



TUGAS AKHIR - MO141326

**PENELITIAN GELOMBANG TRANSMISI PADA
TERUMBU BUATAN DENGAN BENTUK HEXAGONAL
(*HEXAREEF*) DENGAN PENGARUH KONFIGURASI
HORIZONTAL**

LEONARD HASIOLAN NAPITUPULU
NRP. 04311340000106

Dosen Pembimbing :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



FINAL PROJECT - MO141326

**RESEARCH OF TRANSMISSION WAVES ON ARTIFICIAL
REEF WITH HEXAGONAL SHAPE (HEXAREEF) WITH
HORIZONTAL CONFIGURATION EFFECT**

LEONARD HASIOLAN NAPITUPULU
NRP. 04311340000106

Supervisors :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

**PENELITIAN GELOMBANG TRANSMISI PADA TERUMBU BUATAN
DENGAN BENTUK HEXAGONAL (*HEXAREEF*) DENGAN PENGARUH
KONFIGURASI HORIZONTAL**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

LEONARD HASIOLAN NAPITUPULU

NRP. 04311340000106

Disetujui Oleh :

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

2. Prof. Ir. Mukhtasar, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji 2)

5. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

Surabaya, Januari 2018

**PENELITIAN GELOMBANG TRANSMISI PADA TERUMBU BUATAN
DENGAN BENTUK HEXAGONAL (*HEXAREEF*) DENGAN PENGARUH
KONFIGURASI HORIZONTAL**

Nama Mahasiswa : Leonard Hasiolan Napitupulu
NRP : 04311340000106
Dosen Pembimbing : 1. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D
2. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Kerusakan pantai dalam bentuk abrasi pantai, telah menjadi masalah bagi banyak pesisir pantai. Para ahli telah memanfaatkan banyak jenis bangunan seperti revetment, groin dan detached breakwater untuk mengatasi masalah abrasi tersebut. Jenis bangunan tersebut dapat mencegah abrasi, tapi umumnya dianggap tidak ramah lingkungan, khususnya ditinjau dari sudut pandang kepariwisataan. Untuk itu dilakukan upaya penanggulangan kerusakan pantai tanpa mengurangi estetika atau kesan alamiah dari pantai tersebut yaitu dengan menggunakan terumbu buatan (*Artificial Reef*). Peran terumbu buatan selain sebagai habitat ikan seperti layaknya terumbu karang, juga dapat berfungsi sebagai struktur pelindung pantai dengan mereduksi energi gelombang yang datang menuju ke pantai. Dalam penelitian ini dilakukan uji transmisi terumbu buatan (*artificial reef*) berbentuk hexagonal dengan berbagai konfigurasi horizontal. Pengujian dilakukan di laboratorium *Wave Flume* Departemen Teknik Kelautan FTK ITS. Hasil analisa data menunjukkan bahwa : (1) nilai koefisien transmisi meningkat dengan berkurangnya *wave steepness*, sebaliknya koefisien transmisi menurun dengan meningkatnya *wave steepness*, (2) Untuk pengujian gelombang reguler konfigurasi dengan lebar puncak 1,09 m dan tinggi struktur 0,1 m menghasilkan nilai koefisien transmisi paling kecil dibanding konfigurasi lainnya., (3) Energi terbesar yang berhasil direduksi pada konfigurasi 4 pada saat pengujian ke 10 dengan tinggi gelombang signifikan (H_s) 0,7 m dan periode 1,4 detik sebesar 62,46% .

Kata Kunci : *Submerge Breakwater, Artificial reef, Hexareef, Koefisien Transmisi*

**RESEARCH OF TRANSMISSION WAVES ON ARTIFICIAL REEF
WITH HEXAGONAL SHAPE (HEXAREEF) WITH HORIZONTAL
CONFIGURATION EFFECT**

Name : Leonard Hasiolan Napitupulu
NRP : 04311340000106
Supervisor : 1. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D
2. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

Beach damage in the form of coastal abrasion, has been a problem for many coastal areas. Experts have utilized many types of coastal structures such as revetment, groynes and detached breakwaters to solve the problems. This type of building may prevent shoreline abrasion, but generally not considered as environmentally friendly, especially from the point of view of tourism. To overcome the damage to the beach without reducing the aesthetic or natural features of the beach Artificial Reefs are proposed. The role of artificial reefs as fish habitat like coral reefs, can also serve as coastal protection structures by reducing the energy of incoming waves the coast. In this experiment the wave transmission of hexagonal shape artificial reefs will be analyzed based on their horizontal configuration.. The tests were conducted in Wave Flume laboratory of Marine Engineering Department, Faculty of Marine Technology ITS. the results of the experiment show that: (1) the value of the transmission coefficient increases with the decrease of wave steepness, in the contrary, the transmission coefficient decreases with the increase of wave steepness, (2) For regular waves, configuration with the width of 1,1 m and the height of the structure 0,1 m has the lowest transmission coefficient comparing to other configuration, (3) The largest energy reduced during irregular wave test occurs at configuration 4 where the width of 1,09 m m and the height of structure 0,1 m at 0,7 m significant wave height and period of 1,4 seconds with transmission coefficient of 62,46%.

Keywords : *Submerged Breakwater, Artificial reef, , Transmission Coefficient*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir yang berjudul “Penelitian Gelombang Transmisi Pada Terumbu Buatan Dengan Bentuk Hexagonal (*Hexareef*) Dengan Pengaruh Konfigurasi Horizontal” dengan baik dan lancar.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan penting dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam Pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis masih menyadari terdapat banyak kekurangan yang disengaja maupun tidak disengaja. Maka untuk dari itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun untuk memperbaiki Tugas akhir ini atau pun untuk penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini berguna dan bermanfaat untuk perkembangan teknologi di bidang pantai (*Coastal Engineering*)

Surabaya Januari 2018

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa dan juga tidak lupa menyampaikan rasa terima kasih yang sangat banyak kepada pihak-pihak yang telah banyak mendukung dan membantu penulis untuk menyelesaikan eksperimen *Hexareef* dan menyelesaikan Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Untuk ayah saya Hadirian Parulian Napitupulu, dan ibu saya Katrin Fridason Sibuea, yang selalu memberikan dukungan motivasi dan doa kepada saya. Keluarga besar yang memberikan dukungan motivasi dan juga doa kepada saya.
2. Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang dengan komitmen tinggi dan kesabaran dan memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D, selaku dosen pembimbing kedua saya atas bimbingan dan arahannya untuk menyempurnakan dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. M. Musta'in, M.Sc., Ph.D, selaku kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut untuk dapat meminjamkan Laboratorium untuk saya dapat melakukan eksperimen *Hexareef*.
5. Bapak Arif selaku teknisi Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut dan Mas Haris yang selalu memberikan dukungannya baik secara materi maupun moral kepada penulis selama melakukan Penelitian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman eksperimen *Hexareef* (Hasnan, Ari, Paung, Bang Bryan, dan Abid) dan teman saya Oktavianus Army Sedowo yang tanpa lelah memberikan sangat banyak bantuan fisik maupun moral dari awal eksperimen hingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Keluarga besar Valtameri (Teknik Kelautan 2013), atas semangat dan bantuannya dalam penelitian yang saya lakukan.
8. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Kelautan dan keramahannya dan bantuannya selama saya mengurus Tugas Akhir ini hingga Selesai.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Laporan	4
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Defenisi Gelombang	7
2.2.2 Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Kedalaman Relatif	9
2.2.3 Gelombang Acak	10
2.2.4 Transmisi Gelombang.....	12
2.2.5 Terumbu Buatan	12
2.2.6 Pemodelan Fisik.....	14

2.2.6.1 Sebangun Geometrik.....	16
2.2.6.2 Sebangun Kinematik.....	17
2.2.6.3 Sebangun Dinamik.....	19
2.2.6.4 Kelebihan dan Kekurangan Pemodelan Fisik.....	20
2.2.9 Kalibrasi dan Validasi.....	20
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Metode Penelitian.....	22
3.2.1 Studi Literatur.....	22
3.2.2 Persiapan Percobaan Penelitian.....	22
3.2.2.1 Peralatan Percobaan.....	22
3.2.2.2 Pemodelan Percobaan Fisik.....	26
3.2.2.3 Pembuatan Desain Model.....	27
3.2.2.4 Penentuan Parameter Gelombang.....	28
3.2.3 Penyusunan Model.....	28
3.2.4 Pelaksanaan Percobaan.....	30
3.2.5 Analisa Hasil dan Pembahasan.....	31
3.2.6 Perbandingan dengan Bentuk yang lain.....	31
3.2.7 Kesimpulan.....	33
BAB IV	
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Analisa Model.....	35
4.2 Analisa Dimensi.....	35
4.3 Percobaan.....	36
4.4 Analisa Data.....	39
4.4.1 Kalibrasi Wave Probe.....	39

4.4.2 Pengolahan Data	40
4.4.3 Gelombang Tercatat.....	41
4.4.4 Perhitungan	42
4.4.4.1 Perhitungan Energi Gelombang	42
4.4.4.2 Perhitungan Koefisien Transmisi.....	44
4.4.5 Uji Transmisi Gelombang Irreguler	47
4.4.5.1 Hubungan Koefisien Transmisi Dengan Tinggi Gelombang.....	47
4.4.5.2 Hubungan Koefisien Transmisi Dengan Periode	48
4.4.5.3 Hubungan Koefisien Transmisi Dengan <i>wave steepness</i>	49
4.4.5.4 Hubungan Koefisien Transmisi Dengan Lebar Puncak Relatif.....	50
4.5 Pembahasan	51
4.6 Perbandingan antara <i>Hexareef</i> dengan Bentuk Lain.....	52
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Terumbu buatan berbentuk Silinder Berongga (Akhwady, 2012).....	6
Gambar 2.2 Peredam gelombang gigi-6 gergaji (<i>tooth saw submerged breakwater</i>) (sumber : Johnny MT. S 2008)	7
Gambar 2.3 Parameter Gelombang	8
Gambar 2.4 Gerak Orbit Partikel Air di Laut (Triatmodjo, 1999).....	9
Gambar 2.5 Defenisi Gelombang Acak (<i>Irreguler Wave</i>).....	10
Gambar 2.6 Jenis-jenis terumbu buatan (sumber : http://www.scielo.br).....	14
Gambar 2.7 Contoh Sebangun Geometrik.	17
Gambar 2.8 Contoh Sebangun Kinematik	19
Gambar 3.1 Diagram alir Metodologi	22
Gambar 3.2 Kolam Gelombang (<i>Fluem tank</i>).....	23
Gambar 3.3 Pembangkit Gelombang (<i>Wave Generator</i>).....	24
Gambar 3.4 <i>Wave Probe</i>	24
Gambar 3.5 Alat Kalibrasi	25
Gambar 3.6 Sistem Komputer.....	26
Gambar 3.7 Desain Model Terumbu Buatan Hexagonal	27
Gambar 3.8 Susunan Terumbu Buatan	30
Gambar 3.9 Pelaksanaan Pengujian Konfigurasi A1	30
Gambar 3.10 Perbandingan Bentuk dan Ukuran Terumbu Buatan	32
Gambar 4.1 <i>Plotting Wavestepness</i>	37
Gambar 4.2 Penginputan Hasil Kalibrasi.....	39
Gambar 4.3 Validasi Probe	40
Gambar 4.4 Hasil pembacaan dari <i>wave probe</i> dengan <i>software DNtech- Water Tide Meter</i>	40
Gambar 4.5 Hasil Pembacaan dengan format .csv.....	41
Gambar 4.6 Hubungan transmisi dengan Tinggi Gelombang.....	47
Gambar 4.7 Hubungan transmisi dengan Periode.....	48
Gambar 4.8 Hubungan transmisi dengan <i>wave steepnes</i>	49
Gambar 4.9 Hubungan transmisi dengan Lebar Relatif.....	50

Gambar 4.12 Perbandingan pengaruh <i>wave steepness</i> terhadap Kt <i>Hexareef</i> (Napitupulu, 2017), <i>Hexareef</i> (Winarto, 2016), <i>Bottlereef</i> (Abrori, 2009)).....	53
---	----

Daftar Tabel

Tabel 2.1. Klasifikasi gelombang menurut teori gelombang linier.....	9
Tabel 3.1 Konfigurasi model.....	29
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian.....	29
Tabel 3.3 Perbedaan Ukuran Terumbu Buatan.....	32
Tabel 4.1 Plottingan <i>Wavesteepness</i>	37
Tabel 4.2 Daftar pengujian.....	38
Tabel 4.3 Data Hasil Kalibrasi <i>Wave Probe</i>	39
Tabel 4.4 Data Tercatat	42
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Energi Gelombang	43
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Nilai Kt.....	45
Tabel 4.7 Lebar puncak.....	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kerusakan pantai dalam bentuk abrasi pantai merupakan masalah yang telah dihadapi oleh banyak pesisir pantai. Pada umumnya kerusakan pantai disebabkan karena tingginya gelombang yang sampai ke pantai sangat besar, biasanya hal ini diakibatkan oleh cuaca yang buruk. Untuk menanggulangnya, para ahli telah banyak pula mengembangkan bentuk-bentuk bangunan seperti *revetment*, *groin*, breakwater lepas pantai (*detached breakwater*), dari sudut pandang kepariwisataan, yang menganggap bangunan-bangunan tersebut kurang ramah lingkungan, karena menghilangkan kesan *alamiah* pantai yang bersangkutan. Oleh sebab itu perkembangan daerah pantai perlu adanya upaya untuk mengatasi abrasi di daerah pesisir pantai tanpa mengurangi kesan *alamiah* dari pantai itu sendiri adalah dengan melakukan penanaman transplantasi karang dan teknologi terumbu buatan.

Terumbu buatan biasanya ditempatkan pada daerah yang memerlukan pemulihan atau peningkatan lingkungan yang rusak dengan ditandai; (i) rendahnya produktifitas (ii) terumbu karang alami telah rusak dan (iii) area dimana diperlukan sebagai pembangkit gelombang kecil untuk kegiatan pariwisata (Armono, 2006). Pada umumnya terumbu buatan hanya berfungsi sebagai habitat baru tempat ikan mencari makan (*feeding ground*), tempat berkembang biak (*spawning ground*) dan pembesaran (*nursery ground*) berbagai biota, tetapi terumbu buatan dapat juga digunakan sebagai peredam energi gelombang atau dikenal dengan istilah *artificial reef breakwater*, sehingga dapat melindungi daerah dibelakangnya tanpa mengurangi estetika pantai semula (Armono, 2004).

Pada umumnya pemecah gelombang (*breakwater*) berfungsi untuk meredam energi untuk perlindungan pantai dari tinggi gelombang. Menurut Herbich (2000) pemecah gelombang di bagi 2 yaitu :

1. Submerged adalah pemecah gelombang dimana gelombang yang telah diredam diperkenankan untuk melimpas diatas konstruksi.
2. Non Submerged adalah pemecah gelombang yang secara frontal ditabrak oleh gelombang pada konstruksi sehingga gelombang langsung pecah saat mengenai konstruksi.

Penggunaan peredam gelombang yang dibuat tenggelam tidak akan merubah pemandangan di pantai karena tidak muncul dipermukaan air. Kebutuhan akan perbaikan/perlindungan pantai akan mengarah pada perlindungan alami pantai (*soft shore protection*) seperti terumbu buatan (*artificial reefs*) yang mampu memperkecil gelombang yang tiba di pantai dan sekaligus dapat berfungsi sebagai tempat berkumpulnya ikan untuk berkembang biak dekat dengan pantai atau mangrove (Johnny MT.S dkk., 2008).

Bentuk permukaan dari terumbu buatan sangat mempengaruhi pengaruh gelombang, yang dapat menyebabkan hambatan aliran, sehingga menyebabkan turunnya energi gelombang. Untuk itu perlunya direncanakan kesesuaian antara luas permukaan dengan model bentuk terumbu, sehingga diperoleh tingkat reduksi dan stabilitas agar struktur dapat bekerja dengan optimal (Akhwady R dkk., 2012). Dalam tugas akhir ini, diteliti terumbu buatan berbentuk hexagonal atau dengan istilah *Hexa Reef*. Dari penelititan sebelumnya terumbu buatan berbentuk hexagonal dengan dihasilkan nilai koefisien transmisi yang lebih kecil untuk rentang nilai *wave steepness* 0,003 – 0,005 dari bentuk silinder dan bentuk kubus (Aris W, 2017).

Penelitian yang di lakukan Ryan M., dkk (2011) menunjukkan bahwa koefisien transmisi tergantung dari tinggi relative pemecah gelombang (hc/H_i), lebar relative struktur dan kecuraman gelombang (*wave steepness*). Efek tinggi gelombang datang, kemiringan sisi struktur, dan lebar puncak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya transmisi gelombang. Ketika gelombang datang mengenai suatu struktur yang porous maka ada sebagian gelombang yang diteruskan atau ditransmisikan menembus atau melewati struktur tersebut, yang disebut dengan gelombang transmisi (H_t). Transmisi gelombang tersebut dipengaruhi oleh karakteristik gelombang (periode, tinggi gelombang, dan elevasi muka air laut), bentuk geometri struktur (kemiringan, lebar puncak, freeboard) dan jenis penahan gelombang. Banyaknya terumbu yang ditempatkan didasar laut dapat mempengaruhi lebar terumbu buatan terhadap gesekan gelombang, sehingga dapat mereduksi gelombang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat diambil beberapa pokok permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Berapa besar energi gelombang yang tereduksi akibat konfigurasi horizontal *artificial hexareef*?
2. Berapa koefisien transmisi yang terjadi akibat pengaruh konfigurasi?
3. Konfigurasi mana yang paling efisien memberi redaman dari beberapa konfigurasi terumbu buatan *hexagonal* tersebut?
4. Bagaimana kinerja terumbu *hexareef* dengan membandingkan terumbu yang telah ada ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui berapa energi yang tereduksi dari konfigurasi *artificial hexareef* yang disusun secara horizontal tanpa adanya jarak (*gap*).
2. Mengetahui nilai koefisien transmisi *hexareef* dari beberapa konfigurasi jumlah terumbu yang di pasang.
3. Mengetahui mana konfigurasi yang paling efisien untuk meredam gelombang berdasarkan nilai koefisien transmisi dan energi yang teredam.
4. Untuk mengetahui kinerja *hexareef*, jika dibandingkan dengan bentuk yang lain

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan informasi tentang daya redam gelombang dengan *artificial* berbentuk hexagonal dengan variasi jumlah terumbu yang disusun.
2. Dapat memberikan informasi tentang energi gelombang dan koefisien transmisi pada *artificial* bentuk hexagonal dengan variasi jumlah terumbu yang disusun.
3. Dapat memberikan informasi tentang efisiensi beberapa konfigurasi *artificial* berbentuk hexagonal dengan variasi jumlah terumbu yang disusun.
4. Dapat memberikan informasi tentang kinerja *hexareef* jika dibandingkan dengan bentuk lain.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi tinggi gelombang dan periode gelombang, serta kedalaman *freeboard* sudah ditentukan.
2. Bahan model struktur adalah beton.
3. Arah sudut datang tegak lurus (90°) terhadap model yang ditinjau.
4. Model yang digunakan yaitu terumbu buatan berbentuk hexagonal.
5. Gelombang yang digunakan adalah gelombang irreguler.
6. Arus yang melewati struktur tidak dianalisa.
7. Kekuatan struktur dianggap sama dan stabil.
8. Dasar perairan model berupa rata dan kedap.
9. Air yang digunakan adalah air tawar.
10. Pengaruh platform sangat kecil terhadap koefisien transmisi, sehingga diabaikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Kerusakan pantai akibat tingginya gelombang yang sampai ke pantai dapat mengakibatkan abrasi, salah satu penanggulangannya dengan membuat struktur peredam gelombang salah satunya yaitu terumbu buatan (*Artificial Reef*). Terumbu buatan ini lebih efisien, karena tidak mengubah kealamiahannya pantai tersebut dan lebih ramah lingkungan, dan meniru karakteristik terumbu alami dengan material tertentu seperti dari bahan balok beton, potongan kapal, perahu kayu, mobil bekas, dan ban bekas serta bambu. Dalam penyusunan terumbu buatan didasar laut, banyaknya terumbu yang disusun, sangat mempengaruhi lebar permukaan sehingga gesekan antar luas permukaan terumbu buatan dengan gelombang dapat menyebabkan hambatan aliran, sehingga menyebabkan turunnya energi gelombang, namun dengan membuat rongga-rongga pada terumbu buatan, aliran dapat mengalir melalui celah lubang sehingga gesekan antara gelombang dengan struktur menjadi lebih kecil dan tidak membahayakan struktur.

Banyak penelitian mengenai terumbu buatan (*artificial reef*), seperti Menurut Abrori (2009), struktur breakwater yang mempunyai lebar lebih besar akan memberikan nilai koefisien transmisi yang lebih kecil, hal disebabkan karena dengan lebar puncak besar akan mempunyai luas bidang gesekan gelombang yang besar pula, sehingga kemampuan mereduksi gelombang juga lebih besar. Nizam (1987) mengadakan penelitian mengenai pemecah gelombang bawah air dengan menggunakan skala kecil. Hasil dari penelitiannya didapatkan bahwa pengurangan tinggi gelombang merupakan fungsi dari lebar puncak pemecah gelombang, kedalaman air di atas pemecah gelombang dan periode gelombang. CERC (1984), menyebutkan bahwa faktor penyebab berkurangnya energi gelombang transmisi dipengaruhi oleh karakteristik gelombang (seperti periode gelombang, tinggi gelombang, dan kedalaman gelombang), bentuk geometri struktur (lebar puncak dan *freebord*) dan kondisi jenis bangunan penahan gelombang (permukaan struktur, dan jumlah massa air yang melewati). Selain itu bentuk silinder yang mempunyai rongga-rongga dan lubang pada selimut silinder menyebabkan material bersifat porous. Sifat material yang porous akan meredam energi gelombang dengan lebih baik, sehingga dalam penelitian ini bentuk model

yang digunakan adalah bentuk silinder berongga dengan pertimbangan keunggulan yang dimiliki silinder berkenaan dengan kemampuan yang dimiliki dalam meredam energi gelombang.

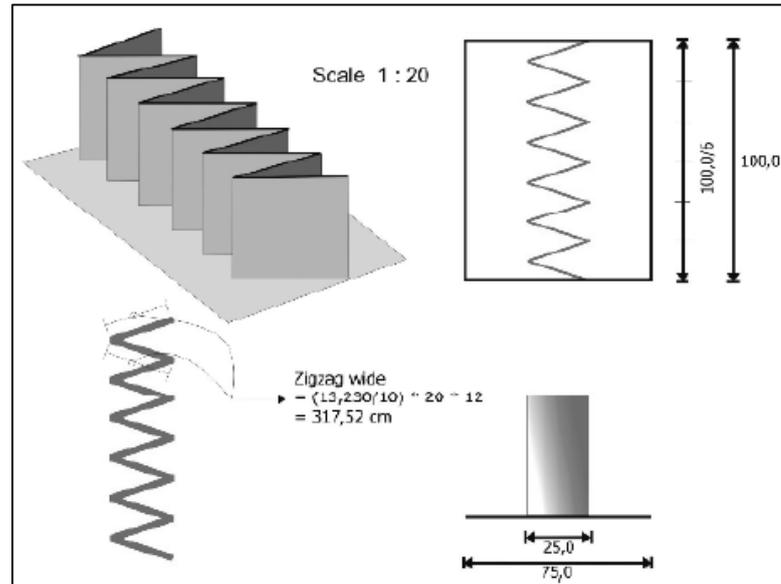
Akhwady rudi, *et all* (2012) meneliti tentang pengaruh gelombang reguler dan irreguler terhadap koefisien transmisi peredam gelombang ambang terbenam tipe silinder berongga (*bottle reef*) dan menyatakan bahwa hasil uji fisik yang dilakukan dengan menggunakan gelombang irreguler menghasilkan koefisien transmisi lebih rendah dibanding gelombang reguler. Kecenderungan transmisi yang dihasilkan dari gelombang tipe irreguler menghasilkan peningkatan dan penurunan secara teratur, sedangkan pada pengujian dengan menggunakan gelombang reguler menghasilkan perkembangan dan penurunan nilai transmisi yang tidak teratur.



Gambar 2.1 Terumbu buatan berbentuk silinder berongga (*Bottle Ball*)

(sumber : Akhwady, 2012)

Johnny, *et all* (2008) menyatakan hasil studi simulasi tinggi gelombang ($H1$) dan kedalaman muka air diatas mercu model uji ($h2$) peredam gelombang gigi-6 gergaji (*tooth saw submerged breakwater*) secara keseluruhan bahwa konstruksi tipe ini dapat bermanfaat meredam gelombang sebesar maksimum 55% -75%.



Gambar 2.2 Peredam gelombang gigi-6 gergaji (*tooth saw submerged breakwater*)

(sumber : Johnny MT. S 2008)

Dari model uji yang diteliti ini ternyata selain baik untuk meredam gelombang dapat menimbulkan refraksi dibelakang model uji sehingga gelombang yang menuju ke pantai setelah melimpas/ melewati model uji melebar sehingga garis pantai tidak akan mengalami perubahan bentuk.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Defenisi Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitnya. Pembangkit gelombang laut dapat disebabkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari (gelombang pasang-surut), gempa (vulkanik atau tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal. Parameter penting untuk menjelaskan teori gelombang adalah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter-parameter lainnya seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas. Adapun pengertian dari beberapa parameter tersebut, yaitu :

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

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

α : amplitudo gelombang.

H : tinggi gelombang.

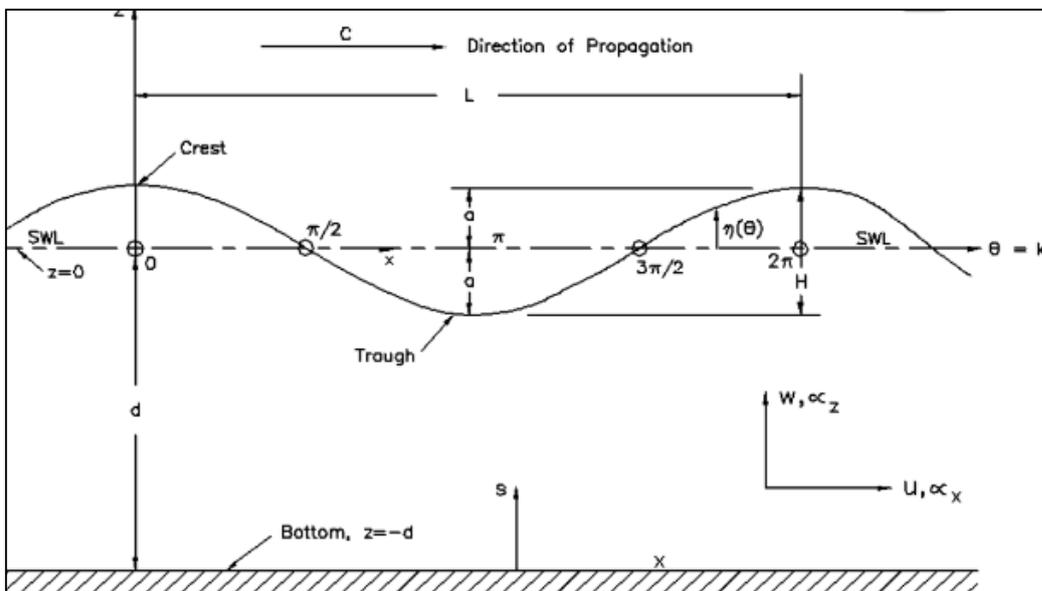
L : panjang gelombang yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

T : periode gelombang yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

C : kecepatan rambat gelombang = L/T .

k : angka gelombang = $2\pi/L$.

σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$.



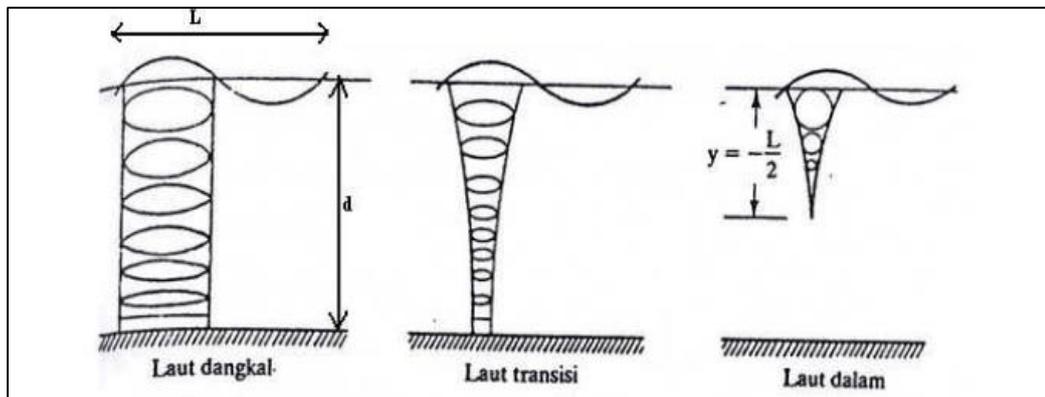
Gambar 2.3 Parameter gelombang.

(sumber : *Coastal Engineering Manual*, 2007).

Pada umumnya bentuk gelombang sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena tidak linier, tiga dimensi, dan bentuknya yang acak. Untuk dapat menggambarkan bentuk gelombang secara sederhana, ada beberapa teori sederhana yang merupakan pendekatan dari alam. Teori yang paling sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga, yaitu deep water, transitional, dan shallow water.

2.2.2 Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Kedalaman Relatif

Pada umumnya bentuk gelombang sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan bentuknya acak (random). Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam.



Gambar 2.4 Gerak Orbit Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam
(sumber : Triatmodjo, 1999)

Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu deep water (gelombang di laut dangkal), transitional water (gelombang laut transisi), shallow water (gelombang di laut dalam). Gelombang diklasifikasikan menurut kedalaman airnya kedalam 3 kategori yaitu gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam (Triatmodjo, 2011). Batasan ketiga kategori tersebut didasarkan pada ratio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L) :

Tabel 2.1 Klasifikasi gelombang menurut teori gelombang linier (sumber : Yuwono, 1982)

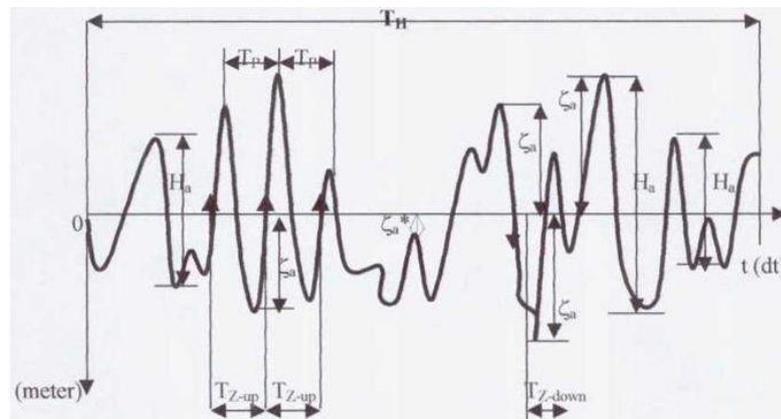
Klasifikasi	d/L	$2\pi d/L$	$\tan h (2\pi d/L)$
Gelombang Laut Dangkal	$<1/25$	$<1/4$	$\approx 2\pi d/L$
Gelombang Laut Transisi	$1/25 \text{ s/d } 1/2$	$1/4 \text{ s/d } \pi$	$\tan h (2\pi d/L)$
Gelombang Laut Dalam	$>1/2$	$>\pi$	$\approx 2\pi d/L$

2.2.3 Gelombang Acak (*Irregular Wave*)

Gelombang yang terjadi di laut, sangat tidak teratur. Meskipun demikian, mereka dapat dilihat sebagai superposisi dari banyak komponen gelombang reguler harmonis sederhana, yang masing-masing punya amplitudo, panjang, periode atau frekuensi dan arah propagasi sendiri. Gelombang laut mempunyai bentuk dan arah gerakan tak beraturan/acak (random) dan tidak pernah berulang urutan kejadiannya, sehingga teori gelombang reguler tidak dapat secara langsung (deterministik) menjelaskannya. Oleh karena itu diterapkanlah metode statistik untuk mengkuantifikasi sifat gelombang acak (Djarmiko, 2003).

Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang irregular memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan, sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis karena ketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak, dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode yang berbeda.
2. Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung dari kecepatan angin.



Gambar 2.5 Defenisi Gelombang Acak (*Irregular Wave*)

(sumber : Bhattacharyya, 1972)

dengan: γ = elevasi gelombang

γ_a = amplitude gelombang semu (*apparent wave amplitude*)

H = tinggi gelombang semu (*apparent wave height*)

T_r = periode lintas nol semu (*apparent zero closing period*)

T_c = periode semu (*apparent period*).

Gelombang irregular tidak dapat didefinisikan melalui pola atau bentuknya, namun menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya (Bhattacharya, 1972).

$$E_T = \sum E_i \dots\dots\dots(2.1)$$

atau

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \sum \varepsilon_a i \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan: E_T = energi total (joule/m)

E_i = energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)

ρ = densitas air laut (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

$\varepsilon_a i$ = amplitudo gelombang (m)

Berdasarkan keterangan di atas, gelombang di laut dapat dinyatakan menurut distribusi energi terhadap frekuensi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang.

Pengukuran gelombang acak dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Jika elevasi permukaan, dinotasikan sebagai $\eta(t)$, baik didefinisikan dengan zero down-crossing atau zero up-crossing yang digunakan, karena karakteristik statistik akan simetris. Namun, zero down-crossing lebih sering digunakan karena dalam perkiraan visual, tinggi puncak relatif terhadap palung sebelumnya biasanya dianggap tinggi gelombang. Jarak antar kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1). Sedangkan jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah di antara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1). Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol (Triatmodjo, 2011). Dalam pencatatan gelombang *irreguler* dengan luaran berupa tinggi gelombang signifikan (H_s) atau $H_{1/3}$ dari jumlah gelombang yang tercatat menjadi :

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \dots\dots\dots(2.3)$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=i}^{N/3} T_j \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan j adalah data yang diurutkan sesuai tinggi gelombang. Selain Hs adapula gelombang yang biasanya digunakan dalam perancangan yaitu H1/10 (tinggi gelombang rata-rata pada satu persepuluh data gelombang tertinggi).

2.2.4 Transmisi Gelombang

Gelombang yang mengalami suatu rintangan pada saat menjalar, sebagian energinya akan dihancurkan atau hilang melalui proses gesekan, turbulensi, gelombang pecah, dan sebagainya, sisanya akan dipantulkan (refleksi) dan diteruskan (transmisi). Pembagian energy yang di refleksikan dan di transmisikan tergantung daru karakter gelombang datang (periode dan tinggi gelombang), tipe struktur (porositas dan kekasaran), geometri struktur (kemiringan, tinggi, dan lebar puncak) dan keadaan lingkungan.

Transmisi gelombang adalah penerusan gelombang melalui suatu bangunan. Parameter transmisi gelombang di nyatakan dalam koefisien transmisi gelombang Kt, yang besarnya adalah :

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan : Kt : koefisien transmisi

Hi : tinggi gelombang datang (m)

Ht : tinggi gelombang transmisi (m)

Ei : energi gelombang datang (joule/m)

Et : energi gelombang transmisi (joule/m)

Transmisi gelombang tersebut dipengaruhi oleh karakteristik gelombang (periode, tinggi gelombang, kedalaman), bentuk geometri struktur (kemiringan, lebar puncak, freeboard) dan jenis penahan gelombang (CERC, 1984). Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K_t = \text{fungsi } (T, H_i, d, h, B, f, \alpha, g, \rho, \mu, s, \beta) \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan : T = Periode gelombang

d = Kedalaman air

h = Tinggi struktur

B = Lebar puncak breakwater

f = Freeboard

α = Kemiringan struktur

μ = Viskositas dinamik

s = Susunan terumbu

β = Bentuk terumbu

ρ = Rapat massa air

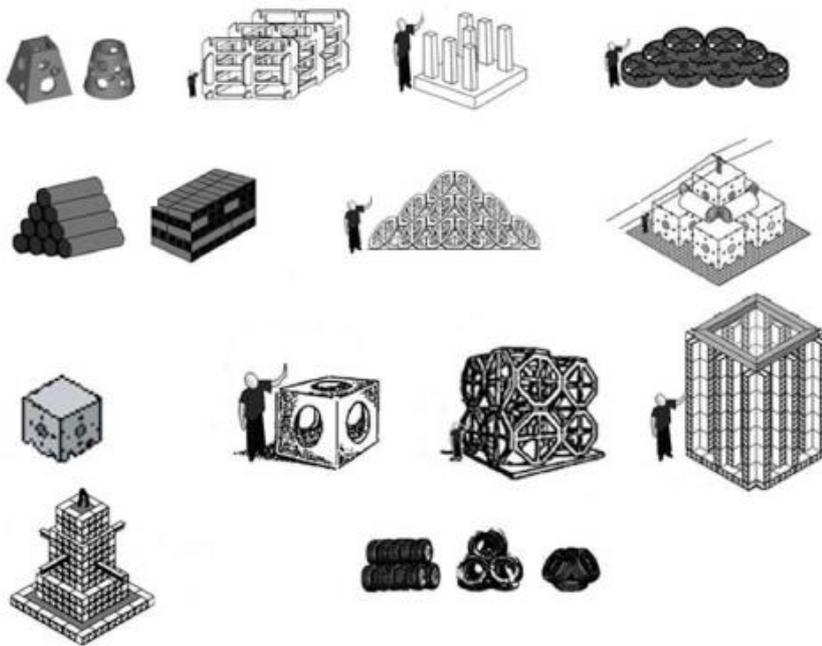
Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien transmisi tergantung dari tinggi relative pemecah gelombang (h_c/H_i) dan kecuraman gelombang (wave steepness, sp). Efek tinggi gelombang datang, kemiringan sisi struktur, dan lebar puncak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya transmisi gelombang. 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.

2.2.5 Terumbu Buatan

Terumbu buatan (*Artificial reefs*) adalah struktur buatan manusia semacam struktur bawah air yang meniru karakteristik terumbu alami dengan material tertentu seperti dari bahan balok beton, potongan kapal, perahu kayu, mobil bekas, dan ban bekas serta bambu. Terumbu buatan pada umumnya ditujukan sebagai tempat berlindung dan mencari makan dari habitat serta sebagai

tempat pemijahan, dapat juga berfungsi untuk menahan gelombang, membaurkan dan mengurangi energi gelombang guna perlindungan pantai (Armono,1999).

Terumbu buatan biasanya ditempatkan pada daerah yang memerlukan pemulihan atau peningkatan lingkungan yang rusak dengan ditandai; (i) rendahnya produktifitas (ii) terumbu karang alami telah rusak dan (iii) area dimana diperlukan sebagai pembangkit gelombang kecil untuk kegiatan pariwisata (Armono, 2006).



Gambar 2.6 Jenis-jenis terumbu buatan

(sumber : <http://www.scielo.br>)

Pada umumnya terumbu buatan hanya berfungsi sebagai habitat baru tempat ikan mencari makan (*feeding ground*), tempat berkembang biak (*spawning ground*) dan pembesaran (*nursery ground*) berbagai biota, tetapi terumbu buatan dapat juga digunakan sebagai peredam energi gelombang atau dikenal dengan istilah *artificial reef breakwater*, sehingga dapat melindungi daerah dibelakangnya tanpa mengurangi estetika pantai semula.

2.2.6 Pemodelan Fisik

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similarits yang cukup memadai. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variable alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Efek-efek fisik antar elemen fluida merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk suatu penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model fisik, hal tersebut dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil visualisasi tersebut mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993). Studi model dimaksudkan untuk meneruskan segala permasalahan yang ada diprototip ke suatu model yang dapat dibuat dan dikontrol di laboratorium. Tugas dan peranan model diantaranya adalah :

1. Untuk meramalkan kemungkinan yang akan terjadi setelah bangunan dibuat.
2. Untuk mendapatkan suatu tingkat keyakinan yang tinggi akan keberhasilan suatu perencanaan bangunan.
3. Untuk mengetahui dan meramalkan penampilan bangunan serta pengaruhnya terhadap lingkungan.

Untuk memenuhi ketentuan tersebut dan mendapatkan pemodelan yang baik diperlukan pemenuhan kriteria kesebangunan yang meliputi sebangun geometrik (panjang, lebar, tinggi) sebangun kinematik (kecepatan dan aliran) dan sebangun dinamik (berhubungan dengan arah dan besar vektor-vektor gaya yang bekerja).

Dalam permodelan, terdapat beberapa kelemahan yang mendasar, yaitu :

1. Adanya efek skala; hal ini terjadi karena model dibuat lebih kecil dari prototipenya. Semua variabel yang relevan tidak mungkin dimodelkan dalam hubungan yang benar satu sama lain, dengan kata lain efek skala menyederhanakan masalah melalui asumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek Laboratorium; hal ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan bila tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya.

Efek laboratorium biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis karena adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.

3. Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan, sebagai contoh adalah gaya geser angin pada permukaan.
4. Biaya pelaksanaan pemodelan fisik lebih mahal dibandingkan pemodelan numerik sehingga pada situasi dimana pemodelan numerik akan lebih dipilih daripada pemodelan fisik.

Untuk memenuhi ketentuan tersebut dan mendapatkan pemodelan yang baik diperlukan pemenuhan kriteria kesebangunan yang meliputi sebangun geometrik (panjang, lebar, tinggi) sebangun kinematik (kecepatan dan aliran) dan sebangun dinamik (berhubungan dengan arah dan besar vektor-vektor gaya yang bekerja).

2.2.6.1 Sebangun Geometrik (*Geometric Similarity*)

Sebangun geometrik dapat dipenuhi apabila bentuk suatu model sebangun dengan prototipenya. Hal ini berarti bahwa semua perbandingan ukuran panjang antara model dan prototipe harus sebanding, dengan Perbandingan ini disebut dengan skala geometrik model (nL) (Hughes, 1993) dengan persamaan sebagai berikut :

$$nL = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan nL : Skala Panjang

L_p : Ukuran Prototipe

L_m : Ukuran Model

Semua ukuran yang ada di sebarang titik pada model dan prototip harus mempunyai skala yang sama.

Skala Panjang

$$\frac{(L_1)_p}{(L_1)_m} = \frac{(L_2)_p}{(L_2)_m} = nL \dots\dots\dots(2.8)$$

Skala Luas

$$\frac{(A_1)_p}{(A_1)_m} = \frac{(L_1^2)_p}{(L_1^2)_m} = nL^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

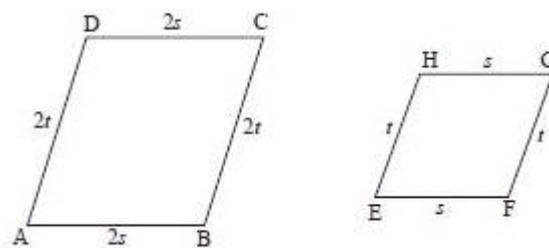
Skala Volume

$$\frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(L_1^3)_p}{(L_1^3)_m} = nL^3 \dots\dots\dots(2.10)$$

Kesebangunan geometrik terbagi dua yaitu :

1. Sebangun geometrik sempurna tanpa distorsi (Undistorted)
 Skala panjang arah horizontal (skala panjang) sama dengan skala panjang arah vertikal (skala tinggi), dikatakan tanpa distorsi jika skala tinggi sama dengan skala panjangnya ($nd=nL$)
2. Sebangun geometrik dengan distorsi (distorted)
 Skala panjang arah horizontal dan skala panjang arah vertikal tidak sama, dikatakan distorsi jika skala tinggi tidak sama dengan skala panjangnya ($nd \neq nL$).

Dengan : nd = skala tinggi
 nL = skala panjang



Gambar 2.7 Contoh Sebangun Geometrik.
 (sumber : <https://zardhan.wordpress.com>)

2.2.6.2 Sebangun Kinematik (*Kinematic Similarity*)

Sebangun kinematik terjadi antara prototipe dan model jika prototip dan model sebangun geometrik dengan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua

titik yang bersangkutan pada prototip dan model untuk seluruh pengaliran adalah sama.

$$\frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(V_2)_p}{(V_2)_m} = n_v \dots\dots\dots(2.11)$$

dan

$$\frac{(a_1)_p}{(a_1)_m} = \frac{(a_2)_p}{(a_2)_m} = n_a \dots\dots\dots(2.12)$$

Besaran kinematik seperti kecepatan, percepatan, debit aliran dan sebagainya dapat diberikan dalam bentuk skala panjang dan skala waktu.

Skala waktu

$$nT = \frac{T_p}{T_m} \dots\dots\dots(2.13)$$

Skala kecepatan :

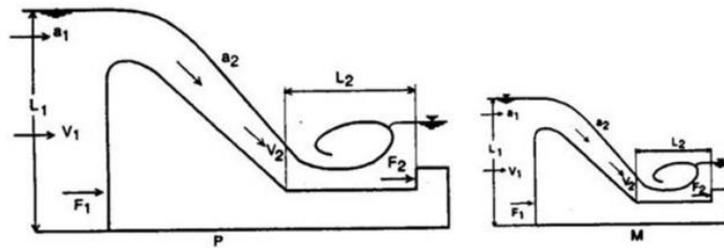
$$n_v = \frac{v_p}{v_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p}}{\frac{L_m}{T_m}} = \frac{nL}{nT} \dots\dots\dots(2.14)$$

Skala percepatan

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p^2}}{\frac{L_m}{T_m^2}} = \frac{nL}{nT^2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Skala debit

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{\frac{L_p^3}{T_p}}{\frac{L_m^3}{T_m}} = \frac{nL^3}{nT} \dots\dots\dots(2.16)$$



Gambar 2.8 Contoh Sebangun Kinematik

(sumber : <https://zardhan.wordpress.com>)

2.2.6.3 Sebangun Dinamik (*Dynamic Similarity*)

Jika prototip dan model telah sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar, maka dikatakan bahwa keduanya adalah sebangun dinamik. (Hughes, 1993), menyatakan bahwa pada bangunan pantai proses fisik yang terjadi dipengaruhi oleh gaya inersia terhadap gaya gravitasi yang kemudian dikenal dengan istilah bilangan Froude, jika gaya yang bekerja adalah perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek disebut bilangan Reynold, perbandingan gaya inersia terhadap gaya elastis disebut bilangan Cauchy, perbandingan gaya inersia terhadap gaya tegangan permukaan disebut bilangan Weber.

2.2.7 Kelebihan dan Kekurangan Pemodelan Fisik

Dalam menggunakan pemodelan fisik untuk perencanaan pembangunan struktur pantai, ada kelebihan dan kekurangannya. Menurut Haughes (1993), pemodelan fisik juga terdapat kesalahan (*error*) yang mungkin terjadi, diantaranya :

1. Efek laboratorium yang dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan harus dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya.
2. Efek skala, terjadi karena pembuatan model yang terlalu kecil dari prototipenya, sehingga tidak mungkin memodelkan semua variabel yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain.
3. Pemodelan fisik relatif mahal jika dibandingkan dengan model numerik.

Sedangkan keunggulan model fisik yang lain menurut Triatmodjo (1996) yaitu :

1. Dapat diprediksi kelakuan dan kerja suatu bangunan yang akan dibuat,

2. Beberapa kekurangan yang tidak atau belum diperkirakan akan terjadi, dapat segera diketahui sehingga kekurangan tersebut dapat segera dihindari,
3. Dapat dipelajari beberapa alternatif perencanaan, sehingga dapat segera dipilih bangunan yang paling optimum.

Penggunaan model fisik sampai saat ini masih merupakan alternatif metode terbaik untuk meneliti dan memverivikasi penyelesaian dalam bidang rekayasa teknik pantai.

2.2.8 Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi adalah proses menguji kesamaan parameter model dengan kondisi lapangan agar dapat digunakan sebagai acuan pengukuran selanjutnya. Proses kalibrasi dilakukan terhadap alat ukur yang digunakan dalam penelitian, yaitu kalibrasi alat ukur kecepatan dan kalibrasi debit aliran yang terjadi.

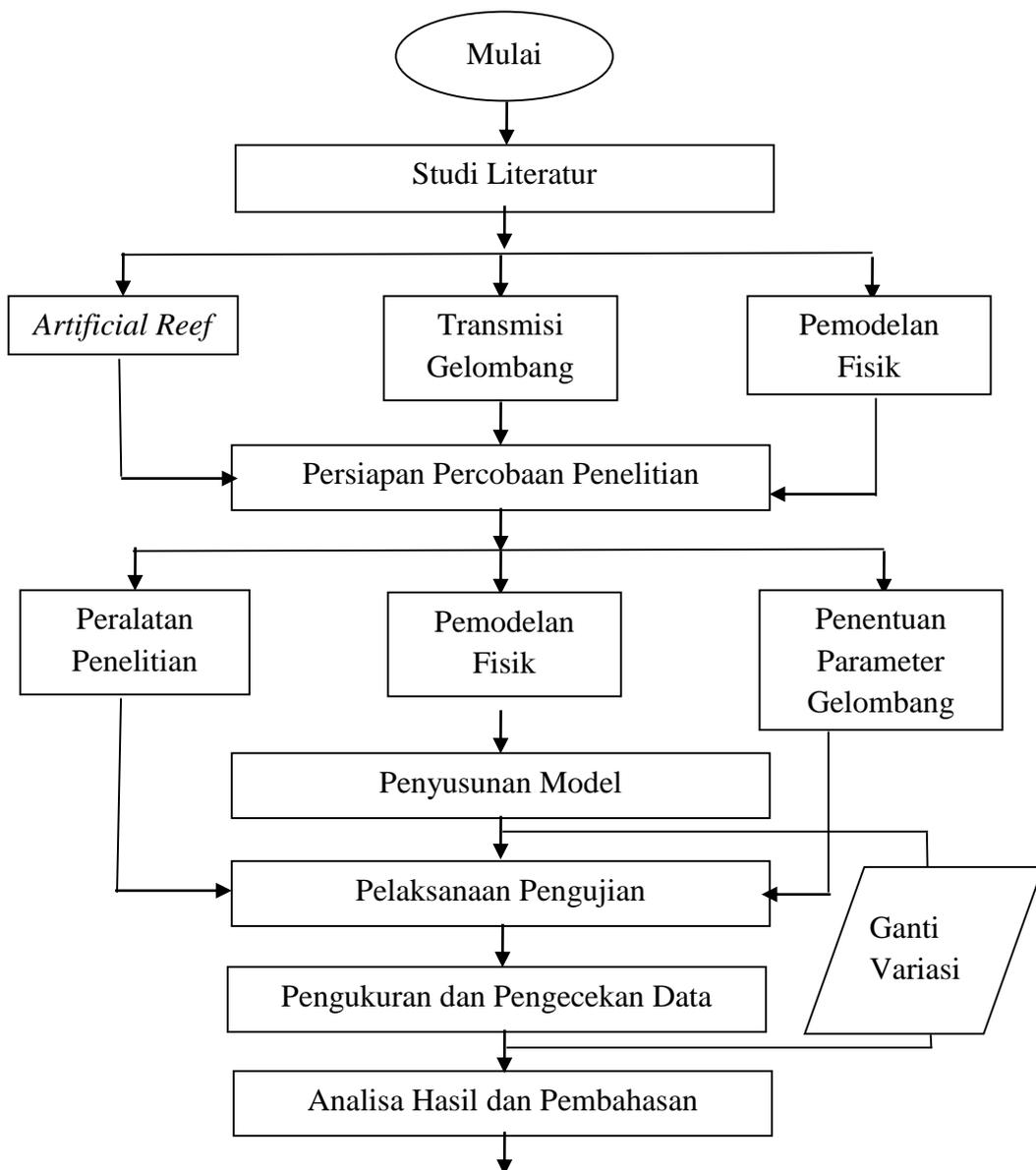
Validasi adalah sebuah proses pembuktian bahwa model sudah sesuai dengan apa yang dikehendaki di lapangan. Pembuktian pengujian ini meliputi kondisi aliran yang terjadi akibat adanya terjunan dan penambahan kisi peredam.

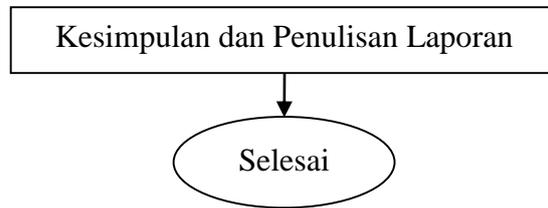
BAB 3

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR

Berikut adalah alur pengerjaan atau diagram alir dalam penelitian serta penulisan laporan tugas akhir ini yaitu :





Gambar 3.1 Diagram alir Metodologi

3.2 METODOLOGI PENELITIAN

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

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi dari jurnal, buku kuliah (*text book*), penelitian eksperimen yang sudah dilaksanakan dan laporan tugas akhir yang berkaitan dengan penelitian yang akan dibahas untuk mendapatkan gambaran dan pemahaman terhadap materi. Literatur tersebut juga digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Adapun studi literatur tersebut yaitu :

1. Studi mengenai *Artificial Reef*
2. Studi mengenai Transmisi Gelombang
3. Studi mengenai Pemodelan Fisik

3.2.2 Persiapan Percobaan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan persiapan percobaan penelitian, meliputi :

3.2.2.1 Peralatan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Untuk jangka waktu penelitian ini memakan waktu 3 bulan. Fasilitas Laboratorium sangat penting untuk diketahui agar saat melaksanakan percobaan tidak ada salah fungsi pada

fasilitas yang telah disediakan. Fasilitas yang telah tersedia di laboratorium yaitu sebagai berikut :

1. Kolam Gelombang (*Flume Tank*)

Kolam Gelombang (*Flume Tank*) adalah fasilitas utama dalam pelaksanaan penelitian ini, karena sebagai wadah terumbu buatan diletakkan, dan juga fasilitas utama untuk penelitian ini seperti *wave probe*, pengecekan *wave generator*, *wave absorber* serta air terdapat dan beroperasi pada *flume tank* tersebut. Gambar 3.2 yaitu *flume tank* memiliki ukuran 2.0 m x 2.3 m x 2.5 m (panjang, lebar dan tinggi).



Gambar 3.2 Kolam Gelombang (*Flume Tank*)

2. Pembangkit Gelombang (*Wave Generator*)

Pembangkit Gelombang pada laboratorium ini memiliki sistem pembangkit dengan jenis Plunyer. Seperti pada gambar 3,3 pembangkit gelombang terdapat 2 output tipe gelombang yaitu gelombang regular dan irregular, untuk periode gelombang pada pembangkit gelombang ini berkisar 0,5 detik sampai 3 detik, maksimal tinggi gelombang mencapai 0,3 meter, dan maksimal kedalaman air 0,8 meter.



Gambar 3.3 Pembangkit Gelombang (*Wave Generator*)

3. *Wave Probe*

Gambar 3.4 yaitu *Wave probe* merupakan alat pengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda tersebut mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Dalam penelitian ini wave probe yang digunakan berjumlah 2 yang dipasang di depan dan 2 yang dipasang di belakang model uji. Sebelum melakukan pengujian, *wave probe* terlebih dahulu dikalibrasi untuk menjadi acuan dalam pencatatan semua hasil *running*. Hal ini disebabkan *wave probe* tidak selalu konstan dan stabil dalam pencatatan gelombang.



Gambar 3.4 *Wave Probe*

4. Wave Absorber

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

5. Alat Kalibrasi

Gambar 3.5 Alat kalibrasi berfungsi untuk mengkalibrasi hasil data yang diterima dari *wave probe* ke sistem komputer, agar mendapatkan hasil data yang lebih akurat pada saat pemodelan fisik, dengan cara mencatat titik nol dari *wave probe* dan merekam kalibrasinya dengan menaikkan serta menurunkan *wave probe* dari posisi titik nolnya. Setelah pencatatan selesai *wave probe* harus dikembalikan pada posisi awal.



Gambar 3.5 Alat Kalibrasi

6. Sistem Komputer

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

- Type : Desk-top type
- CPU : Pentium (266MHz)

- RAM : 64 MB
- Hard Disk : 3 GB
- CRT : 14 inch
- Expanded Slot : 2
- CD-ROM Drive : 1
- Floppy Disk Drive : 3,5 inch . 1,4 MB
- System Software : Windows 95, MS-DOS Version 6.2



Gambar 3.6 Sistem Komputer

3.2.2.2 Pemodelan Percobaan Fisik

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similarits yang cukup memadai. Dengan dibuatnya suatu model, maka akan diprediksikan karakteristik suatu struktur yang akan dibangun.

Model terumbu buatan bentuk hexagonal dilakukan dengan prinsip keserupaan geometrik *undistorsed*, dimana skala panjang arah horizontal (skala panjang) sama dengan skala panjang arah vertikal (skala tinggi). Berdasarkan pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian

pengukuran, maka digunakan skala model 1 : 10. Berikut merupakan syarat sebangun geometrik dan dimensi dari model.

Sebangun Geometrik

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

$$nL = \frac{Lp}{Lm} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$nL = \frac{110}{11}$$

$$nL = 10$$

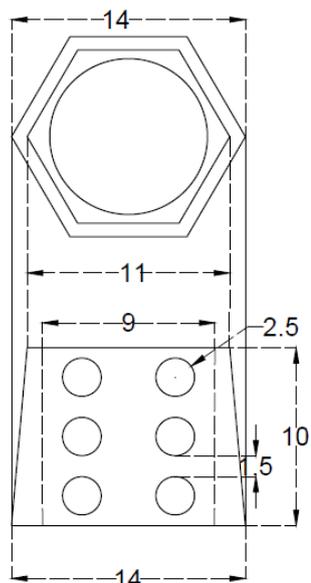
dengan : nL : Skala Panjang

Lp : Ukuran prototipe

Lm : Ukuran model

3.2.2.3 Pembuatan Desain Model

Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan perancangan model berdasarkan variabel yang akan diteliti. Setelah desain model, selanjutnya dilakukan proses pembuatan model. Perancangan model dan parameter yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah bentuk hexagonal dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.7 Desain Model Terumbu Buatan Hexagonal (cm)

Gambar 3.7 adalah model terumbu dibuat berbahan semen, dengan bentuk hexagonal dan juga terumbu buatan yang akan diuji memiliki 6 buah lubang, dan dibuat menggunakan pipa berukuran kurang lebih 1 in (2,54 cm). Pada desain terumbu buatan, bagian dalam struktur berbentuk lingkaran dengan diameter 9 cm. Pada prototype terumbu buatan, bagian dalam struktur akan diisi ban dalam mobil berukuran diameter luar 90 cm, diameter dalam 64 cm, tebal 34 cm, dan tinggi 30 cm. Terumbu buatan pada prototype akan diisi 3 ban dengan tinggi total 100 cm, sedangkan terumbu buatan pada model yang akan diuji memiliki tinggi 10 cm.

3.2.2.4 Penentuan Parameter Gelombang

Menentukan parameter gelombang yang akan dimasukkan sebagai input dan yang akan dianalisa sebagai hasil dari percobaan. Parameter yang digunakan dalam percobaan ini adalah tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), dan elevasi muka air (d).

3.2.3 Penyusunan Model

Pada tahap ini model akan disusun berdasarkan konfigurasi dan variasi muka air yang akan diteliti. Konfigurasi model yang sudah disusun nantinya akan diuji dengan variasi tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T), dan konfigurasi model akan divariasikan dengan konfigurasi horizontal tanpa ada jarak (gap). Berikut merupakan gambar dari penyusunan konfigurasi terumbu buatan bentuk hexagonal

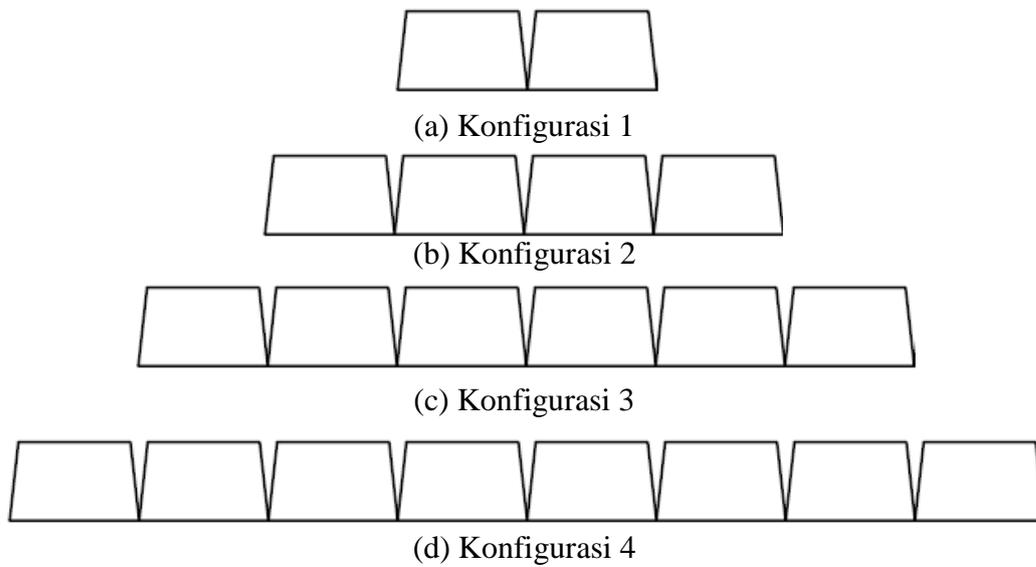
Tabel 3.1 Konfigurasi Model

Susunan	Kode Konfigurasi	Freeboard (m)	Lebar Puncak (m)	Tinggi Struktur (m)
		F	B	h
1	1	0,2	0,25	0,1
2	2	0,2	0,52	
3	3	0,2	0,81	
4	4	0,2	1,09	

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

KONFIGURASI	Input		Tipe Gelombang	Durasi (detik)
	H (m)	T (detik)		
1-2-3-4	0,02	1,1	Irregular	180
	0,03			
	0,04			
	0,05			
	0,02	1,2		
	0,03			
	0,04			
	0,05			
	0,06			
	0,07			
	0,04	1,3		
	0,05			
	0,02	1,4		
	0,04			
	0,05			

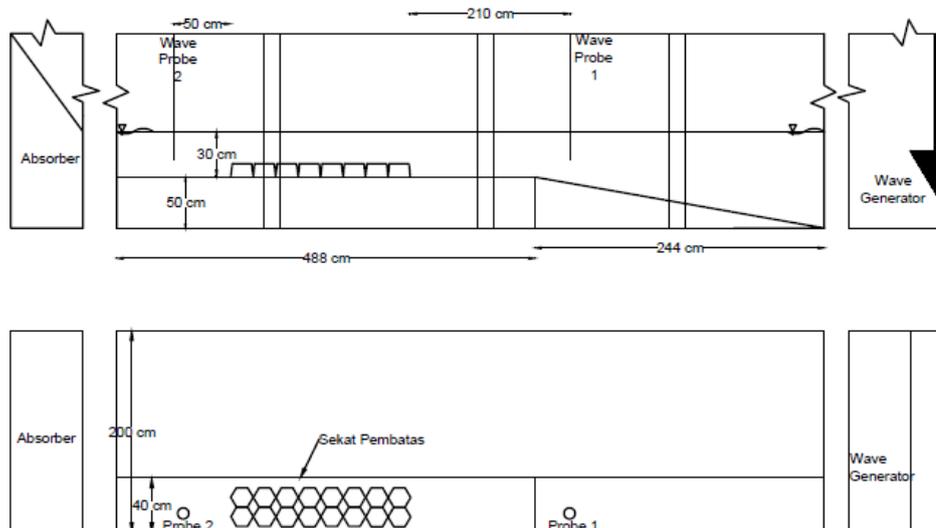
Dalam percobaan ini elevasi muka air akan diteliti di setiap konfigurasi rancangan penelitian, struktur bantuan alas papan yang memiliki slope 1:5 dengan tinggi 50 cm. Gambar 4.8 menunjukkan konfigurasi terumbu buatan dalam penelitian ini, akan dirancang dengan susunan horizontal antar struktur tersebut.:



Gambar 3.8 Susunan Terumbu Buatan

3.2.4 Pelaksanaan Pengujian

Pada tahap ini seluruh rancangan konfigurasi akan di uji, dengan memasukkan terumbu buatan ke *flume tank* dengan semua konfigurasi susunan dan semua rancangan variasi tinggi gelombang, elevasi muka air, dan periode yang telah di rancang. Berikut sketsa percobaan yang akan dilakukan :



Gambar 3.9 Pelaksanaan Pengujian Konfigurasi A1

Gambar 3.9 menunjukkan area pengujian diberi sekat pembatas menggunakan pelat besi sepanjang area uji dengan lebar pembatas 40 cm.

Kemiringan slope dasar dirancang dengan perbandingan 1:5, ketinggian dasar dari model 50 cm. Kedalaman air adalah 30 cm dengan tinggi model 10 cm sehingga tinggi air di atas permukaan model 20 cm. Pada area pengujian diberi sekat pembatas menggunakan plat besi sepanjang area uji. Kemiringan slope dasar dirancang dengan perbandingan 1:5, ketinggian dasar dari platform 50 cm. Untuk perletakan probe 1 berjarak 210 cm yaitu didapat dari 1 panjang gelombang, dihitung dari struktur model paling ujung kanan dan probe 2 berjarak 100 cm dihitung dari struktur model paling kanan. Probe tidak akan berubah posisi ketika konfigurasi susunan model diubah menjadi konfigurasi 2, konfigurasi 3, dan konfigurasi 4.

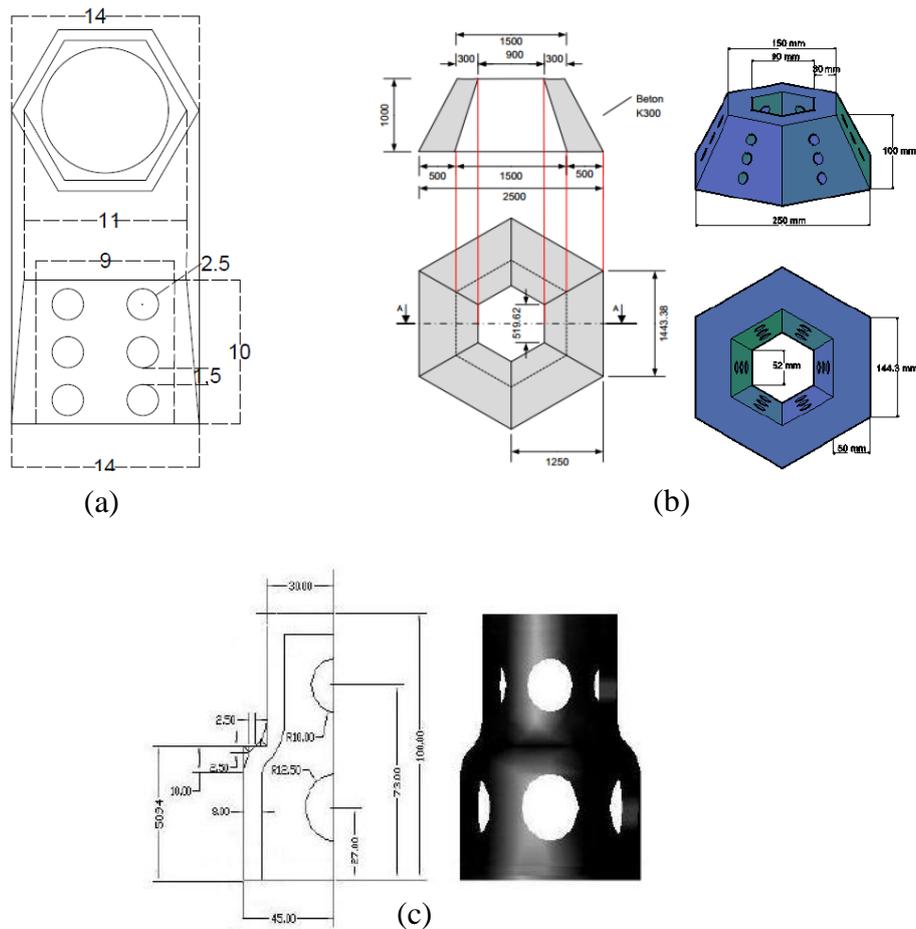
3.2.5 Analisa Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengukuran akan diolah sesuai dengan rumus perhitungan pada dasar teori untuk memperoleh koefisien transmisi dan energi gelombang. Hasil perhitungan akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Grafik tersebut adalah grafik perbandingan antara koefisien transmisi dengan lebar relatif, koefisien transmisi dengan kecuraman gelombang, dan koefisien transmisi gelombang dengan konfigurasi susunan horizontal.

Untuk desain eksperimen dilakukan guna mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan, dengan mempertimbangkan variabel penelitian yang digunakan seperti : tinggi gelombang datang (H_i), tinggi gelombang transmisi (H_t), periode gelombang datang (T), periode gelombang transmisi, dan lebar puncak (B).

3.2.6 Perbandingan dengan Bentuk yang lain

Gambar 3.10 menunjukkan perbandingan bentuk *Hexareef* yang akan dilakukan dan *Hexareef* yang telah dilakukan (Winarto, 2016) serta perbandingan dengan bentuk Silinder berongga (Abrori, 2009). Berikut adalah tabel perbandingan bentuk terumbu buatan :



Gambar 3.10 Perbandingan Bentuk dan Ukuran Terumbu Buatan (a) *Hexareef* (Napitupulu, 2017); (b) *Hexareef* (Winarto, 2016) ;(c) Silinder Berongga (Abrori, 2009)

Tabel 3.3 Perbandingan Ukuran Terumbu Buatan

Bentuk	Lebar Puncak	Tinggi Struktur	Lebar Alas Struktur
Segi Heksagonal (<i>Hexareef</i>)	11 cm	10 cm	14 cm
Segi Heksagonal (<i>Hexareef</i>)	15 cm	10 cm	25 cm
Silinder Berongga	5 cm	10 cm	9 cm

Tabel 3.3 terlihat perbedaan semua ukuran yang akan di lakukan analisa, perbandingan yang akan di analisa berupa grafik. Grafik tersebut yaitu menghubungkan korelasi antara koefisien transmisi (K_t) dengan kecuraman gelombang (*wave steepness*). Dari hasil analisa akan dilihat grafik mana yang

paling baik dengan cara melihat grafik yang memiliki nilai K_t terkecil, karena dengan nilai K_t terkecil, maka energi gelombang yang tereduksi semakin besar. Dan juga ditinjau dengan nilai *wave steepness* yang sama.

3.2.7 Kesimpulan

Dari hasil analisa akan diperoleh nilai koefisien transmisi dan energi yang teredam dari masing-masing konfigurasi. Nilai tersebut akan dibandingkan dengan masing-masing konfigurasi dan akan diperoleh konfigurasi yang paling baik untuk peredam gelombang model hexagonal.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Model

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

Sebangun Geometrik

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

$$[=] L^\alpha T^\beta M^\gamma \dots\dots\dots(4.1)$$

Skala Panjang

$$nL = \frac{Lp}{Lm} \qquad nL = \frac{110}{11}$$

$$nL = 10$$

Dengan :

- nL : Skala Panjang
- Lp : Ukuran prototipe
- Lm : Ukuran model

4.2 Analisa Dimensi

Pada dasarnya analisa dimensi merupakan metode untuk mengurangi jumlah kerumitan variabel eksperimen yang mempengaruhi fisik tertentu. Tergantung pada n variabel berdimensi, analisa dimensi akan menyederhanakan permasalahan tersebut sehingga hanya tergantung variabel tak berdimensi (parameter). Jumlah parameter dalam suatu eksperimen dapat ditentukan dengan cara, jumlah variabel dikurangi jumlah dimensi yang ada.

Menentukan Variabel percobaan

$$Kt = Ht/Hi = f(h, T, Hi, Ht, g, d, B, h, f, \mu, \rho) \dots\dots\dots(4.2)$$

- Kt : Koefisien transmisi
- Ht : Tinggi gelombang transmisi

- Hi : Tinggi gelombang datang
- f : freeboard
- d : Kedalaman
- g : Gravitasi
- ρ : Massa jenis
- B : Lebar Struktur
- h : Tinggi Struktur

$$\frac{d}{h}, \frac{B}{h}, \frac{f}{h}, \frac{Hi}{h}, \frac{Ht}{h}, \frac{gT^2}{h}, = \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6 \dots\dots\dots(4.3)$$

- Compounding π

$$Kt = f \left(\frac{Hi}{gT^2}, \frac{B}{gT^2}, \frac{h}{d}, \frac{h}{B} \right) \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana : $\frac{Hi}{gT^2} = \text{Kecuraman gelombang (Wave Stepness)}$

$$\frac{B}{gT^2} = \text{Lebar relative} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\frac{h}{B} = \text{Rasio lebar} \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\frac{h}{d} = \text{Rasio tinggi} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dalam eksperimen ini akan meninjau konfigurasi dengan susunan horizontal tanpa jarak (*gap*), sehingga rasio tinggi struktur (h/d) tidak di analisa karna tinggi struktur yang akan di eksperimenkan setiap konfigurasi adalah sama yaitu 0,1 m, dan kedalaman sama yaitu 0,3 m.

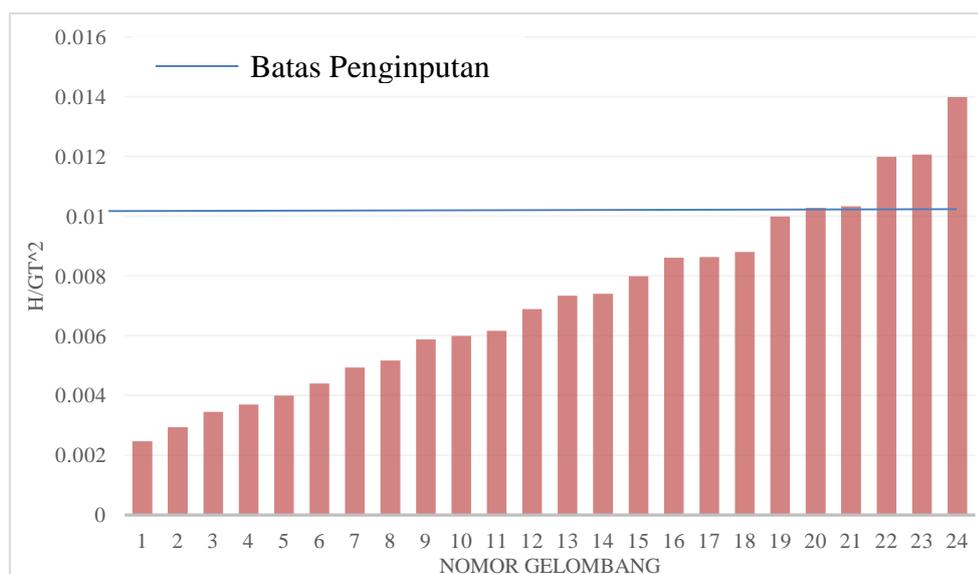
4.3 Percobaan

Dalam percobaan kali ini gelombang yang digunakan adalah gelombang *irregular*, sehingga penentuan tinggi gelombang (H) dan periode (T) yang akan diinput harus sesuai berdasarkan kemampuan *Flumetank*. Kemampuan *flumetank* dapat dihitung dari kecuraman gelombang (*wafestepness* yang dihasilkan). Hasil dari perhitungan *wavestepness* dengan memasukkan nilai H dan T dengan yang akan diinput, Kemampuan *flumetank* dari *wavestepness* harus *range* 0.001-0.01 karena jika lebih kecil (<0.001) atau lebih besar (>0.01) kemampuan *flumetank* tidak terjangkau, dan juga kemampuan *flumetank* untuk gelombang *irregular* dibatasi oleh inputan H dan T, yaitu $0.1 < H < 0.7$ dan $1 < T < 2$, karena alat sudah

tua. Berikut adalah hasil perhitungan *wavestepness* sebelum mengetahui tinggi gelombang (H) dan periode (T) yang akan di input :

Tabel 4.1 Plotingan *Wavestepness*

No Gelombang	H	T	H/gT ²
1	0,02	1,1	0,002467
2	0,02	1,2	0,002936
3	0,02	1,3	0,003445
4	0,03	1,1	0,0037
5	0,02	1,4	0,003996
6	0,03	1,2	0,004404
7	0,04	1,1	0,004934
8	0,03	1,3	0,005168
9	0,04	1,2	0,005872
10	0,03	1,4	0,005994
11	0,05	1,1	0,006167
12	0,04	1,3	0,006891
13	0,05	1,2	0,007339
14	0,06	1,1	0,007401
15	0,04	1,4	0,007992
16	0,05	1,3	0,008614
17	0,07	1,1	0,008634
18	0,06	1,2	0,008807
19	0,05	1,4	0,00999
20	0,07	1,2	0,010275
21	0,06	1,3	0,010336
22	0,06	1,4	0,011988



Gambar 4.1 *Plotting Wavestepness*

Ditunjukkan pada gambar 4.1 yaitu hasil dari perhitungan H/gT^2 dengan mengambil nilai H dan T untuk diinput dan menjadi daftar pengujian. *Flumetank* pada laboratorium memiliki kemampuan untuk membangkit gelombang berkisar $0,001 < (H/gT^2) < 0,01$. Perhitungan H/gT^2 diambil hasil yang nilainya tidak berdekatan atau diambil salah satu dari kemiripan tersebut, agar saat pengujian tidak menghasilkan kemiripan hasil data. Kemiripan terjadi seperti pada tabel 4.1 yaitu pada urutan 3 dan 4 dipakai urutan 4, kemiripan hasil urutan 15, 16 dan 17 di pakai urutan 16, begitu juga dengan kemiripan lainnya, sehingga didapat tabel 4.2 yaitu daftar nilai H dan T yang akan diujikan pada model *hexareef*, berikut tabel daftar pengujian :

Tabel 4.2 Daftar pengujian

Nomor Gelombang	Input	
	H (m)	T (s)
1	0,02	1,1
4	0,03	
7	0,04	
11	0,05	
2	0,02	1,2
6	0,03	
9	0,04	
13	0,05	
18	0,06	
20	0,07	
12	0,04	1,3
16	0,05	
5	0,02	1,4
15	0,04	
19	0,05	

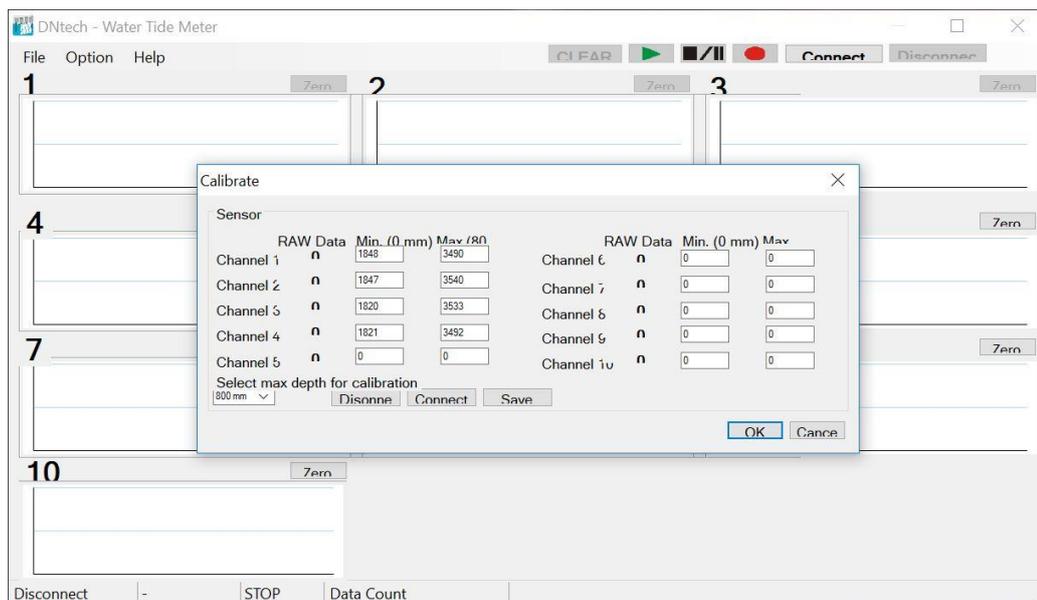
4.4 Analisa Data

4.4.1 Kalibrasi Wave Probe

Proses kalibrasi *wave probe* dilakukan dengan cara mencatat posisi *zero point* dari masing-masing *wave probe*, proses tersebut dilakukan agar mengetahui batas bawah dan batas atas, sehingga saat gelombang mengenai probe, hasil pembacaan sesuai dengan yang di input. Pada proses kalibrasi kali ini memakai batas bawahnya 0 cm dan batas atasnya 80 cm dari *zero point* pada saat air tenang. Berikut nilai kapasitansi dari kalibrasi probe :

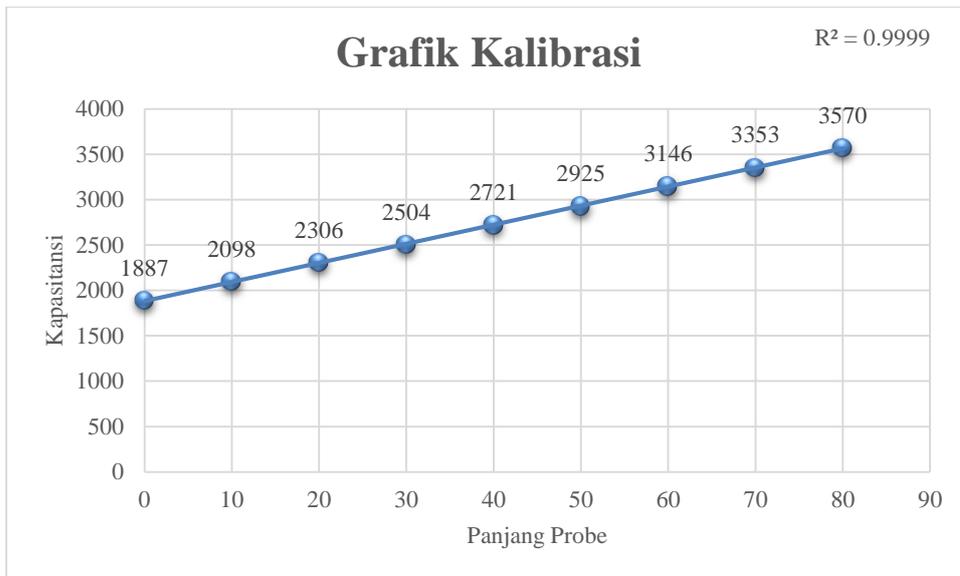
Tabel 4.3 Data Hasil Kalibrasi *Wave Probe*

Probe	Minimum	Maksimum
1	1848	3490
2	1847	3540
3	1887	3570
4	1821	3492



Gambar 4.2 Penginputan Hasil Kalibrasi

Setiap probe memiliki nilai kapasitansi yang berbeda-beda, sehingga diperlukan kalibrasi setiap probe. Hasil dari kalibrasi ditunjukkan pada tabel 4.3, yang memiliki nilai minimum yaitu 0 cm dari probe dan nilai maksimum yaitu 80 cm dari probe. Gambar 4.2 yaitu tampilan penginputan hasil kalibrasi dari tabel 4.3, dengan memasukkan setiap hasil dari kalibrasi setiap probe.

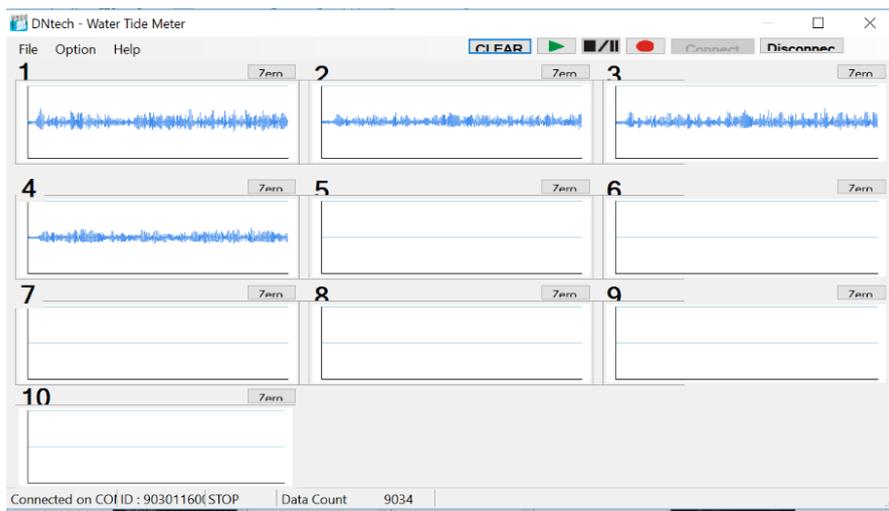


Gambar 4.3 Validasi Probe setiap 10 cm

Kalibrasi dilakukan setiap 10 cm, dari nilai minimum 0 cm dari probe sampai 80 cm dari probe seperti yang di tunjukkan pada gambar 4.3. Probe yang di kalibrasi pada gambar 4.3 adalah probe 3. Proses kalibrasi dilakukan dalam *software DNtech-Water Tide Meter*, yang dapat menghasilkan data dalam variable panjang.

4.4.2 Pengolahan Data

Data yang di baca oleh *wave probe* seperti pada gambar 4.4 yang terinput ke laptop melalui amplifier dengan format .csv dan mendapatkan hasil variable panjang yaitu millimeter (mm) dengan *software DNtech-Water Tide Meter*.



Gambar 4.4 Pembacaan dari *wave probe* dengan *software DNtech-Water Tide Meter*.

Hasil dari pembacaan *wave probe* tersimpan didalam file dengan format .CSV yang dapat dibuka dengan *Microsoft Excel*, dan hasil pembacaan merupakan variable panjang yaitu millimeter (mm). Hasil data yang terbaca di *Microsoft Excel* mencakup semua *waveprobe* yang berfungsi seperti pada gambar 4.5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	DNtech	WTM-903									
2	Water Tide Meter										
3	-----										
4	Date - Time	09/11/2017 09:44									
5	-----										
6	Time	Ch 1									
7	(S)	(mm)	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5	Ch 6	Ch 7	Ch 8	Ch 9	Ch 10
8			(mm)								
9	0.02	8	8	1	-11	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	0.04	8	8	2	-11	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	0.06	8	4	2	-11	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	0.08	4	2	4	-12	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	0.1	8	4	4	-12	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14	0.12	6	2	0	-12	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
15	0.14	5	6	-13	-2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
16	0.16	5	-1	-14	-4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
17	0.18	4	1	-10	-8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
18	0.2	4	0	-14	-7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
19	0.22	2	0	-14	-8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
20	0.24	2	-1	-7	-9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21	0.26	3	-1	-4	-11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22	0.28	2	-4	-4	-8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23	0.3	3	-4	2	-12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
24	0.32	4	-2	4	-10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Gambar 4.5 Hasil Pembacaan dengan format .csv

4.4.3 Gelombang Tercatat

Gelombang yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang akan berbeda dengan tinggi gelombang yang kita input di mesin gelombang, hal ini terjadi karena faktor mesin gelombang yang sudah terlalu tua. Berikut adalah tinggi gelombang yang dihasilkan dari tinggi gelombang yang di input ke mesin gelombang :

Tabel 4.4 Data Tercatat

Tipe Gelombang	Input Wave Maker		Tercatat Wave Probe	
	H (m)	T (s)	Hi (m)	T (s)
Irregular	0,02	1,1	0,055984	0,8911
	0,03		0,090678	0,8899
	0,04		0,100372	1,0762
	0,05		0,137029	1,2043
	0,02	1,2	0,065373	1,0743
	0,03		0,100236	1,1111
	0,04		0,110444	1,1874
	0,05		0,14467	0,9836
	0,06		0,154408	1,1895
	0,07		0,164424	1,0762
	0,04	1,3	0,121057	1,1874
	0,05		0,139448	1,0743
	0,02	1,4	0,068272	1,1843
	0,04		0,115816	1,1853
	0,05		0,154599	1,2043

4.4.4 Perhitungan

4.4.4.1 Perhitungan Energi Gelombang

Energi total gelombang merupakan jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik disebabkan oleh kecepatan partikel air sedangkan energi potensial merupakan energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air (Dean and Dalrymple, 1991). Adapun rumusan energi total tiap satu satuan lebar adalah :

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2 L}{8} \dots\dots\dots(4.8)$$

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

$$E_{rerata} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \dots\dots\dots(4.9)$$

$$E_i = \frac{\rho g H_i^2}{8} \dots\dots\dots(4.10)$$

$$E_t = \frac{\rho g H t^2}{8} \dots\dots\dots(4.11)$$

Dengan $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Energi Gelombang

Konfigurasi	Hi (m)	Energi	Energi	Energi	Persenan
		Datang	Transmisi	Hilang	Energi Hilang
1	0,050	3,041	2,358	0,683	22,465
	0,071	6,243	4,855	1,388	22,230
	0,110	14,824	8,882	5,942	40,083
	0,120	17,585	11,045	6,539	37,186
	0,052	3,294	2,627	0,667	20,248
	0,084	8,639	5,884	2,754	31,886
	0,116	16,555	10,048	6,507	39,308
	0,134	22,011	13,325	8,686	39,462
	0,159	31,046	17,356	13,690	44,096
	0,156	29,888	17,462	12,426	41,575
	0,119	17,298	11,652	5,646	32,642
	0,147	26,443	15,780	10,663	40,324
	0,057	3,955	2,710	1,245	31,481
	0,122	18,316	11,781	6,536	35,682
2	0,150	27,499	15,224	12,275	44,638
	0,053	3,445	2,267	1,177	34,176
	0,075	6,898	5,023	1,875	27,182
	0,109	14,569	8,652	5,917	40,611
	0,126	19,468	11,538	7,930	40,734
	0,047	2,709	2,061	0,647	23,902
	0,086	9,069	6,009	3,061	33,748
	0,116	16,500	11,067	5,434	32,930
	0,134	22,019	13,519	8,499	38,600
	0,158	30,612	14,838	15,774	51,530
	0,157	30,226	18,252	11,974	39,616
	0,113	15,658	9,496	6,162	39,353
	0,145	25,782	14,303	11,479	44,523
	0,056	3,846	2,595	1,251	32,526
0,115	16,217	11,067	5,150	31,758	
3	0,145	25,782	15,109	10,673	41,398
	0,046	2,593	1,696	0,896	34,573

Konfigurasi	Hi (m)	Energi	Energi	Energi	Persenan
		Datang	Transmisi	Hilang	Energi Hilang
3	0,081	7,982	5,047	2,935	36,766
	0,090	10,015	5,967	4,048	40,422
	0,130	20,733	10,784	9,949	47,986
	0,055	3,760	2,322	1,438	38,249
	0,090	9,985	5,608	4,377	43,833
	0,119	17,495	9,339	8,156	46,618
	0,135	22,239	11,116	11,123	50,017
	0,154	29,236	14,156	15,080	51,582
	0,160	31,559	13,969	17,590	55,737
	0,111	15,124	7,958	7,166	47,383
	0,139	23,845	12,033	11,813	49,538
	0,068	5,716	3,115	2,601	45,503
	0,116	16,448	8,107	8,341	50,711
	4	0,145	25,640	12,440	13,200
0,056		3,843	1,884	1,959	50,984
0,091		10,083	4,891	5,192	51,492
0,100		12,354	5,967	6,387	51,702
0,137		23,025	10,105	12,920	56,113
0,065		5,241	2,574	2,667	50,889
0,100		12,320	5,877	6,444	52302
0,110		14,958	6,583	8,375	55,990
0,145		25,665	10,654	15,011	58,489
0,154		29,236	11,429	17,807	60,908
0,164		33,152	12,442	20,710	62,469
0,121		17,970	8,037	9,933	55,276
0,139		23,845	10,145	13,700	57,453
0,068		5,716	2,795	2,921	51,103
0,116	16,448	7,141	9,307	56,586	

4.4.4.2 Perhitungan Koefisien Transmisi

Untuk koefisien transmisi gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumusan dibawah ini :

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \left(\frac{E_t}{E_i} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(4.12)$$

Perhitungan koefisien transmisi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Nilai Kt

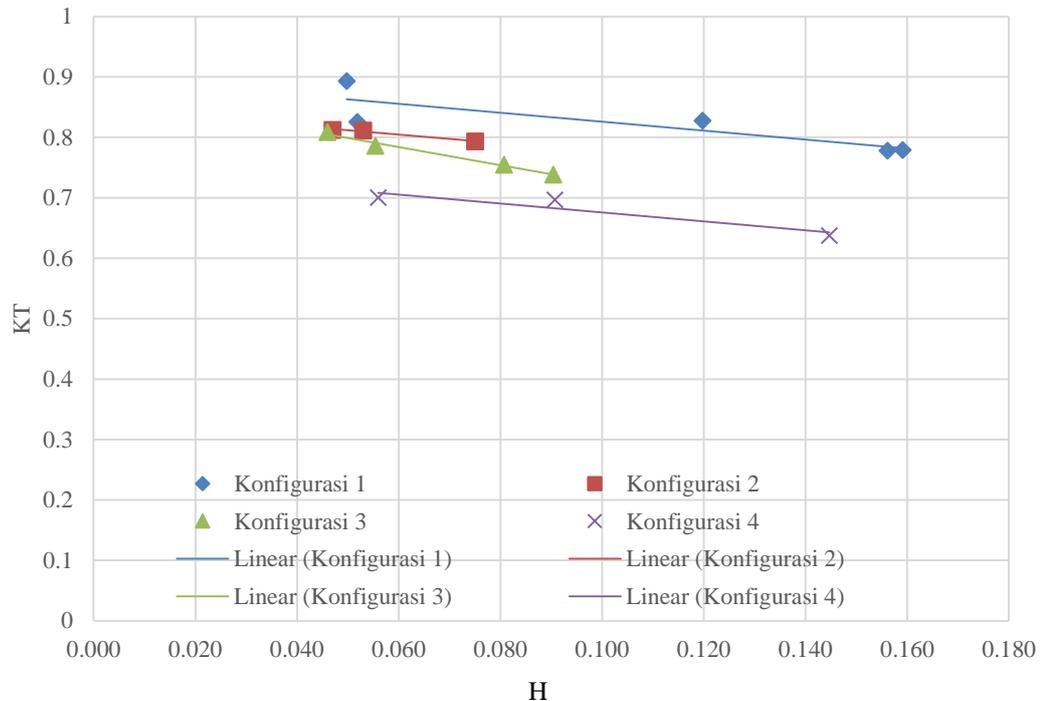
Konfigurasi	Tercatat				Kt
	Hi (m)	T (s)	Ht (m)	T (s)	
1	0,049	0,891	0,043	1,04050	0,880
	0,071	1,040	0,062	0,85310	0,881
	0,109	1,184	0,085	1,11110	0,774
	0,119	0,983	0,094	1,11110	0,792
	0,051	0,891	0,046	1,11110	0,893
	0,083	1,184	0,069	1,11110	0,825
	0,116	1,241	0,090	1,11110	0,779
	0,133	1,184	0,104	1,11110	0,778
	0,159	0,983	0,118	1,14650	0,747
	0,156	0,983	0,119	1,13210	0,764
	0,118	1,111	0,097	1,11110	0,820
	0,146	1,184	0,113	1,09090	0,772
	0,056	1,238	0,047	1,35340	0,827
	0,122	1,240	0,098	1,09090	0,801
	0,149	1,241	0,111	1,09090	0,744
2	0,053	0,963	0,043	1,11100	0,811
	0,075	0,953	0,064	0,99	0,853
	0,109	1,184	0,084	1,07800	0,770
	0,126	1,000	0,097	1,09100	0,769
	0,047	0,891	0,041	1,041	0,872
	0,086	1,225	0,070	1,111	0,813
	0,116	1,078	0,095	1,111	0,818
	0,134	1,184	0,105	1,098	0,783
	0,158	1,225	0,110	1,147	0,696
	0,157	1,184	0,120	1,111	0,777
	0,113	1,184	0,088	1,111	0,778
	0,145	1,184	0,108	1,147	0,744
	0,056	1,241	0,046	1,353	0,821
	0,115	1,241	0,095	1,651	0,826
0,145	1,241	0,110	1,091	0,765	
3	0,045	0,891	0,037	1,077	0,808
	0,080	0,889	0,066	0,852	0,795
	0,090	0,889	0,069	0,852	0,771
	0,130	0,983	0,093	1,058	0,721
	0,055	0,980	0,043	1,070	0,785
	0,090	1,075	0,063	1,075	0,749
	0,119	1,034	0,087	1,132	0,730
	0,134	1,138	0,095	1,094	0,706
	0,154	1,186	0,107	1,076	0,695

Konfigurasi	Tercatat				Kt
	Hi (m)	T (s)	Ht (m)	T (s)	
3	0,160	1,244	0,106	1,094	0,665
	0,111	1,241	0,08	1,111	0,725
	0,139	1,205	0,099	1,151	0,710
	0,068	1,130	0,050	1,390	0,738
	0,115	1,240	0,081	1,651	0,702
	0,144	1,24	0,102	1,428	0,696
4	0,055	0,89	0,039	1,040	0,700
	0,090	0,889	0,063	0,832	0,696
	0,100	1,076	0,069	1,076	0,694
	0,137	1,204	0,090	1,056	0,662
	0,065	1,074	0,045	1,074	0,700
	0,100	1,111	0,069	1,111	0,690
	0,110	1,187	0,073	1,074	0,663
	0,144	0,983	0,091	1,058	0,644
	0,154	1,189	0,094	1,098	0,625
	0,164	1,076	0,100	1,090	0,612
	0,121	1,187	0,080	1,093	0,667
	0,139	1,074	0,090	1,093	0,658
	0,068	1,184	0,047	1,389	0,699
	0,115	1,185	0,076	1,390	0,658

4.4.5 Uji Koefisien Transmisi Gelombang Irreguler

4.4.5.1 Hubungan Koefisien Transmisi dengan Tinggi Gelombang

Gambar 4.6 merupakan hubungan antara koefisien transmisi dengan gelombang datang untuk periode 0.9 s.

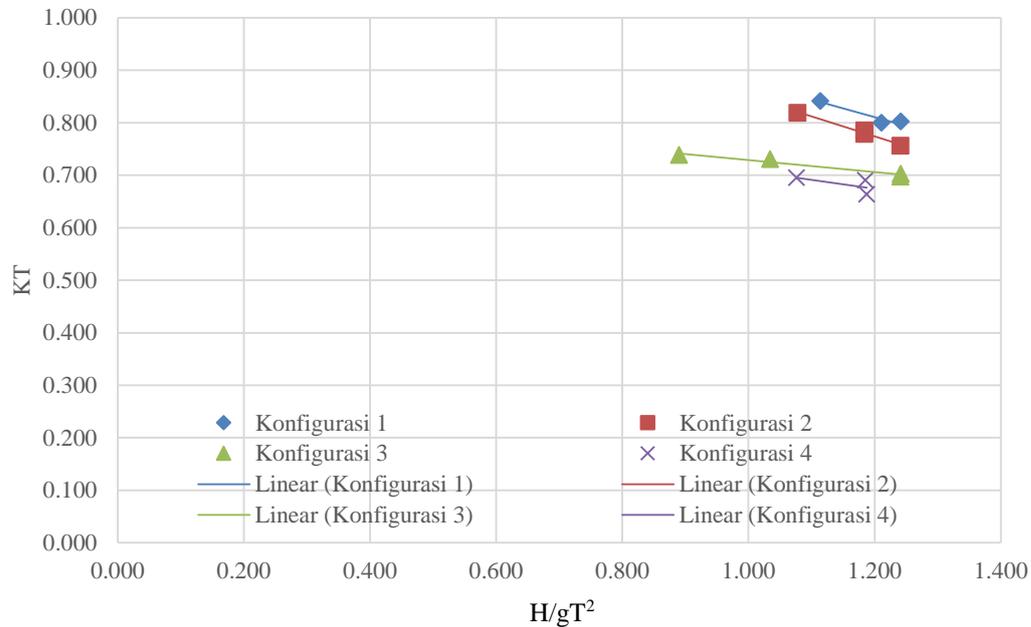


Gambar 4.6 Hubungan Koefisien transmisi dengan Tinggi gelombang untuk $T = 0,9$ detik

Gambar 4.6 diperoleh bahwa seiring peningkatan tinggi gelombang datang, menyebabkan makin kecil nilai koefisien transmisi dengan periode yang sama. Hal itu terjadi dikarenakan semakin tinggi gelombang, maka lembah gelombang semakin dekat dengan lebar puncak struktur, sehingga gesekan semakin besar dan dari gesekan tersebut terjadi reduksi energi gelombang. Konfigurasi 4 memiliki nilai koefisien yang paling kecil karena nilai lebar (B) pada konfigurasi tersebut paling besar dari antara 4 konfigurasi tersebut.

4.4.5.2 Hubungan Koefisien Transmisi dengan Periode

Gambar 4.7 merupakan hubungan antara koefisien transmisi dengan gelombang datang untuk tinggi gelombang 0,11 m.

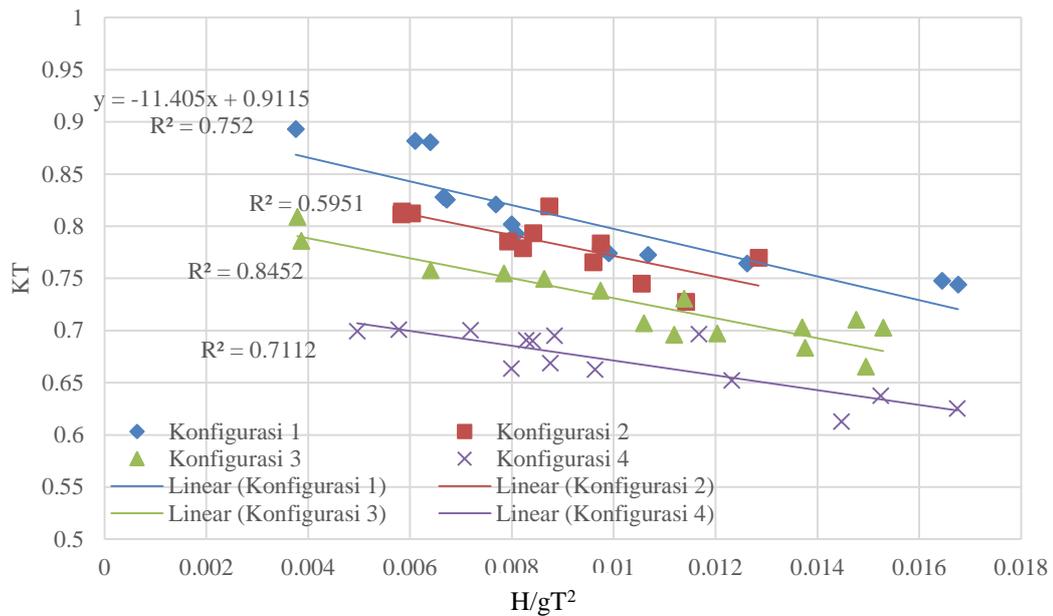


Gambar 4.7 Hubungan Koefisien transmisi dengan Periode untuk H = 0,11 m

Gambar 4.7 menunjukkan keempat grafik tersebut mempunyai trend yang sama yaitu semakin besar periode semakin kecil nilai periode, maka semakin besar nilai koefisien transmisinya, dan semakin besar nilai periodenya maka semakin kecil pula nilai koefisien transmisinya. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai periode maka semakin besar pula panjang gelombangnya, karena gelombangnya semakin panjang maka gesekan lembah gelombang dengan lebar puncaknya semakin panjang.

4.4.5.3 Hubungan Koefisien Transmisi dengan *wave steepness*

Pada gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara koefisien transmisi dengan kecuraman gelombang (*wave steepness*) pada kedalaman yang sama dengan konfigurasi yang berbeda. *Wave steepness* ditentukan dengan menggunakan parameter tinggi gelombang signifikan datang (H) dan periode gelombang datang (T). Semua konfigurasi memiliki kedalaman yang sama yaitu 0,3 m.



Gambar 4.8 Hubungan transmisi dengan *wave steepnes*

Nilai koefisien transmisi berkisar antara 0,74 – 0,88 untuk konfigurasi 1, 0,71 – 0,8 untuk konfigurasi 2; 0,69 – 0,8 untuk konfigurasi 3 dan 0,66 – 0,77, untuk konfigurasi 4. Pada konfigurasi 1 menunjukkan pengaruh peningkatan *wave steepness* yang menghasilkan nilai koefisien transmisi semakin rendah. Hal ini berarti hubungan antara koefisien transmisi dan *wave steepness* yang berbanding terbalik. Dari analisa regresi linier pada konfigurasi 1 menunjukkan korelasi yang tinggi dengan nilai $R^2 = 0,752$. Pada konfigurasi 4 dengan lebar puncak 1,09 m dan tinggi struktur 0,1 m menunjukkan grafik dengan semakin besar *wave steepness* maka nilai koefisien transmisi semakin rendah. Korelasi hubungan antar titik dari analisa regresi juga cukup tinggi dibandingkan dengan konfigurasi yang lain, dengan nilai $R^2 = 0,7112$.

Dari grafik tersebut menunjukkan penurunan nilai koefisien transmisi disebabkan oleh semakin besarnya nilai *wave steepness*, semakin besar *wave*

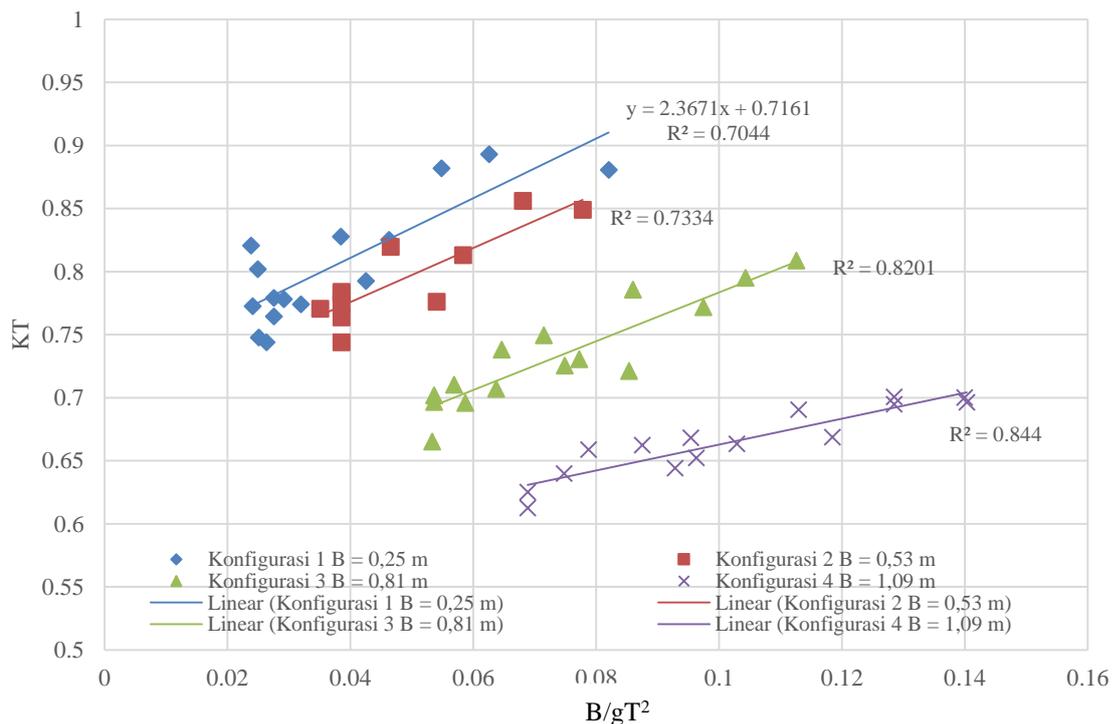
steepness menyebabkan gelombang menjadi tidak stabil dan mudah pecah, sehingga penurunan gelombang menjadi sangat signifikan.

4.4.5.4 Hubungan Koefisien Transmisi Dengan Lebar Puncak Relatif

Gambar 4.9 hubungan antara koefisien transmisi dengan lebar relatif pada kedalaman yang sama dengan konfigurasi yang berbeda. Pada semua konfigurasi memiliki perbedaan lebar relatif dengan tinggi struktur dan kedalaman yang sama. Tabel 4.7 adalah lebar dari setiap konfigurasi.

Tabel 4.7 Lebar puncak

Konfigurasi	Lebar (m)
1	0,25
2	0,53
3	0,81
4	1,09



Gambar 4.9 Hubungan transmisi dengan Lebar Relatif

Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa konfigurasi 4 menghasilkan koefisien transmisi yang paling kecil, karena pada konfigurasi 4 memiliki lebar paling panjang yaitu 1,09 m, sehingga dapat mereduksi gelombang yang besar pula, jika

dibandingkan dengan konfigurasi yang lainnya, dengan kedalaman dan *freeboard* yang sama yaitu $d = 0,2$ m dan $h = 0,1$ m.

Dari trend pada grafik di atas menunjukkan kenaikan, dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai B/gT^2 maka semakin besar nilai koefisien transmisi, terjadi jika di perhatikan pada 1 konfigurasi, maka nilai B sama, trend grafik naik keatas karena jika nilai B/gT^2 semakin besar (dengan nilai B sama) maka periodenya yang di masukkan adalah kecil, jika periode semakin kecil, maka nilai koefisien transmisi semakin besar karena energi yang tereduksi sangat kecil, begitu pula sebaliknya, semakin kecil nilai B/gT^2 dikarenakan nilai periodenya besar, jika nilai periodenya besar maka nilai koefisien transmisi semakin kecil, akibat semakin besar panjang gelombang maka semakin besar energi gelombang yang tereduksi.

Hubungan keterkaitan antar titik untuk regresi linier dari keempat konfigurasi juga sangat tinggi yaitu dengan nilai R^2 masing-masing 0,7044 untuk konfigurasi 1, 0,7344 untuk konfigurasi 2, 0,8201 untuk konfigurasi dan 0,844 untuk konfigurasi 4.

4. 5 Pembahasan

Dari analisa yang telah dilakukan pada gelombang irregular nilai koefisien transmisi sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter yang tidak berdimensi seperti *wave steepness* (H/gT^2), lebar puncak relatif (B/gT^2), dan rasio lebar susunan (h/B). Nilai koefisien transmisi tidak hanya di pengaruhi oleh itu saja, tetapi juga dapat di pengaruhi oleh rasio tinggi susunan (h/d), analisa yang dilaksanakan tidak membedakan tinggi struktur ataupun tinggi susunan struktur tersebut.

Nilai koefisien transmisi akan menurun jika nilai *wave steepness* meningkat, hal tersebut terjadi karena semakin tinggi *wave steepness* menyebabkan gelombang tidak stabil dan sangat memungkinkan terjadi gelombang pecah. Hal tersebut berbanding terbalik pada lebar puncak relatif karena semakin besar nilai lebar puncak relatif maka semakin besar juga nilai koefisien transmisi, karena lebar puncak relative dipengaruhi oleh periode gelombangnya, jika periode gelombang semakin besar maka semakin besar energi gelombang yang tereduksi hal itu mengakibatkan nilai koefisien transmisi semakin kecil. Perbandingan koefisien dengan tinggi gelombang juga dianalisa, hasil dari analisa tersebut adalah semakin tinggi gelombang yang melewati struktur maka semakin besar pula energi yang

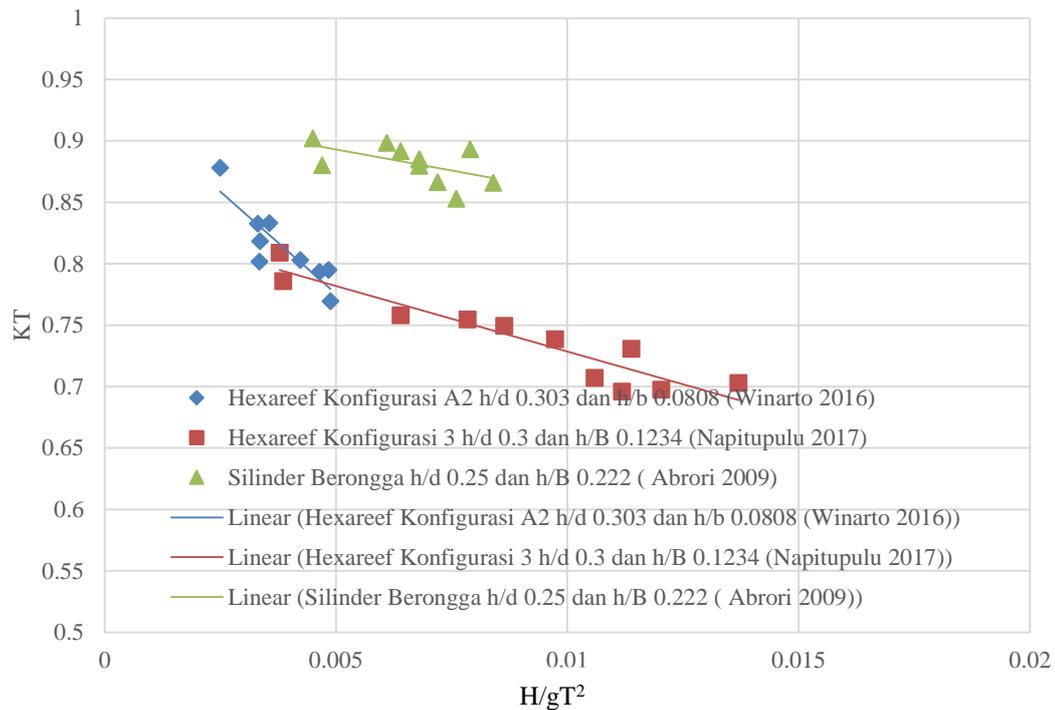
tereduksi, hal itu terjadi karena semakin tinggi puncak maka semakin tinggi juga lembah dari gelombang tersebut, hal itu menyebabkan semakin dekat pula lembah gelombang dengan puncak struktur mengakibatkan semakin besar gelombang tersebut tereduksi akibat gesekan dari struktur tersebut.

Berdasarkan beberapa parameter yang dianalisa, konfigurasi 4 adalah konfigurasi paling efektif, karena konfigurasi 4 memiliki nilai koefisien transmisi paling kecil dari konfigurasi lainnya, dan juga memiliki nilai h/B , H/gT^2 , dan B/gT^2 lebih besar dari konfigurasi lainnya, hal ini didukung juga dengan korelasi hubungan antar titik dari analisa regresi yang cukup tinggi.

Selain ditinjau dari nilai koefisien transmisi, energy yang tereduksi atau energy yang hilang akibat gelombang yang bergesekan dengan struktur. Dari analisa yang di perhitungkan energy gelombang yang hilang dan yang paling baik terjadi pada konfigurasi 4 dengan energy yang berkurang sebesar 62.46% pada saat penginputan tinggi gelombang 0.7 m dan periode 1.4 s dengan gelombang irregular.

4.6 Perbandingan Antara *Hexareef* dengan bentuk lain

Bentuk *Artificial reef* sudah beraneka ragam yang telah dibuat oleh para ahli sebelumnya dari bentuk silinder hingga bentuk kubus, pada *eksperimen* ini dibuat bentuk segi 8 atau disebut juga (*Hexareef*), agar dapat mengetahui bentuk mana yang paling efektif maka dapat dibandingkan dengan hubungan antara nilai koefisien transmisi dengan kecuraman gelombang (*wave steepness*). Gambar 4.9 dibawah ini merupakan perbandingan antara bentuk hexareef yang memiliki lebar strukturnya *hexareefnya* sebesar 11 cm, tinggi strukturnya 10 cm dan berat 1 kg (Napitupulu, 2017), hexareef yang memiliki lebar strukturnya *hexareefnya* sebesar 25 cm, tinggi strukturnya 10 cm dan berat 4,6 kg (Winarto, 2016), dan silinder berongga (Abrori, 2009).



Gambar 4.9 Perbandingan pengaruh *wave steepness* terhadap *Kt Hexareef* (Napitupulu, 2017), *Hexareef* (Winarto, 2016), *Bottlereef* (Abrori, 2008)

Hasil pengujian seperti gambar 4.9 dihasilkan trend yang sama antara semua model, dimana koefisien transmisi cenderung menurun dengan meningkatnya nilai *wave steepness* nya, sebaliknya nilai koefisien transmisi akan meningkat dengan berkurangnya nilai *wave steepness*nya.

Perbedaan hasil analisa dari semua model terletak pada koefisien transmisi yang dihasilkan, untuk rentang nilai *wave steepness* nya 0,003 – 0,005 bentuk hexareef (Napitupulu, 2017) menghasilkan nilai *Kt* berkisar 0,778 – 0,80, sedangkan untuk bentuk *hexareef* (Winarto, 2016) menghasilkan nilai *Kt* berkisar 0,78 – 0,88, dan untuk bentuk silinder menghasilkan nilai *Kt* bekisar 0,85 – 0,87. Dengan demikian dapat dikatakan bentuk *hexareef* (Napitupulu, 2017) menghasilkan nilai *Kt* lebih kecil dari model yang lain.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisa yang telah dilakukan adalah :

1. Energy yang tereduksi yang paling besar pada yaitu konfigurasi 4 sebesar 62,468% pada gelombang irregular.
2. Nilai koefisien transmisi terkecil yang di hasilkan pada Konfigurasi 4 yaitu 0,62 pada gelombang irregular.
3. Berdasarkan grafik parameter yang telah dianalisa dihasilkan :
 - a) Semakin besar nilai *wave steepness* (H/gT^2) semakin besar juga energi gelombang yang tereduksi atau semakin kecil nilai koefisien transmisinya.
 - b) Semakin besar nilai lebar puncak relatif (B/gT^2), maka semakin besar pula nilai koefisien transmisinya atau dapat dikatakan semakin kecil energy gelombang yang tereduksi.
 - c) Semakin besar nilai rasio lebar (h/B), maka semakin besar pula nilai koefisien transmisinya atau dapat dikatakan semakin kecil energy gelombang yang tereduksi struktur, begitu pula sebaliknya.
4. Dari analisa perbandingan dengan terumbu buatan (*artificial reef*) yang telah dilakukan berdasarkan parameter *wave steepness* (H/gT^2), yaitu dengan *Hexareef* (Winarto, 2016), *Bottlereef* (Abrori, 2009), dan *Hexareef* (Napitupulu, 2017), bentuk *Hexareef* (Napitupulu, 2017) memiliki koefisien transmisi yang paling kecil dengan rentang *wavesteepness* 0,003 sampai 0,005.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Lakukan penelitian dengan variasi kedalaman (d) dan *freeboard* (F)
2. Lakukan penelitian dengan variasi ukuran struktur
3. Lakukan penelitian dengan variasi banyak lubang pada struktur
4. Lakukan penelian untuk stabilitas struktur
5. Perlu dilakukan analisa spektrum

(Halaman sengaja dikosongkan)

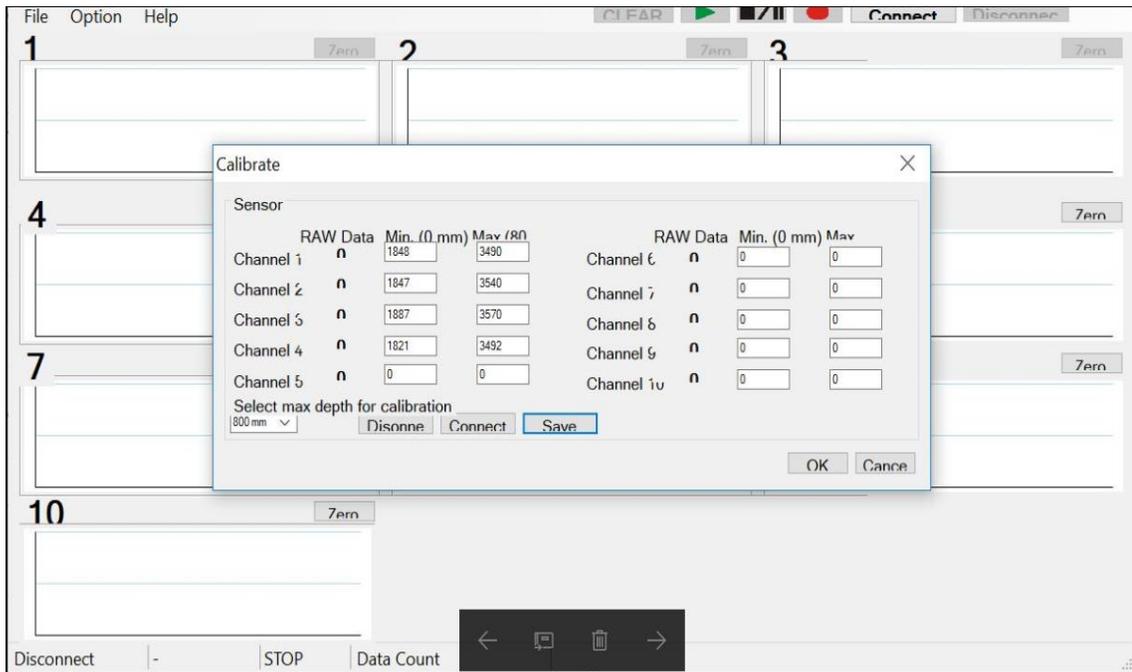
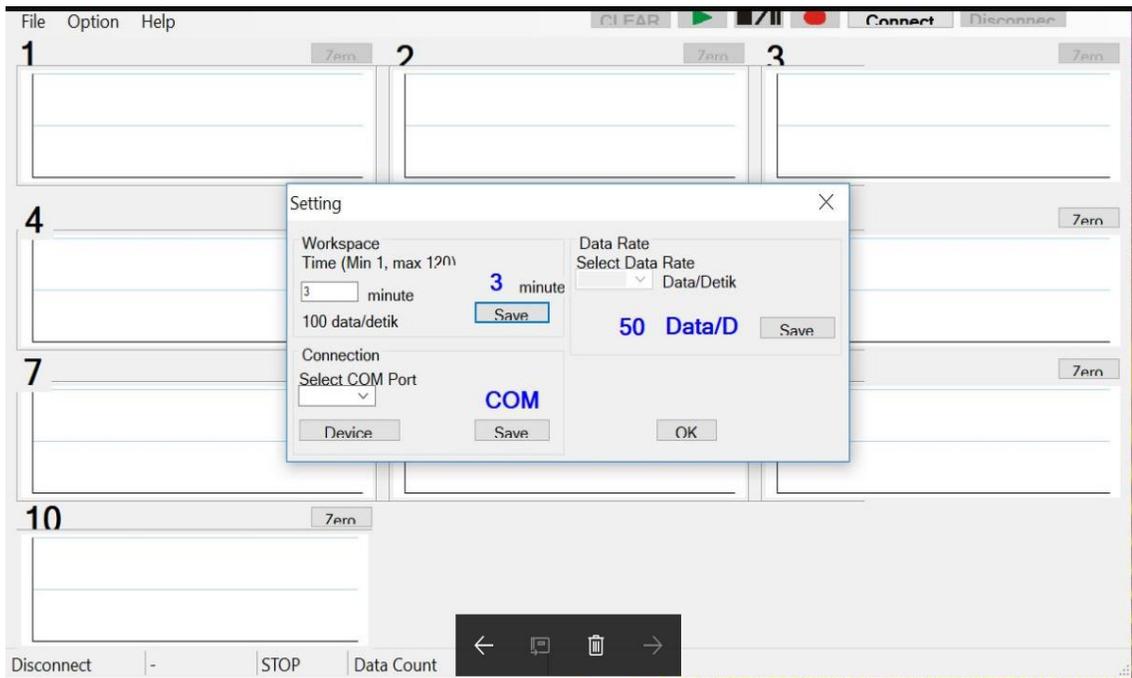
DAFTAR PUSTAKA

- Abrori, Zuhron., Armono, H.D., Zikra, Muhammad. 2009. **“Pengaruh Freeboard Terumbu Karang Buatan Bentuk Silinder Berongga Sebagai *Breakwater* Terbenam Dalam Mereduksi Gelombang”**. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah, 2009.
- Akhwady, Rudhy., Mukhtasor., Armono, H.D., Musta'in, Mahmud. 2012. **“Pengaruh Beda Porositas Terumbu Buatan Bentuk Silinder Berongga (*Bottle Reef*) Sebagai *Submerged Breakwater* Terhadap Kinerja Peredaman Gelombang”**. Jurnal Kelautan Nasional Vol 17 No 2 Juni, Balitbang KKP RI.
- 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.D. 1999. **“Flow Field Around Single And Multiple Hollow Hemispherical Artificial Reefs Used For Fish Habitat”**. Thesis. Faculty of Engineering and Applied Science. Memorial University of Newfoundland.
- Armono, H.D. 2004. **“A Two Dimensional Hydrodynamic Model in the Vicinity of Artificial Reefs”**. Paper presented for PIT XXI – HATHI, Denpasar.
- Battacharyya. 1972. **“Dynamic of Marine Vehicles”**. a Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
- CERC. 1984. **“Shore Protection Manual”**. Department of The Army Waterway Experiment Station” Corps of Engineering Research Center, 4th Edition, US Government Printing Office, Washington
- Djarmiko, E.B., **“Analisis Gelombang Acak, Materi kuliah Hidrodinamika II”**, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya, 2003.

- Gianna, Alessandra, et al. 2011. “**Overview on artificial reefs in Europe**”, Braz. j. oceanogr vol.59. Sao Paulo: ECW. <http://www.scielo.br/scielo>. (Diakses pada tanggal 10 September 2017).
- Hughes, S.A. 1993. “ **Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering**”. Coastal Engineering Research Center, USA.
- M, Ryan. Azhar., Wurjanto, Andoyo., Yuanita, Nita. 2011. “**Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam Di Pantai Tanjung Kait**”. Thesis. Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Air. Institut Teknologi Bandung. Bandung..
- Sitanggang J., Muchtasor., A, Widi. P., Wahyudi . “**Studi Uji Model Fisik Peredam Gelombang Tenggelam Bentuk Enam Gigi Gergaji**”, Jurnal Kelautan Nasional Volume 8, No 2, Juli 2008, Surabaya
- Sudoto. (2008). “**Karakteristik Transmisi Gelombang Yang Melalui Susunan Terumbu Buatan Bentuk Kubus Berongga Sebagai Submerged Breakwater**”. Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Triatmodjo Bambang, 1996, “**Pelabuhan**”, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. “**Teknik Pantai**”. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo Bambang., 2011. “**Perencanaan Bangunan Pantai**”. Yogyakarta: Beta Offset.
- Winarto, A. 2017.” **Pengaruh Konfigurasi Terumbu Buatan Bentuk Hexagonal Pada Transmisi Gelombang**”. Skripsi. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yuwono, Nur, Nizam dan Mundra, I.W. (1997). “**Studi Model Fisik Stabilitas dan Unjuk Kerja Reef Buatan Pada Perlindungan Pantai**”. Kumpulan Naskah Ilmiah Teknik Pantai dan Pelabuhan. PAU Ilmu Teknik UGM Jogjakarta.
- Zardhan. 2014. “**Hidraulika Terapan Model Fisik**”. <https://zardhan.wordpress.com>. (Diakses pada tanggal 15 September 2017).

LAMPIRAN 1

Tampilan Software Wave Tide Meter



LAMPIRAN 2

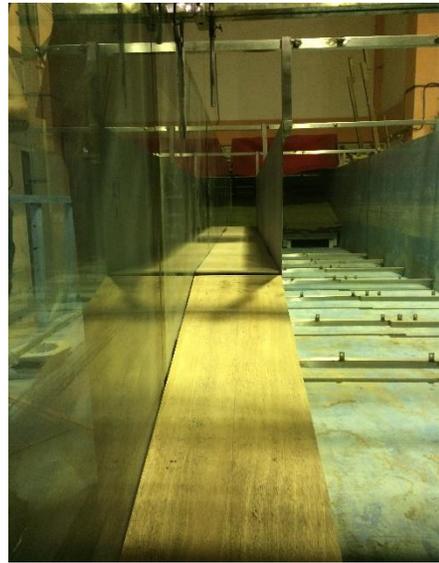
DOKUMENTASI

Pembuatan Model



Pembuatan Platform





Proses Kalibrasi Probe



Penyusunan Struktur *Hexareef* dan Proses Running di *Flume tank*

Konfigurasi 1 dan Konfigurasi 2

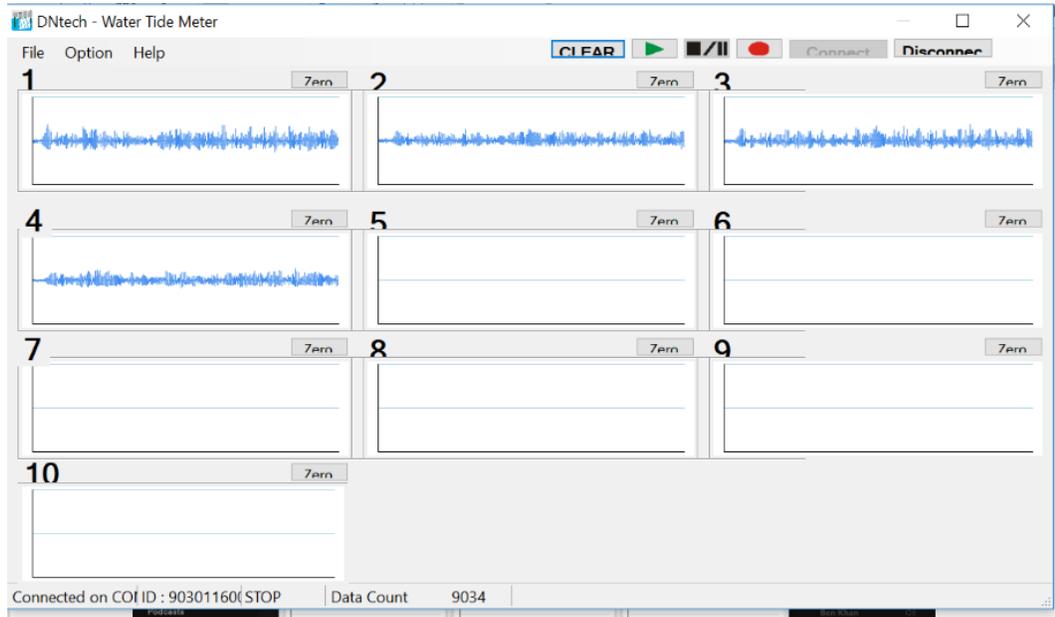


Konfigurasi 3 dan Konfigurasi 4



LAMPIRAN 3

Pembacaan gelombang dari Probe ke *Software Wave Tide Meter*



Output dari *Software Wave Tide Meter*

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Time (S)	Ch 1 (mm)	Ch 2 (mm)	Ch 3 (mm)	Ch 4 (mm)	Ch 5 (mm)	Ch 6 (mm)	Ch 7 (mm)	Ch 8 (mm)	Ch 9 (mm)	Ch 10 (mm)
0.02	8	8	1	-11	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.04	8	8	2	-11	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.06	8	8	2	-11	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.08	4	2	2	-11	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.1	8	4	4	-12	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.12	6	2	2	-12	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.14	5	6	6	-13	-2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.16	5	-1	-1	-14	-4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.18	4	1	1	-10	-8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.2	4	0	0	-14	-7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.22	2	0	0	-14	-8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.24	2	-1	-1	-7	-9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.26	3	-1	-1	-4	-11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.28	2	-4	-4	-4	-8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.3	3	-4	2	-12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.32	4	-2	4	-10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

LAMPIRAN 4 Software Wave Analysis (WAVAN)

Proses mengolah data dengan *Software Matlab* dengan program *Wave Analysis (WAVAN)*

```
>> wavan
```

```

Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT

enter input filename runningan4101.txt
Enter Number of Columns in Input File: 2
Enter No. of Points (Multiple of 8): 9040
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 1
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
Enter Desired Resolution, M: 5

```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 5
```

Basic Output

```

Mean Water Level      = 0.1623 centimetres
Water Level Trend     = 0.00014 cm/s
Sigma                 = 4.076 centimetres

```

Wave Statistics

```
Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 1
```

```

Number of Waves      = 178
Average Wave Period  = 1.0157 seconds
Significant Wave Height = 16.2984 centimetres
Maximum Wave Height  = 24.0001 centimetres
Average Wave Height  = 10.4484 centimetres
rms Wave Height      = 11.6829 centimetres
Average of Highest 1/10 = 19.2527 centimetres
SigmaZ                = 3.3724 centimetres

```

For the Raw Spectrum

```

fmin      = 0.0055 Hz
Sigma     = 4.0763 cm
S(p)      = 227.0609 cm2/Hz
f(p)      = 0.9292 Hz
T(p)      = 1.0762 sec

```

```

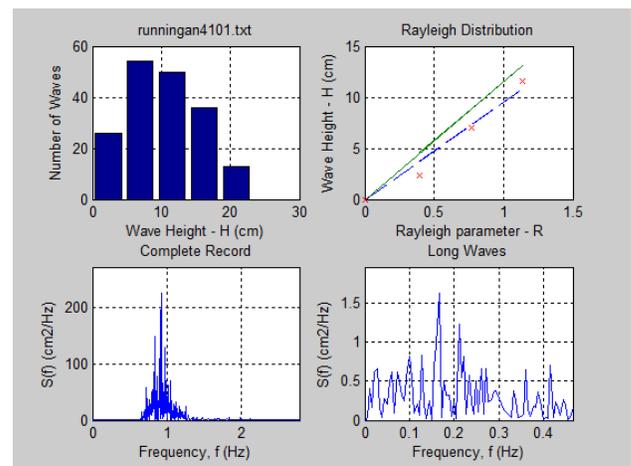
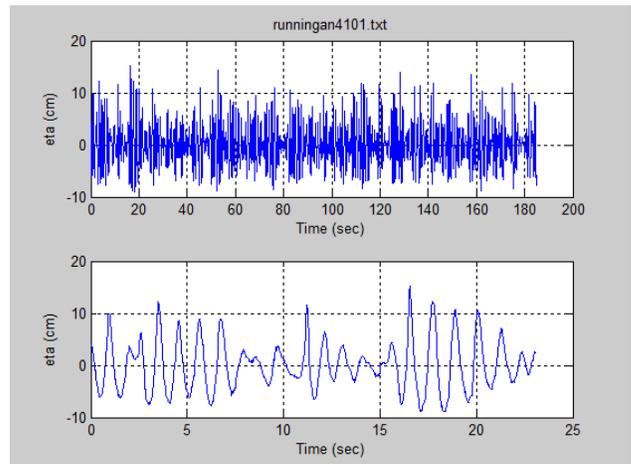
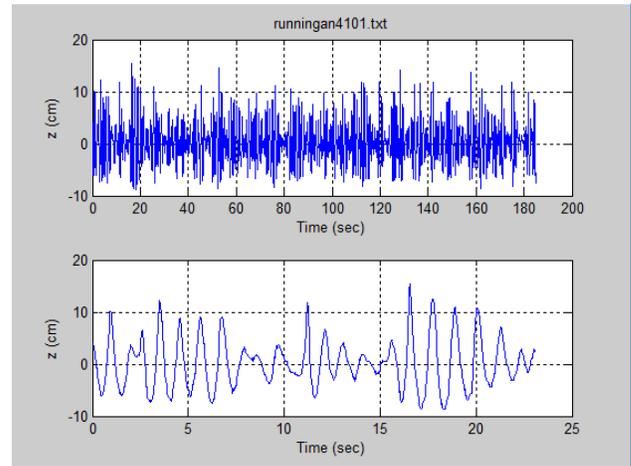
Variance      = 16.6161 cm2
Long Wave Variance = 0.1433 cm2
Short Wave Variance = 16.4728 cm2
Hmo           = 16.31 cm
Long Wave Hmo = 1.51 cm
Short Wave Hmo = 16.23 cm

```

```

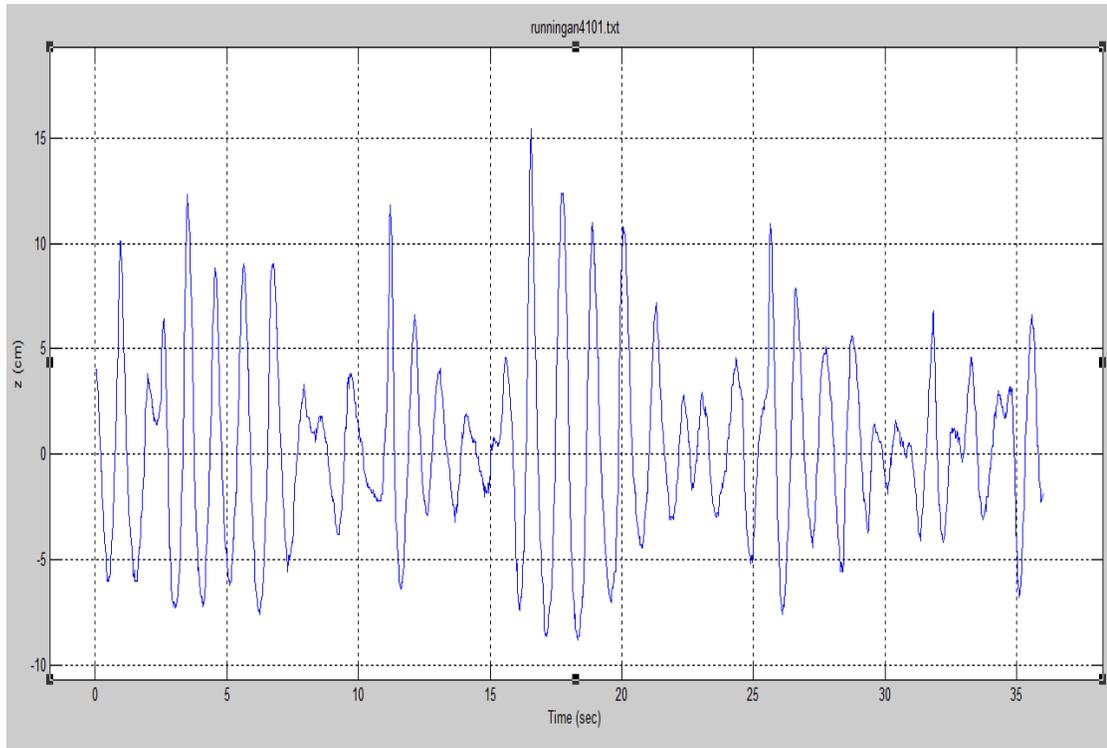
First Moment      = 17.53896 centimetres
Second Moment     = 31.59469 centimetres
Third Moment      = 243.66672 centimetres
Fourth Moment     = 4165.56512 centimetres
Epsilon Squared  = 0.99 centimetres
T(0,1)           = 0.95 centimetres
I(0,2)           = 0.73 centimetres

```



LAMPIRAN 5 Perbandingan Hasil Software *Wavan* dengan Hasil Manual

Menghitung Tinggi Gelombang dengan Analisa Matematis (*Manual*)



Grafik Tinggi Gelombang Irregular dengan $H = 7$ cm dan $T = 1.5$

No	H (cm)	T (s)	11	7.613	1.140	22	18.448	1.224	
1	16.367	1.109	12	4.060	1.105	23	12.378	1.051	
2	13.837	1.467	13	12.166	1.348	24	10.817	1.078	
3	19.664	1.017	14	23.778	1.109	25	9.390	0.988	
4	15.119	1.050	15	21.319	1.197	26	3.487	0.748	
5	16.744	1.166	16	17.877	1.229	27	1.946	0.583	
6	14.732	1.138	17	15.224	1.149	28	4.668	0.801	
7	7.167	1.798	18	10.423	1.152	29	11.162	0.904	
8	6.200	1.527	19	4.781	0.658	30	1.700	0.868	
9	18.422	0.898	20	6.055	1.240	31	7.775	1.078	
10	9.797	0.898	21	9.735	1.199	32	9.888	1.287	
							Total	362.742	35.203

Dari Tabel diatas maka dapat dihasilkan :

1. Jumlah Gelombang (n) = **32 Gelombang**
2. Tinggi Gelombang Maksimum (Hmax) adalah **23.778 cm**
3. Periode Maksimum adalah (Tmax) **1.798 detik.**
4. Tinggi Gelombang rata-rata (Havg) = $\frac{\text{jumlah tinggi gelombang}}{\text{jumlah gelombang}} = \frac{362.742}{32} = \mathbf{11.335 \text{ cm}}$
5. Periode Gelombang rata-rata (Tavg) = $\frac{\text{jumlah waktu tercatat}}{\text{jumlah gelombang}} = \frac{35.203}{32} = \mathbf{1.10009 \text{ detik}}$
6. Tinggi Gelombang 10% dari jumlah gelombang (H₁₀), maka $n_{10} = \frac{32}{10} = 3.2 = 3 \text{ gelombang}$ maka rata-rata 3 gelombang tertinggi atau H₁₀ adalah **21.587 cm**
7. Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) = rata-rata dari $\frac{1}{3}$ jumlah gelombang tertinggi = **17.9722 cm**
8. Periode Gelombang Signifikan (Ts) = rata-rata dari $\frac{1}{3}$ jumlah periode gelombang tertinggi = **1.39722 detik**
9. Tinggi Gelombang *root mean square* (Hrms) = $\sqrt{\frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} H_i^2} = \mathbf{12.718 \text{ cm.}}$

Berikut adalah pembandingan dengan software *Wave Analysis (WAVAN)*

```

>> wavan                                     Wave Statistics

                                     Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?: 1

                                     Program WAVAN
                                     Wave Analysis

INPUT
enter input filename  runningan4101.txt
Enter Number of Columns in Input File:  2
Enter No. of Points (Multiple of 8):    1760
Do you want plots? - Yes=1, No=0:      1
Remove Mean (1) or Trend (2)?:        2
Enter Desired Resolution, M:           5

                                     Number of Waves           = 34
                                     Average Wave Period       = 1.0353 seconds
                                     Significant Wave Height    = 17.5684 centimetres
                                     Maximum Wave Height       = 24.0108 centimetres
                                     Average Wave Height       = 10.6033 centimetres
                                     rms Wave Height           = 12.2776 centimetres
                                     Average of Highest 1/10    = 20.8101 centimetres
                                     Sigmaz                    = 3.9890 centimetres

                                     For the Raw Spectrum

                                     fmin                       = 0.0284 Hz
                                     Sigma                       = 4.2505 cm
                                     S(p)                       = 120.3201 cm2/Hz
                                     f(p)                       = 0.9375 Hz
                                     T(p)                       = 1.0667 sec

Enter Number of Bins for Histogram: 10

Basic Output
Mean Water Level           = -0.1211 centimetres
Water Level Trend          = 0.01747 cm/s
Sigma                      = 4.250 centimetres
Variance                   = 18.0666 cm2
Long Wave Variance        = 0.1063 cm2
Short Wave Variance       = 17.9602 cm2

```

LAMPIRAN 6 HASIL PENGUJIAN

Tabulasi (penyajian data ke bentuk tabel) data Gelombang Irregular

Konfigurasi 1

Konfigurasi	Tercatat				Kt	Hi/gT ²	B	d	h	F	Energi Datang	Energi Transmisi	Energi Hilang	Persenan Energi Hilang (%)	B/gT ²	h/d	h/B	T ²
	Hi (m)	Periode (T)	Ht (m)	Periode (T)														
		(s)		(s)														
1	0.049798	0.8911	0.043849	1.0405	0.8805374	0.0063928	0.25	0.3	0.1	0.21	3.040905	2.357754	0.683151	22.46539383	0.032093576	0.33333	0.4	0.79405921
	0.071354	1.0405	0.062925	0.8531	0.8818707	0.0067184	0.25	0.3	0.1	0.21	6.243321	4.855405	1.387916	22.23041161	0.03501637	0.33333	0.4	0.72777961
	0.109949	1.1842	0.085107	1.1111	0.7740589	0.0079923	0.25	0.3	0.1	0.21	14.823870	8.881976	5.941894	40.08328474	0.026341103	0.33333	0.4	0.96746896
	0.119750	0.9836	0.094908	1.1111	0.7925511	0.0126174	0.25	0.3	0.1	0.21	17.584502	11.045482	6.539020	37.18626774	0.032093576	0.33333	0.4	0.79405921
	0.051832	0.8911	0.046288	1.1111	0.8930390	0.0066539	0.25	0.3	0.1	0.21	3.294390	2.627337	0.667052	20.24812565	0.01817276	0.33333	0.4	1.40232964
	0.083933	1.1842	0.069271	1.1111	0.8253130	0.0061012	0.25	0.3	0.1	0.21	8.638623	5.884126	2.754497	31.88583739	0.016536649	0.33333	0.4	1.54107396
	0.116191	1.2414	0.090519	1.1111	0.7790535	0.0076856	0.25	0.3	0.1	0.21	16.554802	10.047512	6.507291	39.30757141	0.01817276	0.33333	0.4	1.40232964
	0.133977	1.1842	0.104242	1.1111	0.7780589	0.0097389	0.25	0.3	0.1	0.21	22.010987	13.324916	8.686071	39.46243161	0.026341103	0.33333	0.4	0.96746896
	0.159116	0.9836	0.118969	1.1465	0.7476872	0.0167652	0.25	0.3	0.1	0.21	31.046077	17.355880	13.690197	44.09638182	0.026341103	0.33333	0.4	0.96746896
	0.156119	0.9836	0.119331	1.1321	0.7643592	0.0164494	0.25	0.3	0.1	0.21	29.887566	17.461662	12.425903	41.57549541	0.020642615	0.33333	0.4	1.23454321
	0.118771	1.1111	0.097478	1.1111	0.8207222	0.0108965	0.25	0.3	0.1	0.21	17.298157	11.651779	5.646378	32.64150209	0.01817276	0.33333	0.4	1.40232964
	0.146848	1.1842	0.113440	1.0909	0.7724995	0.0126408	0.25	0.3	0.1	0.21	26.443266	15.780162	10.663104	40.32445917	0.016536649	0.33333	0.4	1.54107396
	0.056794	1.2414	0.047012	1.3534	0.8277635	0.0046636	0.25	0.3	0.1	0.21	3.955341	2.710170	1.245171	31.48075945	0.016536649	0.33333	0.4	1.54107396
	0.122217	1.2414	0.098016	1.0909	0.8019834	0.0100358	0.25	0.3	0.1	0.21	18.316490	11.780751	6.535739	35.68226943	0.016536649	0.33333	0.4	1.54107396
	0.149750	1.2414	0.111422	1.0909	0.7440534	0.0122966	0.25	0.3	0.1	0.21	27.498733	15.223725	12.275008	44.63845047	0.016536649	0.33333	0.4	1.54107396

Konfigurasi 2

Konfigurasi	Tercatat				Kt	Hi/gT ²	B	d	h	F	Energi Datang	Energi Transmisi	Energi Hilang	Persenan Energi Hilang (%)	B/gT ²	h/d	h/B	T ²
	Hi (m)	Periode (T)	Ht (m)	Periode (T)														
		(s)		(s)														
2	0.053	0.963	0.043	1.111	0.811320755	0.0058258	0.53	0.3	0.1	0.21	3.4445363	2.2673363	1.1772	34.175863	0.058257828	0.333333333	0.18868	0.927369
	0.075	0.953	0.064	0.99	0.853333333	0.008418	0.53	0.3	0.1	0.21	6.8976563	5.02272	1.87493625	27.182222	0.059486862	0.333333333	0.18868	0.908209
	0.109	1.184	0.084	1.078	0.770642202	0.007926	0.53	0.3	0.1	0.21	14.569076	8.65242	5.91665625	40.61106	0.038539268	0.333333333	0.18868	1.401856
	0.126	1.000	0.097	1.091	0.76984127	0.012844	0.53	0.3	0.1	0.21	19.467945	11.537786	7.93015875	40.734442	0.054026504	0.333333333	0.18868	1
	0.047	0.891	0.041	1.041	0.872340426	0.0060349	0.53	0.3	0.1	0.21	2.7087863	2.0613263	0.64746	23.902218	0.068053655	0.333333333	0.18868	0.793881
	0.086	1.225	0.070	1.111	0.813953488	0.0058419	0.53	0.3	0.1	0.21	9.069345	6.008625	3.06072	33.747972	0.036002668	0.333333333	0.18868	1.500625
	0.116	1.078	0.095	1.111	0.818965517	0.0101754	0.53	0.3	0.1	0.21	16.50042	11.066906	5.43351375	32.929548	0.046491048	0.333333333	0.18868	1.162084
	0.134	1.184	0.105	1.098	0.78358209	0.0097439	0.53	0.3	0.1	0.21	22.018545	13.519406	8.49913875	38.599911	0.038539268	0.333333333	0.18868	1.401856
	0.158	1.225	0.110	1.147	0.696202532	0.0107329	0.53	0.3	0.1	0.21	30.612105	14.837625	15.77448	51.530203	0.036002668	0.333333333	0.18868	1.500625
	0.157	1.184	0.122	1.111	0.777070064	0.0114163	0.53	0.3	0.1	0.21	30.225836	18.251505	11.9743313	39.616212	0.038539268	0.333333333	0.18868	1.401856
	0.113	1.184	0.088	1.111	0.778761062	0.0082169	0.53	0.3	0.1	0.21	15.657986	9.49608	6.16190625	39.353121	0.038539268	0.333333333	0.18868	1.401856
	0.145	1.184	0.108	1.147	0.744827586	0.0105438	0.53	0.3	0.1	0.21	25.781906	14.30298	11.4789263	44.523187	0.038539268	0.333333333	0.18868	1.401856
	0.056	1.241	0.046	1.353	0.821428571	0.0037066	0.53	0.3	0.1	0.21	3.84552	2.594745	1.250775	32.52551	0.0350803	0.333333333	0.18868	1.540081
	0.115	1.241	0.095	1.651	0.826086957	0.0076118	0.53	0.3	0.1	0.21	16.217156	11.066906	5.15025	31.758034	0.0350803	0.333333333	0.18868	1.540081
	0.145	1.241	0.111	1.091	0.765517241	0.0095974	0.53	0.3	0.1	0.21	25.781906	15.108626	10.67328	41.398335	0.0350803	0.333333333	0.18868	1.540081

Konfigurasi 3

Konfigurasi	Tercatat				Kt	Hi/gT ²	B	d	h	F	Energi Datang	Energi Transmisi	Energi Hilang	Persenan Energi Hilang (%)	B/gT ²	h/d	h/B	T ²
	Hi (m)	Periode (T)	Ht (m)	Periode (T)														
		(s)		(s)														
3	0.045984	0.8911	0.037195	1.0778	0.80886830	0.005903	0.81	0.3	0.1	0.21	2.5929403	1.6964777	0.89646261	34.573207	0.103983187	0.333333333	0.12346	0.79405921
	0.080678	0.8899	0.064155	0.8521	0.79519820	0.010385	0.81	0.3	0.1	0.21	7.9815873	5.0470783	2.93450903	36.765983	0.104263812	0.333333333	0.12346	0.79192201
	0.090372	0.8899	0.069755	0.8521	0.77186518	0.011633	0.81	0.3	0.1	0.21	10.014904	5.9666382	4.04826616	40.422414	0.104263812	0.333333333	0.12346	0.79192201
	0.130029	0.9836	0.093778	1.0588	0.72120835	0.013700	0.81	0.3	0.1	0.21	20.732872	10.784027	9.94884529	47.985852	0.085345175	0.333333333	0.12346	0.96746896
	0.055373	0.98	0.043513	1.07	0.78581619	0.0058773	0.81	0.3	0.1	0.21	3.7598899	2.3217587	1.43813124	38.249291	0.085973352	0.333333333	0.12346	0.9604
	0.090236	1.075	0.067627	1.0752	0.74944590	0.0079596	0.81	0.3	0.1	0.21	9.9847844	5.6081454	4.376639	43.833085	0.071449482	0.333333333	0.12346	1.155625
	0.119444	1.0342	0.087269	1.1321	0.73062690	0.0113838	0.81	0.3	0.1	0.21	17.494748	9.3389708	8.15577744	46.618433	0.077198159	0.333333333	0.12346	1.06956964
	0.13467	1.1384	0.09521	1.0948	0.70698745	0.0105928	0.81	0.3	0.1	0.21	22.239281	11.115888	11.1233932	50.016874	0.063712733	0.333333333	0.12346	1.29595456
	0.154408	1.1862	0.107442	1.0762	0.69583182	0.0111863	0.81	0.3	0.1	0.21	29.236045	14.155564	15.0804803	51.581808	0.05868136	0.333333333	0.12346	1.40707044
	0.160424	1.2448	0.106731	1.0948	0.66530569	0.0105536	0.81	0.3	0.1	0.21	31.558598	13.968835	17.5897634	55.736834	0.053286458	0.333333333	0.12346	1.54952704
	0.111057	1.2414	0.080558	1.1111	0.72537526	0.007346	0.81	0.3	0.1	0.21	15.124147	7.9578614	7.16628579	47.383074	0.053578744	0.333333333	0.12346	1.54107396
	0.139448	1.2053	0.099059	1.1516	0.71036515	0.0097848	0.81	0.3	0.1	0.21	23.845344	12.032806	11.8125389	49.538135	0.056836287	0.333333333	0.12346	1.45274809
	0.068272	1.1308	0.0504	1.3904	0.73822358	0.0054425	0.81	0.3	0.1	0.21	5.7156322	3.1148712	2.60076096	45.502595	0.064572026	0.333333333	0.12346	1.27870864
	0.115816	1.2412	0.08131	1.6514	0.70206189	0.0076633	0.81	0.3	0.1	0.21	16.448115	8.1071264	8.34098899	50.71091	0.053596012	0.333333333	0.12346	1.54057744
	0.144599	1.2412	0.10072	1.4286	0.69654700	0.0095678	0.81	0.3	0.1	0.21	25.639503	12.439716	13.1997871	51.482227	0.053596012	0.333333333	0.12346	1.54057744

Konfigurasi 4

Konfigurasi	Tercatat				Kt	Hi/gT ²	B	d	h	F	Energi Datang	Energi Transmisi	Energi Hilang	Persenan Energi Hilang (%)	B/gT ²	h/d	h/B	T ²
	Hi (m)	Periode (T)	Ht (m)	Periode (T)														
		(s)		(s)														
4	0.055984	0.8911	0.039195	1.0405	0.70011075	0.0071869	1.09	0.3	0.1	0.21	3.8433229	1.8838241	1.95949873	50.984494	0.139927992	0.333333333	0.09174	0.79405921
	0.090678	0.8899	0.063155	0.8324	0.69647544	0.0116721	1.09	0.3	0.1	0.21	10.08284	4.8909644	5.19187586	51.492196	0.140305623	0.333333333	0.09174	0.79192201
	0.100372	1.0762	0.069755	1.0762	0.69496473	0.008834	1.09	0.3	0.1	0.21	12.353903	5.9666382	6.38726446	51.702402	0.095933771	0.333333333	0.09174	1.15820644
	0.137029	1.2043	0.090778	1.0564	0.66247291	0.0096311	1.09	0.3	0.1	0.21	23.025231	10.105091	12.9201398	56.112965	0.076610468	0.333333333	0.09174	1.45033849
	0.065373	1.0743	0.045813	1.0743	0.70079391	0.005774	1.09	0.3	0.1	0.21	5.2405377	2.5736915	2.66684624	50.88879	0.096273407	0.333333333	0.09174	1.15412049
	0.100236	1.1111	0.069227	1.1111	0.69064009	0.0082765	1.09	0.3	0.1	0.21	12.320447	5.8766529	6.44379435	52.301627	0.0900018	0.333333333	0.09174	1.23454321
	0.110444	1.1874	0.073269	1.0743	0.66340408	0.0079851	1.09	0.3	0.1	0.21	14.957647	6.5829347	8.37471211	55.989503	0.078806747	0.333333333	0.09174	1.40991876
	0.14467	0.9836	0.09321	1.0588	0.64429391	0.0152431	1.09	0.3	0.1	0.21	25.664688	10.653788	15.0109	58.488536	0.11484721	0.333333333	0.09174	0.96746896
	0.154408	1.1895	0.096542	1.0982	0.62523962	0.0111243	1.09	0.3	0.1	0.21	29.236045	11.429089	17.8069559	60.907541	0.078528734	0.333333333	0.09174	1.41491025
	0.164424	1.0762	0.100731	1.09	0.61262954	0.0144714	1.09	0.3	0.1	0.21	33.151977	12.442433	20.7095445	62.468504	0.095933771	0.333333333	0.09174	1.15820644
	0.121057	1.1874	0.080958	1.0938	0.66875934	0.0087524	1.09	0.3	0.1	0.21	17.970445	8.037085	9.93336012	55.276094	0.078806747	0.333333333	0.09174	1.40991876
	0.139448	1.0743	0.090959	1.0938	0.65227899	0.0123166	1.09	0.3	0.1	0.21	23.845344	10.145428	13.6999164	57.453212	0.096273407	0.333333333	0.09174	1.15412049
	0.068272	1.1843	0.04774	1.3895	0.69926178	0.0049619	1.09	0.3	0.1	0.21	5.7156322	2.7947557	2.92087647	51.103297	0.079219853	0.333333333	0.09174	1.40256649
	0.115816	1.1853	0.07631	1.3908	0.65888996	0.0084032	1.09	0.3	0.1	0.21	16.448115	7.1407187	9.30739661	56.586402	0.079086239	0.333333333	0.09174	1.40493609
	0.154599	1.2043	0.09892	1.1654	0.63984890	0.010866	1.09	0.3	0.1	0.21	29.308418	11.99906	17.309358	59.059339	0.076610468	0.333333333	0.09174	1.45033849

BIODATA PENULIS



Leonard Hasiolan Napitupulu lahir di Medan pada tanggal 07 Agustus 1995 dari pasangan Hadirian Parulian Napitupulu dan Katrin Fridason Sibuea. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di Sekolah Antonius 1 Medan pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Santo Thomas 1 Medan pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Santo Thomas 1 Medan pada tahun 2013. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan terdaftar dengan NRP 4313100106 pada tahun 2017, NRP diganti menjadi 04311340000106. Selama menempuh masa perkuliahan, pebukus aktif mengikuti berbagai kegiatan didalam dan diluar kampus seperti Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan (BEM FTK) dan Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia (GMKI) cabang Surabaya. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di PT.Pelabuhan Indonesia 1 Medan selama 2 bulan dengan membahas pengambilan sampel tanah untuk proses pengerukan dan reklamasi Pelabuhan Belawan. Apabila ingin menanyakan mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis.

Kontak Penulis :

Email : leolan_napit95@yahoo.co.id

Telepon : **082162446870**