mempunyai alas dan tutup menyerupai bintang. bentuk alas bintang ini mempunyai 8 ujung dengan masing masing ketebalan 10cm. *star shaped artificial reef* ini dipasang dengan posisi horisontal dan mempunyai diameter 1 meter.



Gambar 3.3 : *Star shaped reef* dalam bentuk CAD.

c. *Bottle reef*

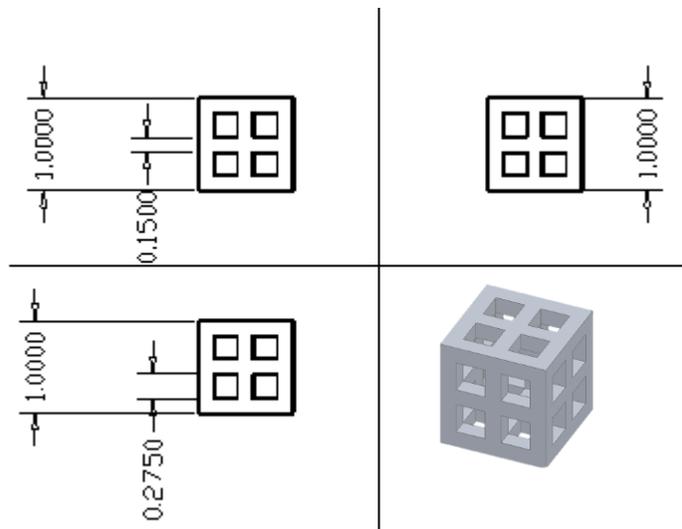
Bottle reef merupakan suatu bentuk kombinasi dari *cylinder reef* dan *turtle reef* Akhwady et al (2012). Bentuk dari *artificial reef* ini terdiri dari 2 buah silinder reef yang berongga dengan diameter silinder bagian bawah lebih besar daripada bagian atasnya agar menghasilkan stabilitas yang cukup saat terkena gelombang dan arus. *Bottle reef* ini mempunyai tinggi 1 meter dengan lubang berongga diameter 10cm. Sedangkan untuk diameter silinder besar dan kecil masing masing 80cm dan 60cm.



Gambar 3.4 : *Bottle reef* dalam bentuk CAD.

d. *Cube reef*

Cube reef yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *cube reef* yang digunakan oleh Liu dalam penelitiannya, *cube reef* ini merupakan *artificial reef* berbentuk kubus dengan panjang sisi masing masing 1 meter. Pada sisi rusuk *cube reef* ini didesain dengan ketebalan 10cm. di tiap sisinya terdapat tambahan bentuk silang dengan ketebalan masing masing 10cm untuk menambah kekuatan struktur dan meningkatkan turbulensi.

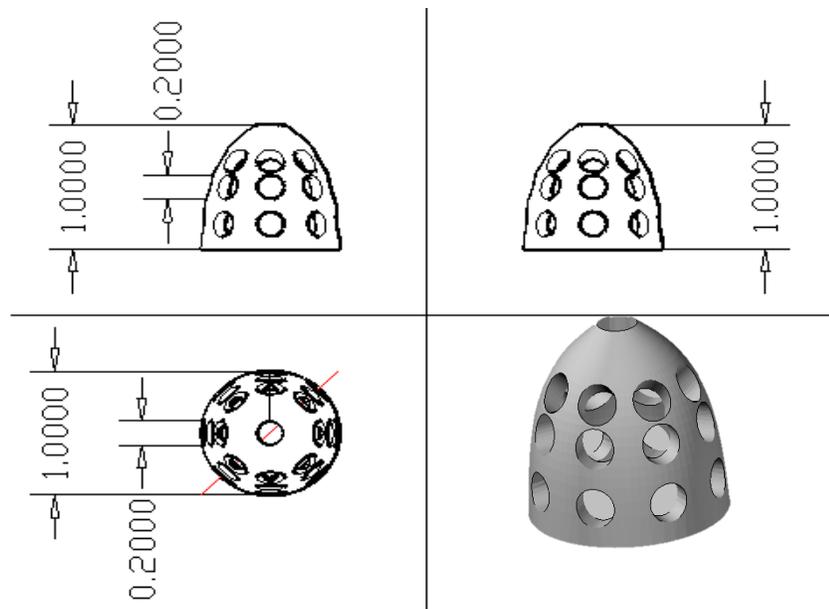


Gambar 3.5 : *Cube reef* dalam bentuk CAD.

e. *Seadome*

Struktur yang disebut sebagai *seadome* ini merupakan unit yang berbentuk belahan mirip bola melingkar. *Artificial reef seadome* ini mempunyai banyak lubang di sekelilingnya untuk kegiatan organisme di sekitarnya. *Seadome* yang digunakan pada penelitian ini diambil dari penelitian Srisuwan. Ukuran *seadome* yang digunakan pada penelitian ini mempunyai tinggi total 1 meter dengan diameter alas 1 meter. *Seadome* ini mempunyai 24 lubang pada setiap bagiannya dengan diameter lubang 10 cm.

Untuk bisa menggunakan file CAD tersebut dalam flow 3D, model tiga dimensi dari autocad harus diubah terlebih dahulu format ekstensinya. Format ekstensi yang digunakan dalam flow 3d adalah STL atau dikenal sebagai standard lithography. Konversi menjadi file berekstensi STL tersebut dilakukan langsung dengan program autocad.



Gambar 3.6 : *Seadome reef* dalam bentuk CAD.

3.5 Persiapan model numerik dengan flow 3D

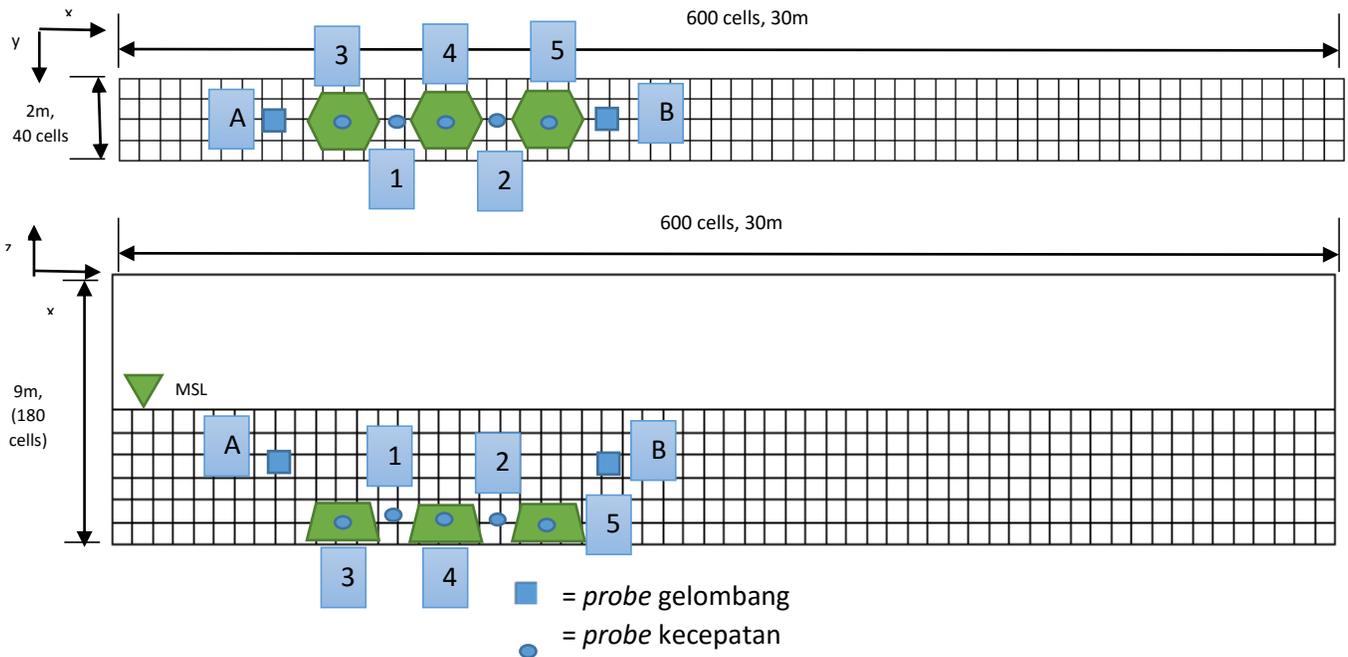
Permodelan numerik pada penelitian ini dimulai dengan membentuk lingkungan yang mirip dengan kolam uji *flumtank* atau yang menyerupai. Tujuan dari membentuk lingkungan ini adalah untuk memastikan elemen apa saja yang bisa berpengaruh dalam uji performa *artificial reef* dalam hal mengurangi ketinggian gelombang

Pada penelitian kali ini, terumbu karang buatan terletak di dasar laut (lihat Gambar 4.6) Menggunakan sistem koordinat tiga dimensi cartesian (x, y, z). Tangki pemodelan memiliki panjang 30 meter, tinggi 9 meter dan lebar 1 meter. Dasar laut datar tanpa kemiringan pada tangki pemodelan. Dalam penelitian ini, kedalaman laut adalah 3 meter pada semua kondisi. Rangkaian komputasi yang digunakan untuk mencakup model terdiri dari 600 sel dengan panjang 0-30 meter (x), 180 sel untuk tinggi 9meter (z) dan 40 sel untuk lebar 2 meter digunakan dalam arah y.

Untuk memastikan ukuran mesh yang dibutuhkan, penelitian ini mengacu pada studi *reef ball* yang dilakukan armono (2004). Pada penelitian tersebut, ukuran mesh yang digunakan mencapai 0,2 meter atau 20 cm. Pada penelitian yang dilakukan kali ini, ukuran mesh mencapai 0,05 meter yang artinya bisa memberikan hasil dengan tingkat ketelitian yang lebih dari penelitian sebelumnya.

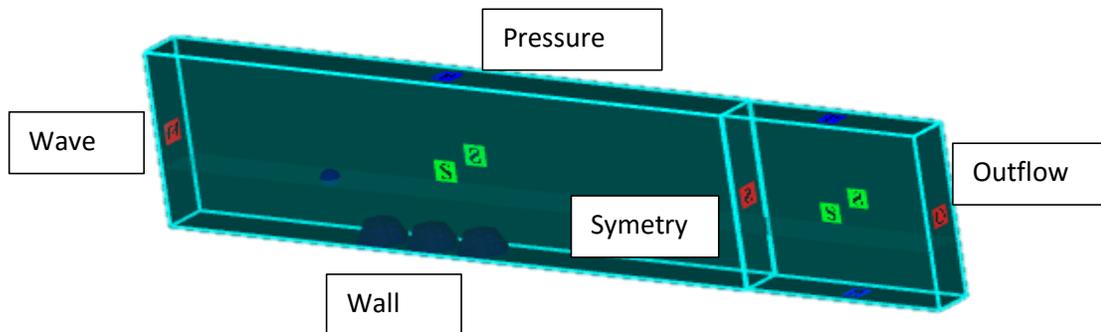
Titik pengamatan untk tinggi gelombang atau *probe* berada pada titik 8 meter atau 2 meter di depan terumbu sedangkan titik pengamatan untuk gelombang transmisi berada pada titik 17 meter sesuai ilustrasi 3.7. Uji kecepatan partikel fluida pada penelitian ini memanfaatkan lokasi yang berada di antara terumbu buatan. Titik pengamatan ini berada pada jarak 11,5 meter dan 14,15 meter pada sumbu X dan berada pada kedalaman -2,5 meter atau 0,5 meter diatas dasar laut

Terdapat 5 titik untuj uji kecepatan fluida. 3 titik berada di dalam terumbu buatan dan 2 titik berada di antara terumbu. Titik yang berada di luar bermama titik A dan B, sedangkan di bagian dalam terdapat titik C, D, dan E. Titik A sampai E ini secara berurut-turut terletak pada jarak.xx



Gambar 3.7 : Sketsa lingkungan penelitian dan posisi terumbu buatan

Untuk melakukan simulasi *artificial reef* pada penelitian ini, diperlukan input kondisi batas (*boundary*) pada *flow 3D* seperti pada gambar 4.8. Pada sumbu $-X$ *boundary* di atur pada kondisi *wave* input dan $+X$ *boundary* diatur sebagai *outflow* aliran. Pada sumbu $-Z$ simulasi diatur sebagai *wall* untuk menggambarkan kondisi *seabed* sedangkan pada sumbu $+Z$ diatur sebagai udara bertekanan atmosfer. Pada sisi $-Y$ dan $+Y$ diatur sebagai simetri.



Gambar 3.8 : Kondisi batasan yang digunakan pada permodelan numerik

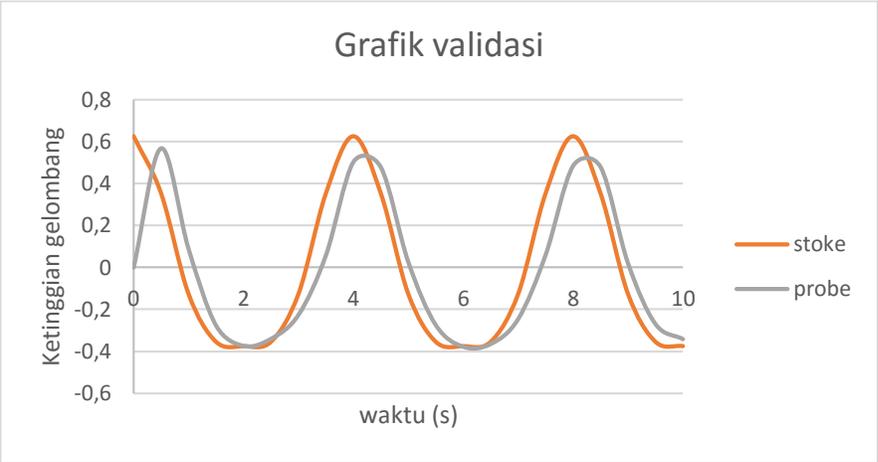
3.6 Validasi

Validasi penelitian ini dilakukan dengan merekam ketinggian gelombang pada suatu kondisi kolam kosong tanpa terumbu buatan. Simulasi ini diatur sesuai dengan model simulasi yang lain dengan ketinggian gelombang uji. Data historis gelombang uji diambil dan disesuaikan dengan perhitungan gelombang *stoke* dengan dasar teori persamaan gelombang. Tabel berikut ini adalah uji validasi data historis gelombang dengan ketinggian 1 meter.

Tabel 3.2 : Perhitungan teori *stoke* dan historis uji gelombang

Waktu (s)	Teori stoke	Probe gelombang	Waktu (s)	Teori stoke	Probe gelombang
0.0	0.63	0.00	5.5	-0.35	-0.27
0.5	0.35	0.57	6.0	-0.37	-0.38
1.0	-0.13	0.09	6.5	-0.35	-0.36
1.5	-0.35	-0.28	7.0	-0.13	-0.25
2.0	-0.37	-0.37	7.5	0.35	0.06
2.5	-0.35	-0.34	8.0	0.63	0.48
3.0	-0.13	-0.23	8.5	0.35	0.48
3.5	0.35	0.06	9.0	-0.13	0.02
4.0	0.63	0.50	9.5	-0.35	-0.27
4.5	0.35	0.48	10.0	-0.37	-0.34
5.0	-0.13	0.03	10.5	-0.35	-0.33

Nilai perbandingan posisi gelombang stoke yang dihitung dengan menggunakan persamaan gelombang stoke dan hasil pengamatan melalui program Flow-3D. hasil tersebut disandingkan secara berlapis untuk mengetahui perbedaan nilai yang ada. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan gelombang stoke yang dijalankan pada program Flow-3D telah menyerupai gelombang stoke asli yang dibentuk melalui persamaan.



Grafik 3.8 : Uji validasi teori gelombang dengan persamaan gelombang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

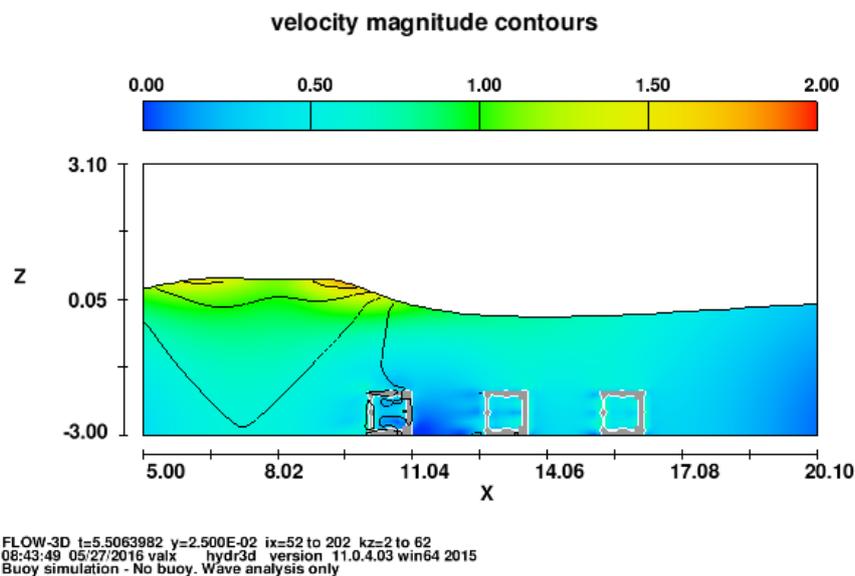
BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Permodelan Numerik

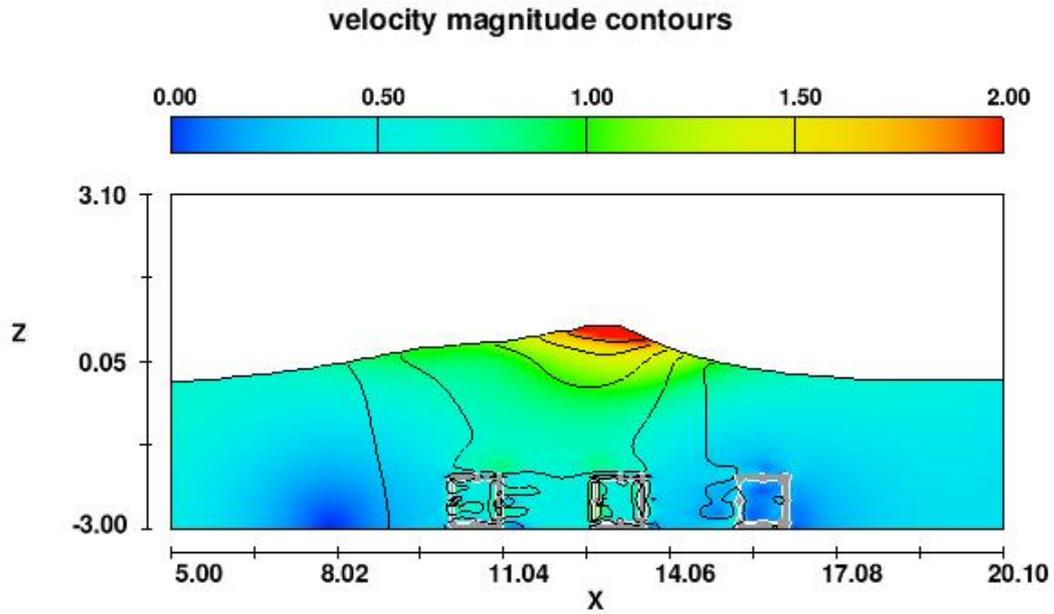
Pada pembahasan aliran fluida di sekitar terumbu buatan, pengamatan dilakukan dengan cara melihat hasil luaran dari program baik secara grafik maupun numerik. Selain itu luaran dari aliran fluida berupa bentuk gelombang yang terbentuk, aspek pengamatan ini dilakukan secara bertahap pada masing masing struktur berdasar jumlah gelombang uji yang diberikan dimulai dengan gelombang terkecil. Dengan pengamatan seperti itu diharapkan bisa terlihat perubahan di setiap kenaikan tinggi gelombang.

Pada gambar berikut merupakan model dari terumbu buatan *cube reef* dengan ketinggian gelombang 1. dari uji gelombang tersebut bisa kita lihat bahwa energi dari ketinggian gelombang terhambur karena turbulensi yang ada di sekitar terumbu buatan. Selanjutnya tekanan gelombang yang terhamburkan tersebut masuk melalui celah yang ada di dalam terumbu buatan yang bisa terdeteksi oleh makhluk hidup di dasar laut.



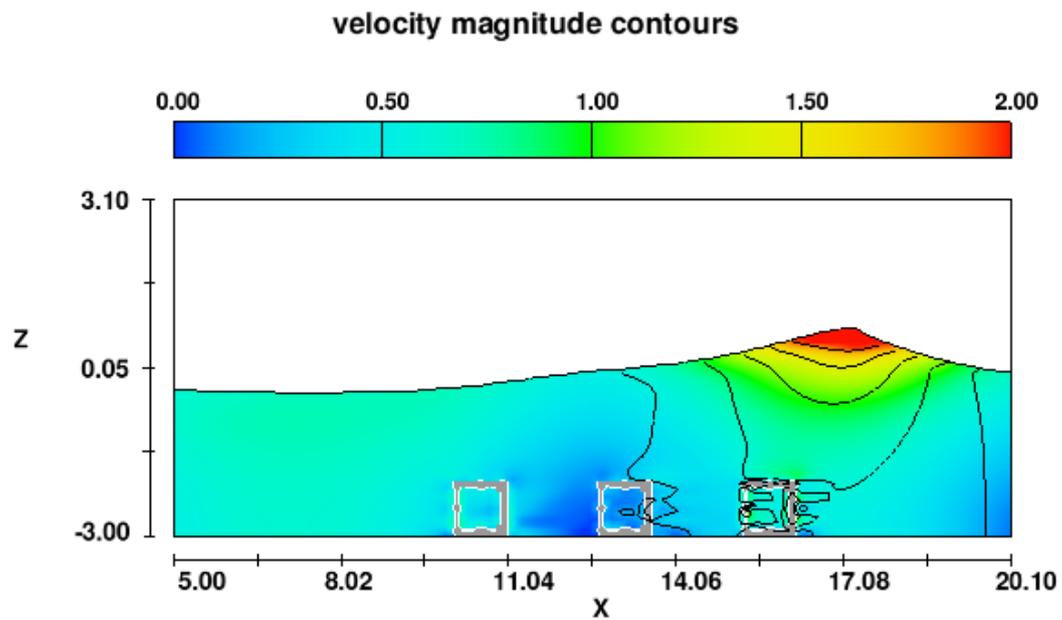
12

Gambar 4.1 : Gelombang yang melewati *cube reef*.



FLOW-3D t=6.4932408 y=2.500E-02 ix=52 to 202 kz=2 to 62
 08:43:49 05/27/2016 valx hydr3d version 11.0.4.03 win64 2015
 Buoy simulation - No buoy. Wave analysis only

14

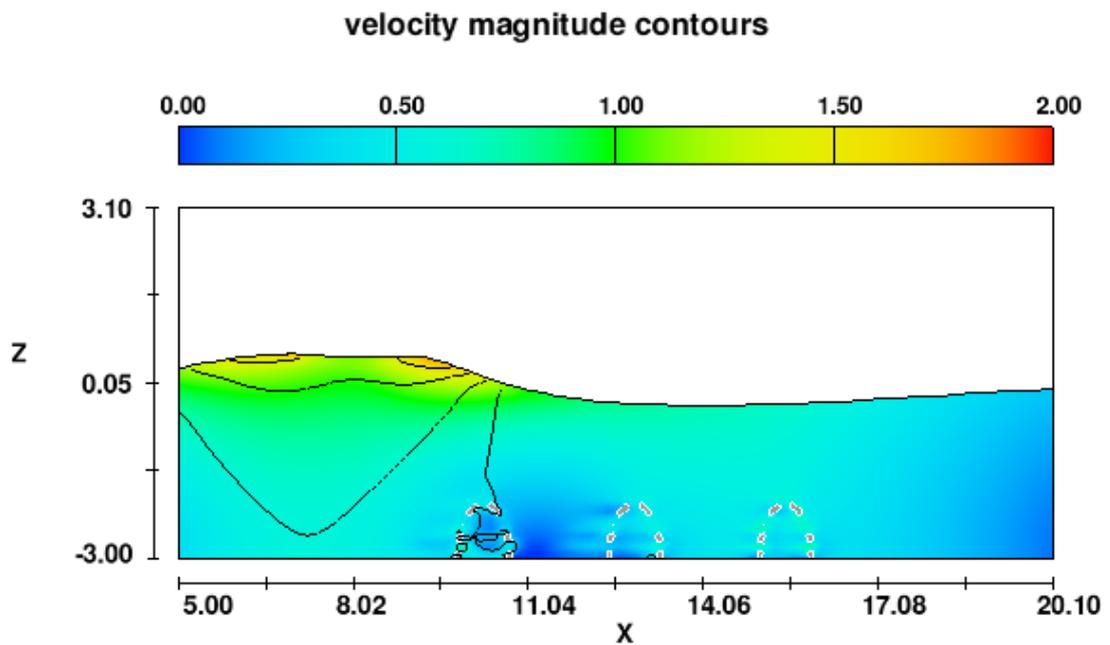


FLOW-3D t=7.5019226 y=2.500E-02 ix=52 to 202 kz=2 to 62
 08:43:49 05/27/2016 valx hydr3d version 11.0.4.03 win64 2015
 Buoy simulation - No buoy. Wave analysis only

16

Gambar 4.1 (lanjutan) : Gelombang yang melewati *cube reef*.

Dalam beberapa kondisi terumbu buatan seperti dibawah ini, aliran fluida yang berasal dari pembangkit gelombang bisa masuk melalui celah ataupun lubang yang ada di dalam terumbu buatan ini. Lebih dari itu, beberapa terumbu buatan seperti gambar dibawah ini masih mempunyai daerah aman yang kecepatan partikelnya sangat kecil sehingga bisa digunakan untuk tempat ikan berkembang biak.



FLOW-3D t=5.4985828 y=0.000E+00 ix=52 to 202 kz=2 to 62
 12:30:41 05/24/2016 hahq hydr3d version 11.0.4.03 win64 2015
 Buoy simulation - No buoy. Wave analysis only

12

Gambar 4.2 : Perubahan kecepatan partikel di dalam *seadome*.

Pergerakan fluida secara efektif menarik perhatian ikan atau organisme lain yang berada di sekitar permukaan. Secara umum bentuk aliran yang ditampilkan oleh gambar 4.2 menggambarkan berbagai kecepatan partikel fluida yang berada di sekitar terumbu buatan ditunjukkan oleh warna. Pada warna gelap atau kebiruan menunjukkan bahwa kecepatan partikel di sekitar titik tersebut kecil. Sebaliknya jika warna mendekati jingga atau terang maka kecepatan partikel lebih tinggi seperti yang ada di permukaan karena gelombang.

Dengan adanya perubahan kecepatan fluida tersebut, sedimen yang mengandung nutrisi untuk organisme laut untuk berpindah. Hal ini akan memicu

organisme yang ada di dasar laut seperti *flatfish*, landak laut, dan lobster. Hewan tersebut cenderung berkumpul dan tinggal di balik struktur terumbu buatan mengingat lebih rendahnya kecepatan partikel fluida yang bergerak.

Titik pengamatan seperti yang ada pada gambar 3.7 menghasilkan grafik plot kecepatan partikel untuk mendapatkan nilai kecepatan fluida yang bergerak di sekitar terumbu buatan. Untuk nilai kecepatan partikel di sekitar struktur, ditunjukkan dengan menggunakan gambar 4.2 seperti dibawah ini dengan sumbu Y menunjukkan kecepatan partikel dan X waktu yang tercatat selama permodelan numerik selama 60 detik. Proses pengamatan partikel kecepatan fluida ini bertujuan untuk mengambil nilai kecepatan.

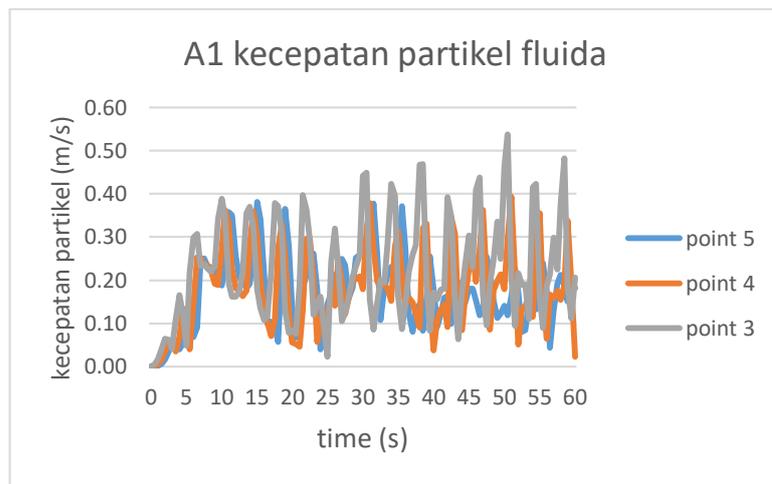
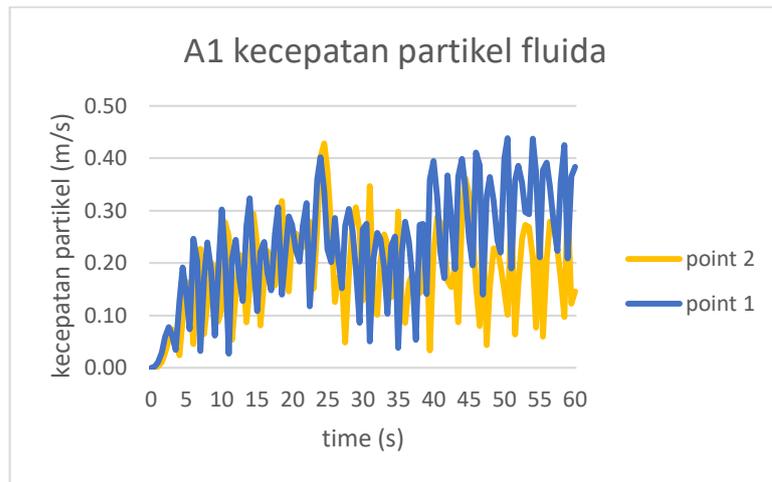
Pada tahap pengamatan berikutnya yaitu tinggi gelombang, pengukuran dilakukan di belakang formasi terumbu buatan untuk melihat bagaimana efek terumbu buatan terhadap gelombang. Nilai tinggi rata rata gelombang dicatat sebagai perhitungan untuk menentukan performa terumbu buatan dalam mengurangi tinggi gelombang melalui koefisien tranmisi.

4.2 Analisa Hasil Permodelan Numerik Terumbu Buatan

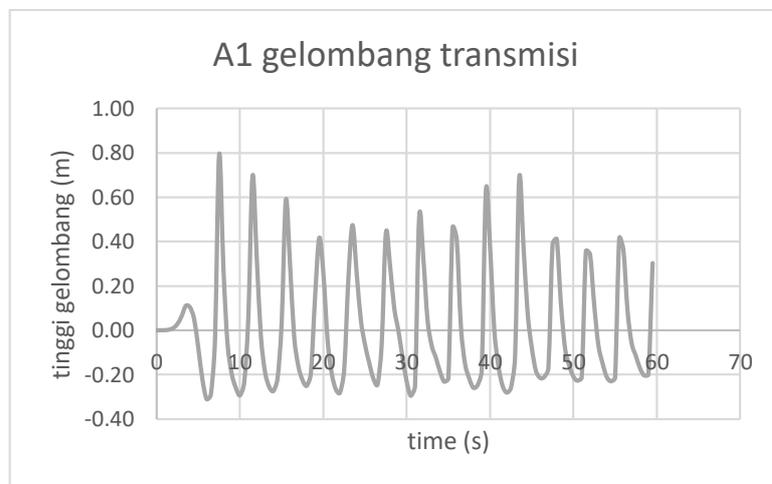
Hasil permodelan numerik dari program Flow-3d di eksport kedalam program pengolahan data seperti excel agar pembacaan data dan pengolahan nilai parameter performa lebih mudah untuk dipelajari. Hasil dari simulasi masing-masing terumbu buatan ditampilkan dalam tabel sebagai berikut.

a. Hexareef

Hasil dari permodelan numerik *hexareef* dengan tinggi gelombang 1 m disajikan dalam bentuk gambar dan tabel berikut.



Gambar 4.3 : Nilai kecepatan partikel pada *hexareef*.



Gambar 4.4 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada *hexareef*.

Artificial reef dengan bentuk *hexareef* disimulasikan dengan 4 tinggi gelombang yang berbeda ini menunjukkan performa yang cukup baik. Nilai

koefisien transmisi model numerik simulasi *artificial reef hexareef* pada tabel 5.1 dibawah menghasilkan nilai 0.79 dengan *wave steepness* 0.008. nilai koefisien tranmisi terburuk yang bisa dihasilkan *hexareef* pada ketinggian gelombang uji 1,5 meter dan kemiringan gelombang 0,0096 adalah 0,76. Hal ini menunjukkan rata rata struktur *hexareef* dapat mengurangi ketinggian gelombang hingga 23%.

Nilai kecepatan partikel rata-rata yang ada pada *hexareef* ini merupakan hasil dari pengamatan pergerakan partikel air yang ada di sekitar *artificial reef*. Nilai kecepatan pada terumbu buatan ini dibagi menjadi bagian luar dan dalam terumbu. dalam bagian luar, kecepatan rata-rata pertikel berada pada nilai 0,274 m/s sedangkan pada bagian dalam 0,209 m/s. Bagian luar terumbu yang ditunjukkan oleh titik 1 dan 2 menghasilkan rentang nilai 0,183-0,33 m/s sedangkan bagian dalam menghasilkan rentang nilai 0,156-0,278.

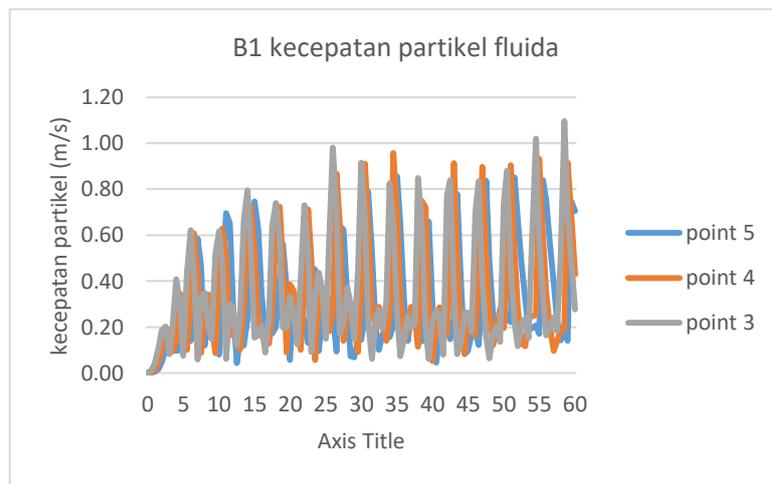
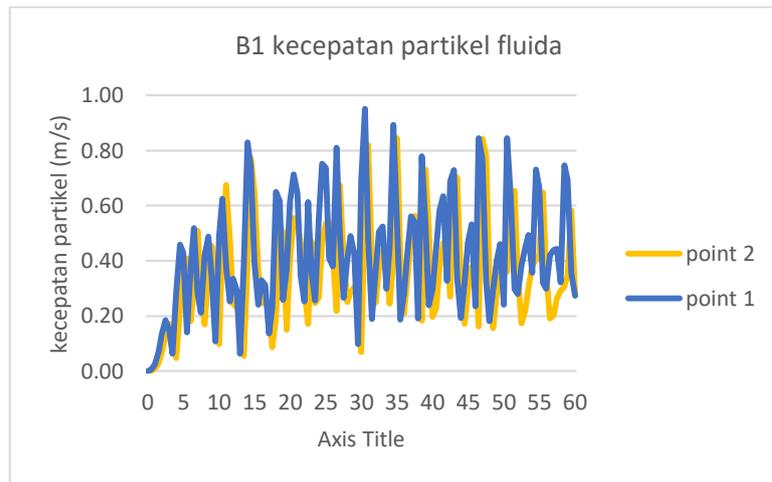
Berdasarkan tabel 4.1, secara umum kecepatan partikel rata rata meningkat seiring dengan meningkatnya gelombang uji. Kecepatan rata-rata partikel bagian dalam yang lebih kecil nilainya dariapda bagian luar menunjukkan kalua *hexareef* ini cukup solid untuk menjaga aliran di dalam terumbu agar tetap tenang. Hal ini menunjukkan berfungsinya struktur *hexareef* sebagai terumbu buatan.

Tabel 4.1: Nilai performa *hexareef*.

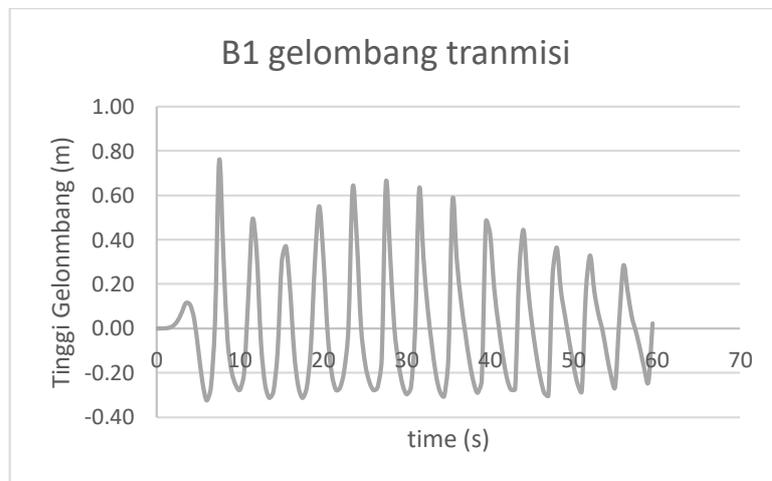
Nomor simulasi	Artificial reef	Tinggi gelombang datang (hi)	Kemiringan gelombang (hi/gt ²)	Koefisien transmisi	Kecepatan rata rata partikel (m/s)				
					Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
A1	Hexareef	1	0,0064	0,78	0,234	0,183	0,221	0,181	0,173
A2	Hexareef	1,25	0,0080	0,79	0,283	0,261	0,252	0,189	0,156
A3	Hexareef	1,5	0,0096	0,76	0,301	0,297	0,273	0,202	0,189
A4	Hexareef	1,75	0,0112	0,77	0,330	0,305	0,278	0,198	0,196

b. *Cube reef*

Hasil dari permodelan numerik *cubereef* dengan tinggi gelombang 1m disajikan dalam bentuk gambar dan tabel berikut



Gambar 4.5 : Nilai kecepatan partikel pada cube reef.



Gambar 4.6 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada *Cube reef*.

Artificial reef berbentuk kubus ini merupakan terumbu buatan dengan bentuk paling sederhana dibandingkan dengan terumbu buatan lain yang ada dalam

penelitian ini. Dalam simulasi numerik yang dilakukan pada cube reef, terumbu buatan ini menghasilkan nilai koefisien transmisi terbaik 0.68 pada kemiringan gelombang 0,0064 dan gelombang datang 1 meter serta koefisien transmisi paling rendah yaitu 0,73 pada ketinggian gelombang 1,5 meter dan kemiringan gelombang 0,0096.

Nilai kecepatan partikel rata-rata yang ada pada cubereef ini merupakan hasil dari pengamatan pergerakan partikel air yang ada di sekitar artificial reef. Nilai kecepatan pada terumbu buatan ini dibagi menjadi bagian luar dan dalam terumbu. dalam bagian luar, kecepatan rata-rata partikel berada pada nilai 0,407 m/s sedangkan pada bagian dalam 0,306 m/s. Bagian luar terumbu yang ditunjukkan oleh titik 1 dan 2 menghasilkan rentang nilai 0,347-0,478 m/s sedangkan bagian dalam menghasilkan rentang nilai 0,306-0,426.

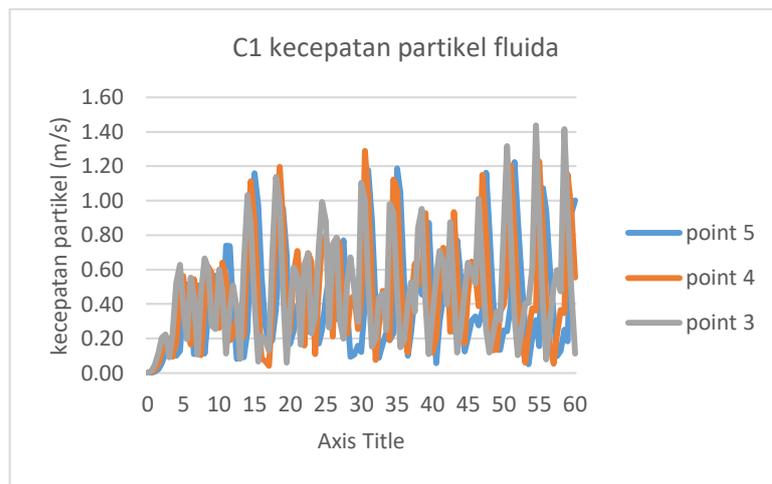
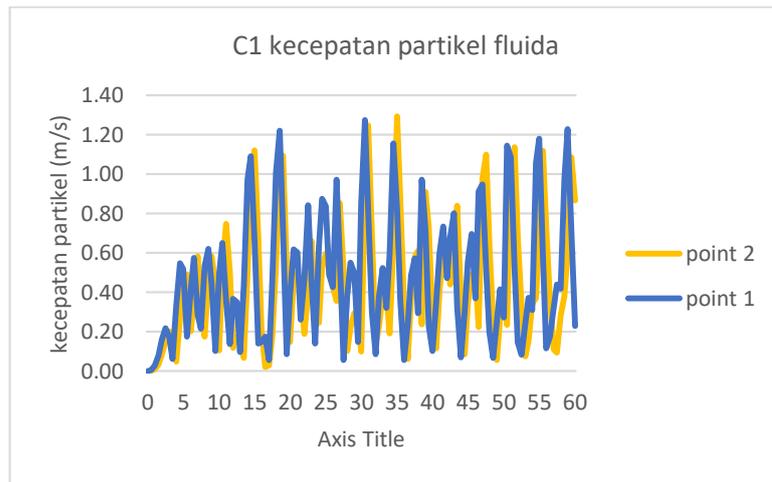
Berdasarkan tabel 4.2, secara umum kecepatan partikel rata rata meningkat seiring dengan meningkatnya gelombang uji kecuali pada nilai gelombang maksimum pada titik pengamatan bagian luar menghasilkan nilai yang lebih rendah daripada uji gelombang sebelumnya. Selisih nilai rata rata kecepatan pada bagian luar dan dalam tidaklah terlalu besar, hal ini dikarenakan struktur cubereef yang cenderung sederhana sehingga hambatan yang dilalui gelombang kecil.

Tabel 4.2 : Nilai performa cube reef.

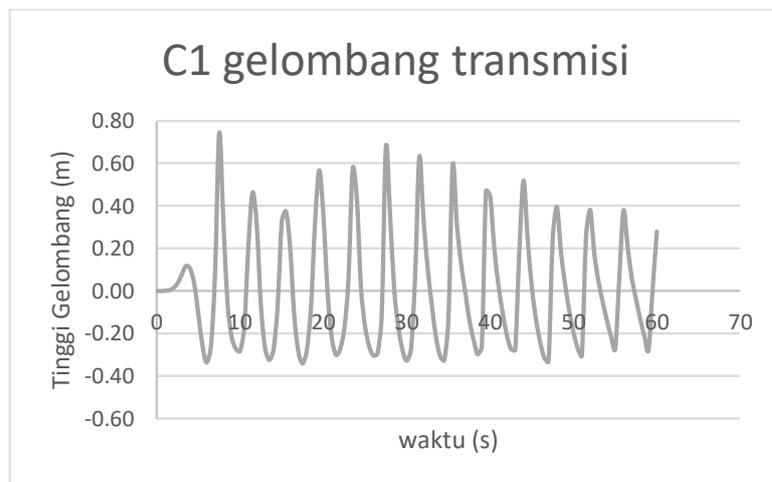
nomor simulasi	Artificial Reef	tinggi gelombang datang (Hi)	kemiringan gelombang (Hi/gT ²)	koefisien transmisi	kecepatan rata rata partikel (m/s)				
					point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
B1	cube	1	0,0064	0,68	0,419	0,358	0,353	0,334	0,306
B2	cube	1,25	0,0080	0,70	0,467	0,383	0,397	0,378	0,337
B3	cube	1,5	0,0096	0,73	0,478	0,404	0,416	0,395	0,349
B4	cube	1,75	0,0112	0,72	0,335	0,402	0,426	0,416	0,364

c. *Bottle Reef*

Hasil dari permodelan numerik bottle reef dengan tinggi gelombang 1 m disajikan dalam bentuk gambar dan tabel berikut



Gambar 4.7 : Nilai kecepatan partikel pada *bottle reef*



Gambar 4.8: Nilai ketinggian gelombang transmisi pada *bottle reef*

Pada pengujian terumbu buatan berbentuk *bottle reef* kali ini menghasilkan nilai koefisien transmisi paling rendah 0,71 pada uji ketinggian gelombang 1,75 meter dengan kemiringan gelombang 0,0112. Selain itu nilai performa paling tinggi yang bisa dihasilkan *bottle reef* ini adalah 0,7 pada ketinggian gelombang 1 meter.

Nilai kecepatan partikel rata-rata yang ada pada *bottlereef* ini merupakan hasil dari pengamatan pergerakan partikel air yang ada di sekitar *artificial reef*. Nilai kecepatan pada terumbu buatan ini dibagi menjadi bagian luar dan dalam terumbu. dalam bagian luar, kecepatan rata-rata partikel berada pada nilai 0,508 m/s sedangkan pada bagian dalam 0,501 m/s. Bagian luar terumbu yang ditunjukkan oleh titik 1 dan 2 menghasilkan rentang nilai 0,444-0,572 m/s sedangkan bagian dalam menghasilkan rentang nilai 0,412-0,586.

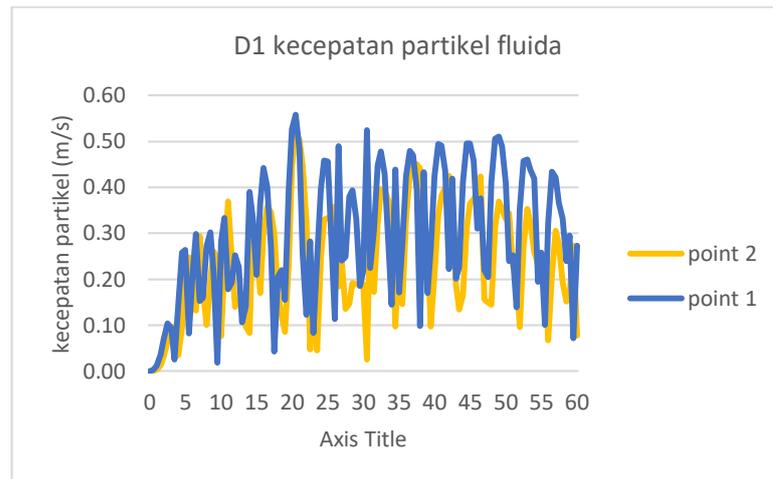
Berdasarkan tabel 4.3, secara umum kecepatan partikel rata rata di bagian luar konstan sedangkan di bagian dalam masih terjadi peningkatan seiring dengan bertambahnya nilai ketinggian gelombang. Selisih nilai rata rata antara titik pengamatan luar dan dalam disebabkan karena struktur *bottlereef* ini yang cenderung ramping dan mempunyai ukuran lubang cukup banyak dan besar, sehingga air bisa dengan mudah memasuki struktur

Tabel 4.3 : Nilai performa *bottle reef*.

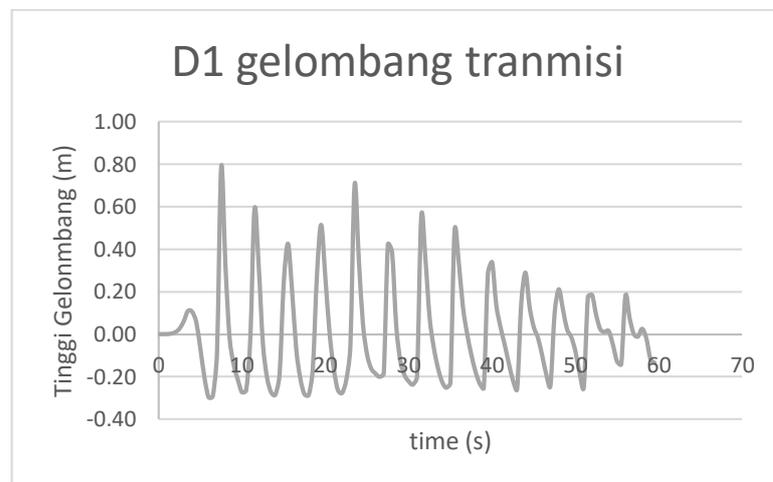
nomor simulasi	Artificial Reef	tinggi gelombang datang (H_i)	kemiringan gelombang (H_i/gT^2)	koefisien transmisi	kecepatan rata rata partikel (m/s)				
					point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
C1	bottle reef	1	0,0064	0,70	0,474	0,444	0,484	0,466	0,412
C2	bottle reef	1,25	0,0080	0,73	0,572	0,476	0,547	0,508	0,437
C3	bottle reef	1,5	0,0096	0,75	0,551	0,497	0,586	0,539	0,444
C4	bottle reef	1,75	0,0112	0,71	0,547	0,505	0,584	0,544	0,461

d. *Star shaped reef*

Hasil dari permodelan numerik *Star Shaped reef* dengan tinggi gelombang 1 m disajikan dalam bentuk gambar dan tabel berikut



Gambar 4.9 : Nilai kecepatan partikel pada *star reef*.



Gambar 4.10 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada *star reef*.

Terumbu buatan berbentuk bintang memanjang ini merupakan struktur yang bisa menghasilkan nilai performa koefisien transmisi paling baik yang ada di dalam penelitian numerik kali ini. Pada uji gelombang 1,25 meter dengan kemiringan gelombang 0,008, *starreef* ini dapat menghasilkan nilai 0,67 yaitu nilai paling tinggi dibandingkan dengan terumbu buatan lain. Sedangkan nilai koefisien transmisi paling rendah yang dihasilkan *star reef* ini berada pada angka 0,77 pada ketinggian gelombang uji 1,75 meter dan kemiringan gelombang 0,112.

Nilai kecepatan partikel rata-rata yang ada pada *star reef* ini merupakan hasil dari pengamatan pergerakan partikel air yang ada di sekitar *artificial reef*. Nilai kecepatan pada terumbu buatan ini hanya mempunyai nilai bagian dalam saja karena struktur terumbu buatan *star reef* ini tidak mempunyai ruangan di bagian

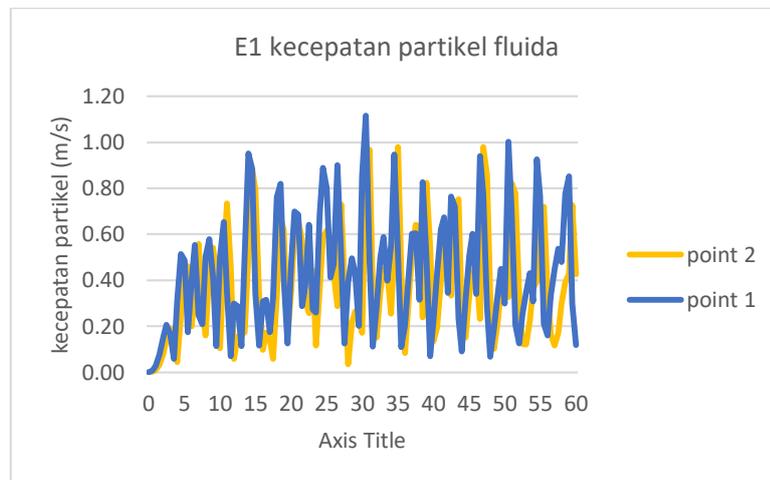
dalamnya. Kecepatan rata-rata partikel pada bagian dalam 0,501 m/s. Bagian luar terumbu yang ditunjukkan oleh titik 1 dan 2 menghasilkan rentang nilai 0,237-0,325 m/s Berdasarkan tabel 4.4, secara umum kecepatan partikel rata rata di bagian luar terjadi peningkatan seiring dengan bertambahnya nilai ketinggian gelombang.

Tabel 4.4 : Nilai performa *starreef*.

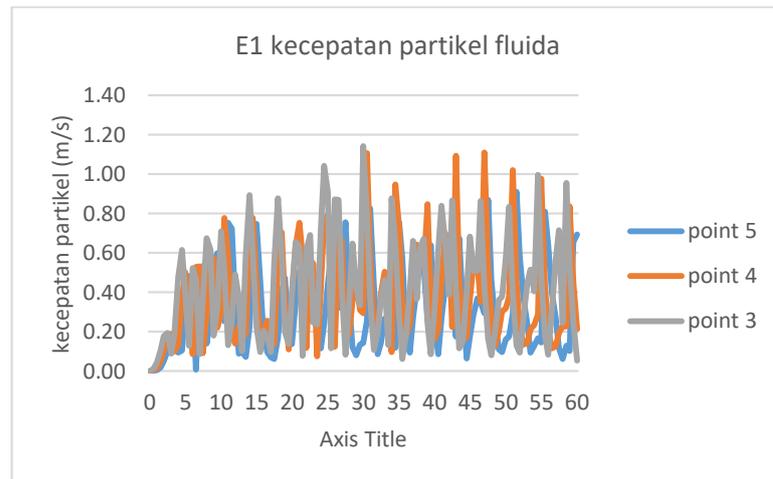
nomor simulasi	Artificial Reef	tinggi gelombang datang (Hi)	kemiringan gelombang (Hi/gT ²)	koefisien transmisi	kecepatan rata rata partikel (m/s)	
					point 1	point 2
D1	star reef	1	0,0064	0,71	0,292	0,237
D2	star reef	1,25	0,0080	0,67	0,307	0,254
D3	star reef	1,5	0,0096	0,73	0,325	0,268
D4	star reef	1,75	0,0112	0,77	0,313	0,286

e. *Seadome*

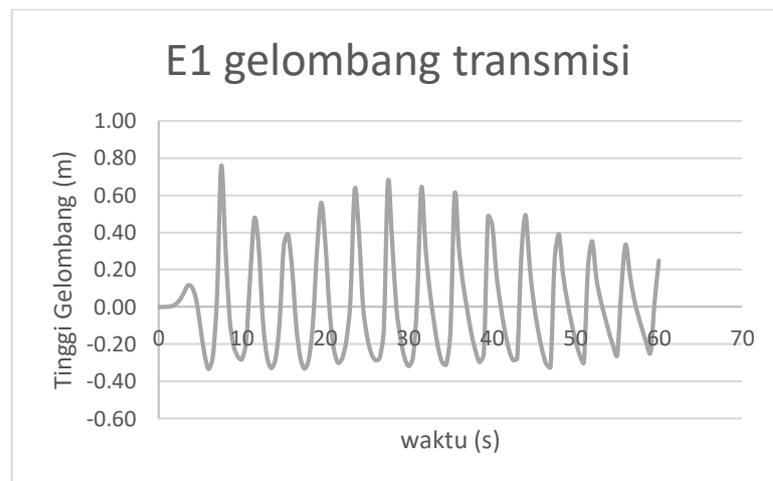
Hasil dari permodelan numerik *Seadome reef* dengan tinggi gelombang 1 m disajikan dalam bentuk gambar dan tabel berikut



Gambar 4.11 : Nilai kecepatan partikel pada *bottle reef*.



Gambar 4.11(lanjutan) : Nilai kecepatan partikel pada *bottle reef*.



Gambar 4.12 : Nilai ketinggian gelombang transmisi pada *bottle reef*.

Selanjutnya pada terumbu buatan *seadome*, struktur buatan ini menghasilkan nilai koefisien transmisi paling tinggi yaitu 0,7 pada ketinggian gelombang 1,75 meter dan kemiringan gelombang 0,112. Nilai rata-rata koefisien transmisi pada *sedaome* ini berada pada nilai 0,73. Selain itu nilai koefisien transmisi paling rendah pada *sedaome* ini berada di angka 0,76 di ketinggian gelombang uji 1 meter dan kemiringan gelombang 0,0064 meter.

Nilai kecepatan partikel rata-rata yang ada pada *seadome* ini merupakan hasil dari pengamatan pergerakan partikel air yang ada di sekitar *artificial reef*. Nilai kecepatan pada terumbu buatan ini dibagi menjadi bagian luar dan dalam terumbu. dalam bagian luar, kecepatan rata-rata partikel berada pada nilai 0,44 m/s

sedangkan pada bagian dalam 0,407 m/s. Bagian luar terumbu yang ditunjukkan oleh titik 1 dan 2 menghasilkan rentang nilai 0,383-0,49 m/s sedangkan bagian dalam menghasilkan rentang nilai 0,321-0,486.

Berdasarkan tabel 4.5, secara umum kecepatan partikel rata rata meningkat seiring dengan meningkatnya gelombang uji kecuali pada nilai gelombang maksimum pada titik pengamatan bagian luar menghasilkan nilai yang lebih rendah daripada uji gelombang sebelumnya. Selisih nilai rata rata kecepatan pada bagian luar dan dalam cukup besar, hal ini dikarenakan struktur *seadome* yang cukup kompleks sehingga cukup banyak bagian dari terumbu buatan ini yang dapat mengurangi kecepatan partikel saat melewatinya.

Tabel 4.5 : Nilai performa *seadome*.

nomor simulasi	Artificial Reef	tinggi gelombang datang (Hi)	kemiringan gelombang (H_i/gT^2)	koefisien transmisi	kecepatan rata rata partikel (m/s)				
					point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
E1	seadome	1	0,0064	0,76	0,430	0,383	0,418	0,388	0,321
E2	seadome	1,25	0,0080	0,72	0,476	0,412	0,469	0,413	0,332
E3	seadome	1,5	0,0096	0,73	0,490	0,428	0,486	0,440	0,366
E4	seadome	1,75	0,0112	0,70	0,476	0,423	0,465	0,440	0,346

4.3 Ringkasan nilai performa terumbu buatan

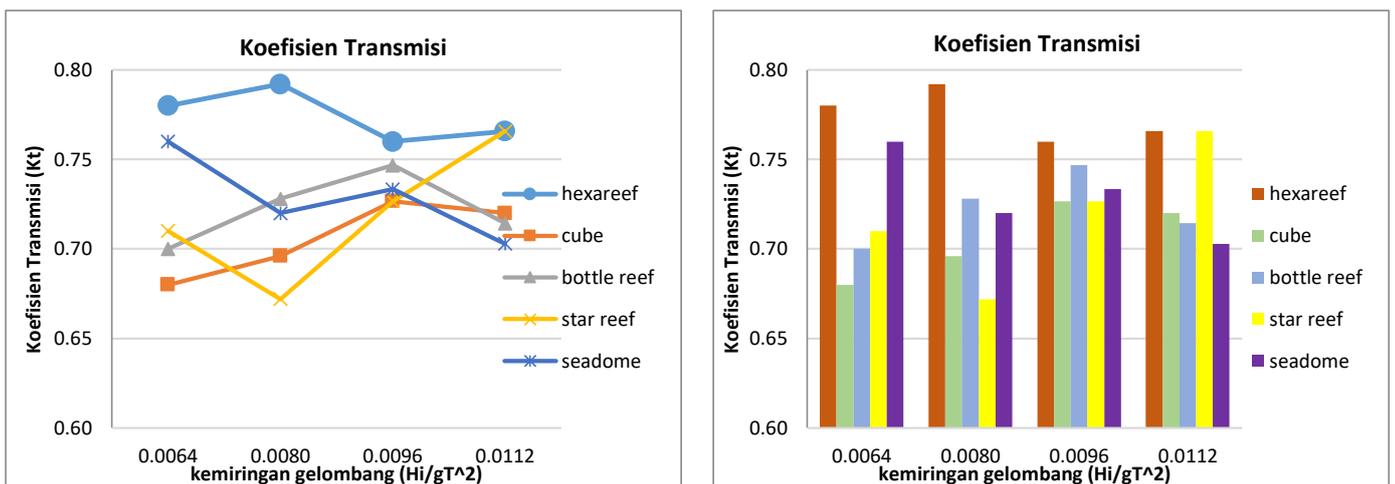
Dalam studi koefisien transmisi pada *artificial reef* yang ditunjukkan melalui gambar 4.13, performa *Star reef* dalam mengurangi tinggi gelombang sangat baik. dalam uji gelombang 1,25m *star reef* menghasilkan transmission coefficient 0,67 yang merupakan nilai terendah dibanding *artificial reef* lain. meskipun begitu nilai ini tidak begitu jauh dengan *artificial reef* berbentuk kubus atau cube reef yang memperoleh nilai koefisien transmisi 0,68. Di sisi lain, *hexareef* pada penelitian ini dinilai kurang bagus dalam performanya mengurangi ketinggian gelombang dibandingkan yang lain.

Meskipun nilai koefisien transmisi yang dihasilkan oleh masing masing terumbu buatan mengalami kenaikan dan penurunan pada suatu titik, Secara umum performa terumbu buatan dalam mengurangi gelombang menghasilkan nilai koefisien transmisi yang tidak jauh berbeda, hal ini dipengaruhi karena tiap terumbu buatan mempunyai presentase produksi gelombang berdasarkan bentuk dari terumbu buatan tersebut. Dari sisi bentuk misalnya, bentuk yang kompleks dan cenderung

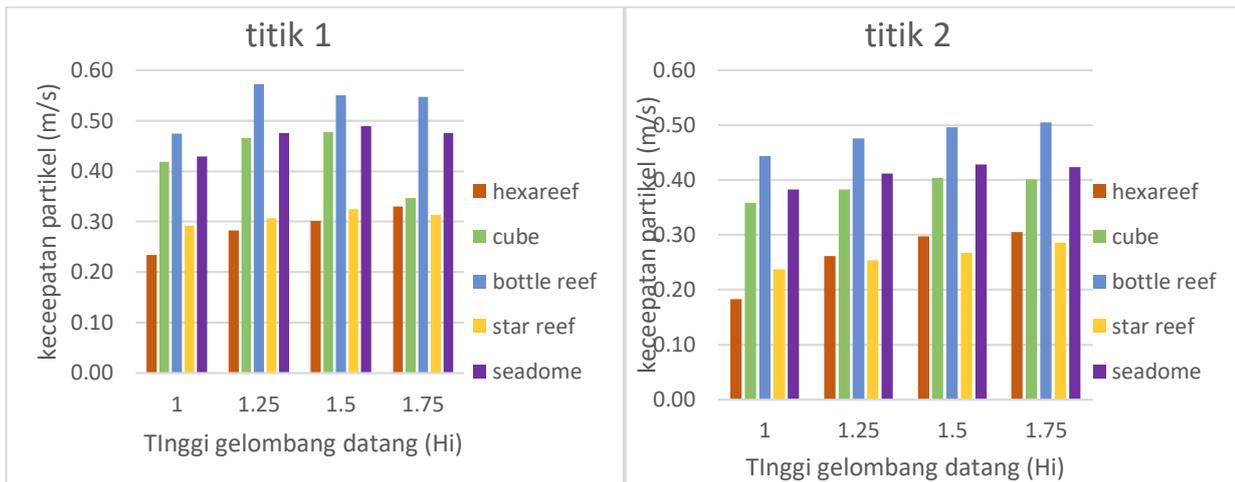
parallel dengan gelombang menghasilkan nilai reduksi gelombang dibandingkan dengan bentuk yang lebih sederhana.

Kecepatan partikel fluida naik seiring dengan naiknya tinggi gelombang uji. hal ini dipengaruhi semakin meningkatnya energi yang beredar di sekitar terumbu. pada beberapa titik dan terumbu buatan saja ada sedikit penurunan kecepatan. Tetapi hal ini tidak jauh berbeda dan tidak banyak mempengaruhi nilai kecepatan rata rata yang menjadi karakteristik masing masing terumbu buatan.

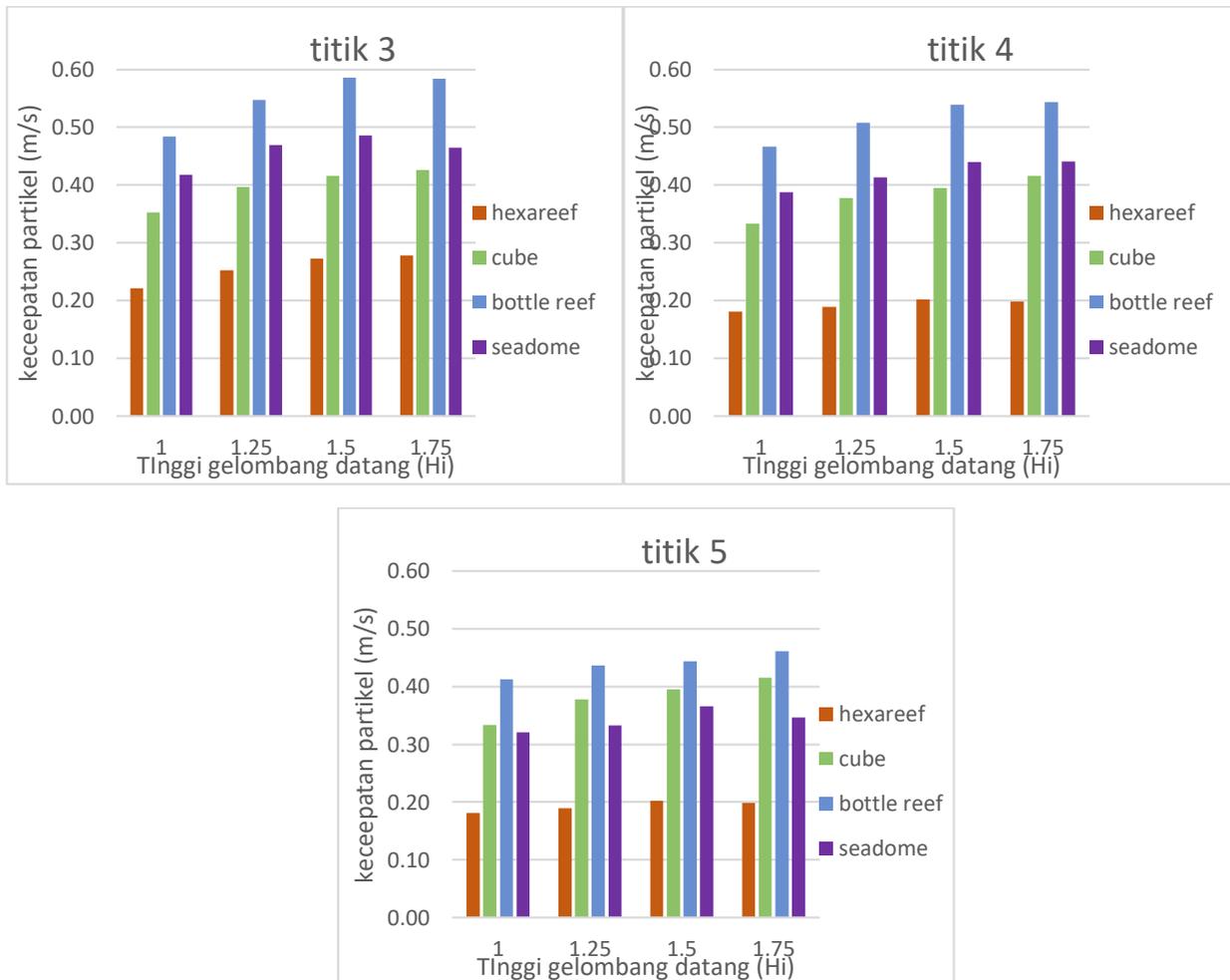
Penilaian performa *artificial reef* dari sisi pengurangan kecepatan fluida menurut gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan bahwa hexareef cukup baik untuk bisa menurunkan kecepatan fluida di sekitarnya. Nilai yang ditunjukkan star reef di bagian luar terumbu buatan juga menunjukkan angka yang cukup rendah, tetapi star reef ini tidak mempunyai bagian dalam yang menyebabkan tidak ada cukup bagian yang bisa difungsikan sesuai dengan tujuan utama terumbu buatan. Secara berurutan *cube reef*, *seadome* dan *bottle reef* mempunyai nilai kecepatan dibawah *hexareef* dan *cube reef*.



Gambar 4.13 : Grafik koefisien transmisi dari terumbu buatan.



Gambar 4.14 : Grafik kecepatan rata-rata terumbu buatan di bagian luar.



Gambar 4.15 : Grafik kecepatan rata-rata terumbu buatan di bagian dalam.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Terumbu karang buatan dengan bentuk *hexareef*, *cube reef*, *seadome*, *star shaped reef* dan *bottle reef* telah berhasil dimodelkan dengan baik untuk keperluan simulasi numerik dengan menghasilkan file CAD dan STL yang bisa dijadikan sebagai input model program Flow-3D.
2. Pengamatan aliran fluida di sekitar terumbu buatan dilakukan untuk mengambil nilai ketinggian gelombang yang berada pada titik pengamatan gelombang dan kecepatan partikel. Dalam pengamatan ini dibuktikan bahwa terumbu buatan mempengaruhi ketinggian gelombang yang melewatinya. Selain itu, adanya terumbu buatan juga mempengaruhi kecepatan rata-rata partikel yang berada di sekitarnya. Hal ini dibuktikan dengan kecepatan di luar terumbu buatan secara umum lebih besar dibandingkan dengan kecepatan di bagian dalam terumbu buatan.
3. Dalam hal mengurangi ketinggian gelombang, performa *star reef* mempunyai nilai terbaik dengan menghasilkan koefisien transmisi sebesar 0,67, sehingga dalam penerapannya *star reef* ini bisa diaplikasikan seperti pada kawasan wisata sehingga menghasilkan gelombang yang lebih kecil. Penilaian performa *artificial reef* dari sisi kecepatan partikel yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa performa *hexareef* sangat baik. *Hexareef* ini dapat mengurangi kecepatan fluida di sekitarnya hingga mencapai nilai 0,274 di bagian luar terumbu dan 0,209 di bagian dalam terumbu.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhwady, Rudhy., Mukhtasor., Armono, H.D., Musta'in, Mahmud. 2013. "Pengaruh Gelombang Reguler Dan Irreguler Terhadap Koefisien Transmisi Peredam Gelombang Ambang Terbenam Tipe Silinder Berongga (*Bottle reef*)". Jurnal Kelautan Nasional Vol 3 No 3 April, Balitbang KKP RI.
- Armono, H., 2004. A two dimensional hydrodynamics model in the vicinity of *artificial reefs*,. Paper presenterd for PIT XXI – HATHI, Denpasar, 2004.
- Armono, H., Hall, K., 2002. Wave transmission on submerged *breakwaters* made of hollow *hemispherical* shape *artificial reefs*. In: The 1st Coastal, Estuary and Offshore Engineering. The Canadian Society of Civil Engineering, New Brunswick, Canada, pp. 1–12
- Buccino, M., Calabrese, M., 2007. Conceptual approach for prediction of wave transmission at low-crested *breakwaters*. J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng. 133 (3), 213–224.
- Buccino, M., Del Vita, I., Calabrese, M., 2013. Predicting wave transmission past *reef ball*TM submerged *breakwaters*. J. Coast. Res. Special Issue No. 65, 171–176
- CERC. 1984. "Shore Protection Manual". Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington.
- Dalrymple, R., Driscoll, A., Ramsey, J., 1991a. Laboratory Testing of the Beachsaver *Breakwater* System. Technical Report. Prepared for *Breakwaters* International, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.
- Ditton RB, Osburn HR, Baker TL, Thaing CE. Demographics, attitudes, and *reef* management preferences of sport divers in offshore Texas waters. In: Relini G, Ferrara G, Massaro, E, editors. Seventh International Conference on *Artificial reefs* and Related Aquatic Habitats, Sanremo, Italy: Societa Italiana di Biologia Marina, 199. p. 241–53.

- Duedall, I., Champ, M., 1991. *Artificial reefs: emerging science and technology*. Oceanus 34 (1), 94–101.
- Estrada, M., E. Berdalet (1997). Shytoplankton in a turbulent world. Sci. Mar., 61(Supl. 1): pp. 125-140
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012. State of the World Fisheries and Aquaculture. Rome. 199–206. (http://www.fao.org/sofia/sofia/index_en.htm).
- Garcia, S.M., de Leiva Moreno, I., 2001. Global overview of marine fisheries. In: Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, Reykjavik, Iceland, pp. 1–24.
- Harris, L. E., 1995. Engineering design of *artificial reefs*. In: OCEANS'95. MTS/IEEE.Challenges of Our Changing Global Environment. Conference Proceedings, vol.2. IEEE, San Diego, CA, USA, pp. 1139–1148.
- Jensen A. European *Artificial reef* ResearchNetwork (EARRN): Final Report and Recommendations. Published by the University of Southampton, June 1998.
- Kirboe, T. 1997, Small-scale turbulence, marine snow formation, and planktivorous feeding. Sci. Mar., 61(Supl. 1): pp. 141-158
- Liu, Tsung-Lung., Su, Dong-Taur., 2013., Numerikal analysis of the influence of *reef* arrangements on *artificial reef* flow fields., Ocean Engineering 74 (2013) 81–89.
- Margales, R. 1978, Life forms of fitoplanktonas survival alternatives in an unstable environment. Oceanol, Acta, 1:493-509
- Putra, Arya Okvan Pradana, and Haryo Dwito Armono. "Pengaruh Elevasi Muka Air Laut Pada Koefisien Transmisi dan Refleksi Composite *Breakwater*." *Jurnal Teknik ITS* 2.1 (2013): G47-G51.
- Ranasinghe, R., Turner, I.L., 2006. Shoreline response to submerged structures: a review. Coast. Eng. 53 (1), 65–79. Ranasinghe, R., Turner, I.L., Symonds, G., 2006. Shoreline response to multifunctional artificial surfing *reefs*: a numerikal and physical modelling study. Coast. Eng. 53 (7), 589–611.

- Seaman, W., Sprague, L.M., 1991. Artificial habitat practices in aquatic systems, In *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. Academic Press, Inc., San Diego, California, pp. 1–27.
- Sherman, R., Gilliam, D., Spieler, R., 2002. *Artificial reef* design: void space, complexity, and attractants. *ICES J. Mar. Sci.: J. Con.* 59 (suppl), S196–S200
- Shirlal, K.G., Rao, S., Ganesh, V., et al., 2006. Stability of *breakwater* defenced by a seaward submerged *reef*. *Ocean Eng.* 33 (5), 829–846. Shirlal, K. G., Rao, S., Manu, 2007. Ocean wave transmission by submerged *reef*—a physical model study. *Ocean Eng.* 34 (1415), 2093–2099.
- Sidek, F.J. & M.A. Wahab. 2007. “The Effects of Porosity of Submerged BW Structures on Non Breaking Wave Transformations”. *Malay. J. Civ. Eng.*, 19(1): 17–25.
- Sollitt, C. K., Cross, R. H., 1972. Wave transmission through permeable *breakwaters*. In: *Coastal Engineering Proceedings*. ASCE, Vancouver, Canada, pp. 1827–1846.
- Srisuwan, Chatchawin., Rattanamanee, Payom., 2015., Modeling of *Seadome* as *artificial reefs* for coastal wave attenuation., *Ocean Engineering* 103 (2015) 198–210.
- Tamrin, Pallu, S., Parung, H., Thaha, A., 2014, The reduction of run-up and run-down with perforated block breakwater *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 9, No. 10, October 2014
- Terashima, H., 2006. *Artificial reef* projects: case studies in Japan and Senegal. The International Forum of the Development of Taiwan *Artificial reef*. Biodiversity Research Centre, Academia Sinica, Taipei, pp. 85–90.
- Triadmodjo, Bambang. 1999. “Teknik Pantai”. Beta Offset. Yogyakarta
- Tsai, C.P., Chen, H.B., Lee, F.C., 2006. Wave transformation over submerged permeable *breakwater* on porous bottom. *Ocean Eng.* 33 (11–12), 1623–1643..

- Ward, D., 2011. Physical Model Study of an Experimental *Reef Ball Breakwater* for Miami Beach, Florida (unpublished report). Technical Report. EDRC, Coastal and Hydraulics Laborator
- Winarto, Aris. 2017. Pengaruh konfigurasi terumbu buatan bentuk hexagonal pada transmisi gelombang, Tugas akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wiryanto, L.H., 2011. Wave propagation passing over a submerged porous *breakwater*. J. Eng. Math. 70 (1–3), 129–136

Lampiran I
File input program Flow3d

Buoy simulation - No buoy. Wave analysis only

\$xput

remark='!! Remarks beginning with "!! " are automatically added and removed by FLOW-3D.'

remark='!! Do not begin any user added remarks with with "!! ". They will be removed'

twfin=120,
itb=1,
itwfin=2147483647,
dtmin=1e-12,
ifvisc=1,
imobs=1,
impmob=0,
impadv=0,
ifvof=6,
ifdynconv=1,
alphamb=0.0,
gz=-9.81,
ipdis=1,
idpth=1,
irmflux=1,
iffs=0,
tedit(1)=0,
tpltd(1)=0.5,
thpltd(1)=0.1,

\$end

\$limits

\$end

\$props

rscsq=4.55e-10,
units='si',
tunits='c',
mu1=0.001,
fluid1='Water at 293 K',
thexf1=0.00018,
cv1=4182,
tstar=100,
tl1=-0.149999999999977,
ts1=-0.149999999999977,
clht1=335000,
cvs1=2100,

thcs1=2.215,
rhofs=917,
teut=-273.15,
tmelt=-273.15,
ceut=0,
pcoef=0,
rhof=1000,
sigma=0.073,
thc1=0.597,

\$end

\$scalar

\$end

&PCAP

/

&BCDATA

remark='!! Boundary condition X Min',
ibct(1)=10,
iwavebc(1)=1,
waveh(1)=3,
tnwave(1)=4,
hnwave(1)=1,
pbct(1, 1)=1.013e+05,
ihpbct(1)=1,
flhtbct(1, 1)=0,
waveamp(1, 1)=0.75,
waveper(1, 1)=10,
wavephs(1, 1)=0,

remark='!! Boundary condition X Max',
ibct(2)=8,
iobctp(2)=0,
pbct(1, 2)=1.013e+05,
ihpbct(2)=1,
flhtbct(1, 2)=4,

remark='!! Boundary condition Y Min',
pbct(1, 3)=1.013e+05,
ihpbct(3)=1,
flhtbct(1, 3)=4,

remark='!! Boundary condition Y Max',
pbct(1, 4)=1.013e+05,

```

ihpbct(4)=1,
flhtbct(1, 4)=4,

remark='!! Boundary condition Z Max',
ibct(6)=5,
pbct(1, 6)=1.013e+05,
fbct(1, 6)=0,

remark='!! Boundary condition common
parameters',
timbct(1)=0,
/

&MESH
MeshName='Block with buoy',

nxcelt=600,
px(1)=0,
sizex(1)=0.1,
px(2)=30,
sizex(2)=0.1,

nycelt=25,
py(1)=-0.7,
py(2)=0.7,

nzcelt=90,
pz(1)=-3,
sizez(1)=0.1,
pz(2)=0,
pz(3)=6,
sizez(3)=0.1,
/

$obs
nobs=1,

remark='!! Component 1',
obsid(1)='dome at sea',

remark='!! Subcomponent 1',
iob(1)=1,
subcpid(1)='dome at sea',
igen(1)=3,
fstl(1)='C:/Users/Asus/Google
Drive/THESIS/002 design/003 seadome/5.stl',
trnx(1)=-7.9,
trny(1)=-10.5,

trnz(1)=-3.1,

remark='!! Subcomponent 2',
iob(2)=1,
subcpid(2)='dome at sea',
igen(2)=3,
fstl(2)='C:/Users/Asus/Google
Drive/THESIS/002 design/003 seadome/5.stl',
trnx(2)=-10.5,
trny(2)=-10.5,
trnz(2)=-3.1,

remark='!! Subcomponent 3',
iob(3)=1,
subcpid(3)='dome at sea',
igen(3)=3,
fstl(3)='C:/Users/Asus/Google
Drive/THESIS/002 design/003 seadome/5.stl',
trnx(3)=-13.1,
trny(3)=-10.5,
trnz(3)=-3.1,

remark='!! Component 1 properties',
itpobs(1)=0,
iaqsrb(1)=0,

remark='!! Component common parameters',
avrck=-3.1,
$end

$fl
nfls=1,

remark='!! FluidRegion 1',
fluidRegionName(1)='hydrostatic pressure
distribution',
ifdis(1)=2,
fcc(1)=1.013e+05,
fcz(1)=-9810,

remark='!! Region Pointer common
parameters',
pvoid=1.013e+05,
flht=0,
iflinittyp=1,
$end

$bf

```

\$end

/

\$motn

&HEADER

\$end

project='sek 36b',

version='double',

nprocs=1,

runser=0,

use_parallel_token=0,

/

\$grafic

remark='!! HistoryProbe 1',

wintl(1)='Buoy location probe',

xloc(1)=8,

yloc(1)=0,

zloc(1)=0,

\$parts

\$end

remark='!! HistoryProbe 2',

wintl(2)='Probe at outlet boundary',

xloc(2)=3984,

yloc(2)=0,

zloc(2)=0,

&MPIVAR

/

Documentation: general comments,
background, expectations, etc.

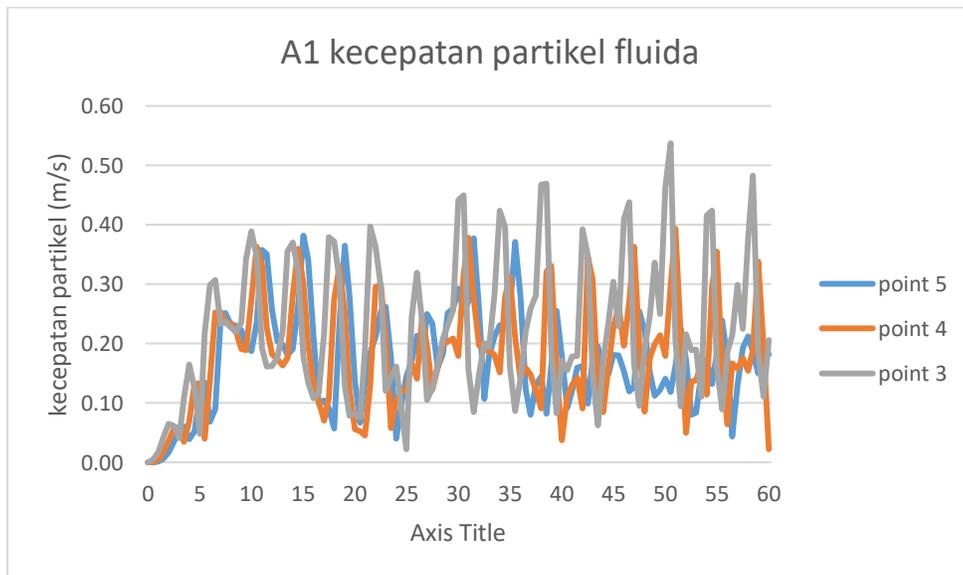
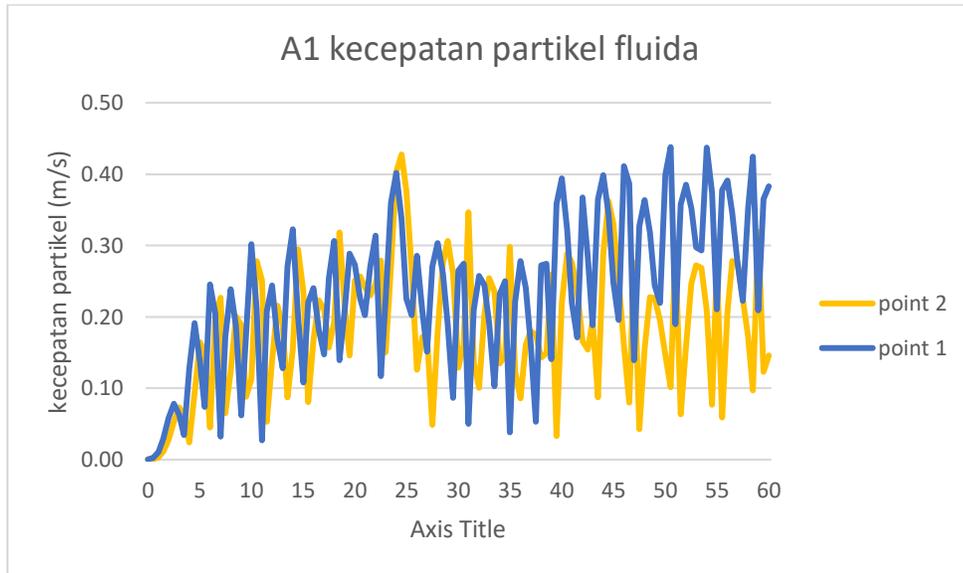
\$end

#start tables:

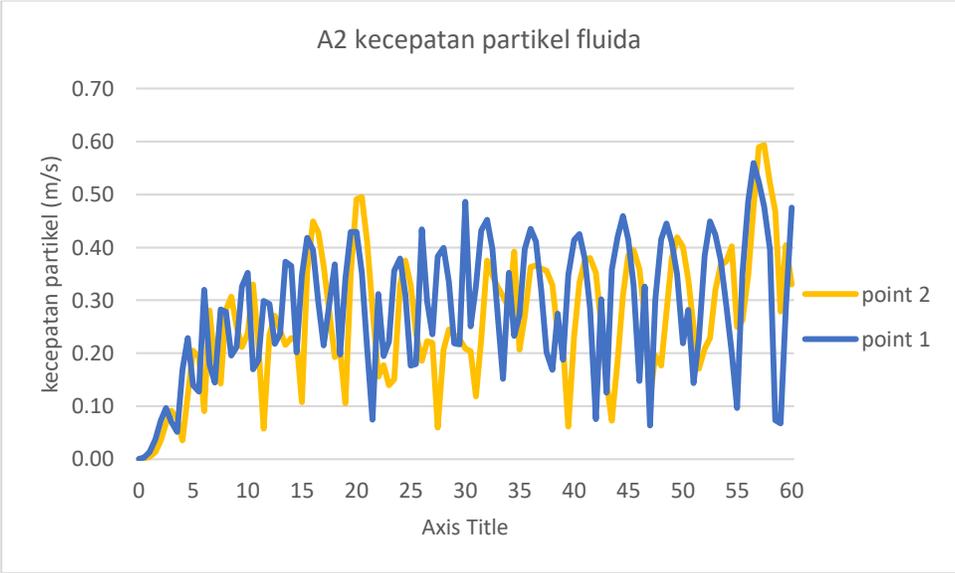
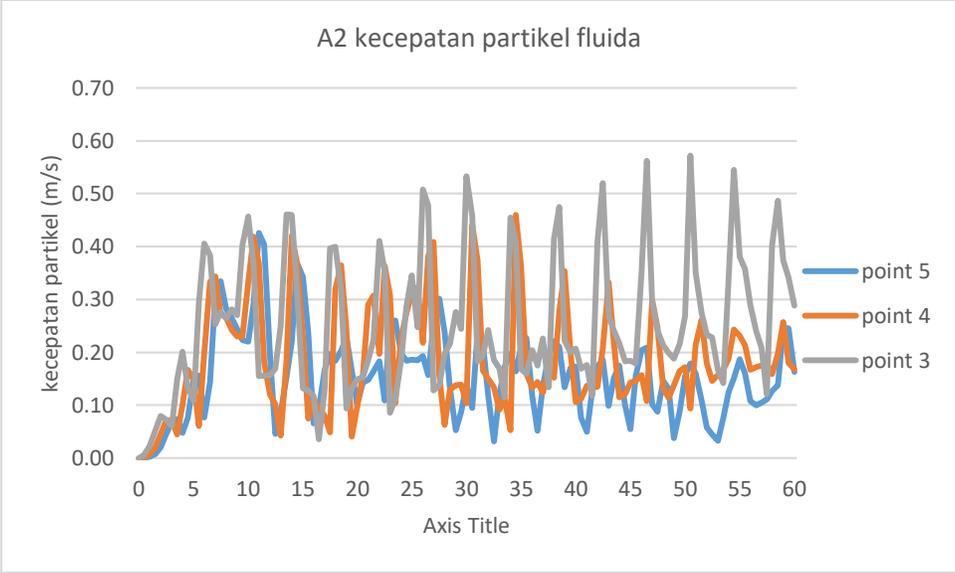
#end start tables

&RENDERSPACE

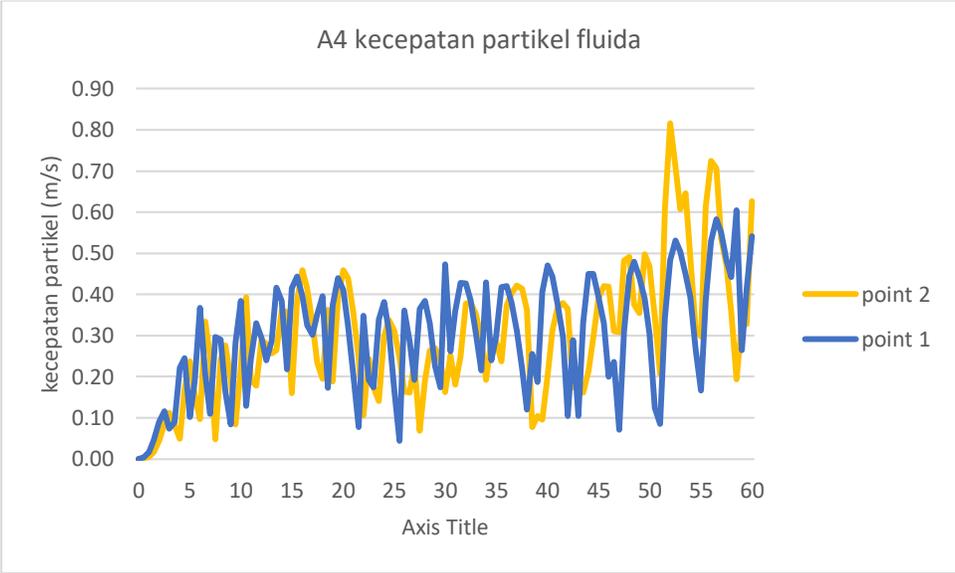
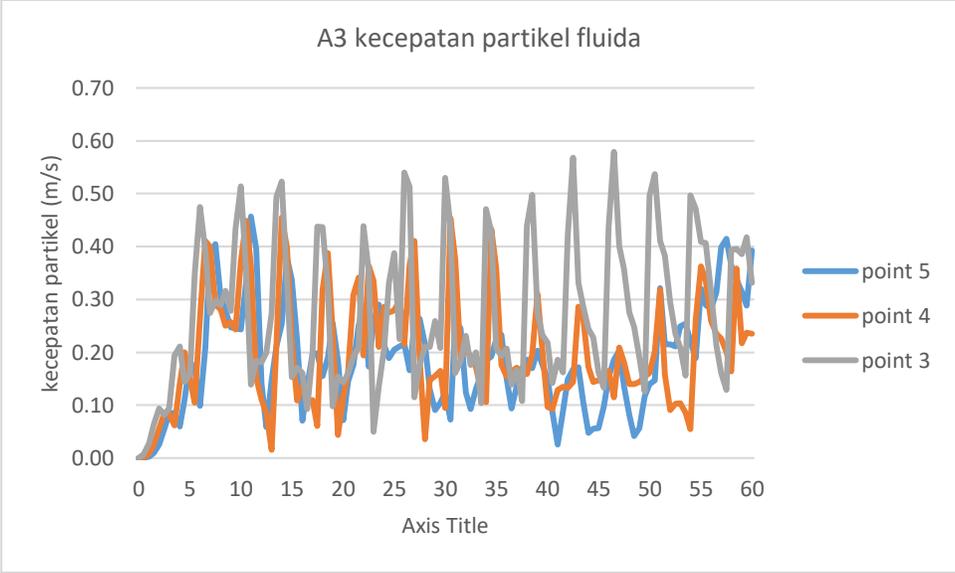
Lampiran II
Grafik kecepatan terumbu buatan



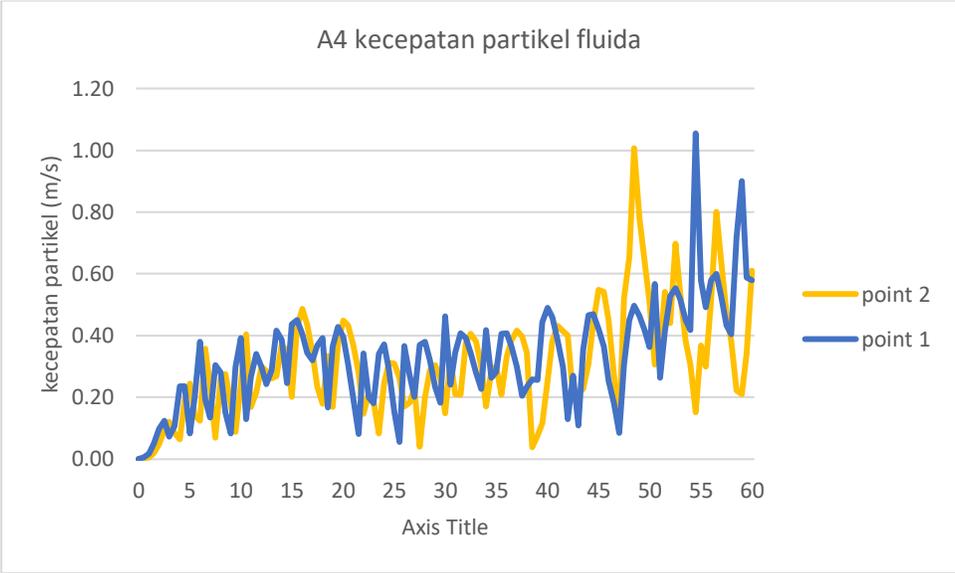
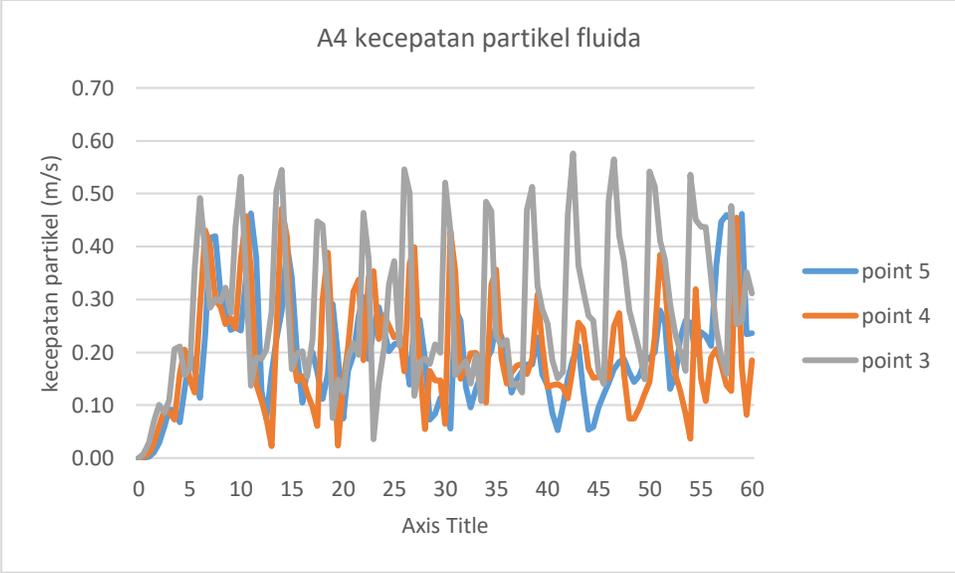
Gambar L.II.1 : Kecepatan di sekitar *hexareef* gelombang 1m.



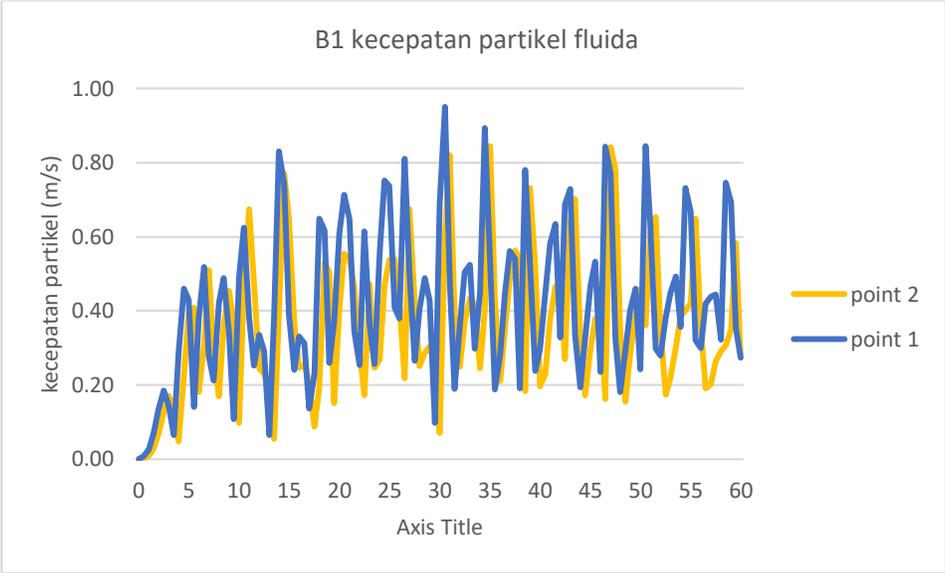
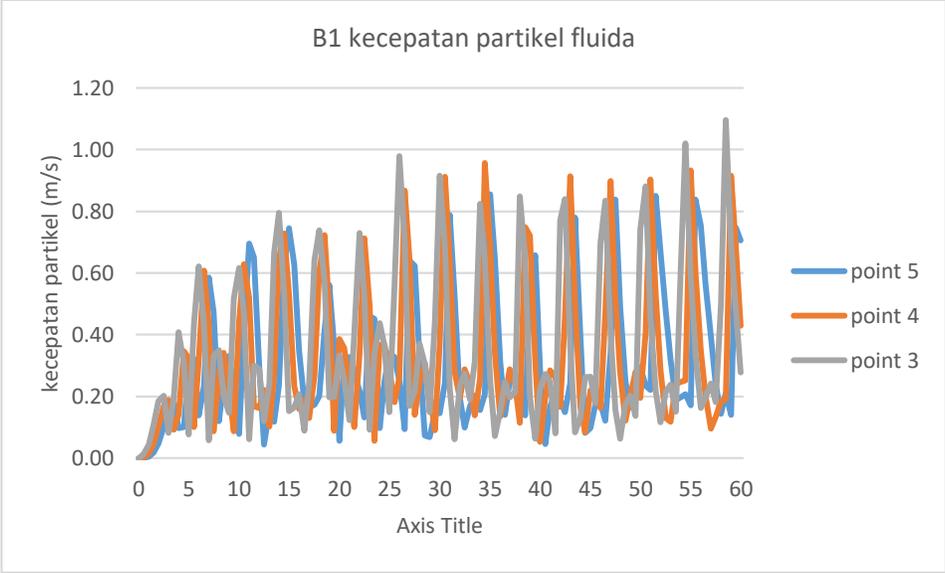
Gambar L.II.2 : Kecepatan di sekitar *hexareef* gelombang 1,25m



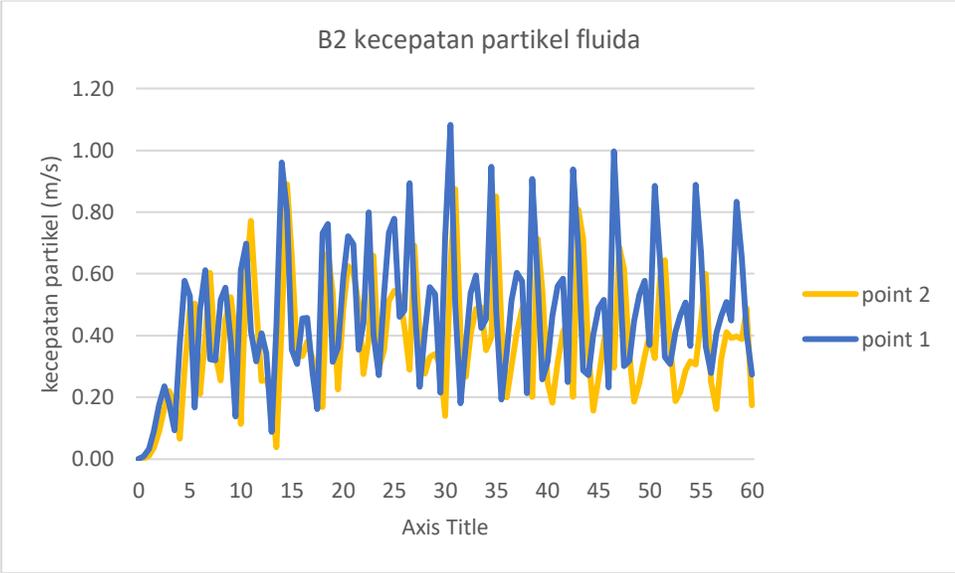
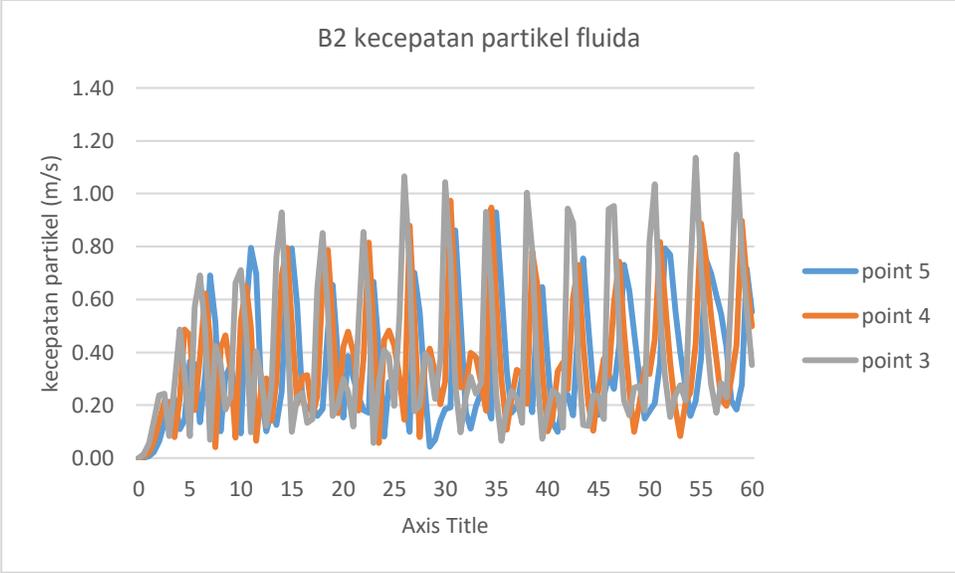
Gambar L.II.3 : Kecepatan di sekitar *hexareef* gelombang ,5m



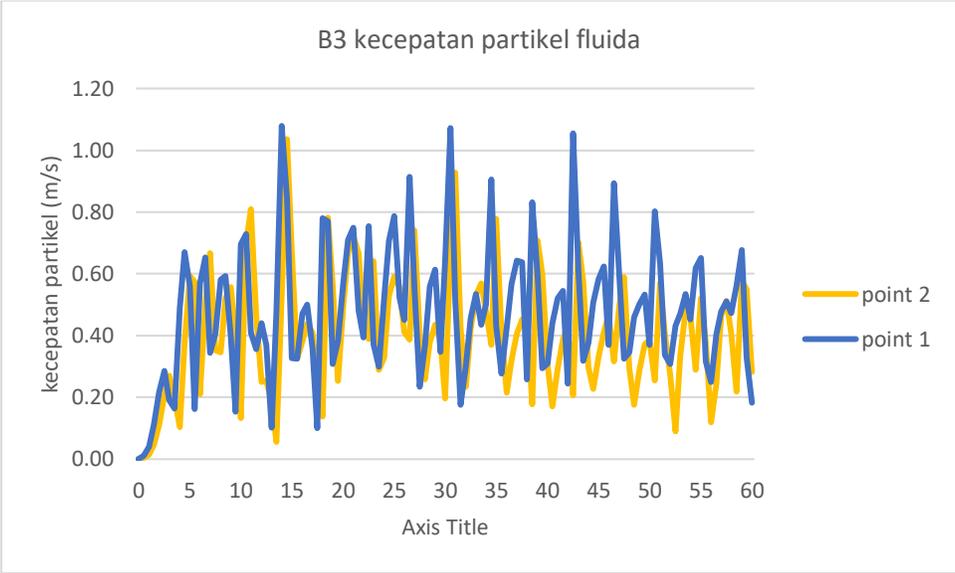
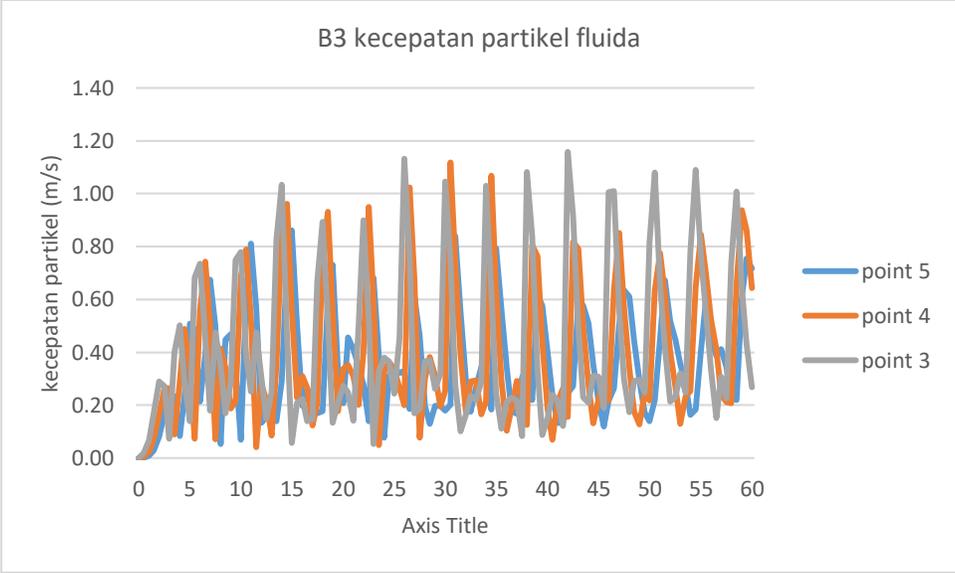
Gambar L.II.4 : Kecepatan di sekitar *hexareef* gelombang 1,75m



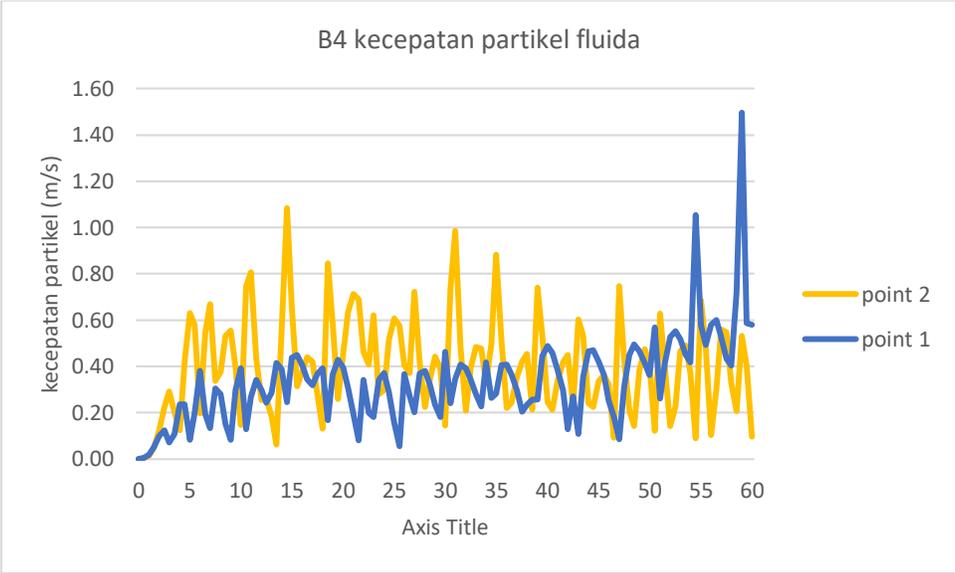
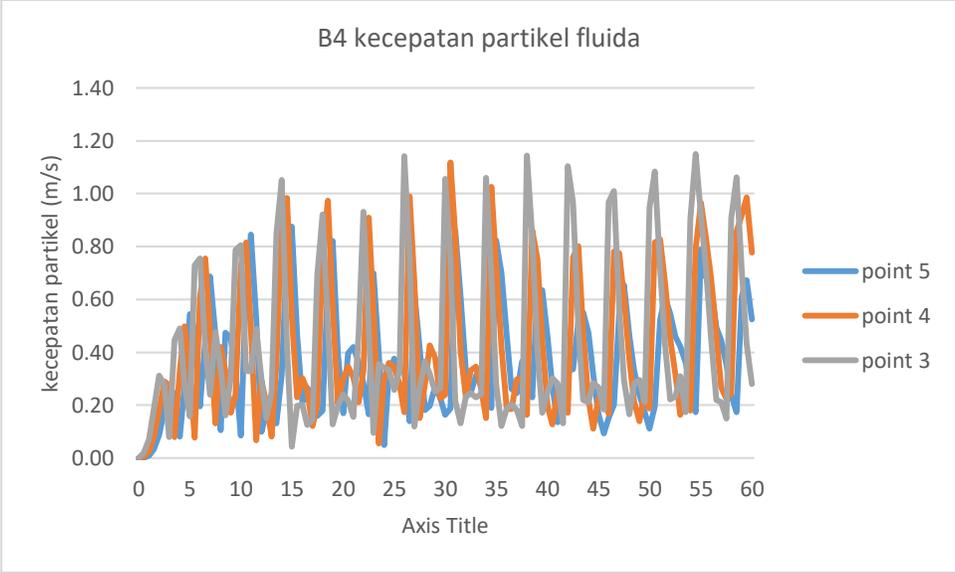
Gambar L.II.4 : Kecepatan di sekitar *cube reef* gelombang 1m



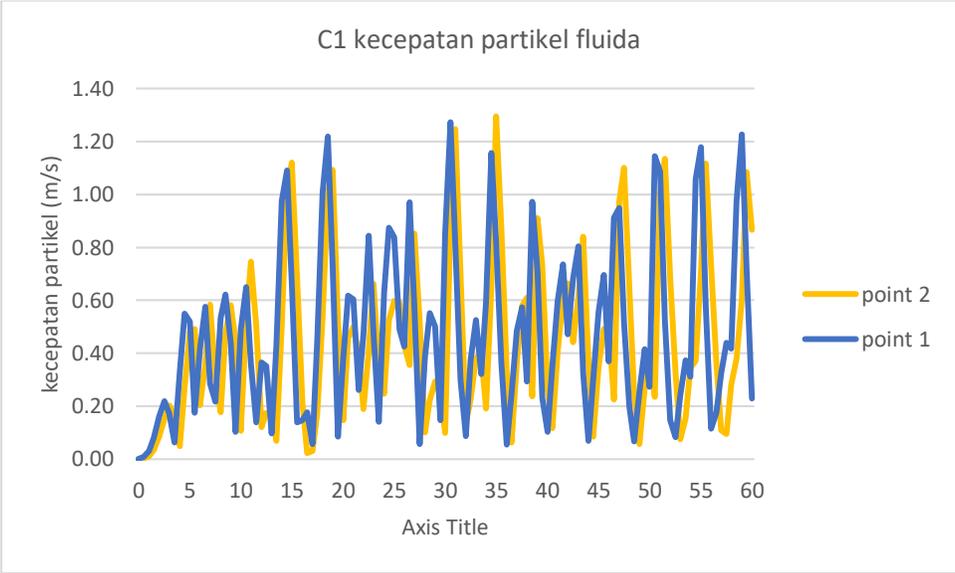
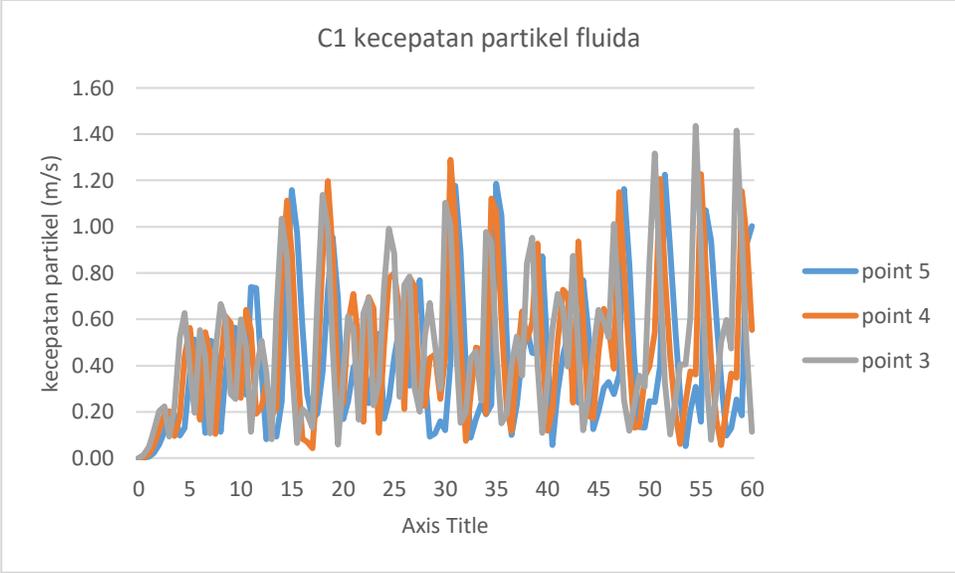
Gambar L.II.5 : Kecepatan di sekitar *cubereef* gelombang 1,25m



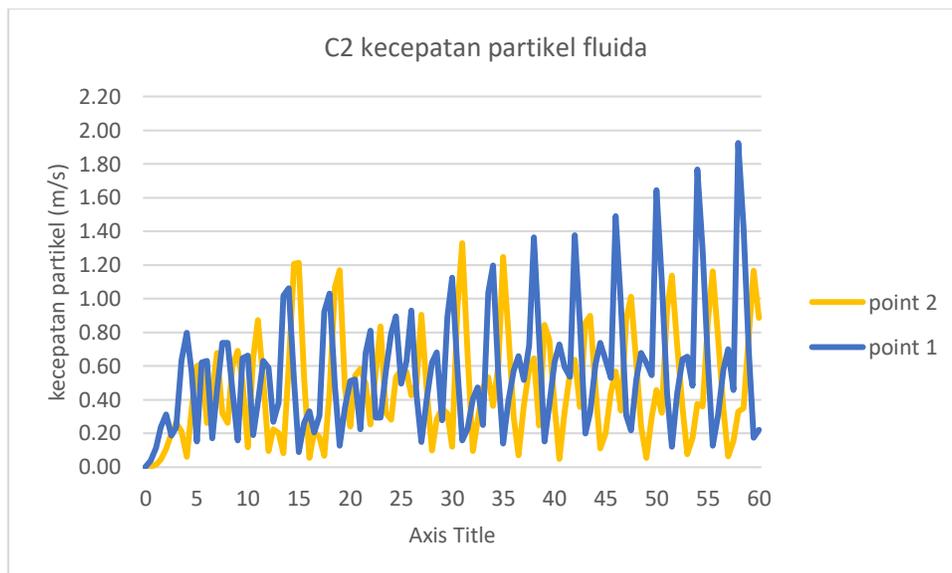
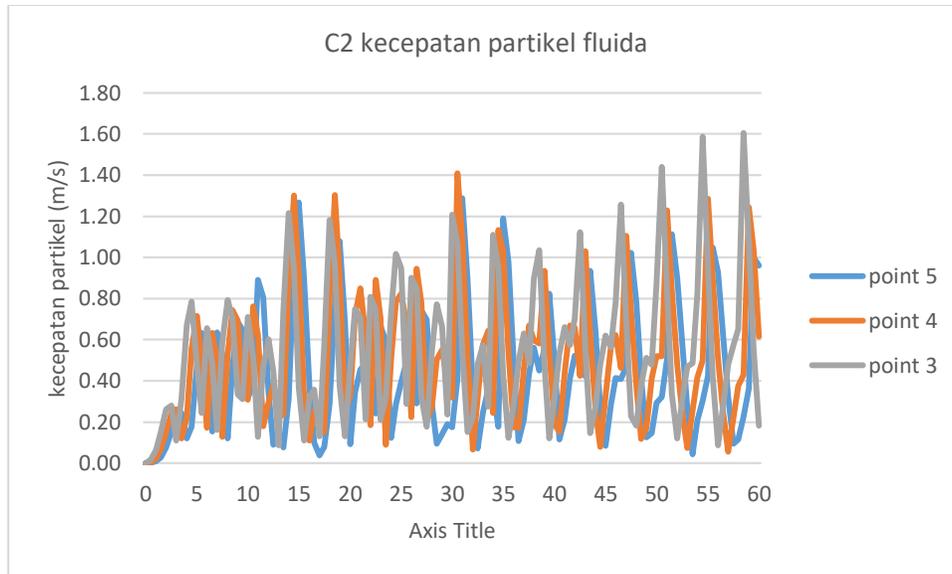
Gambar L.II.7 : Kecepatan di sekitar *cubereef* gelombang 1,5m



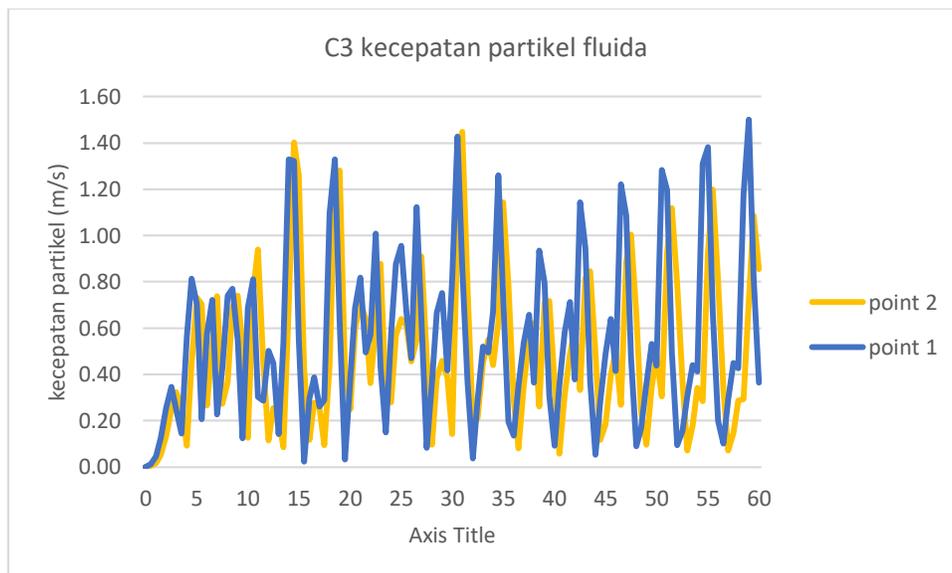
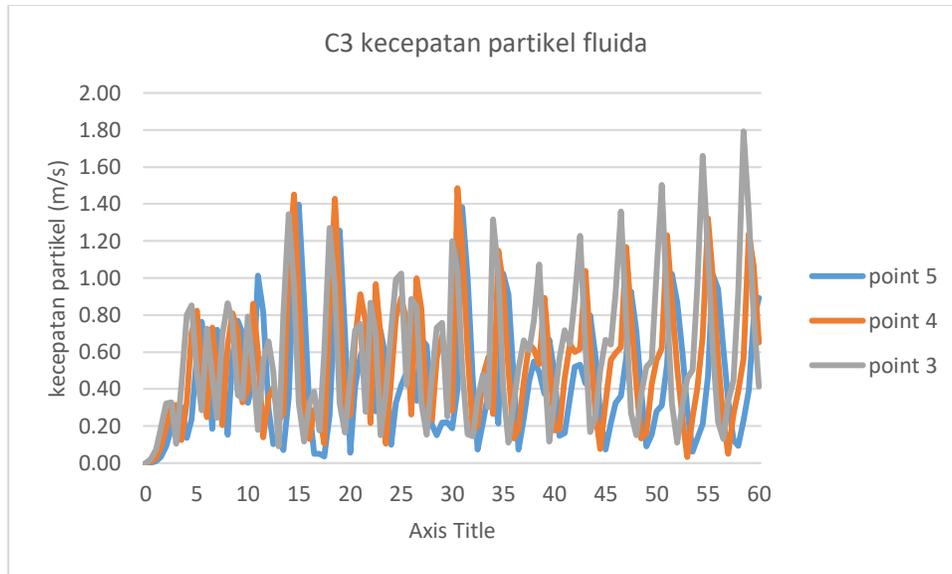
Gambar L.II.8 : Kecepatan di sekitar *cubereef* gelombang 1,75m



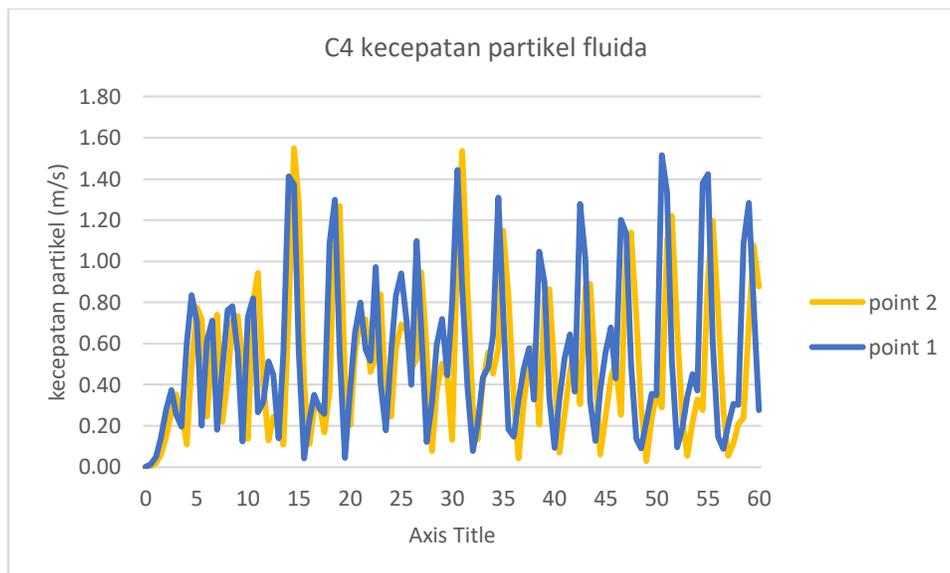
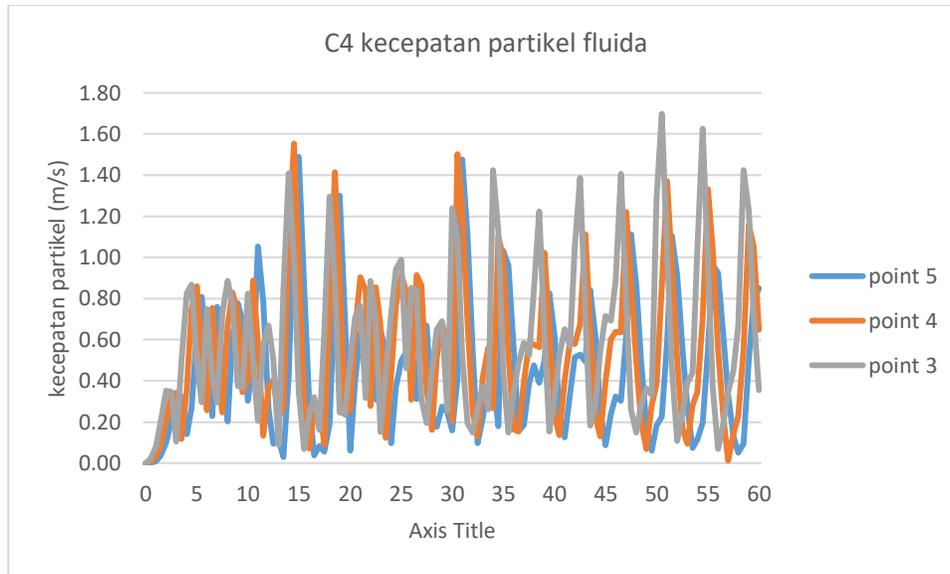
Gambar L.II.9 : Kecepatan di sekitar *bottlereef* gelombang 1m



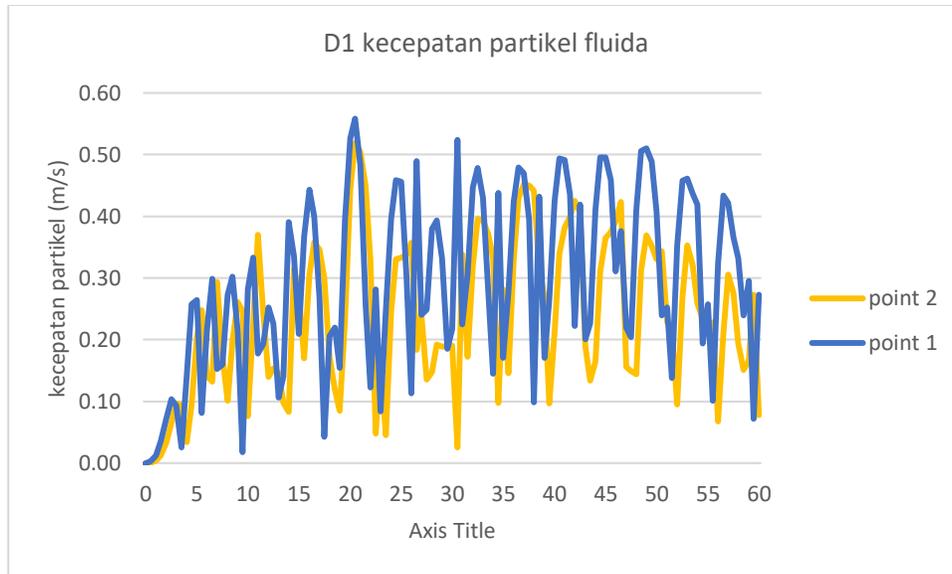
Gambar L.II.10 : Kecepatan di sekitar *bottlereef* gelombang 1,25m



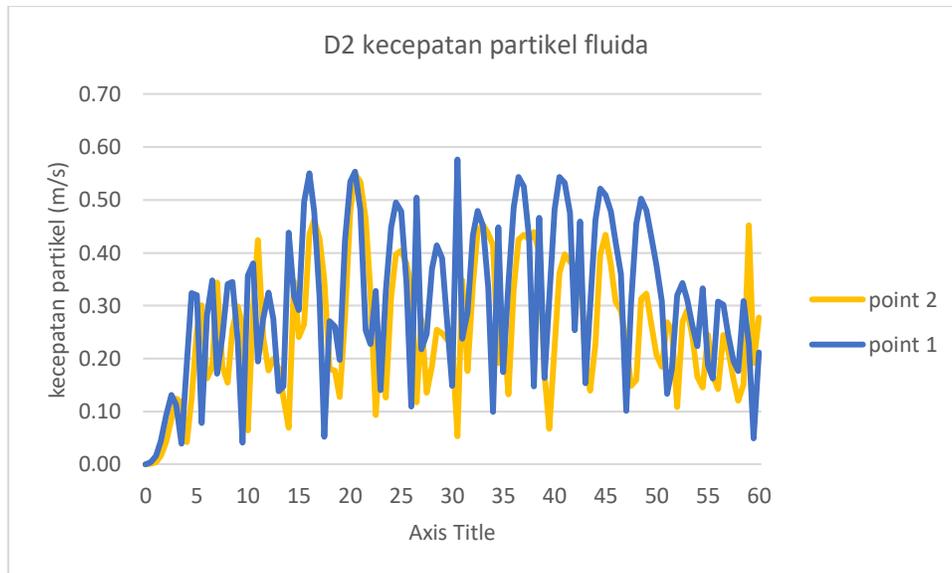
Gambar L.II.11 : Kecepatan di sekitar *bottlereef* gelombang 1,5m



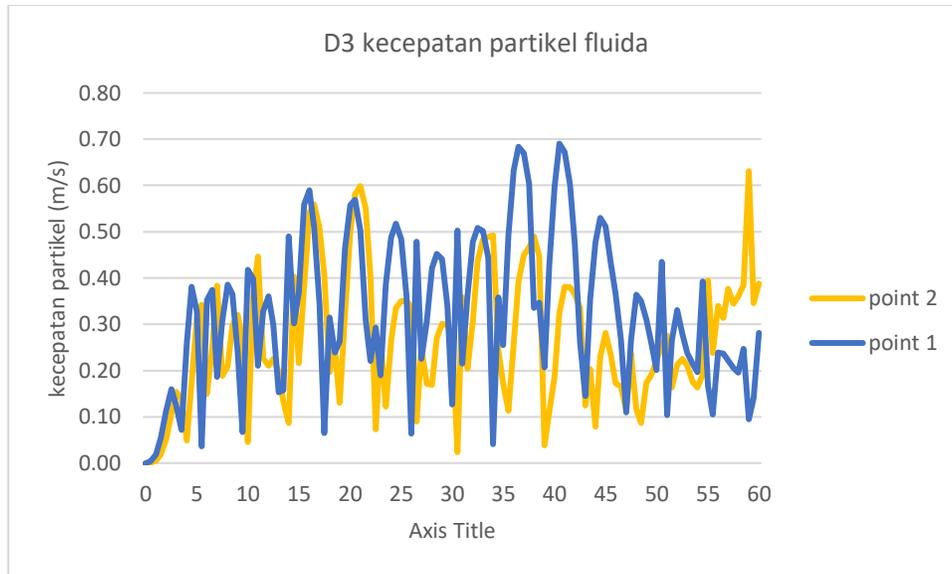
Gambar L.II.12 : Kecepatan di sekitar *bottlereef* gelombang 1,75m



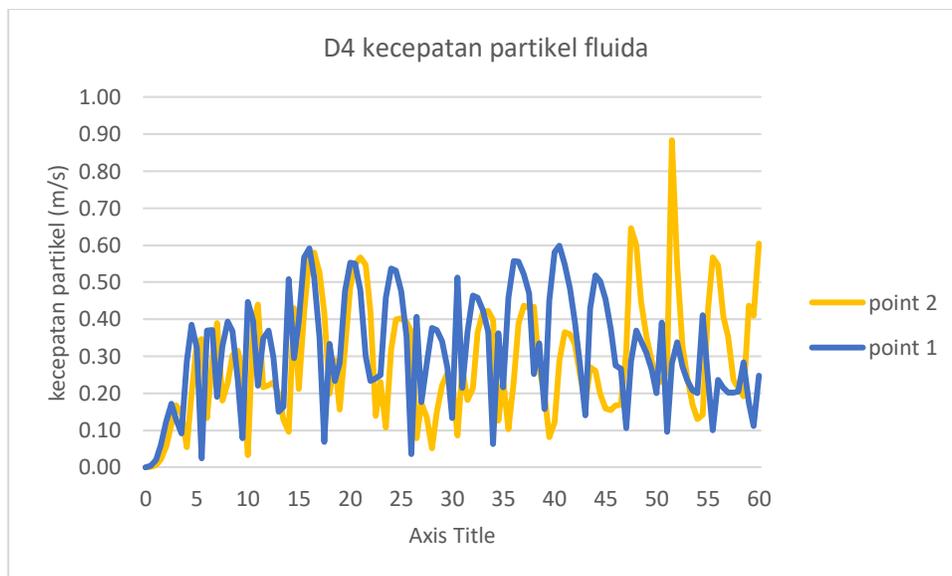
Gambar L.II.13 : Kecepatan di sekitar *star reef* gelombang 1m



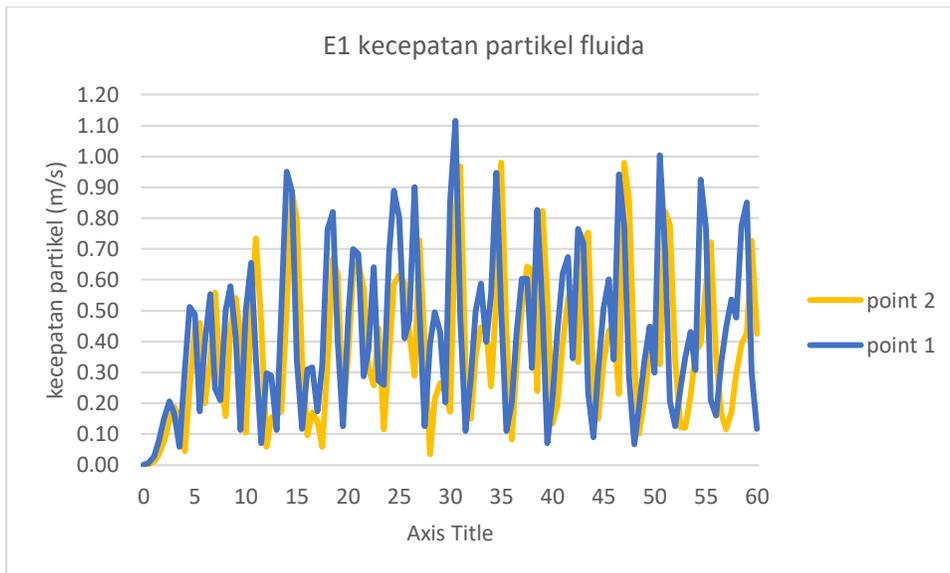
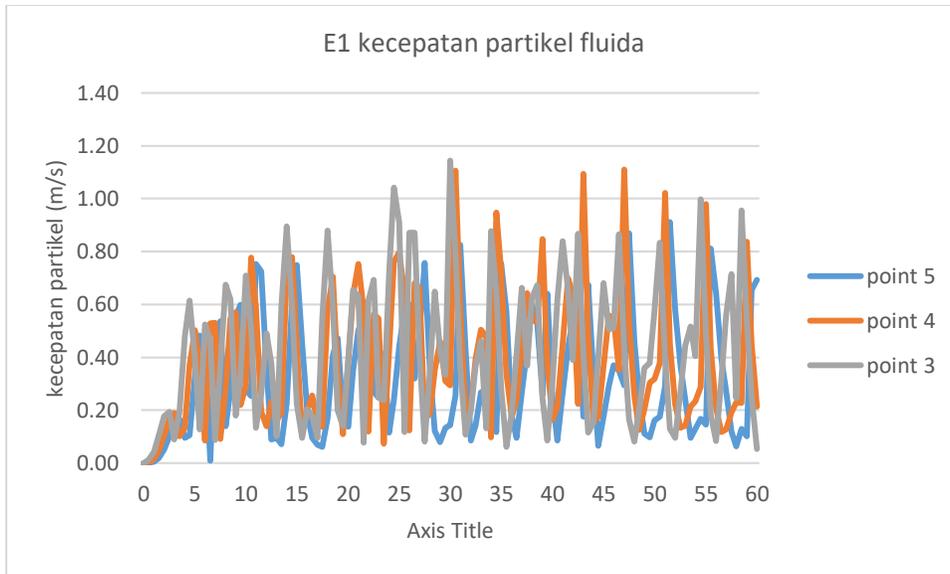
Gambar L.II.14 : Kecepatan di sekitar *star reef* gelombang 1,25m



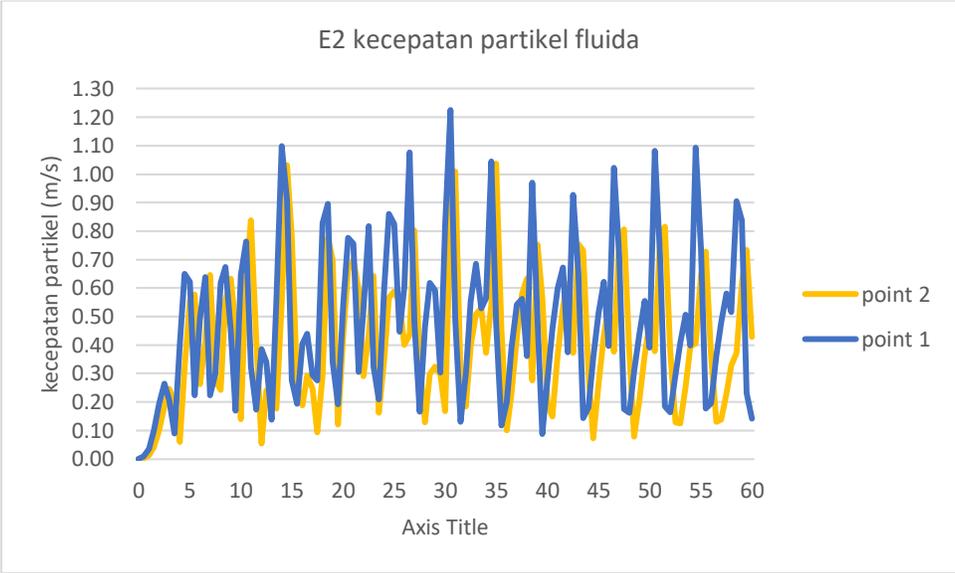
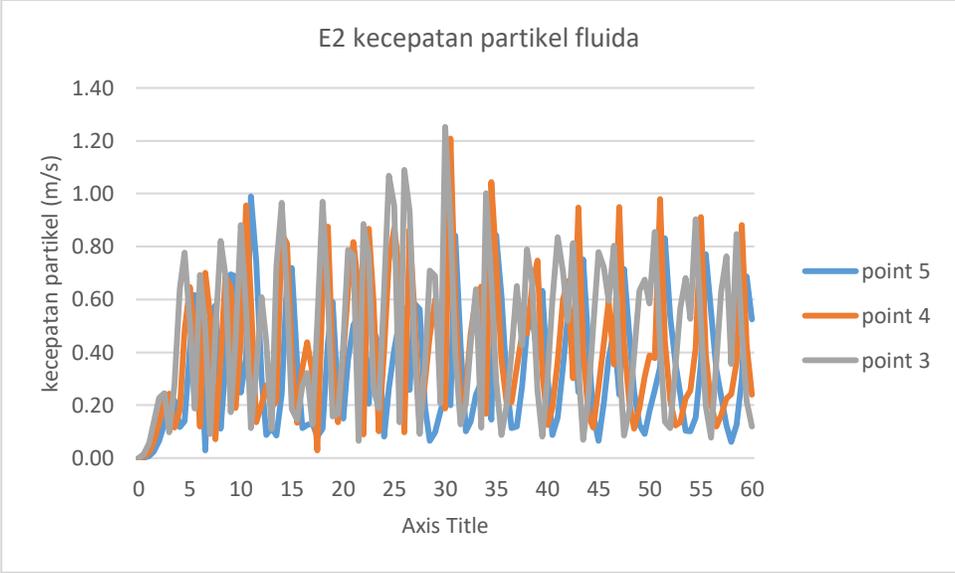
Gambar L.II.15 : Kecepatan di sekitar *star reef* gelombang 1,5m



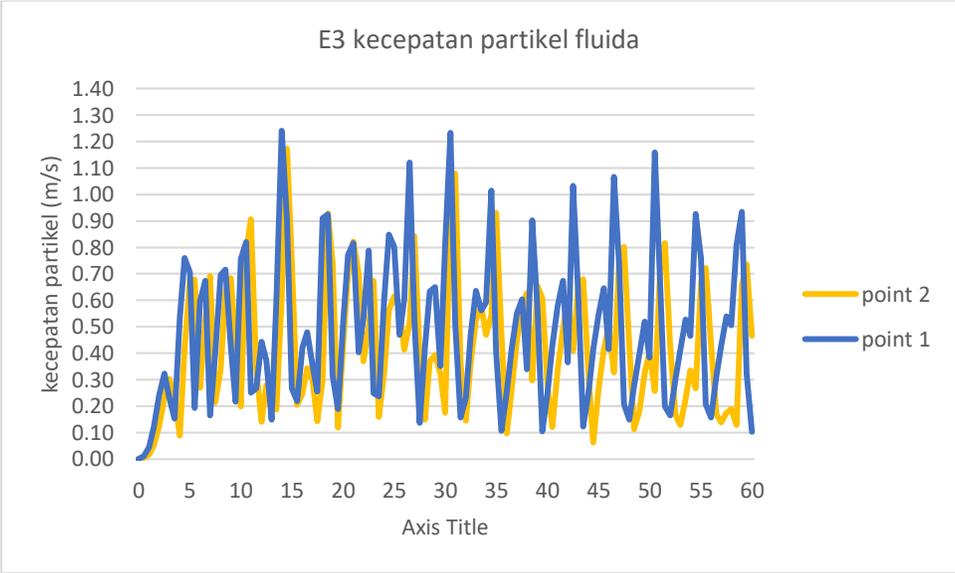
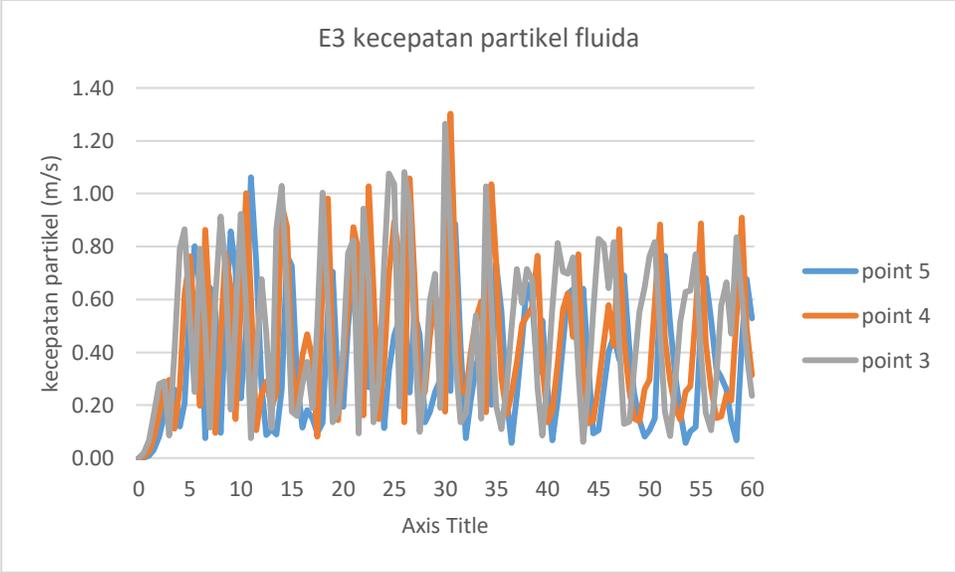
Gambar L.II.16 : Kecepatan di sekitar *star reef* gelombang 1,75m



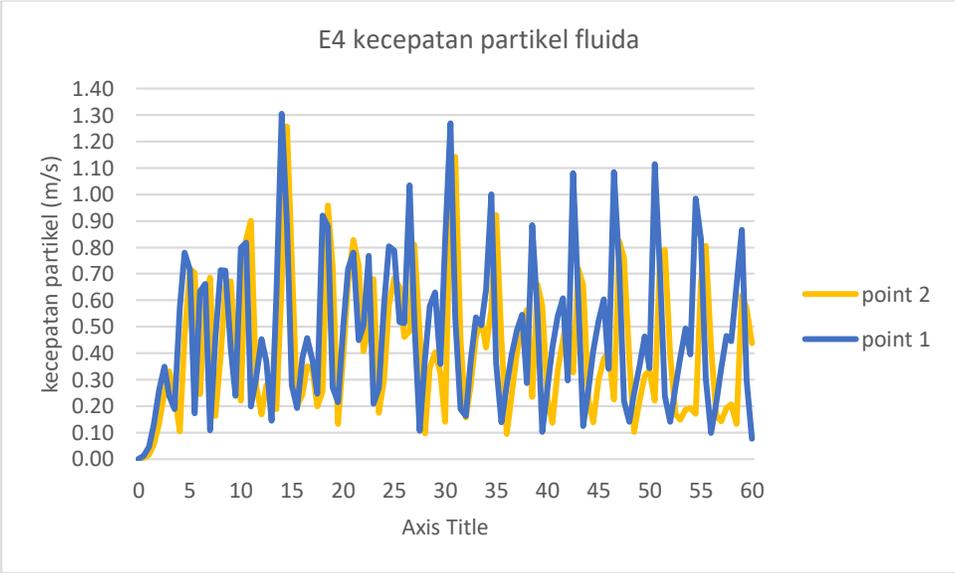
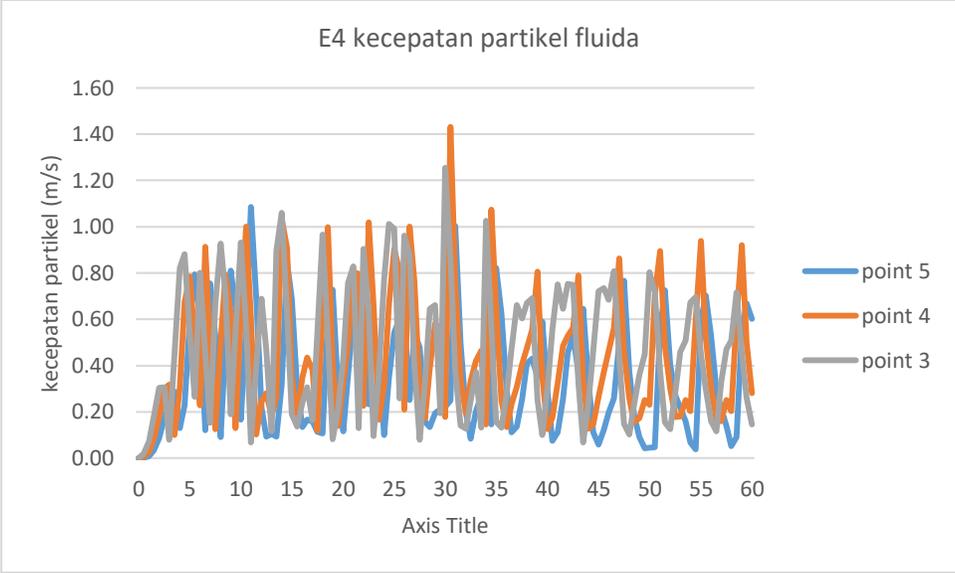
Gambar L.II.17 : Kecepatan di sekitar *seadome* gelombang 1m



Gambar L.II.18 : Kecepatan di sekitar *seadome* gelombang 1,25m

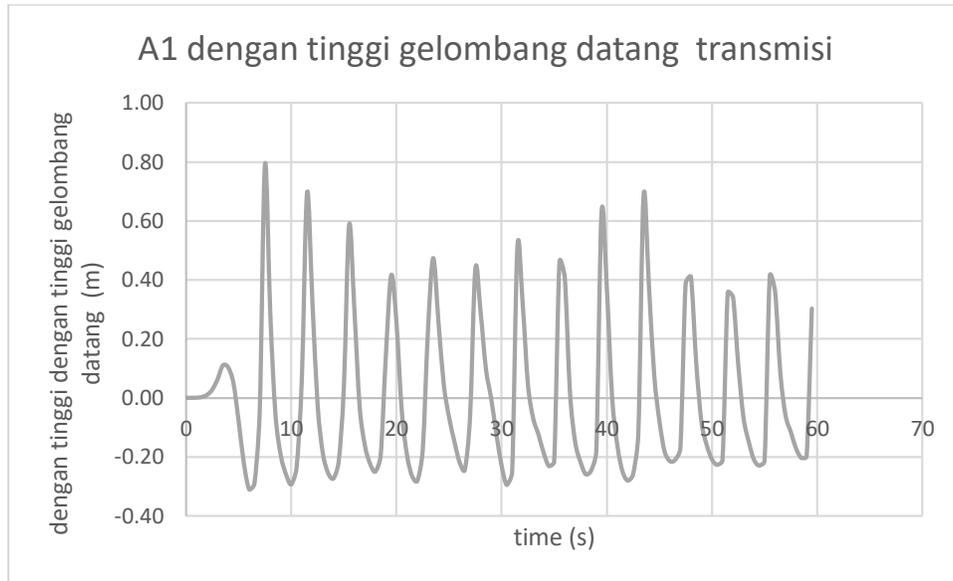


Gambar L.II.119 : Kecepatan di sekitar *seadome* gelombang 1,5m

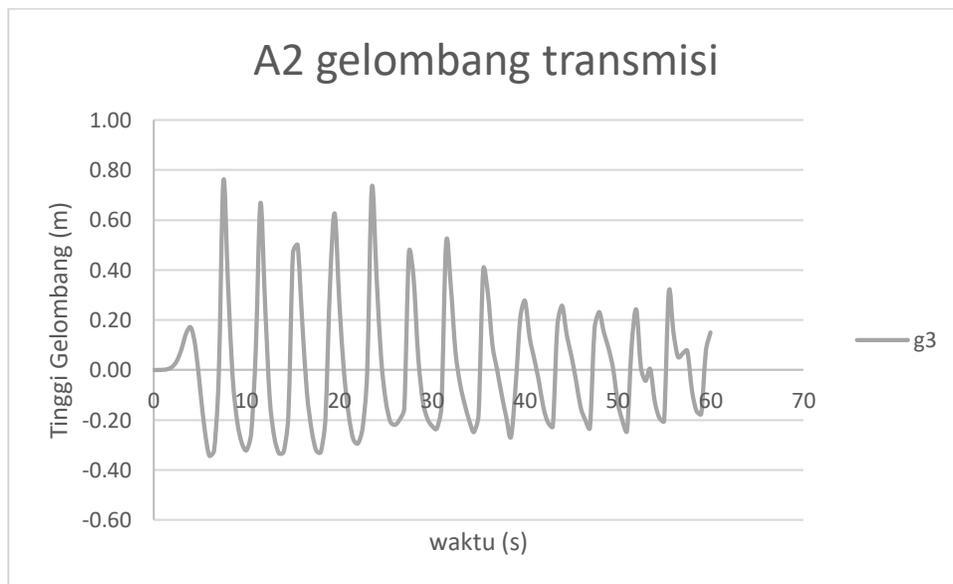


Gambar L.II.20 : Kecepatan di sekitar *seadome* gelombang 1,75m

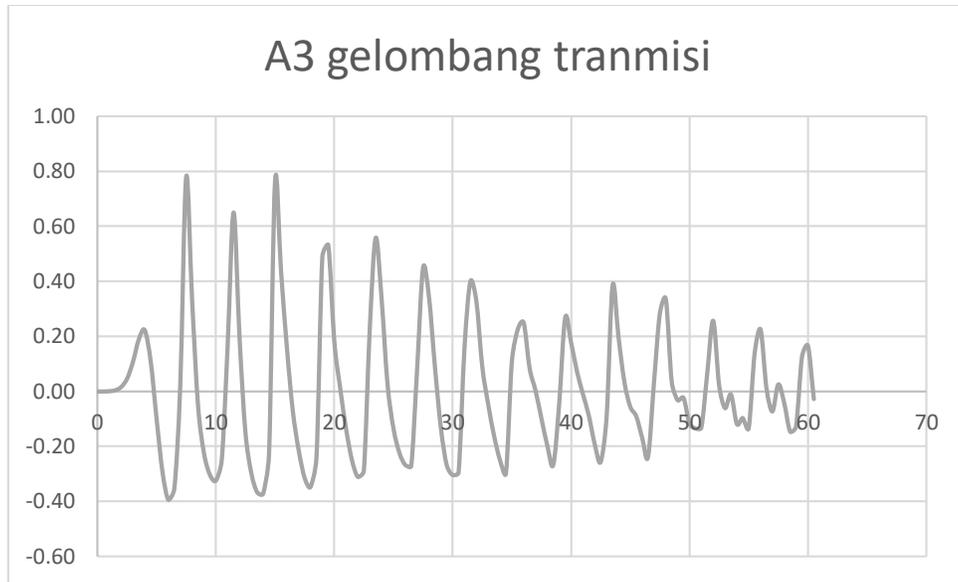
Lampiran III
Transmisi gelombang terumbu buatan



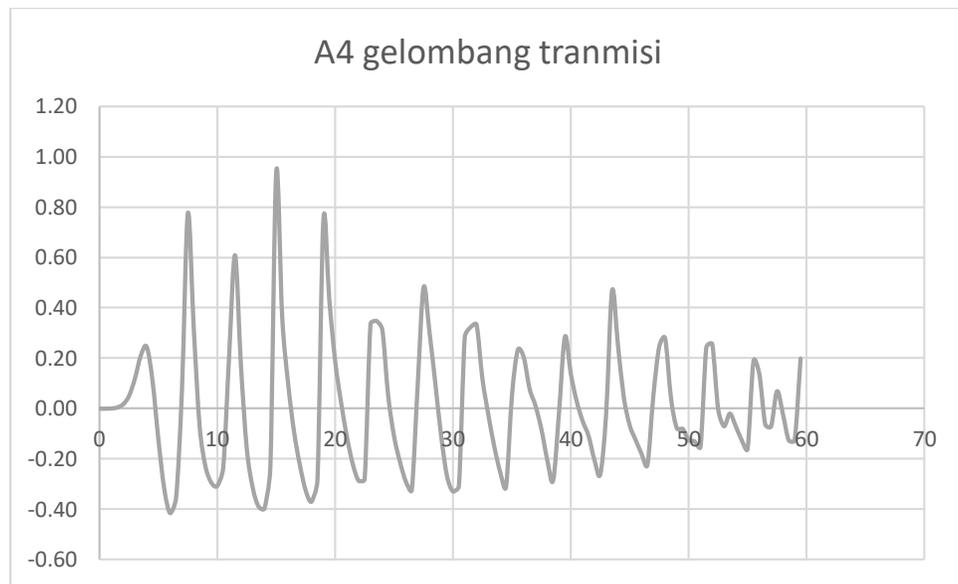
Gambar L.III.1 : Gelombang transmisi *hexareef* dengan tinggi gelombang datang 1m.



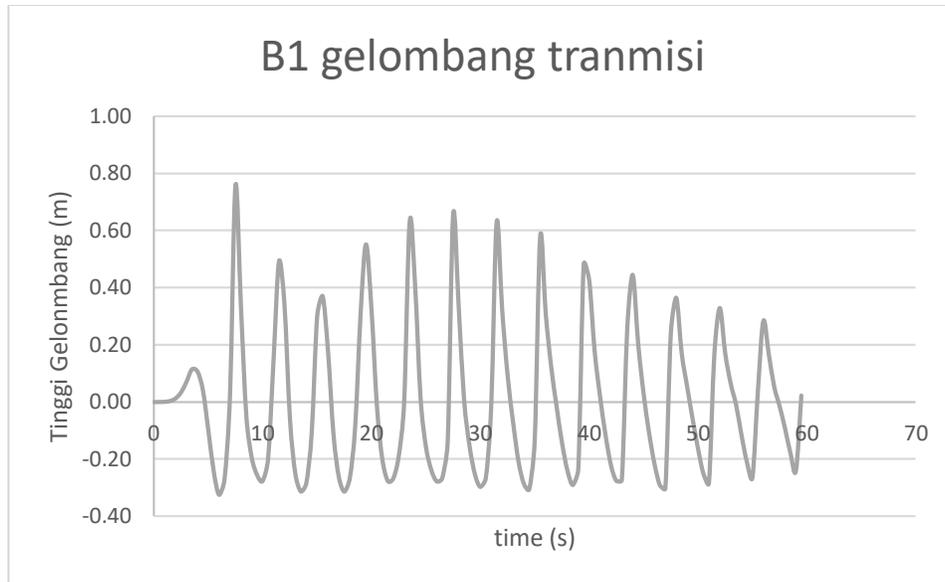
Gambar L.III.2 : Gelombang transmisi *hexareef* dengan tinggi gelombang datang 1,25m



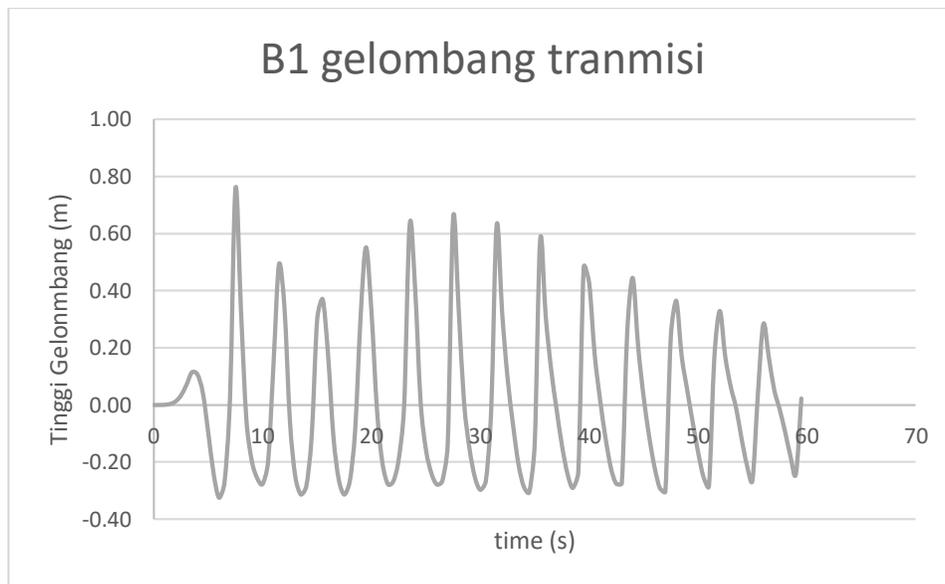
Gambar L.III.3 : Gelombang transmisi *hexareef* dengan tinggi gelombang datang 1,5m



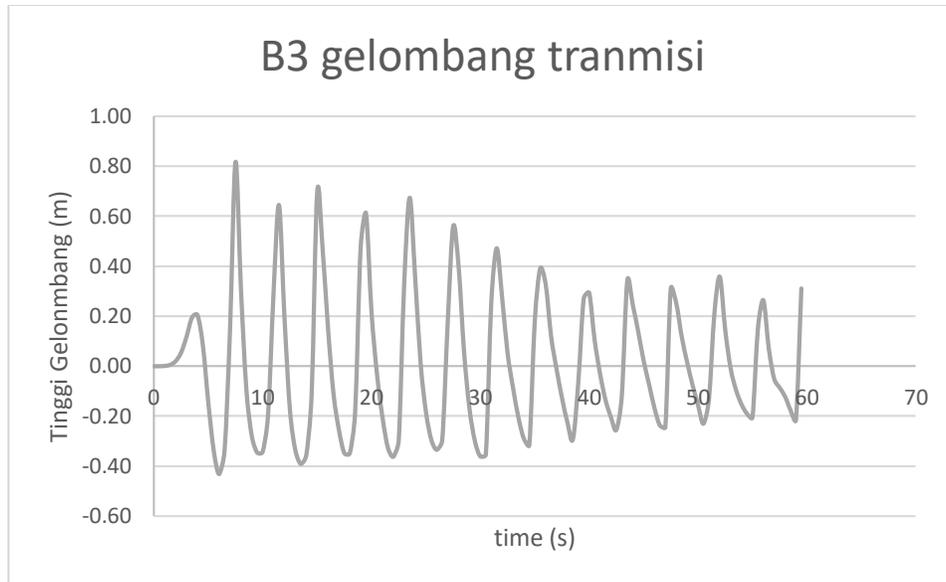
Gambar L.III.4 : Gelombang transmisi *hexareef* dengan tinggi gelombang datang 1,75m



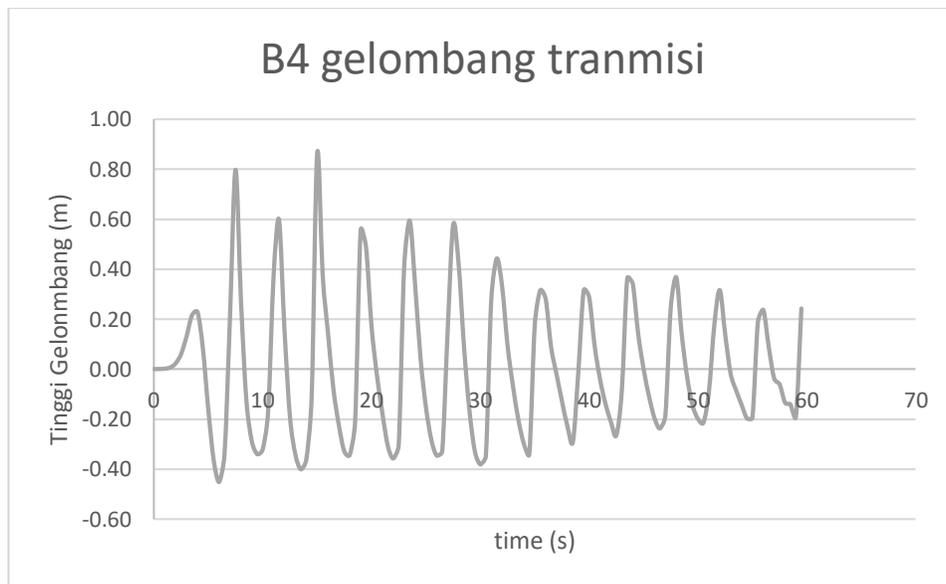
Gambar L.III.5 : Gelombang transmisi *cube reef* dengan tinggi gelombang datang 1m



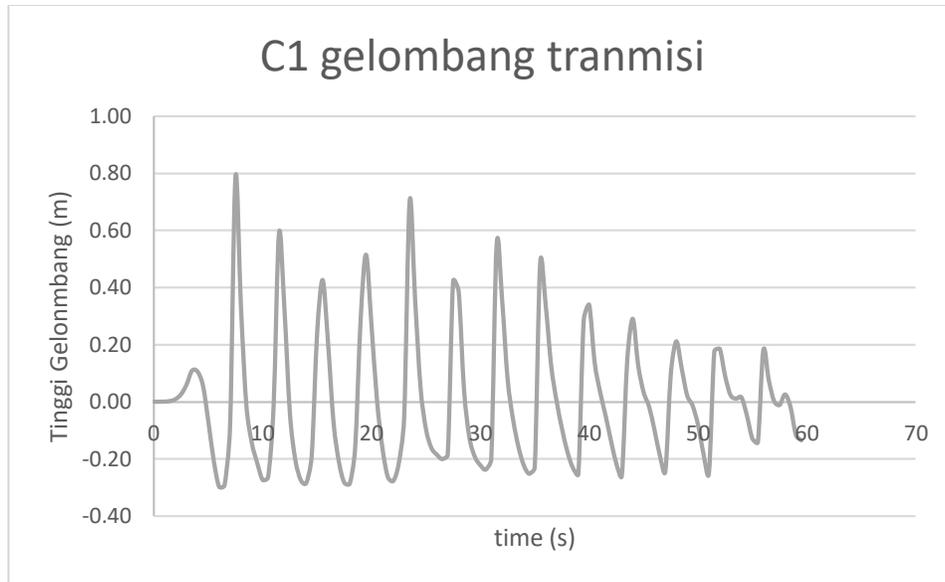
Gambar L.III.6 : Gelombang transmisi *cube reef* dengan tinggi gelombang datang 1,25m



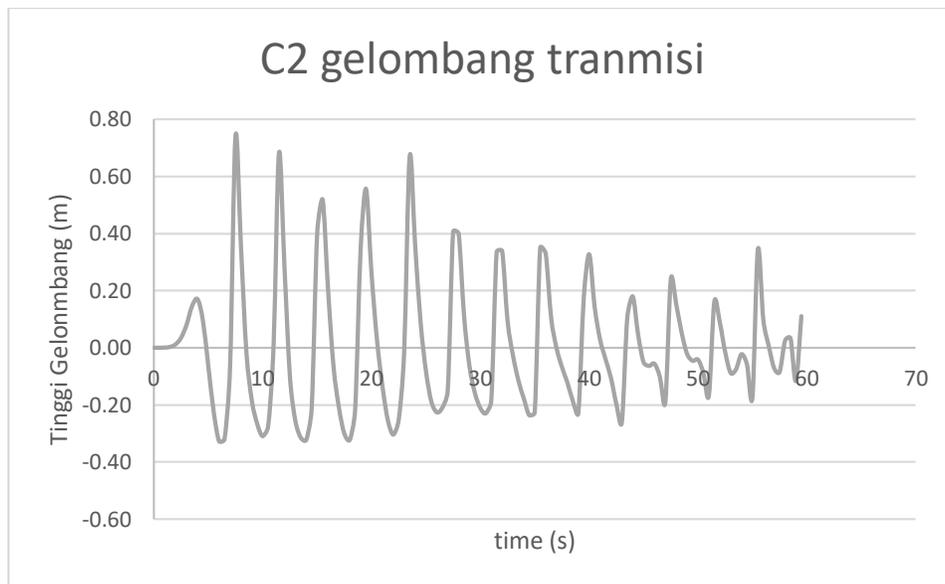
Gambar L.III.7 : Gelombang transmisi *cube reef* dengan tinggi gelombang datang 1,5m



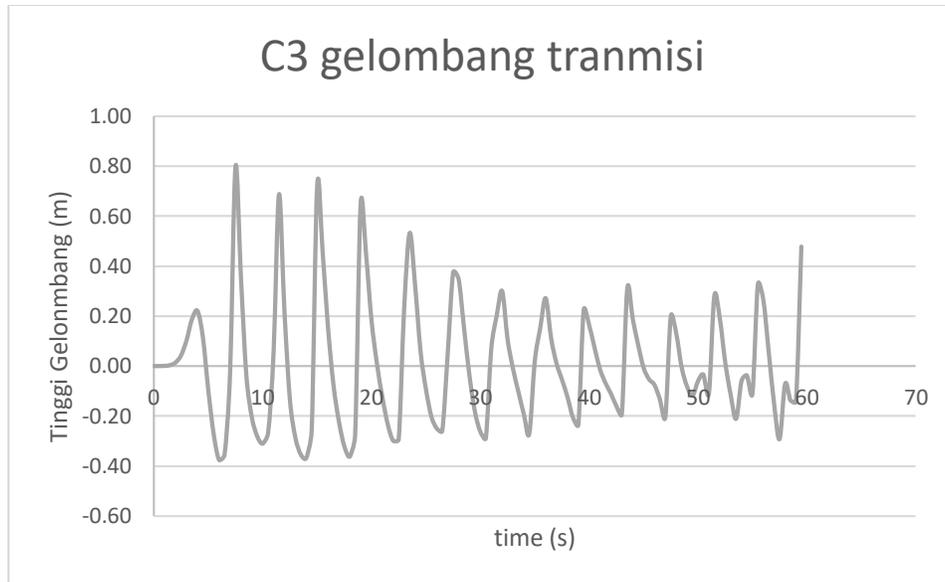
Gambar L.III.8 : Gelombang transmisi *cube reef* dengan tinggi gelombang datang 1,75m



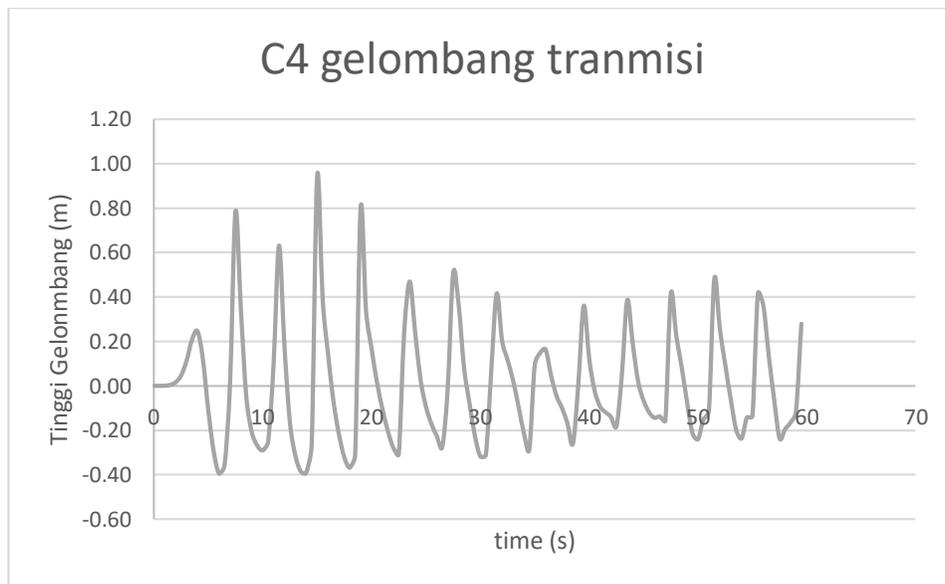
Gambar L.III.9 : Gelombang transmisi *bottle reef* dengan tinggi gelombang datang 1m



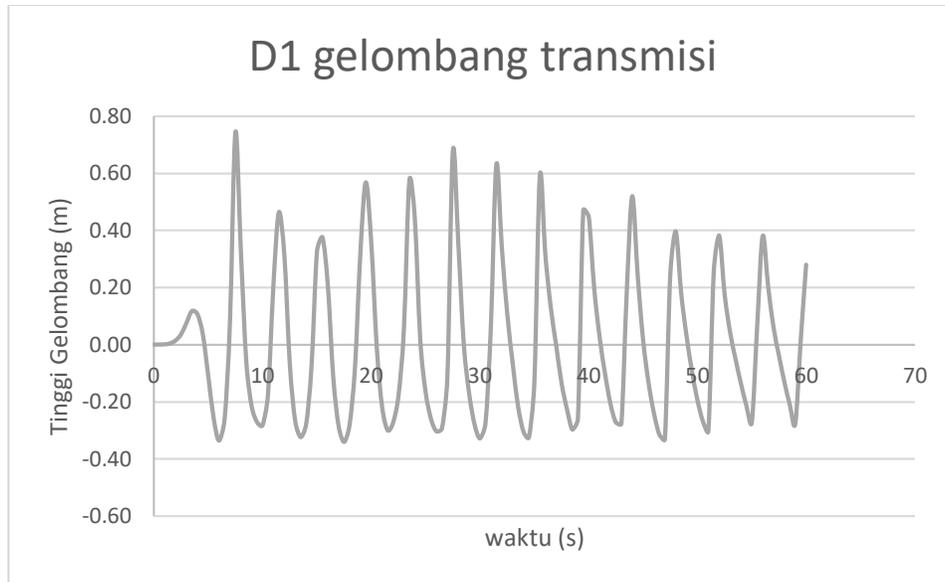
Gambar L.III.10 : Gelombang transmisi *bottle reef* dengan tinggi gelombang datang 1,25m



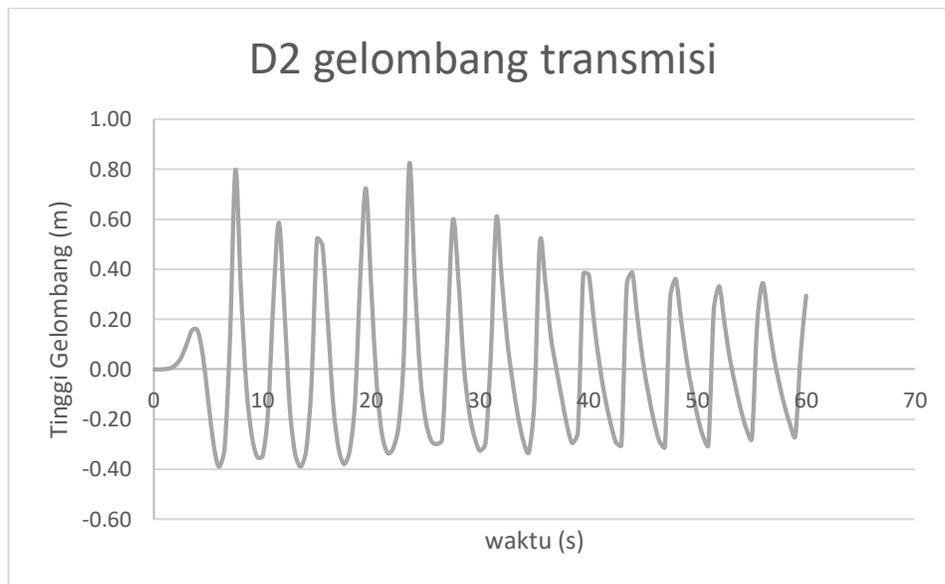
Gambar L.III.11 : Gelombang transmisi *bottle reef* dengan tinggi gelombang datang 1,5m



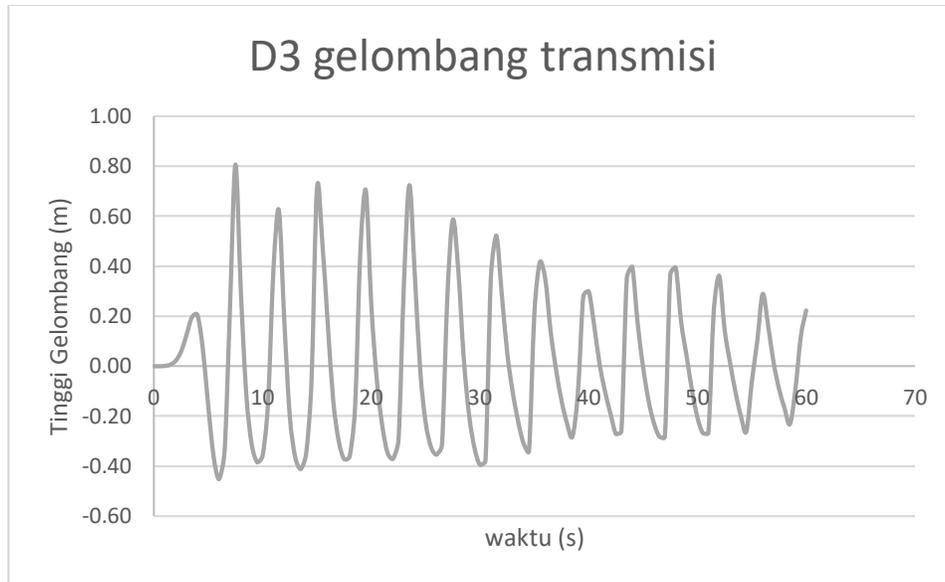
Gambar L.III.12 : Gelombang transmisi *bottle reef* dengan tinggi gelombang datang 1,75m



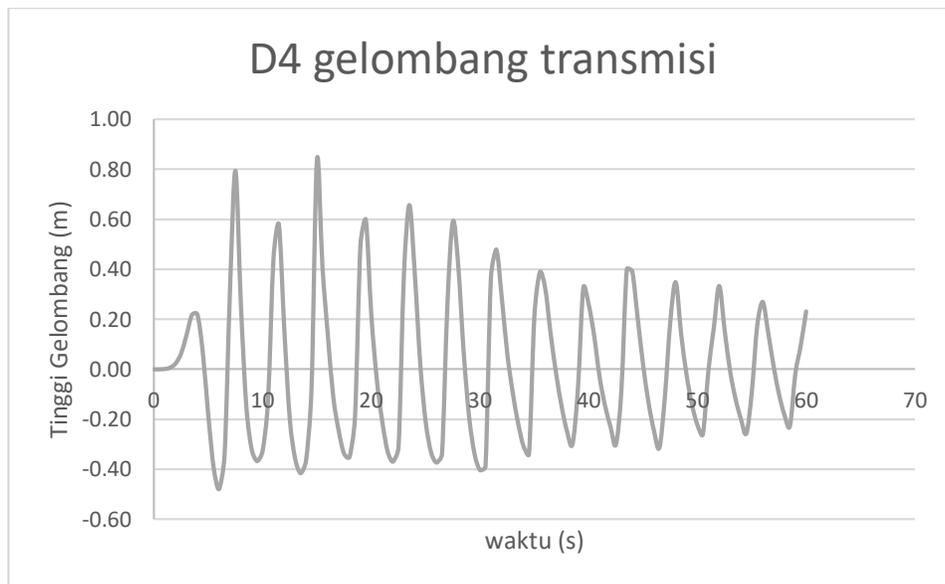
Gambar L.III.13 : Gelombang transmisi *star reef* dengan tinggi gelombang datang 1m



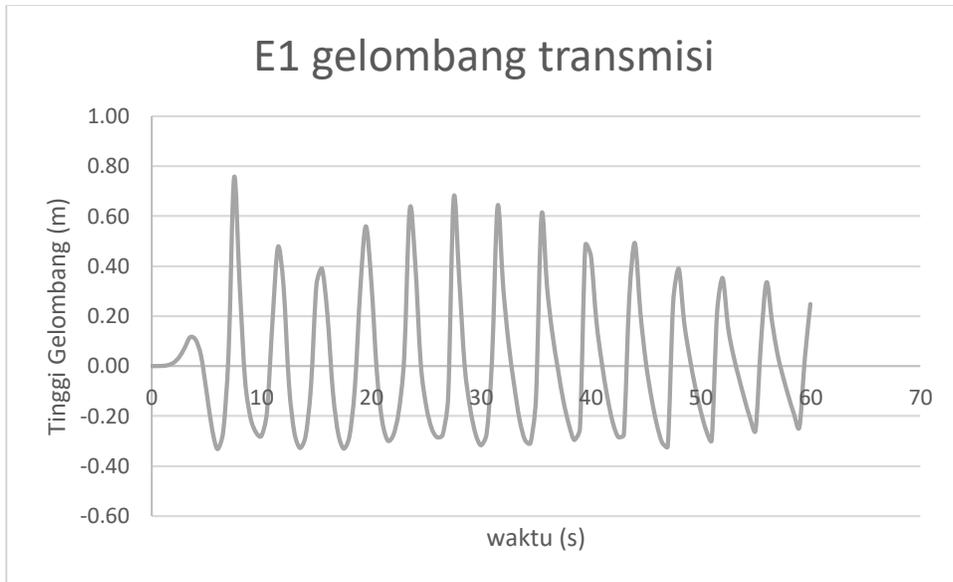
Gambar L.III.14 : Gelombang transmisi *star reef* dengan tinggi gelombang datang 1,25m



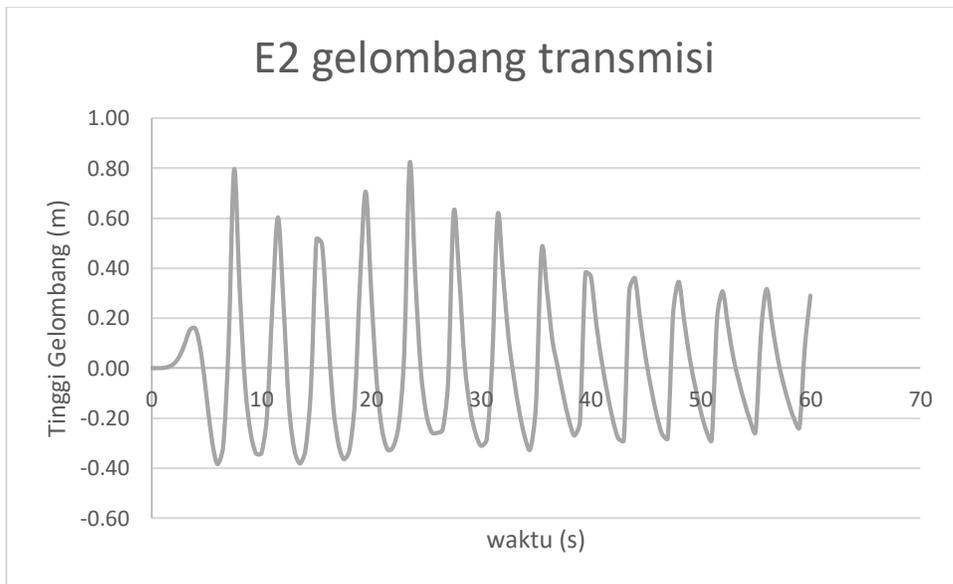
Gambar L.III.15 : Gelombang transmisi *star reef* dengan tinggi gelombang datang 1,5m



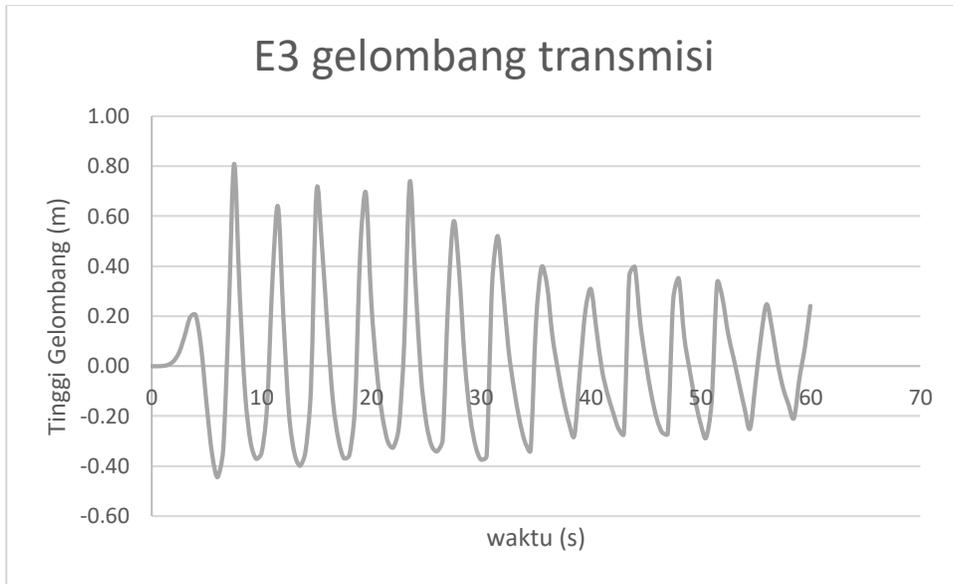
Gambar L.III.16 : Gelombang transmisi *star reef* dengan tinggi gelombang datang 1,75m



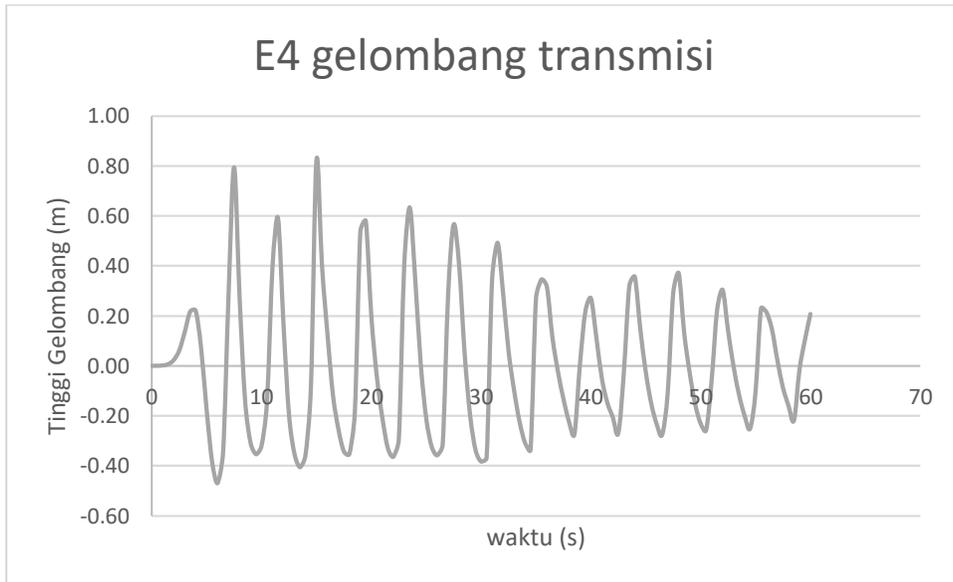
Gambar L.III.17 : Gelombang transmisi *seadome* dengan tinggi gelombang datang 1m



Gambar L.III.18 : Gelombang transmisi *seadome* dengan tinggi gelombang datang 1,25m



Gambar L.III.119 : Gelombang transmisi *seadome* dengan tinggi gelombang datang 1,5m



Gambar L.III.20 : Gelombang transmisi *seadome* dengan tinggi gelombang datang 1,75m

BIODATA PENULIS



Muhammad Aldhiansyah Rifqi Fauzi lahir di Surabaya, 16 Maret 1993. Merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara, Menempuh pendidikan formal sejak SD sampai perguruan tinggi di Surabaya. Diantaranya SD Muhammadiyah 11, SMPN 3 Surabaya dan SMAN 6 Surabaya. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS dan diselesaikan dalam waktu 4 tahun pada September 2015. Pendidikan penulis dilanjutkan melalui program magister S2 di bidang teknik dan manajemen pantai di ITS pada tahun 2015-2017. Selama menjadi mahasiswa penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi dan kepanitiaan. Diantaranya penulis pernah menjadi staf kewirausahaan dan ketua divisi kaderisasi Himatekla. Penulis juga aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa ITS dalam bidang hubungan luar selama tiga kali kepengurusan berturut-turut. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan kewirausahaan sosial dalam membantu korban penutupan lokalisasi. Ketertarikan penulis terhadap bidang struktur pantai dan program berbasis computational fluid dynamic (CFD) mendorong penulis untuk membuat studi tentang desain pile breakwater untuk perlindungan terhadap gelombang. Selain itu penulis juga mempunyai ketertarikan di bidang manajemen pengelolaan pantai di Indonesia.