



TUGAS AKHIR - MO 141326

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KEDALAMAN AIR  
TERHADAP REDAMAN GELOMBANG PADA STRUKTUR  
*OSCILLATING WAVE SURGE*

Ardi Permadi

NRP. 0431144000006

Dosen Pembimbing

Sholihin, S.T., M.T.

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - MO 141326

EXPERIMENTAL STUDY THE WATER DEPTH  
INFLUENCE ON WAVE TRANSMISSION OF OSCILLATING  
WAVE SURGE STRUCTURE

Ardi Permadi

NRP. 04311440000006

Supervisor

Sholihin, S.T., M.T.

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

Ocean Engineering Department

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember of Institute Technology

Surabaya 2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KEDALAMAN AIR TERHADAP  
REDAMAN GELOMBANG PADA STRUKTUR *OSCILLATING WAVE*  
*SURGE***

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

**Ardi Permadi**

NRP. 04311440000006

Disetujui Oleh :

1. Sholihin, S.T., M.T. .... (Pembimbing 1)
2. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. .... (Pembimbing 2)
3. Sujantoko, S.T., M.T. .... (Penguji 1)
4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc ..... (Penguji 2)

Surabaya, Juli 2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KEDALAMAN AIR  
TERHADAP REDAMAN GELOMBANG PADA STRUKTUR  
*OSCILLATING WAVE SURGE***

Nama : Ardi Permadi  
Departemen : Teknik Kelautan  
NRP : 04311440000006  
Dosen Pembimbing : Sholihin S.T., M.T  
Haryo Dwito Armono S.T., M.Eng., Ph.D

**ABSTRAK**

Energi gelombang laut dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) tipe *Oscillating Wave Surge (OWS)*. Pemasangan OWS memberikan dampak terutama redaman gelombang dikarenakan alat ini bekerja dengan memanfaatkan gelombang datang yang mengenainya. Besarnya redaman gelombang dapat dilihat dari perbandingan antara gelombang setelah mengenai struktur ( $H_t$ ) dan gelombang sebelum mengenai struktur ( $H_i$ ) sehingga didapat koefisien transmisi ( $K_t$ ). Untuk mengetahui efek pemasangan OWS terhadap redaman gelombang yang terjadi, maka dilakukan eksperimen di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut ITS. Model OWS dibuat dengan 1:40 dengan kesamaan Froude dan diujikan pada variasi sudut flap  $45^0$ ,  $60^0$ , dan  $90^0$ . Variasi juga dilakukan terhadap parameter tak berdimensi yaitu *relative depth submergence* ( $h/d$ ). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa OWS akan meredam gelombang lebih banyak pada *relative depth submergence* yang semakin tinggi atau dalam hal ini kedalaman yang rendah. Sementara, sudut flap  $90^0$  mampu meredam gelombang lebih banyak dibandingkan dengan sudut flap  $60^0$  dan  $45^0$ .

**Kata kunci:** *Oscillating Wave Surge*, koefisien transmisi, kedalaman.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

# **EXPERIMENTAL STUDY THE WATER DEPTH INFLUENCE ON WAVE TRANSMISSION OF OSCILLATING WAVE SURGE STRUCTURE**

Name : Ardi Permadi  
Department : Ocean Engineering  
NRP : 04311440000006  
Supervisor : Sholihin S.T., M.T  
Haryo Dwito Armono S.T., M.Eng., Ph.D

## **ABSTRACT**

Ocean wave energy can be converted into electrical energy using the Oscillating Wave Surge (OWS) type wave energy converter. The installation of OWS has an impact primarily due to wave attenuation because it works by utilizing the coming waves that hit it. The amount of wave attenuation can be seen from the comparison between the wave height after the structure ( $H_t$ ) and the wave height before the structure ( $H_i$ ) to obtain the transmission coefficient ( $K_t$ ). To know the effect of OWS mounting on wave transmission that occurred, then the experiment held at Energy and Environment Laboratory of Sea ITS. The OWS model is made with 1:40 with Froude similarity and was tested on flap angle variations of  $45^0$ ,  $60^0$ , and  $90^0$ . Variations are also made on the dimensionless parameters of relative depth submergence ( $h/d$ ). The experimental results show that OWS will attenuate more waves at higher relative depth submergence or in low water depth. Meanwhile the flap angle at  $90^0$  was able to attenuate more waves than the flap angles at  $60^0$  and  $45^0$ .

**Keywords:** Oscillating Wave Surge, transmission coefficient, water depth.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkah dan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S-1 di Departemen Teknik Kelautan ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen Pengaruh Kedalaman Air Terhadap Redaman Gelombang Pada Struktur *Oscillating Wave Surge*” ini tidak akan terwujud. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, kakak, dan adik tercinta yang telah memberikan dukungan materil dan moril sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Sholihin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama, Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua, dan Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Sc., Ph.D yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan nasihat selama proses pengerjaan Tugas Akhir hingga terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T., Kepala Departemen Teknik Kelautan dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Departemen yang telah memberikan arahan secara tidak langsung selama pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D., selaku kepala Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut ITS yang sudah memberikan ijin penggunaan laboratorium.
5. Bapak Arif Mochtar selaku teknisi Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut ITS yang berkenan meluangkan waktu dan tenaganya untuk membantu proses eksperimen.
6. Keluarga Besar Laboratorium Eenergi dan Lingkungan Laut ITS yang telah bekerja bersama dalam naungan Lab. Flume Tank dan memberi bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir, serta selalu memberi semangat satu sama lain.

7. Keluarga besar Maelstrom P-54 L-32 yang selalu memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung, terimakasih teman-teman.
8. Semua pihak yang belum disebutkan di atas, yang telah membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, memohon kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan untuk penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang Masalah.....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan .....	3
1.4    Manfaat .....	3
1.5    Batasan Masalah.....	4
1.6    Sistematika Laporan.....	4
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1    Tinjauan Pustaka .....	7
2.2    Dasar Teori .....	11
BAB III .....	27
METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1    Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2    Penjelasan Diagram Alir.....	28
BAB IV .....	53
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....	53
4.1    Analisis Data.....	53
4.1.1    Analisis Dimensi.....	53
4.1.2    Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Reguler.....	59
4.1.3    Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Irreguler.....	60
4.2    Pembahasan.....	61

4.2.1 Hubungan Kedalaman terhadap Koefisien Transmisi (Kt) Gelombang Reguler.....	61
4.2.2 Hubungan Kedalaman dan Wave Steepness ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi (Kt) Gelombang Irreguler.....	63
4.2.3 Perbandingan Koefisien Transmisi (Kt) Gelombang Reguler dan Irreguler .....	74
BAB V .....	75
KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model <i>Oscillating Wave Surge</i> (Lucas et al., 2012).....	7
Gambar 2. 2 Perbandingan tinggi gelombang signifikan terhadap jumlah energi yang ditangkap <i>Oscillating Wave Surge</i> (Mäki1 et al., 2004).....	8
Gambar 2. 3 Komponen <i>Oscillating Wave Surge</i> (Wassim Chehaze et al., 2016).....	9
Gambar 2. 4 Model DEXA (Zanutigh et al., 2010).....	10
Gambar 2. 5 Variasi $l/L_p$ terhadap koefisien transmisi $Kt$ .....	10
Gambar 2. 6 Variasi $l/L_p$ dan $s$ terhadap koefisien transmisi $Kt$ .....	11
Gambar 2. 7 Sket Definisi Gelombang (Triadmojo, 1999).....	12
Gambar 2. 8 Parameter Fungsi Kedalaman Relatif (Triatmodjo, 1999).....	14
Gambar 2. 9 Karakteristik Gelombang Sinusoidal (sumber: SPM Vol.1, 1984).....	15
Gambar 2. 10 Definisi Gelombang Acak (Bhattacharyya, 1972).....	16
Gambar 2. 11 Ilustrasi Dimensi <i>Oscillating Wave Surge</i> ( <a href="http://aw-energy.com">http://aw-energy.com</a> ).....	19
Gambar 2. 12 Ilustrasi Konsep <i>Oscillating Wave Surge</i> ( <a href="http://aw-energy.com">http://aw-energy.com</a> ).....	20
Gambar 2. 13 Ilustrasi Sistem Kerja dan Maintenance <i>Oscillating Wave Surge</i> ( <a href="http://aw-energy.com">http://aw-energy.com</a> ).....	20
Gambar 2. 14 Grafik 3 Dimensi Respon Permukaan yang Menunjukkan Hasil Sebagai Fungsi Temperatur ( $x_1$ ) dan Tekanan ( $x_2$ ).....	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	28
Gambar 3. 2 Desain Model <i>Oscillating Wave Surge</i> .....	31
Gambar 3. 3 Model Fisik <i>Oscillating Wave Surge</i> .....	32
Gambar 3. 4 Kolam Gelombang (dokumen pribadi).....	33
Gambar 3. 5 Kontrol Panel (dokumen pribadi).....	34
Gambar 3. 6 Komputer Kontrol (dokumen pribadi).....	35
Gambar 3. 7 Interface ADC (dokumen pribadi).....	35
Gambar 3. 8 <i>Wave Probe</i> (dokumen pribadi).....	36
Gambar 3. 9 Pengaruh Perubahan Elevasi <i>Wave Probe</i> 1 Terhadap Nilai Konduktivitasnya.....	38
Gambar 3. 10 Pengaruh Perubahan Elevasi <i>Wave Probe</i> 2 Terhadap Nilai Konduktivitasnya.....	39
Gambar 3. 11 Kalibrasi <i>Wave Probe</i> Pada Aplikasi <i>Water Tide Meter</i> .....	39
Gambar 3. 12 Kondisi Kolam Gelombang a) air tenang; b) puncak; c) lembah.....	40
Gambar 3. 13 Pembacaan Gelombang Reguler <i>Water Tide Meter</i> .....	41
Gambar 3. 14 Pembacaan Gelombang Reguler Perhitungan Manual.....	42
Gambar 3. 15 Korelasi Antara $H_s$ Input dan $H_s$ Output.....	43
Gambar 3. 16 Korelasi Antara $T_p$ Input dan $T_p$ Output.....	44
Gambar 3. 17 <i>Plotting Wave Steepness</i> .....	45

Gambar 3. 18 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 38 cm .....	45
Gambar 3. 19 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 33 cm .....	46
Gambar 3. 20 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 27 cm .....	46
Gambar 3. 21 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 23 cm .....	46
Gambar 3. 22 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 21 cm .....	47
Gambar 3. 23 Sketsa Pengujian OWS Pada <i>Flume Tank</i> Tampak Samping .....	48
Gambar 3. 24 Sketsa Pengujian OWS Pada <i>Flume Tank</i> Tampak Atas .....	48
Gambar 3. 25 Perbandingan Kemampuan Pembangkitan Gelombang Dengan Parameter Kecuraman ( $H/gT^2$ ) Antara Laboratorium dan Sumba.....	50
Gambar 4. 1 Analisis Dimensi Koefisien Transmisi pada <i>OWS</i> .....	53
Gambar 4. 2 Proses Pengolahan Data Program Wavan Pada Matlab .....	56
Gambar 4. 3 Fluktuasi Gelombang Selama 30 Detik Untuk ( $H$ ) 4 cm; ( $T$ ) 1.1 detik .....	57
Gambar 4. 4 Hubungan parameter <i>relative depth submergence</i> ( $h/d$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Reguler .....	61
Gambar 4. 5 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada <i>Relative Depth Submergence</i> ( $h/d$ ) = 1.3 .....	63
Gambar 4. 6 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada <i>Relative Depth Submergence</i> ( $h/d$ ) = 1.2 .....	64
Gambar 4. 7 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada <i>Relative Depth Submergence</i> ( $h/d$ ) = 1 .....	65
Gambar 4. 8 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada <i>Relative Depth Submergence</i> ( $h/d$ ) = 0.8 .....	66
Gambar 4. 9 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada <i>Free Board Relatif</i> ( $F/d$ ) = 0.3 .....	67
Gambar 4. 10 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada Sudut Flap $45^0$ .....	68
Gambar 4. 11 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada Sudut Flap $60^0$ .....	69
Gambar 4. 12 Hubungan <i>Wave Steepness</i> ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada Sudut Flap $90^0$ .....	70
Gambar 4. 13 Response <i>Surface</i> $K_t$ vs $H_i/gT^2$ ; $h/d$ Sudut Flap $90^0$ .....	73
Gambar 4. 14 Perbandingan Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Reguler dan Irreguler .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Skala model dan prototipe <i>Oscillating Wave Surge</i> .....	30
Tabel 3. 2 Nilai Kalibrasi <i>Wave Probe</i> (sebelum pengujian) .....	37
Tabel 3. 3 Nilai Kalibrasi <i>Wave Probe</i> (setelah pengujian) .....	37
Tabel 3. 4 Pengaruh Perubahan Elevasi <i>Wave Probe</i> 1 Terhadap Nilai Konduktivitasnya.....	37
Tabel 3. 5 Pengaruh Perubahan Elevasi <i>Wave Probe</i> 2 Terhadap Nilai Konduktivitasnya.....	38
Tabel 3. 6 Hasil Input dan Output Gelombang Reguler Menggunakan Program Matlab .....	41
Tabel 3. 7 Hasil Perhitungan Gelombang Reguler Secara Manual .....	42
Tabel 3. 8 Perbandingan Perhitungan Gelombang Reguler Program Matlab dan Manual .....	42
Tabel 3. 9 Perencanaan Desain Pengujian Model <i>Oscillating Wave Surge</i> .....	49
Tabel 4. 1 Data Hasil Rekaman <i>Wave Probe</i> .....	55
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Gelombang Manual Menggunakan <i>Zero Up Crossing</i> .....	57
Tabel 4. 3 Perbandingan Antara Perhitungan Gelombang Secara Manual dan Program Wavan, Matlab.....	58
Tabel 4. 4 Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Reguler .....	59
Tabel 4. 5 Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Irreguler $H_{input\ komputer} = 3\text{ cm}$ ; $T_{input\ komputer} =$ 1.1 detik .....	60
Tabel 4. 6 Pengujian OWS dengan Metode <i>Steepest Ascent</i> .....	72

(halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Tidak dapat dipungkiri bahwa energi merupakan tulang punggung perekonomian dunia. Indonesia menjadi negara penghasil dan pemakai energi yang relatif tinggi seiring dengan tingkat pertumbuhan penduduk. Pangsa terbesar penggunaan energi tahun 2012 adalah sektor industri 34.8%, disusul sektor rumah tangga 30.7%, transportasi 28.8%, komersial 3.3%, dan lainnya 2.4% (Indonesia, EBTKE 2016). Berdasarkan catatan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, pemanfaatan sumber energi di Indonesia pada tahun 2015 masih didominasi oleh energi fosil. Indonesia masih bertumpu pada pemanfaatan sumber energi minyak bumi dengan persentase 47%, disusul oleh batu bara dan gas bumi masing-masing 24%, dan sisanya 5% oleh sumber energi baru terbarukan (EBT). Namun dewasa ini, penggunaan energi fosil sebagai sumber energi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.

Sumber energi baru terbarukan (EBT) merupakan sumber energi yang ramah lingkungan yang tidak memberikan dampak negatif terhadap kerusakan lingkungan seperti perubahan iklim dan pemanasan global. Hal ini disebabkan karena sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang didapat dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, air, angin, *biofuel*, dan energi panas bumi (Mukhtasor, 2014).

Salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi gelombang laut. Daerah di sepanjang Pulau Jawa dan Nusa Tenggara memiliki potensi energi gelombang laut mencapai 10kW-20kW per meter gelombang. Sementara catatan lain menunjukkan bahwa energi gelombang pada pantai selatan Pulau Sumatera dan Pulau Jawa bagian barat dapat mencapai 40kW per meter gelombang (Indonesia, EBTKE 2016).

Beberapa studi sudah dilakukan untuk mempelajari berbagai jenis *wave converter* salah satunya adalah Pembangkit Listrik tipe *Oscillating Wave Surge*. Chehaze et al. (2016) melakukan penelitian mengenai aplikasi *Oscillating Wave*

*Surge* jenis *Wave Roller* di perairan Lebanon dengan tujuan untuk mendapatkan desain yang efisien dalam pemanfaatan gelombang laut sebagai sumber energi listrik. Sebuah prototype telah dibuat dan diuji di Pantai Lebanon. Cara kerja *Oscillating Wave Surge* ini adalah plat datar vertikal yang sudah terhubung ke piston berganda akan menerima gaya drag akibat dari gaya gelombang laut. Plat datar tersebut menggerakkan piston yang selanjutnya akan memicu sistem untuk memompa air laut melalui sirkuit hidrolik menuju ke tangki penyimpanan yang ditempatkan pada elevasi yang lebih tinggi. Setelah mencapai tangki penyimpanan, air tersebut akan dialirkan menuju generator turbin hidro yang ditempatkan pada elevasi yang lebih rendah sehingga tenaga listrik dapat dihasilkan.

Pembangkit energi gelombang laut meredam energi gelombang yang datang dan hal itu menyebabkan penggunaan alat ini tidak hanya semata-mata sebagai sistem konversi energi, tetapi di sisi lain dapat menjadi pelindung daerah pesisir (Ruol et al., 2010). Namun hingga saat ini, perlindungan daerah pesisir terhadap perubahan iklim difokuskan pada pengembangan floating breakwater (Martinelli et al., 2008). Zanuttigh et al. (2010) melakukan uji coba di laboratorium terhadap pembangkit listrik tenaga gelombang tipe *floating wave converter* bernama DEXA untuk melihat kemampuannya dalam meredam gelombang Perairan Adriatic. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil perbandingan antara panjang model  $l$  dan panjang gelombang insiden  $l_p$  maka semakin besar nilai koefisien transmisinya. Selain itu Norgaard dan Andersen (2012) meninjau kemampuan peredaman gelombang *Floating Wave Dragon Wave Converter* dengan memvariasikan jumlah dan susunan alat tersebut. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa variasi 5 WD lebih efektif meredam gelombang insiden dibandingkan dengan 1 WD. Maka dari itu, perlu dilakukan studi eksperimen pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *Oscillating Wave Surge* ini untuk memberikan informasi dampak kedalaman perairan terhadap perilaku alat ini dalam meredam gelombang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Bagaimana efek penempatan *Oscillating Wave Surge* terhadap redaman gelombang pada tiap-tiap sudut kemiringan flap dan kedalamannya saat terkena gelombang reguler?
2. Bagaimana efek penempatan *Oscillating Wave Surge* terhadap redaman gelombang pada tiap-tiap sudut kemiringan flap dan kedalamannya saat terkena gelombang irreguler?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Mengetahui efek penempatan *Oscillating Wave Surge* terhadap redaman gelombang pada tiap-tiap sudut kemiringan flap dan kedalamannya saat terkena gelombang reguler.
2. Mengetahui efek penempatan *Oscillating Wave Surge* terhadap redaman gelombang pada tiap-tiap sudut kemiringan flap dan kedalamannya saat terkena gelombang irreguler.

## 1.4 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh pemasangan model *Oscillating Wave Surge* pada tiap-tiap sudut kemiringan plat dan penempatan model dengan variasi kedalamannya dalam kemampuannya meredam model gelombang reguler dan *irreguler* yang ditunjukkan dengan besaran nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ).

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Eksperimen menggunakan pemodelan fisik
2. Eksperimen model dilakukan di Laboratorium Energi Gelombang dan Lingkungan Laut (*flume tank*) Departemen Teknik Kelautan FTK ITS
3. Plat model *Oscillating Wave Surge* ditinjau secara statis dengan kemiringan masing-masing  $45^0$ ,  $60^0$ , dan  $90^0$  dari dasar struktur
4. Tipe gelombang yang digunakan dalam studi eksperimen ini adalah gelombang reguler dan *irreguler*
5. Arah sudut datang gelombang adalah  $90^0$  terhadap model
6. Dasar perairan dalam eksperimen ini dianggap rata dan kedap
7. Fluida yang digunakan dalam eksperimen ini adalah air tawar dengan massa jenis sebesar  $1000 \text{ kg/m}^3$
8. Beban lingkungan yang dimodelkan untuk gelombang reguler antara lain tinggi gelombang ( $H$ ) 5 cm, periode ( $T$ ) 1.1 detik
9. Dalam eksperimen ini tidak dilakukan perhitungan jumlah energi yang dihasilkan oleh *Oscillating Wave Surge*
10. Tidak dilakukan Analisis geometri dan kekuatan struktur dari *Oscillating Wave Surge*
11. Pengaruh penempatan *Oscillating Wave Surge* dalam meredam gelombang dapat diketahui melalui nilai koefisien transmisinya ( $K_t$ )
12. Eksperimen hanya menggunakan 1 buah model *Oscillating Wave Surge*

## 1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan tugas akhir ini dimulai dari Bab I (satu) yaitu pendahuluan yang berisi penjelasan mengenai latar belakang permasalahan yang diangkat, perumusan masalah yang menjadi permasalahan penelitian, tujuan yang ingin dicapai berdasarkan perumusan masalah, manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, dan batasan masalah yang untuk membatasi analisis pada tugas akhir ini.

Pada Bab II (dua) berisi tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjelaskan referensi dan dasar-dasar teori yang digunakan sebagai pedoman dalam penyusunan tugas akhir ini. Referensi tersebut berupa jurnal lokal atau internasional, dan juga buku yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini.

Pada Bab III (tiga) berisi alur pengerjaan tugas akhir ini dalam bentuk diagram alir atau flowchart. Di sini juga dijelaskan proses pemodelan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

Pada Bab IV (empat) diberikan penjelasan mengenai analisis dan pembahasan berupa pengolahan data mentah yang diperoleh untuk selanjutnya diproses sesuai dengan tujuan penelitian tugas akhir ini.

Bab V (lima) berisi kesimpulan yang merupakan uraian singkat tentang hasil penelitian tugas akhir ini. Di sini juga dijelaskan tentang jawaban dari perumusan masalah yang disusun pada Bab I. Saran yang dituliskan pada bab ini bertujuan sebagai bahan referensi bagi peneliti-peneliti selanjutnya yang ingin melakukan penelitian terkait tema penelitian tugas akhir ini.

Bagian akhir dalam tugas akhir ini merupakan daftar pustaka yang menampilkan informasi penulis yang dijadikan referensi dalam penyusunan penelitian tugas akhir ini.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

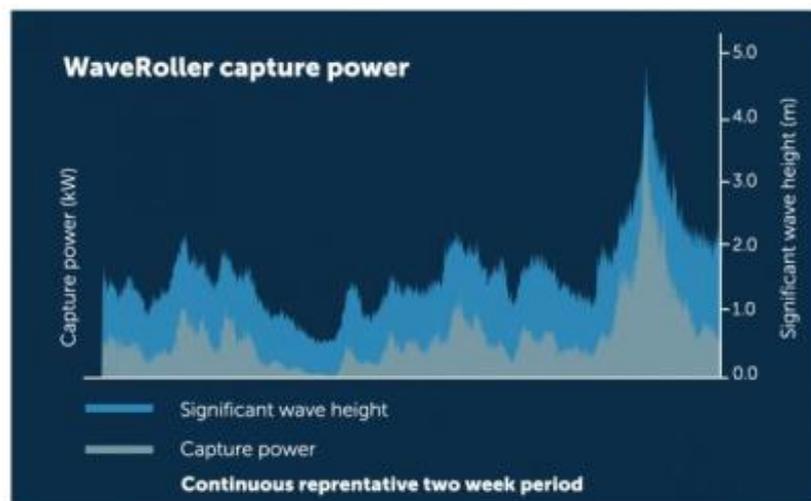
J.Lucas, M. Livingstone, M.Vuorinen, dan J.Cruz (2012) melakukan pengembangan terhadap desain produk komersil *Oscillating Wave Surge* milik AW-Energy dengan pengujian fisik model dan numerik di CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) *multidirectional wave basin* di Madrid, Spain untuk menemukan beban yang mengenai model serta estimasi energi yang dapat diterima oleh *Oscillating Wave Surge* sebagai sistem konversi energi. Model dibuat dengan skala 1:24 terhadap prototipenya seperti Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2. 1 Model *Oscillating Wave Surge* (Lucas et al., 2012)

Melalui penelitian ini, AW-Energy dapat mengembangkan *Power System Take Off (PTO)* yang optimal dalam pemanfaatan energi gelombang laut sebagai sumber energi listrik.

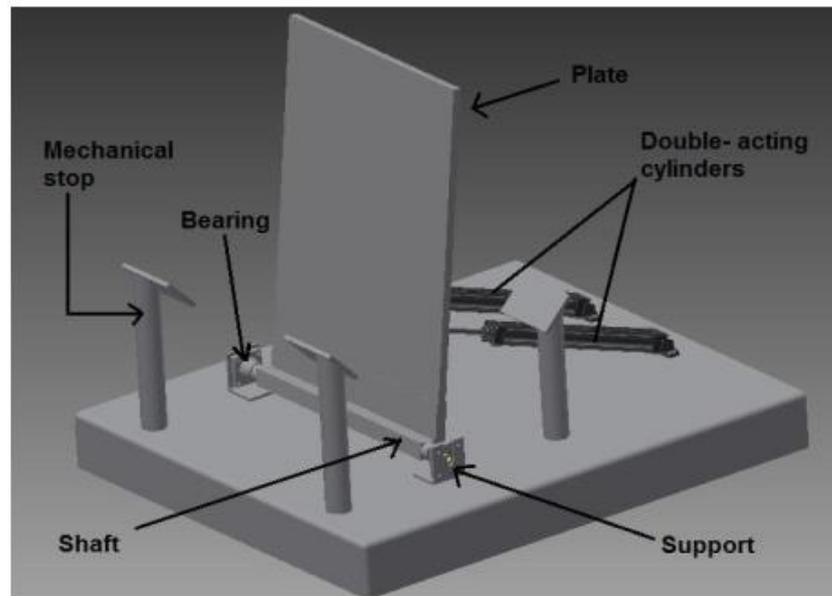
T. Mäki<sup>1</sup>, M. Vuorinen<sup>1</sup>, dan T. Mucha (2014) melakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan uji coba di Peniche, Portugal pada tahun 2012 dan 2013. Penelitian ini menunjukkan bahwa performa *Oscillating Wave Surge* dalam menangkap energi gelombang dan mengkonversinya menjadi energi listrik dinilai sangat baik, dan sudah mendapatkan verifikasi dari DNV-GL. Hal tersebut menjadi batu loncatan bagi AW-Energy untuk memasarkan *Oscillating Wave Surge* sebagai PLTGL yang baik di dunia. Hal tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Perbandingan tinggi gelombang signifikan terhadap jumlah energi yang ditangkap *Oscillating Wave Surge* (Mäki<sup>1</sup> et al., 2004)

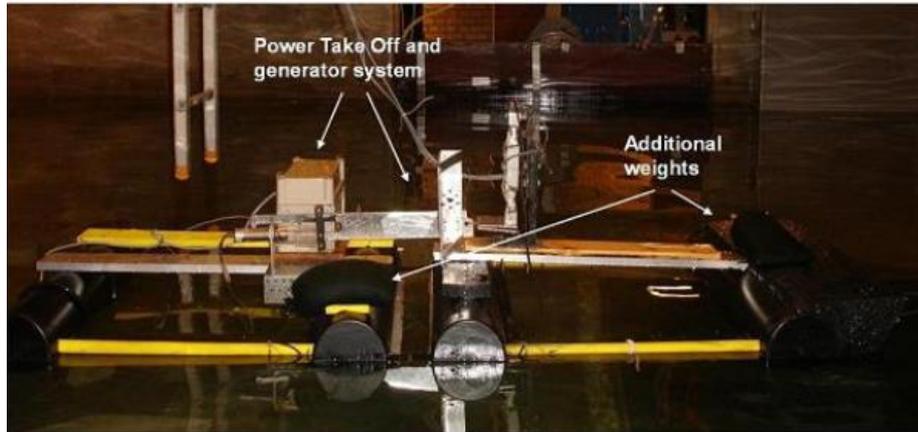
Wassim Chehaze, Dory Chamoun, Charbel Bou-Mosleh, Pierre Rahme (2016) melakukan penelitian terkait desain yang efisien dari *Oscillating Wave Surge* sebagai sistem konversi energi di Perairan Lebanon. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang dimaksud terdiri dari sebuah plat vertikal yang sudah terhubung dengan dua buah piston silinder. Saat berada di dalam air, plat tersebut akan mengalami gaya drag sebagai akibat dari gaya gelombang yang mengenai sistem. Plat datar tersebut menggerakkan piston yang selanjutnya akan memicu sistem untuk memompa air melalui sirkuit hidrolis menuju ke tangki penyimpanan yang ditempatkan pada elevasi yang lebih tinggi. Setelah mencapai tangki penyimpanan, air tersebut akan dialirkan menuju generator turbin hidro yang ditempatkan pada elevasi yang lebih rendah sehingga tenaga listrik dapat

dihasilkan. *Oscillating Wave Surge* dapat memompa air sebanyak 2000 liter selama 1 jam. Desain dari *Oscillating Wave Surge* ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



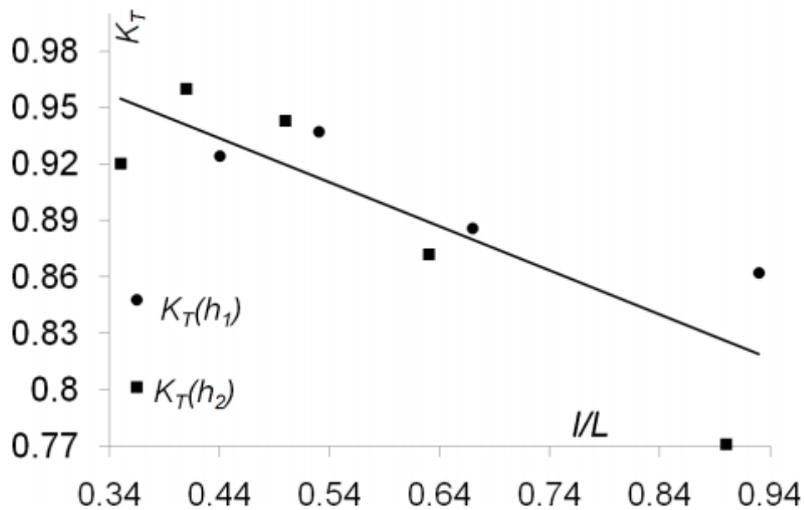
Gambar 2. 3 Komponen *Oscillating Wave Surge* (Wassim Chehaze et al., 2016)

Sistem konversi energi gelombang laut meredam energi gelombang yang datang dan hal itu menyebabkan penggunaan alat ini tidak hanya semata-mata sebagai sistem konversi energi, tetapi di sisi lain dapat menjadi pelindung daerah pesisir (Ruol et al., 2010). Zanutigh et al. (2010) melakukan penelitian terhadap sistem konversi energi gelombang laut terapung bernama DEXA sebagai struktur perlindungan pantai. Penelitian tersebut dilakukan dengan memodelkan fisik dari prototipe DEXA dan melakukan uji coba di Laboratorium Hidrolik dan Coastal Engineering Universitas Alborg Denmark. Model fisik DEXA diproduksi dengan skala 1:20 menggunakan persamaan Froude seperti pada gambar 2.4. berikut ini



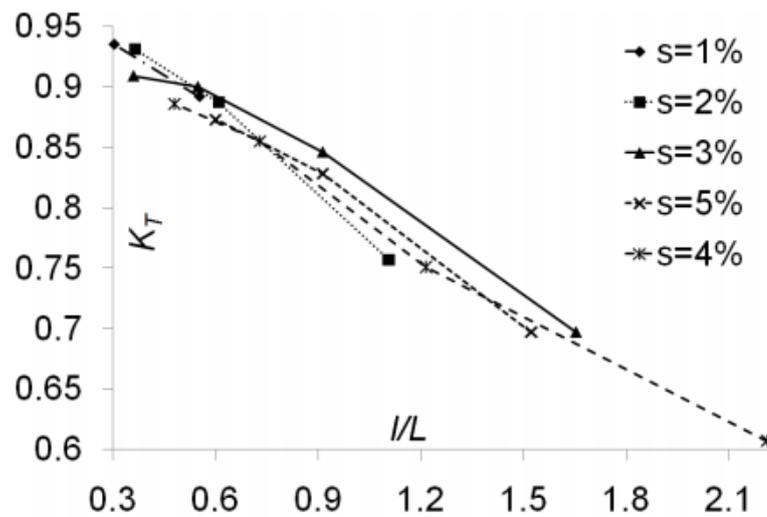
Gambar 2. 4 Model DEXA (Zanutigh et al., 2010)

Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan panjang gelombang ( $Lp$ ), kedalaman perairan ( $h$ ), kecuraman gelombang ( $s$ ). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai  $Kt$  sangat bergantung pada perbandingan panjang struktur  $l$  dan panjang gelombang  $Lp$  ( $l/Lp$ ). Semakin besar nilai  $l/Lp$  maka nilai  $Kt$  akan semakin kecil (semakin baik dalam meredam gelombang). Sedangkan untuk nilai  $l/Lp$  tetap, nilai  $Kt$  akan lebih kecil pada kedalaman yang lebih tinggi. Ada pun korelasinya dapat dinyatakan dalam gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Variasi  $l/Lp$  terhadap koefisien transmisi  $Kt$   
(Zanuttigh et al. 2010)

Hasil eksperimen lain menjelaskan bahwa nilai ( $Kt$ ) sangat bergantung pada kecuraman gelombang ( $s$ ). Sementara untuk nilai  $l/Lp$  tetap, nilai  $Kt$  akan menurun (lebih efektif dalam meredam gelombang) di saat kecuraman gelombang bertambah ( $s$ ). Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 2. 6 Variasi  $l/Lp$  dan  $s$  terhadap koefisien transmisi  $Kt$   
(Zanuttigh et al. 2010)

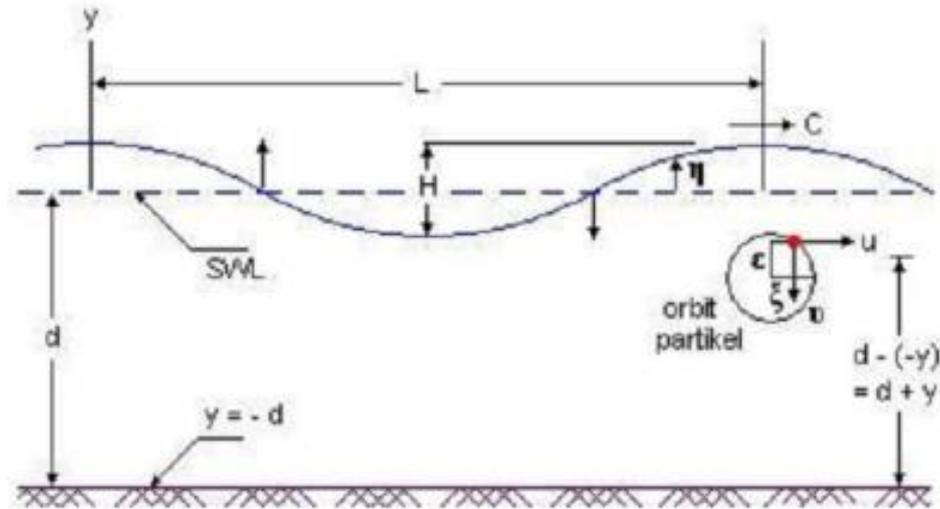
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam akibat dari sumber pembangkitnya, antara lain gelombang yang dibangkitkan akibat tiupan angin di permukaan laut, gelombang yang diakibatkan oleh gaya tarik menarik benda-benda langit seperti matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami yang dibangkitkan akibat gempa bumi atau letusan gunung berapi di laut, dan gelombang akibat gerakan benda-benda di permukaan laut seperti kapal yang bergerak. Di antara bentuk gelombang seperti yang disebutkan di atas, gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan pasang surut menjadi fokus utama bidang teknik pantai. Gelombang dapat menimbulkan energi dalam membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Triatmodjo, 1999). Oleh karena itu, dalam perencanaan bangunan pantai, seorang

teknik pantai harus memahami gelombang baik secara karakteristik maupun perilakunya selama penjalaran menuju pantai ataupun daerah pantai.

Bentuk gelombang dapat digambarkan sebagaimana pada gambar 2.7. Gelombang berada pada koordinat x-y yang menjalar pada arah sumbu z.



Gambar 2. 7 Sket Definisi Gelombang (Triadmojo, 1999)

Keterangan:

- $d$  : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (dasar laut)
- $\eta(x, t) : \frac{H}{2} \sin \left( \frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right)$  fluktuasi muka air terhadap muka air diam (*still water level*)
- $a$  : amplitudo gelombang
- $H$  : tinggi gelombang =  $2a$
- $L$  : 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 =  $2\pi/L$
- $\sigma$  : frekuensi gelombang =  $2\pi/T$

Panjang gelombang ( $L$ ) adalah jarak horizontal antara dua puncak gelombang yang berurutan atau jarak antara dua lembah gelombang ( $gT^2$ ). Perhitungan panjang gelombang dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_0}\right) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana  $k$  adalah angka gelombang dengan persamaan:

$$k = \frac{2\pi}{L} \dots\dots\dots (2.3)$$

Cepat rambat gelombang ( $C$ ) adalah perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang ( $L/T$ ). Perhitungan cepat rambat gelombang dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_0}\right) \dots\dots\dots (2.4)$$

**2.2.1.1 Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif**

Kedalaman relatif adalah perbandingan antara kedalaman air  $d$  dan panjang gelombang  $L$ , ( $d/L$ ), dapat dikalsifikasikan menjadi:

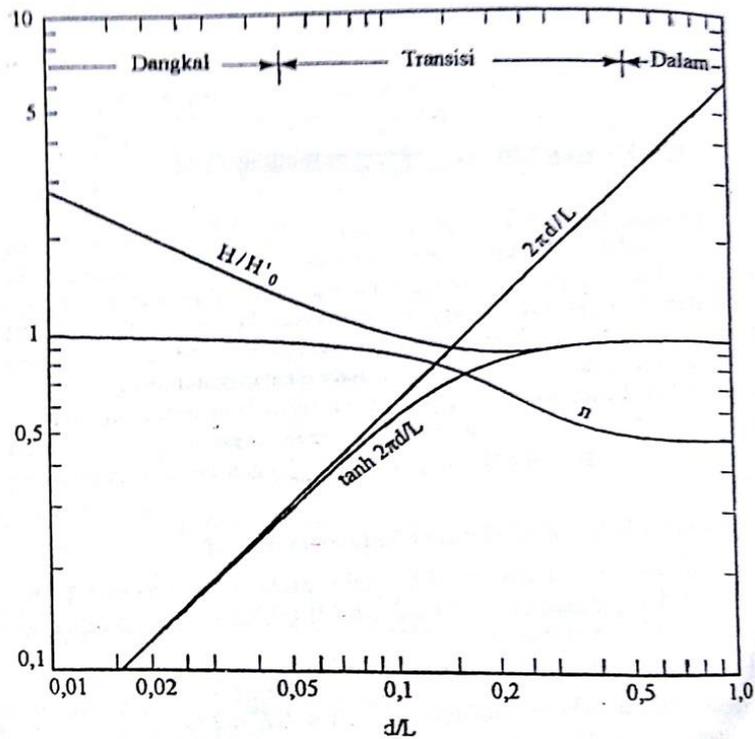
- Gelombang di laut dangkal jika  $(d/L) \leq 1/20$
- Gelombang di laut transisi jika  $1/20 < (d/L) < 1/2$
- Gelombang di laut dalam jika  $(d/L) \geq 1/2$

Klasifikasi ini digunakan untuk menyederhanakan persamaan gelombang. Penyederhanaan ini dapat dijelaskan pada Gambar 2.8. yang menunjukkan parameter-parameter sebagai fungsi dari kedalaman relatif.

Apabila kedalaman relatif ( $d/L$ ) lebih besar dari 0,5; nilai  $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$  sehingga persamaan 2.2. dan 2.4. menjadi:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots (2.6)$$

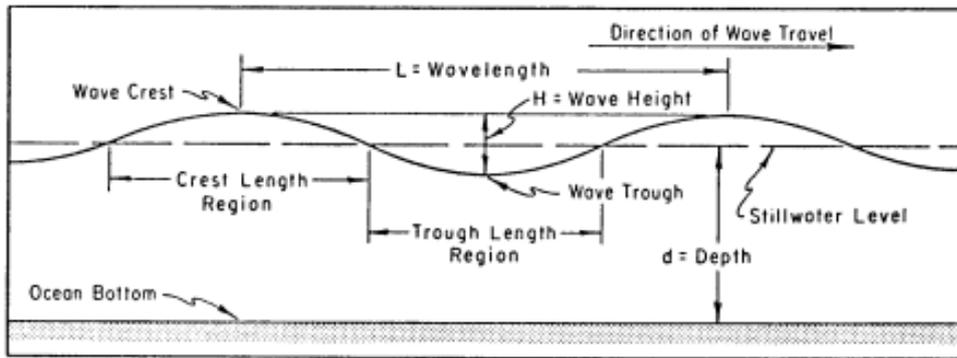


Gambar 2. 8 Parameter Fungsi Kedalaman Relatif (Triatmodjo, 1999)

Indeks 0 menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut adalah untuk kondisi di laut dalam. Apabila percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$  maka persamaan 3.6 menjadi:  
 $L_0 = 1,56 T^2 \dots \dots \dots (2.7)$

### 2.2.1.2 Teori Gelombang Linier

Menurut Laing (1998) gerakan gelombang secara sederhana dapat direpresentasikan menjadi gelombang sinusoidal, *long-crested*, dan *progressive*. Gelombang sinusoidal merupakan gelombang yang memiliki bentuk seperti kurva sinus yang berulang-ulang. *Long-crested* berarti gelombang merupakan suatu rangkaian puncak gelombang yang panjang dan paralel, memiliki ketinggian dan jarak yang sama antara dua puncak gelombangnya. *Progressive* merupakan gelombang bergerak dengan kecepatan yang konstan dan tidak mengalami perubahan bentuk. Bentuk gelombang sinusoidal dapat dilihat seperti Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2. 9 Karakteristik Gelombang Sinusoidal (sumber: SPM Vol.1, 1984)

Untuk gelombang reguler, dapat dilakukan pendekatan untuk mendapatkan tinggi gelombang reratanya sebagai berikut:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \dots\dots\dots (2.8)$$

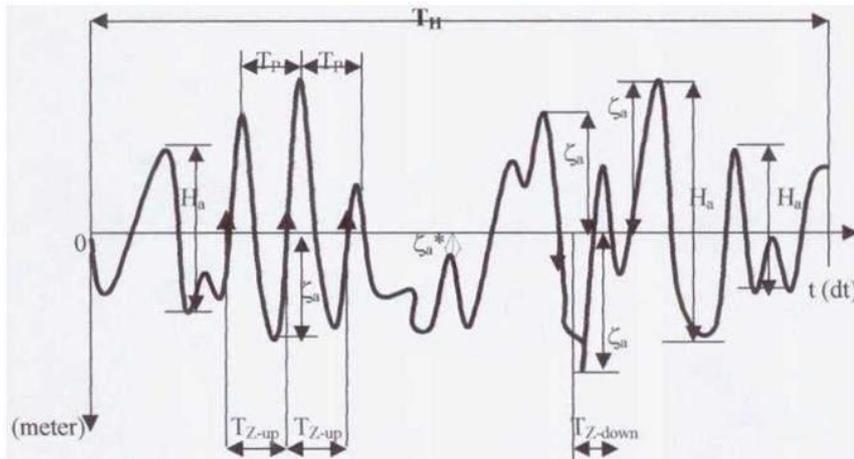
$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana N adalah jumlah gelombang yang terjadi.

### 2.2.1.3 Teori Gelombang Acak

Secara umum gelombang laut memiliki bentuk yang acak dan sangat kompleks, sehingga sulit untuk digambarkan dalam bentuk matematis. Hal tersebut sebagai akibat dari ketidaklinearan tiga dimensi gelombang laut. Bhattacharya (1972) mendefinisikan gelombang acak (*irreguler*) dengan ciri-ciri antara lain:

1. Permukaan gelombang tidak beraturan, selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, disebabkan oleh kecepatan angin
2. Pada suatu interval waktu, pola dan bentuk gelombang acak tidak pernah berulang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. berikut:



Gambar 2. 10 Definisi Gelombang Acak (Bhattacharyya, 1972)

di mana:

- $\gamma$  = elevasi gelombang
- $\gamma_a$  = 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*)

Ada dua metode yang dapat dilakukan untuk melakukan pengukuran gelombang acak, yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Langkah pertama dalam *zero upcrossing method* adalah dengan menentukan titik nol, di mana titik nol ini merupakan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Langkah kedua adalah pemberian tanda titik perpotongan antara kurva naik dan garis nol, kemudian titik tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Maka didapatkan jarak antar kedua titik tersebut yang menjadi periode gelombang pertama ( $T_1$ ). Sedangkan jarak vertikal antara titik tertinggi dan titik terendah adalah tinggi gelombang pertama ( $H_1$ ). Selanjutnya dilakukan penelusuran lagi untuk mendapatkan gelombang kedua, ketiga, dan seterusnya.

Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, namun titik yang dicatat adalah pertemuan kurva turun dan garis nol (Triatmodjo, 1999). Dalam pencatatan gelombang acak, akan didapatkan hasil perhitungan berupa tinggi

gelombang signifikan ( $H_s$ ) atau  $H_{1/3}$  dari jumlah kejadian gelombang yang tercatat seperti persamaan di bawah ini:

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \dots \dots \dots (2.10)$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_j \dots \dots \dots (2.11)$$

di mana  $j$  adalah data yang diurutkan sesuai dengan tinggi gelombang. Selain  $H_s$ , gelombang  $H_{1/10}$  bisa didapatkan melalui perhitungan tinggi gelombang rata-rata pada satu persepuluh data gelombang tertinggi.

#### 2.2.1.4 Spektrum Gelombang

Spektrum parameter tunggal yang sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz yang didasarkan atas tinggi gelombang signifikan atau kecepatan angin. Selain itu, spektrum parameter ganda yang bisa digunakan adalah *Bretschneider*, *Scott*, *ISSC*. Kemudian Spektra JONSWAP dikemukakan oleh Hasselman (1973) berdasarkan percobaan yang dilakukan di North Sea. Persamaan Spektrum JONSWAP dapat ditulis dengan memodifikasi persamaan Pierson-Moskowitz, yaitu:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[ \frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2} \right]} \dots \dots \dots (2.12)$$

di mana:

- $\gamma$  = *peak edness* parameter (3.3)
- $\tau$  = *shape* parameter
  - = 0.07, jika  $\omega \leq \omega_0$
  - = 0.09, jika  $\omega \geq \omega_0$
- $\alpha$  =  $0.076 (x_0)^{-0.22}$  ketika  $x$  tidak diketahui maka  $\alpha = 0.00819$
- $\omega_0$  =  $2\pi(g/u\omega_0)(x_0)^{-0.33}$
- $x_0$  =  $gx/u\omega_0^2$
- $\omega_0^2$  =  $0.161 g/H_s$

### 2.2.2 Transmisi Gelombang

Transmisi gelombang adalah penerusan gelombang melalui suatu bangunan pantai. Parameternya dinyatakan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang yang ditransmisikan ( $H_t$ ) dengan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) atau akar dari energi gelombang transmisi ( $E_t$ ) dengan energi gelombang datang ( $E_i$ )

$$Kt = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}}$$

Keterangan:

$Kt$  : koefisien transmisi

$H_i$  : tinggi gelombang datang

$H_t$  : tinggi gelombang transmisi

$E_i$  : energi gelombang datang

$E_t$  : energi gelombang transmisi

### 2.2.3 Pembangkit Listrik Oscillating Wave Surge

Energi baru terbarukan (EBT) saat ini menjadi daya tarik baru bagi negara berkembang. Gelombang laut merupakan salah satu energi baru terbarukan yang secara terus menerus akan tetap ada menjadikan gelombang laut baik digunakan sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik. Beberapa ahli sudah melakukan studi terkait sistem konversi energi gelombang laut. Studi menunjukkan banyak sistem konversi energi berbagai kategori berada dalam tahap penelitian dan pengembangan (Falnes, 2007).

AW-Energy sebagai salah satu perusahaan energi di Finlandia mengembangkan sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut bernama *Oscillating Wave Surge*. *Oscillating Wave Surge* adalah salah satu teknologi yang dapat merubah energi gelombang laut menjadi energi listrik. Ilustrasi mengenai *Oscillating Wave Surge* dapat dilihat pada gambar 2.11.

**WAVEROLLER**  
POWER 350KW, FLAP 18M X 10M

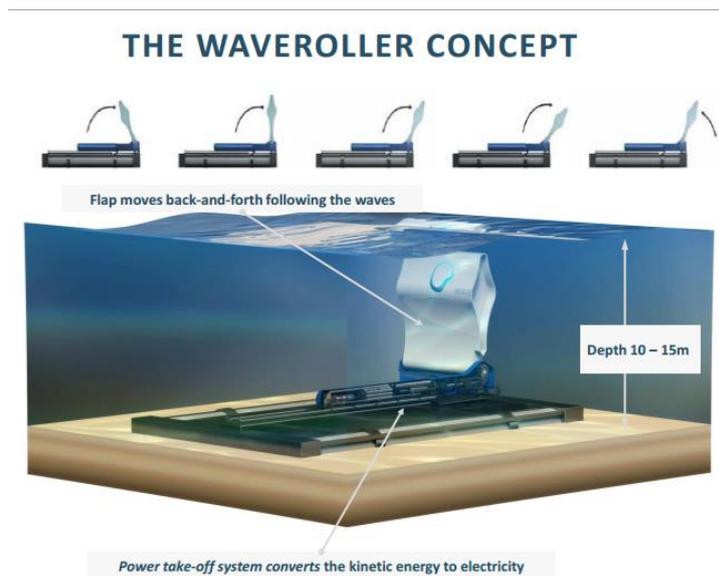


Gambar 2. 11 Ilustrasi Dimensi Oscillating Wave Surge (<http://aw-energy.com>)

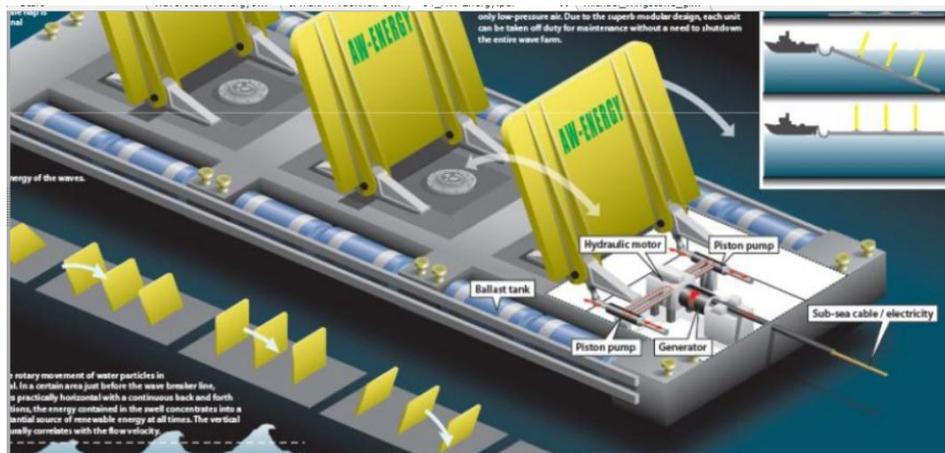
Alat ini memanfaatkan energi gelombang yang tersilasi menggunakan flap yang dapat bergerak akibat gaya gelombang yang mengenainya. Gerakan pitch dari flap berdimensi 18 m x 10 m akan membuat sistem hidrolik bekerja memutar generator pembangkit listrik sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya akan ditransfer menuju daratan menggunakan *subsea cable*. *Oscillating Wave Surge* dioperasikan pada daerah tepi pantai pada kedalaman 8-20 meter, atau kurang lebih 0.3-2 km dari tepi pantai. Sistem ini akan ditambat pada dasar perairan dan seluruh unitnya berada pada kondisi tenggelam (*submerged*).

*Oscillating Wave Surge* sistem konversi energi gelombang laut adalah perangkat yang berada di dasar perairan tepi pantai, terdiri dari sebuah flap yang bergerak aktif akibat gaya gelombang. Flap ini tersambung pada sebuah poros ke struktur dasar dan pondasi dasar laut. Alat ini akan mengubah energi gelombang laut menjadi tenaga listrik dengan memanfaatkan gerakan pitch dari flap tersebut. Sistem yang akan merubah energi kinetik menjadi energi listrik adalah Power Take-Off System (PTO), terdiri atas sikuit hidrolik yang di mana piston yang sebelumnya terhubung pada flap akan memompa fluida di dalam sirkuit hidrolik tertutup. Semua

elemen yang berada di sistem hidrolik berada dalam struktur hermetis dan tidak berinteraksi langsung dengan lingkungan laut. fluida bertekanan tinggi akan menuju ke motor hidrolik yang akan menggerakkan generator listrik. Output listrik dari generator kemudian akan disalurkan menuju jaringan listrik yang berada di darat menggunakan *subsea cable*. Ilustrasi sistem kerja *Oscillating Wave Surge* dapat dilihat pada gambar 2.12 dan 2.13.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Konsep Oscillating Wave Surge (<http://aw-energy.com>)



Gambar 2. 13 Ilustrasi Sistem Kerja dan Maintenance Oscillating Wave Surge (<http://aw-energy.com>)

#### 2.2.4 Pemodelan Fisik

Pemodelan fisik adalah membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau bisa dikatakan membuat model yang lebih kecil dari ukuran sebenarnya sehingga mencapai kesebangunan dan similaritas. Pemodelan fisik dilakukan apabila dalam merancang suatu prototipe terdapat suatu fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh sebagai akibat dari berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat dilakukan untuk menunjang suatu pengambilan data yang akurat, namun hal itu biasanya membutuhkan biaya yang tinggi serta memuat variabel alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Hasil visualisasi tersebut merupakan hal yang tidak dapat dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993)

##### 2.2.4.1 Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik adalah apabila bentuk model dan prototipe yang dibuat sebangun. Hal tersebut dinyatakan dalam ukuran panjang model dan prototipe harus sebanding. Apabila skala model diberi notasi  $nL$ , maka persamaan sebangun geometrik dapat ditulis sebagai berikut (Hughes, 1993)

$$nL = \frac{Lp}{Lm} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

$nL$  : skala panjang

$Lp$  : panjang prototipe (m)

$Lm$  : panjang model (m)

##### 2.2.4.2 Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik merupakan kesebangunan antara aliran pada model dan prototipe. Hal ini menandakan bahwa kecepatan aliran di titik-titik yang sama pada model dan prototipe memiliki arah yang sama dan sebanding. Kesebangunan kinematik dapat digambarkan melalui nilai-nilai skala sebagai berikut:

- Skala Waktu

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \dots \dots \dots (2.12)$$

- Skala Kecepatan

$$n_v = \frac{V_p}{V_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p}}{\frac{L_m}{T_m}} = \frac{n_L}{n_T} \dots \dots \dots (2.13)$$

- Skala Percepatan

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p^2}}{\frac{L_m}{T_m^2}} = \frac{n_L}{n_T} \dots \dots \dots (2.14)$$

### 2.2.4.3 Sebangun Dinamik

Pada bangunan pantai, proses fisik yang terjadi dipengaruhi oleh gaya gravitasi (Hughes, 1993). Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai antara lain gaya inersia, gaya tekan, gaya berat, gaya gesek, dan gaya tegangan permukaan. Dalam penelitian ini, kriteria kesebangunan yang harus dipenuhi mengikuti kriteria sebangun menurut kondisi Bilangan Froude. Bilangan Froude dinyatakan sebagai rasio antara gaya inersia dengan gaya gravitasi.

✓ Gaya Inersia :  $F_i = \rho l^2 v^2 \dots \dots \dots (2.15)$

✓ Gaya Berat :  $F_g = \rho l^3 g \dots \dots \dots (2.16)$

✓ Gaya Gesek :  $F_\mu = \mu v l \dots \dots \dots (2.17)$

✓ Gaya Tegangan Permukaan :  $F_\sigma = \sigma l \dots \dots \dots (2.18)$

di mana:

$\rho$  = densitas fluida

$l$  = panjang

$v$  = kecepatan

$g$  = percepatan gravitasi

$\mu$  = viskositas dinamik

$\sigma$  = tegangan permukaan

$E$  = modulus elastisitas

Kesebangunan dinamik dapat dinyatakan sebagai perbandingan gaya-gaya di atas sebagai bilangan tak berdimensi. Kriteria yang harus dipenuhi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$1. \text{ Froude Number } \left( \frac{v}{\sqrt{gL}} \right)_p = \left( \frac{v}{\sqrt{gL}} \right)_m \dots\dots\dots (2.19)$$

$$2. \text{ Reynold Number } \left( \frac{\rho v L}{\mu} \right)_p = \left( \frac{\rho v L}{\mu} \right)_m \dots\dots\dots (2.20)$$

$$3. \text{ Euler Number } \left( \frac{\rho}{\sigma v^2} \right)_p = \left( \frac{\rho}{\sigma v^2} \right)_m \dots\dots\dots (2.21)$$

$$4. \text{ Weber Number } \left( \frac{\rho v^2 L}{\sigma} \right)_p = \left( \frac{\rho v^2 L}{\sigma} \right)_m \dots\dots\dots (2.22)$$

$$5. \text{ Cauchy Number } \left( \frac{\rho v^2}{E} \right)_p = \left( \frac{\rho v^2}{E} \right)_m \dots\dots\dots (2.23)$$

Rasio antara gaya inersia dan gaya gravitasi pada model dan prototipe harus sama. Hal itu dikarenakan kedua gaya tersebut memiliki peran yang penting dalam proses pemodelan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$nF_r = \frac{n_v}{(n_L)^{0.5}} = 1 \dots\dots\dots (2.24)$$

**2.2.4.4 Kelebihan Dan Kekurangan Pemodelan Fisik**

**2.2.4.4.1 Kelebihan Pemodelan Fisik**

Model fisik yang digunakan dalam pemodelan fenomena pantai merupakan hasil dari perhitungan Analisis. Menurut Dean dan Dalrymple (1984), terdapat dua keuntungan dari pemodelan fisik antara lain:

1. Dalam pemodelan fisik, persamaan yang digunakan adalah persamaan yang didapatkan tanpa menyederhanakan asumsi yang biasanya digunakan pada model analitis atau numerik
2. Dengan adanya model skala kecil, akan mempermudah pencatatan data dan pengurangan biaya. Maksud dari mempermudah pencatatan data adalah tidak diperlukan pengumpulan data secara langsung ke lapangan yang terbilang sulit. Sementara pengurangan biaya adalah sebagai akibat

dari pencatatan data yang tidak dilakukan langsung di lapangan, hal tersebut karena data lapangan yang simultan sulit untuk diperoleh.

Keuntungan dari pemodelan fisik adalah adanya kebebasan dalam memvariasikan keadaan alam yang ingin dicoba pada model tersebut. Saat ini penggunaan model fisik merupakan metode alternatif terbaik untuk meneliti dan memverifikasi penyelesaian dalam bidang rekayasa teknik pantai.

#### **2.2.4.4.2 Kekurangan Pemodelan Fisik**

Menurut Hughes (1993), pemodelan fisik juga memiliki berapa kesalahan (*error*) yang dapat terjadi antara lain:

1. Adanya efek skala, maksudnya adalah karena model yang dibuat lebih kecil dari prototipenya membuat semua variable yang relevan tidak dapat dimodelkan dalam hubungan yang benar satu sama lain. Efek skala akan menyederhanakan masalah melalui asumsi pada pemodelan numerik.
2. Adanya efek laboratorium dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan bila tidak melakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya. Hal ini muncul karena ketidakmampuan dalam menyediakan kondisi pembebanan yang realistis akibat adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.
3. Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak dapat dimodelkan, seperti gaya geser angin pada permukaan.

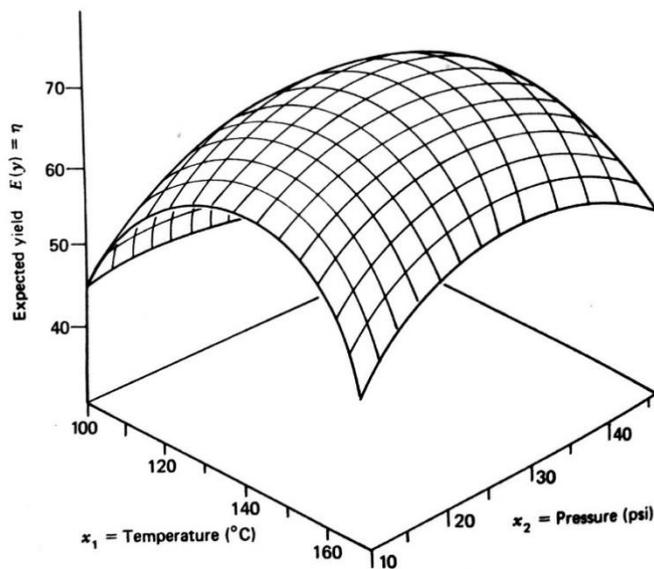
#### **2.2.5 Teori Perancangan dan Analisis Eksperimen**

Eksperimen dilakukan oleh peneliti untuk mendapatkan sesuatu atas proses atau sistem tertentu. Eksperimen secara umum disebut juga sebagai pengujian. Perancangan eksperimen adalah suatu kegiatan untuk melakukan pengujian atau kumpulan dari beberapa pengujian dengan cara merubah suatu variabel dalam sistem tersebut. Hingga akhirnya peneliti dapat mengidentifikasi pengaruh perubahan suatu variabel terhadap sistem yang dinyatakan dalam sebuah respon hasil (*output*).

Metode respon permukaan merupakan salah satu metode matematis dan statistik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisis masalah sehingga suatu respon dapat dioptimalisasi dengan pengubahan beberapa variabel. Sebagai contoh, seorang insinyur ingin mendapatkan tingkat temperatur ( $x_1$ ) dan tekanan ( $x_2$ ) yang mampu memaksimalkan hasil dari suatu proses yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$y = f(x_1, x_2) + \epsilon$$

di mana  $\epsilon$  adalah *error* dalam respon  $y$ . Jika kita menyatakan hasil yang diharapkan dengan persamaan  $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ , maka permukaan yang ditunjukkan oleh  $\eta = f(x_1, x_2)$  disebut dengan respon permukaan. Grafik respon permukaan pada permasalahan di atas dapat dinyatakan sebagai permukaan solid di sebuah ruang 3 dimensi seperti pada Gambar 2.14, yang mana  $\eta$  diplot dengan tingkat dari  $x_1$  dan  $x_2$ .



Gambar 2. 14 Grafik 3 Dimensi Respon Permukaan yang Menunjukkan Hasil Sebagai Fungsi Temperatur ( $x_1$ ) dan Tekanan ( $x_2$ )

Metode *steepest ascent* adalah salah satu metode untuk mencari respon permukaan. Estimasi awal dari kondisi operasi optimal untuk suatu sistem akan jauh berbeda dari kenyataan, karena itu peneliti ingin bergerak cepat ke posisi sekita optimal sehingga menghasilkan prosedur eksperimen yang sederhana dan efisien.

Metode *steepest ascent* adalah prosedur untuk bergerak secara berurutan sepanjang jalur kenaikan/penurunan tercuram. Perancangan proses dari metode *steepest ascent* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini:

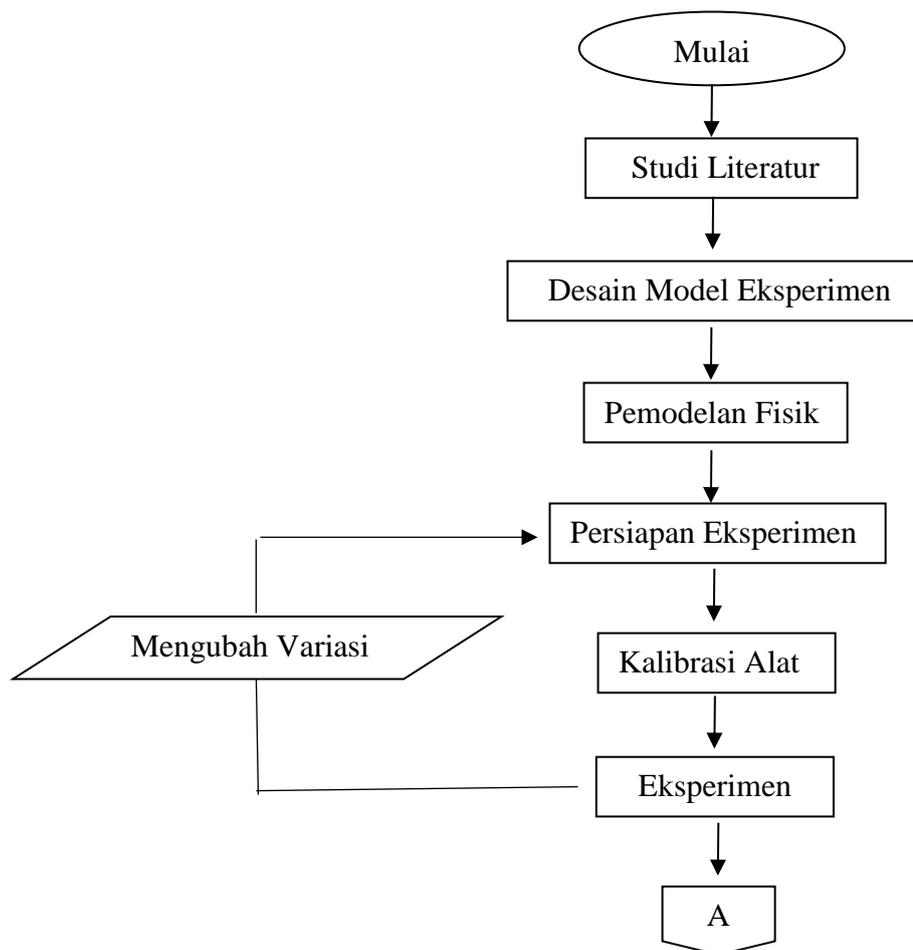
Run	Coded Variables		Response
	x1	x2	y
1	-1	-1	...
2	-1	1	...
3	1	-1	...
4	1	1	...
5	0	0	...
6	0	0	...
7	0	0	...
8	0	0	...
9	0	0	...

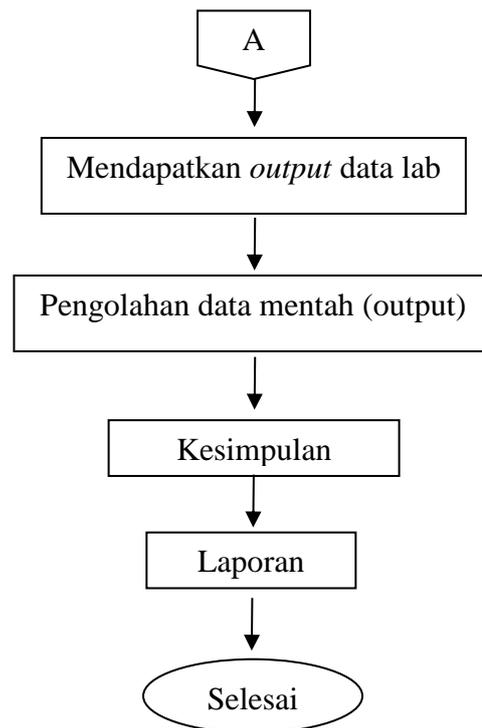
Tabel 2.1 merupakan tabel perancangan metode *steepest ascent* dengan respon  $y$  yang dipengaruhi oleh variabel  $x_1$  dan  $x_2$ . *Coded variables* memiliki angka -1, 1, dan 0 yang mana angka -1 menunjukkan angka variabel minimum, angka 1 menunjukkan angka variabel maksimum, dan angka 0 menunjukkan angka variabel rata-rata.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Metode pelaksanaan penelitian yang digunakan, selanjutnya dijelaskan pada gambar 3.1 berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berdasarkan gambar 3.1, maka dapat dijelaskan langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir, antara lain:

#### 1. Studi Literatur

Langkah pertama dalam penelitian adalah studi literatur, yaitu mengumpulkan data-data penelitian sebelumnya atau yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas. Data tersebut didapat dari jurnal mengenai *Oscillating Wave Surge*, dampak sistem konversi energi terhadap perlindungan daerah pantai, dan buku-buku yang mendukung teori dalam penelitian.

## 2. Desain Model Eksperimen

Pemodelan yang digunakan dalam eksperimen adalah pemodelan fisik. Dalam merancang model *Oscillating Wave Surge* sehingga bisa mewakili karakteristik dari prototipe *Oscillating Wave Surge* maka hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- Keserupaan Geometrik

Keserupaan geometrik dianalogikan pada pembuatan skala rasio yang berdimensi linear. Skala rasio yang berdimensi linear meliputi panjang, lebar, tinggi, serta kedalaman. Sehingga pada model *Oscillating Wave Surge*, skala rasio yang mewakilinya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n_L = \frac{L_P}{L_m} = \frac{1800 \text{ cm}}{45 \text{ cm}} = 40$$

di mana,

$n_L$  = skala panjang

$L_P$  = panjang prototipe

$L_m$  = panjang model

Sehingga, didapatkan skala yang dapat mewakili prototipe dan model adalah 1:40

- Keserupaan Kinematik

Kesamaan kinematik untuk kesamaan Froude adalah  $n_V = \sqrt{n_g n_L}$

Dikarenakan kecepatan adalah hasil dari panjang/waktu, maka skala kecepatan ekuivalen dengan  $\frac{n_L}{n_T}$ . Dengan mensubstitusikannya ke

persamaan  $n_V = \sqrt{n_g n_L}$  maka didapat:

$$n_T = \sqrt{\frac{n_L}{n_g}}; \text{ di mana } n_g = 1, \text{ sehingga}$$

$$n_T = \sqrt{n_L}$$

$$n_T = \sqrt{40} = 6.3245$$

$$n_T = \frac{T_P}{T_m}$$

$$6.3245 = \frac{6.9 \text{ detik}}{T_m}$$

$$T_m = 1.1 \text{ detik}$$

- Keserupaan Dinamik

Keserupaan dinamik dapat dinyatakan dalam bilangan *Froude* yang mewakili nilai dari gaya inersia dengan gaya gravitasi sebagai berikut:

$$\sqrt{\frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya gravitasi}}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 V^2}{\rho L^3 g}} = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Froude Number untuk model dan prototipe harus sama, dinyatakan dalam

$$\left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_p = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_m \text{ menjadi } \frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\left(\frac{g_p}{g_m}\right) \left(\frac{L_p}{L_m}\right)}$$

Atau dapat diekspresikan ke dalam bentuk skala menjadi

$$\frac{n_V}{\sqrt{n_g n_L}} = 1 \text{ atau } n_{Fr} = 1$$

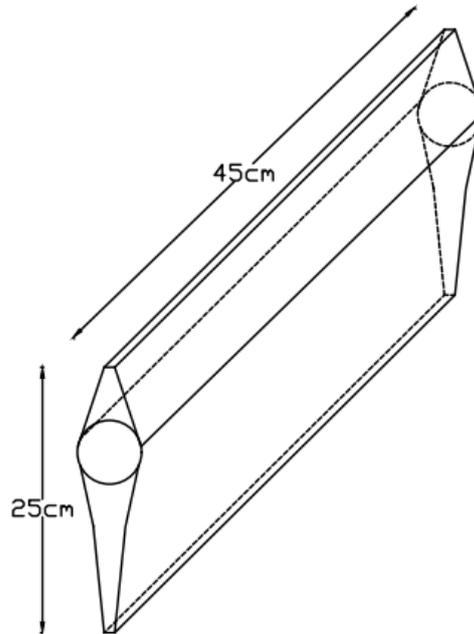
$$\frac{6.3245}{\sqrt{1.40}} = 1$$

Sehingga, model *Oscillating Wave Surge* yang dapat mewakili prototipenya dapat dijelaskan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Skala model dan prototipe *Oscillating Wave Surge*

Ukuran	Model	Prototipe	Skala
Panjang <i>OWS</i>	45 cm	18 m	1 : 40
Tinggi <i>OWS</i>	25 cm	10 m	1 : 40
Tinggi Gelombang Signifikan ( $H_s$ )	5 cm	2 m	1 : 40
Periode Gelombang Signifikan ( $T_s$ )	1.1 s	6.9 s	1 : 40

Sehingga didapatkan dimensi model yang disesuaikan terhadap model lingkungan dan kemampuan dari Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut seperti pada gambar 3.2 berikut ini (dimensi dalam cm):



Gambar 3. 2 Desain Model *Oscillating Wave Surge*

Menurut Hughes (1985), keserupaan model dapat dicapai menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah dengan menyamakan parameter tak berdimensinya berdasarkan variabelnya. Keserupaan model dengan parameter tak berdimensi harus sebanding dengan parameter tak berdimensi prototipenya. Dalam penelitian kali ini, parameter tak berdimensi yang dimodelkan adalah kecuraman gelombang (*wave steepness*) yang merupakan fungsi dari  $H/gT^2$ . Berdasarkan penjabaran sebelumnya, maka parameter tak berdimensi antara prototipe dan model dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{H/gT_p^2}{H/gT_m^2} = 1 \rightarrow \frac{2 \text{ m} / \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \times 6.9^2_p}{0.05 \text{ m} / \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \times 1.1^2_m} = \frac{4.2 \times 10^{-3}}{4.2 \times 10^{-3}} = 1$$

### 3. Pemodelan Fisik

Pembuatan model akan mengikuti karakteristik desain model yang telah dibahas sebelumnya. Ada pun hasil pemodelan fisik dari *Oscillating Wave Surge* ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut ini



Gambar 3. 3 Model Fisik *Oscillating Wave Surge*

### 4. Persiapan Eksperimen

Dalam persiapan percobaan ini perlu diketahui bahwa jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental, di mana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Persiapan percobaan yang perlu dilakukan pada tahap ini adalah pengecekan alat laboratorium. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Mempersiapkan fasilitas laboratorium yang akan digunakan misalnya seperti kolam gelombang, wave maker, dan computer control, dan wave probe.

#### a. Kolam Gelombang

Desain pengujian model diperlukan dalam penelitian untuk memberikan gambaran mengenai kebutuhan dalam penelitian sehingga eksperimen yang dilakukan mampu memperoleh hasil yang optimal. Berikut ini disajikan data detail dari Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut (*Flume Tank*):

Dimensi (panjang x lebar x tinggi): 20 m x 2.3 m x 2.5 m

Pembangkit :

- Sistem pembangkit : Jenis Plunyer
- Keluaran gelombang : *Reguler/Irreguler*
- Periode gelombang : 0.5-3.0 detik
- Tinggi gelombang : 0.3 m (maksimum)
- Kedalaman air : 0.6 - 0.8 m



Gambar 3. 4 Kolam Gelombang (dokumen pribadi)

#### **b. Pembangkit Gelombang**

Pembangkit gelombang atau wave generator alat yang terdiri dari 4 buah plunyer yang bergerak secara vertikal sehingga dapat menghasilkan gelombang. Pembangkit gelombang diaktifkan melalui kontrol panel (Gambar 3.5) untuk selanjutnya masukkan tinggi gelombang dan periode yang ingin dibangkitkan pada penelitian ini dilakukan melalui komputer kontrol. Gelombang yang mampu dibangkitkan oleh alat ini adalah gelombang reguler dan irreguler dengan berbagai macam jenis spektrum gelombang seperti Jonswap, Pierson Moskowitz, ITTC. Penelitian ini hanya menggunakan spektrum gelombang Jonswap.



Gambar 3. 5 Kontrol Panel (dokumen pribadi)

**c. Komputer Kontrol**

Komputer kontrol digunakan untuk melakukan input atas besarnya tinggi gelombang dan periode yang ingin dibangkitkan. Spesifikasi dari komputer kontrol yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Type : Desktop
- CPU : Pentium (266 MHz)
- RAM : 64 MB
- Hard Disk : 3 GB
- CRT : 14 inch
- Expanded Slot : 2
- CD-ROOM : 1
- Floppy Disk Drive: 3.5 inch; 1.4 MB
- Software System : Windows 95; MS-DOS Version 6.2



Gambar 3. 6 Komputer Kontrol (dokumen pribadi)

#### d. Interface ADC

Interface ADC (*analog digital converter*) merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah data analog yang berasal dari *wave probe* menjadi data digital yang akan menjadi output dari pengujian model di kolam gelombang. Alat ini akan mengeluarkan hasil pengujian dalam bentuk digital atau pun grafik sehingga mempermudah proses analisis data untuk mengetahui redaman gelombang yang terjadi. Interface ADC dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Interface ADC (dokumen pribadi)

**e. Wave Probe**

*Wave probe* merupakan alat pengukur tinggi gelombang yang tercelup ke dalam air di dalam kolam gelombang. Saat dalam keadaan tercelup, elektroda dari *wave probe* akan mengukur konduktivitas volume air. Konduktivitas adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas volume air akan berubah seiring dengan perubahan elevasi muka air di dalam kolam gelombang, sehingga dapat memberikan informasi atas perubahan redaman gelombang dari pengujian model *OWS* di kolam gelombang. *Wave probe* yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 3 buah seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 *Wave Probe* (dokumen pribadi)

**5. Kalibrasi Alat**

Kalibrasi alat adalah proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur. Dalam penelitian ini, kalibrasi alat yang dilakukan meliputi kalibrasi *wave probe* sebagai instrumen untuk mencatat gelombang pada kolam gelombang dan *wave maker* yang berfungsi untuk membangkitkan gelombang.

**a. Kalibrasi *Wave Probe***

Kalibrasi *wave probe* dilakukan dengan mencatat perubahan nilai konduktivitasnya terhadap perubahan elevasi muka air dari elektroda *wave probe* yang tercelup. Hal ini dilakukan dengan mencatat perubahan elevasi dari *wave probe* saat dicelupkan dengan interval 100 mm hingga mencapai

kedalaman kolam gelombang yaitu 800 mm. Proses kalibrasi bertujuan untuk menentukan batas bawah dan batas atas yang mampu ditangkap oleh *wave probe* sehingga hasil pembacaannya tercatat pada *Software Water Tide Meter*. Hasil kalibrasi dari 2 buah *wave probe* digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 2 Nilai Kalibrasi *Wave Probe* (sebelum pengujian)

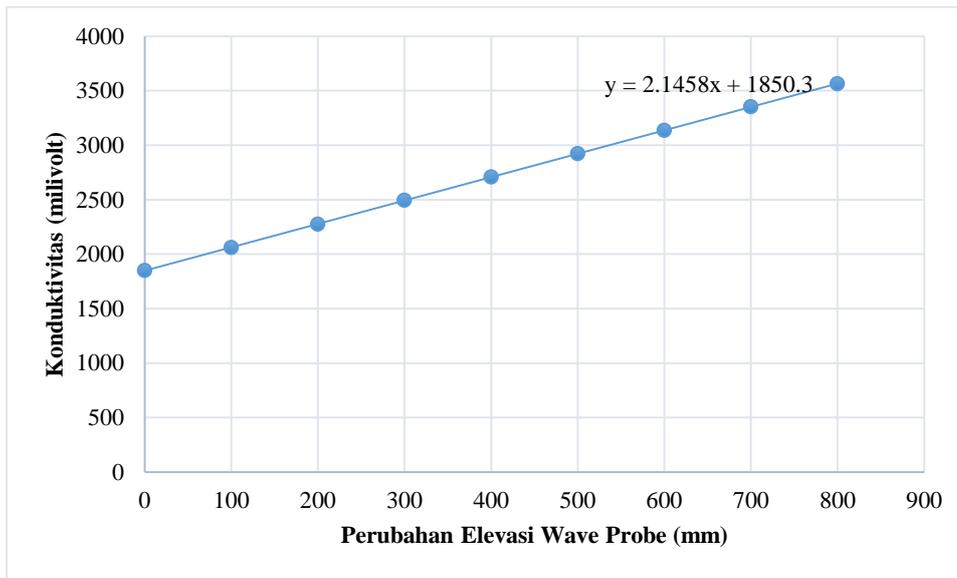
	Min (0 mm)	Max (800 mm)
Probe 1	1860	3557
Probe 2	1838	3522

Tabel 3. 3 Nilai Kalibrasi *Wave Probe* (setelah pengujian)

	Min (0 mm)	Max (800 mm)
Probe 1	1861	3558
Probe 2	1839	3522

Tabel 3. 4 Pengaruh Perubahan Elevasi *Wave Probe* 1 Terhadap Nilai Konduktivitasnya

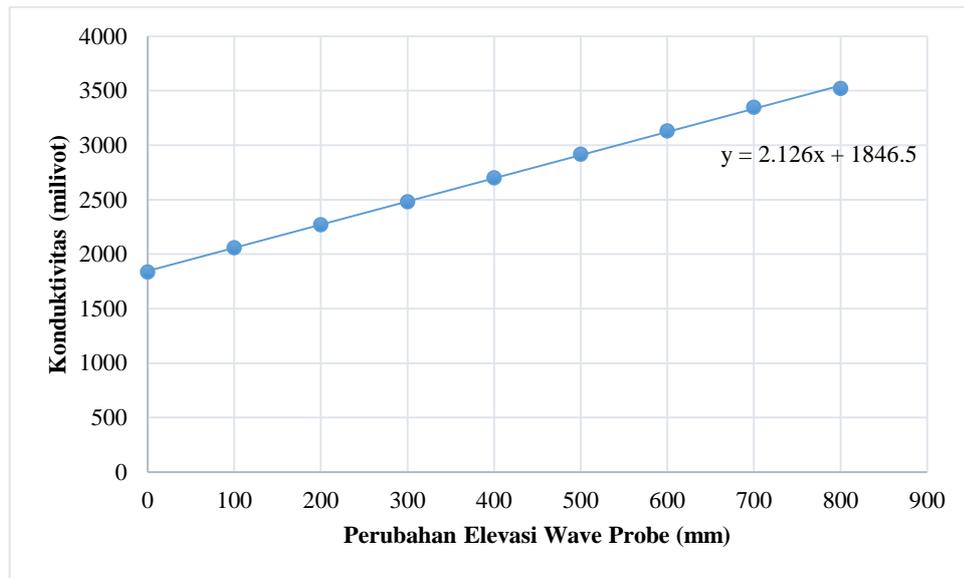
	Sebelum Pengujian	Setelah Pengujian
Elevasi (mm)	Konduktivitas (milivolt)	Konduktivitas (milivolt)
0	1860	1861
100	2077	2074
200	2291	2289
300	2507	2507
400	2719	2718
500	2933	2934
600	3148	3148
700	3363	3363
800	3557	3558



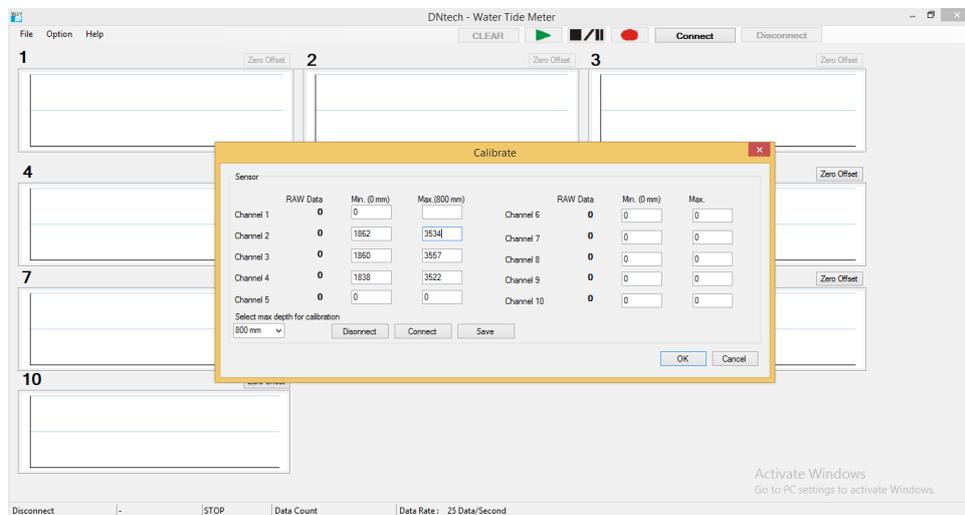
Gambar 3. 9 Pengaruh Perubahan Elevasi *Wave Probe* 1 Terhadap Nilai Konduktivitasnya

Tabel 3. 5 Pengaruh Perubahan Elevasi *Wave Probe* 2 Terhadap Nilai Konduktivitasnya

	Sebelum Pengujian	Setelah Pengujian
Elevasi (mm)	Konduktivitas (milivolt)	Konduktivitas (milivolt)
0	1838	1839
100	2059	2058
200	2272	2274
300	2483	2484
400	2701	2705
500	2918	2914
600	3131	3130
700	3348	3349
800	3522	3524



Gambar 3. 10 Pengaruh Perubahan Elevasi *Wave Probe* 2 Terhadap Nilai Konduktivitasnya

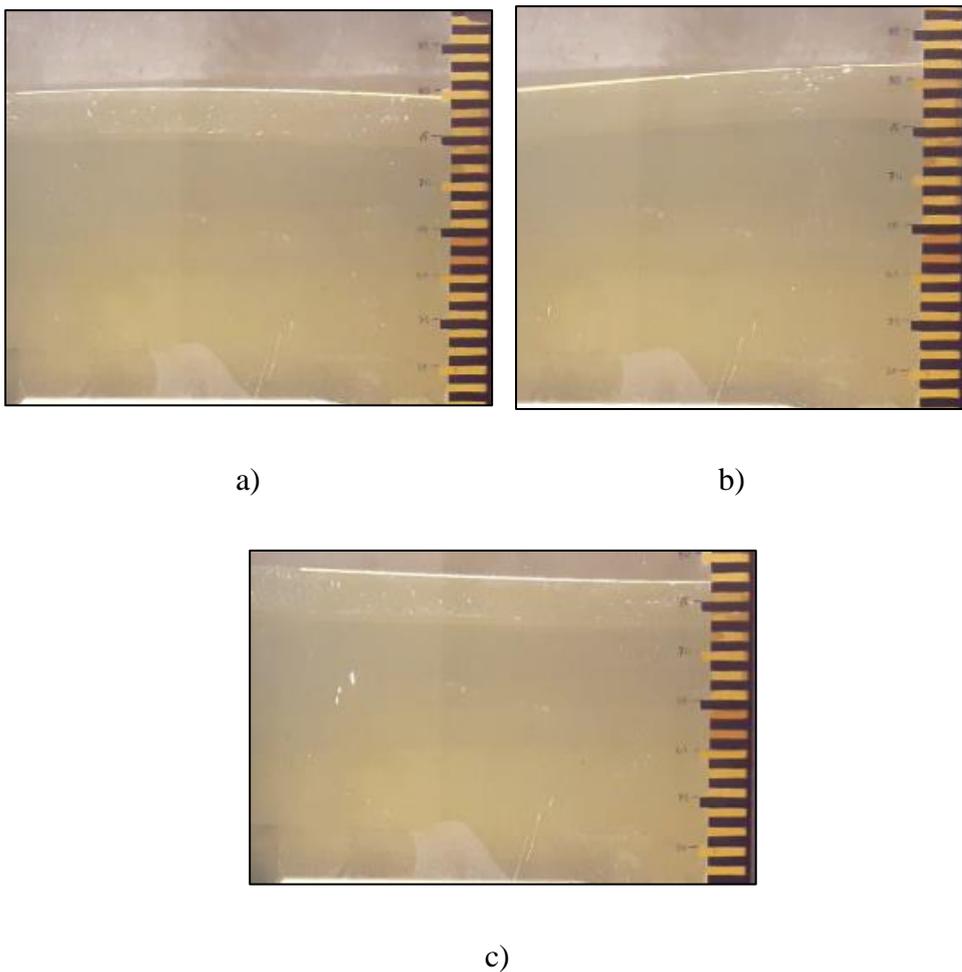


Gambar 3. 11 Kalibrasi *Wave Probe* Pada Aplikasi *Water Tide Meter*

## b. Kalibrasi *Wave Maker* Gelombang Reguler

Setelah melakukan kalibrasi *wave probe*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi *wave maker* dengan tujuan untuk mengetahui apakah output tinggi gelombang dan periode pada *wave maker* sesuai dengan inputnya.

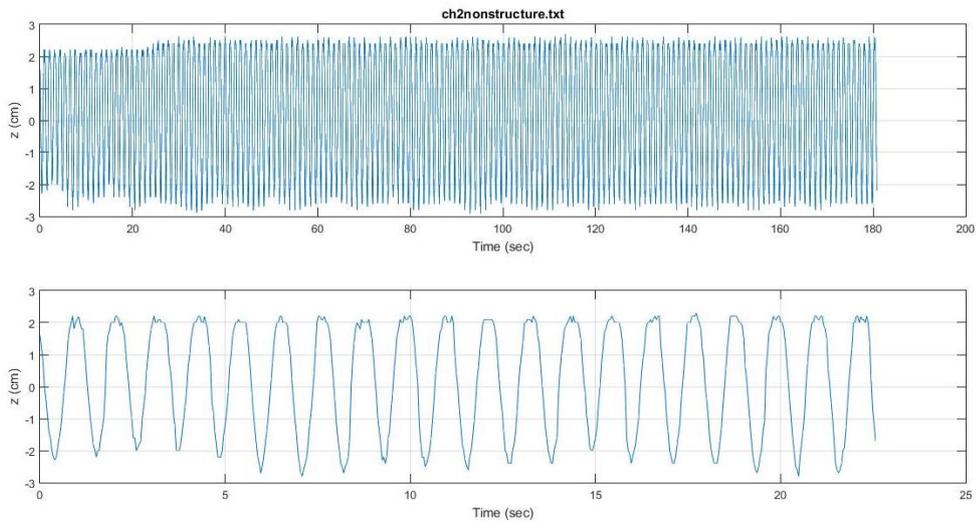
Gelombang yang dibangkitkan untuk kalibrasi *wave maker* adalah gelombang reguler dengan ketinggian 5 cm dan periode 1.2 detik selama 180 detik tanpa struktur, selanjutnya tinggi gelombang dicatat oleh *wave probe* yang sudah terkalibrasi dan dilakukan pengamatan menggunakan mata telanjang untuk melihat tinggi gelombang yang terjadi di dalam kolam gelombang. Hasil dari kalibrasi *wave maker* dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. 12 Kondisi Kolam Gelombang a) air tenang; b) puncak; c) lembah

Tabel 3. 6 Hasil Input dan Output Gelombang Reguler Menggunakan Program Matlab

Jenis Gelombang	Input <i>Wave Maker</i> (komputer kontrol)		Output <i>Wave Maker</i> (terbaca oleh <i>Wave Probe</i> )	
	$H_s$ (cm)	$T_{average}$ (detik)	$H_s$ (cm)	$T_{average}$ (detik)
Reguler	5	1.2	5.2882	1.1005

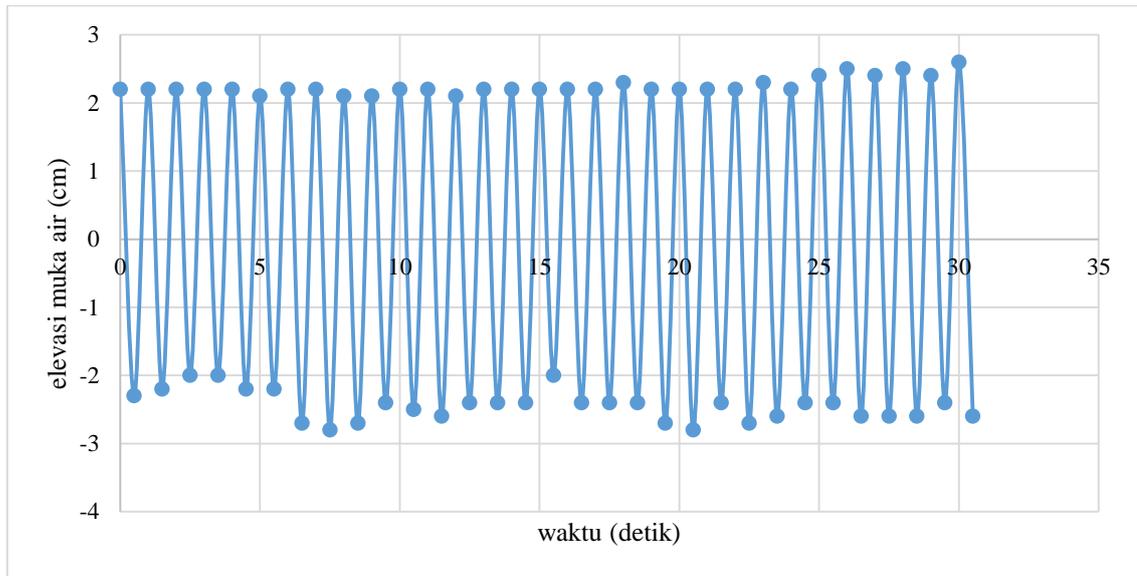


Gambar 3. 13 Pembacaan Gelombang Reguler *Water Tide Meter*

Perhitungan gelombang reguler secara manual dilakukan dengan mencatat pengukuran gelombang oleh *wave probe* di program microsoft excel, kemudian mencari nilai amplitudo gelombang maksimum dan minimum untuk setiap detiknya selama 180 detik. Setelah mendapatkan seluruh amplitudo gelombang, langkah selanjutnya adalah mengurangi nilai amplitudo gelombang maksimum dan minimum untuk setiap detiknya, mengurutkan tinggi gelombang dari yang tertinggi hingga terendah untuk mendapatkan tinggi gelombang, dan mencari rata-rata dari 1/3 tinggi gelombang untuk mendapatkan  $H_s$ . Hasil perhitungan gelombang reguler secara manual dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Hasil Perhitungan Gelombang Reguler Secara Manual

Jenis Gelombang	Perhitungan Manual	
	H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>average</sub> (detik)
Reguler	5.2688	1.1



Gambar 3. 14 Pembacaan Gelombang Reguler Perhitungan Manual

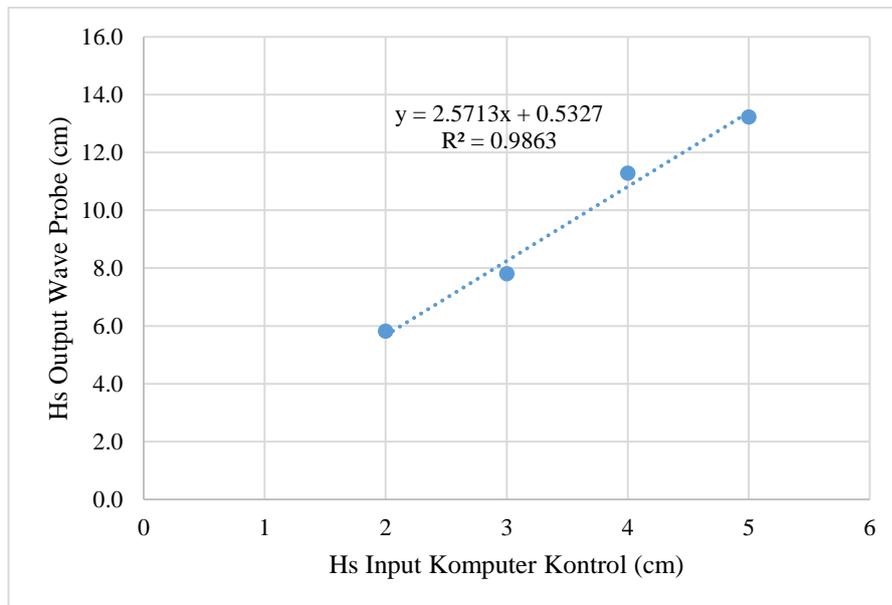
Jadi, perbedaan antara pembacaan gelombang reguler menggunakan program Matlab dan perhitungan manual disajikan dalam Tabel 3.8 berikut ini:

Tabel 3. 8 Perbandingan Perhitungan Gelombang Reguler Program Matlab dan Manual

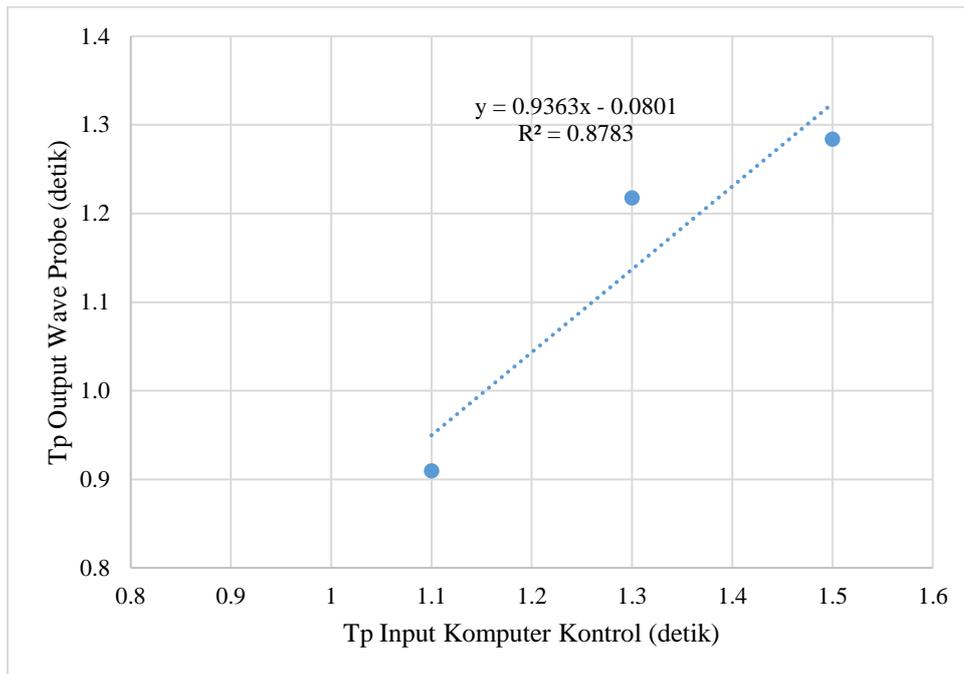
Program Matlab		Perhitungan Manual		Error (%)
H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>average</sub> (detik)	H <sub>s</sub> (cm)	T <sub>average</sub> (detik)	
5.2882	1.1005	5.2688	1.1	0.365

### c. Kalibrasi *Wave Maker* Gelombang Irreguler

Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode puncak ( $T_p$ ) yang diinputkan pada *wave generator* memiliki keluaran tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode ( $T_p$ ) yang berbeda saat melakukan pengujian menggunakan gelombang irreguler. Input tinggi gelombang dan periode pada komputer kontrol yang diujikan secara berturut-turut adalah 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm dengan periode 1.1 detik, 1.3 detik, 1.5 detik sebanyak 12 kali percobaan. Berikut ini merupakan korelasi antara tinggi gelombang dan periode input pada program *wave generator* dengan tinggi gelombang dan periode output yang tercatat oleh *wave probe*.



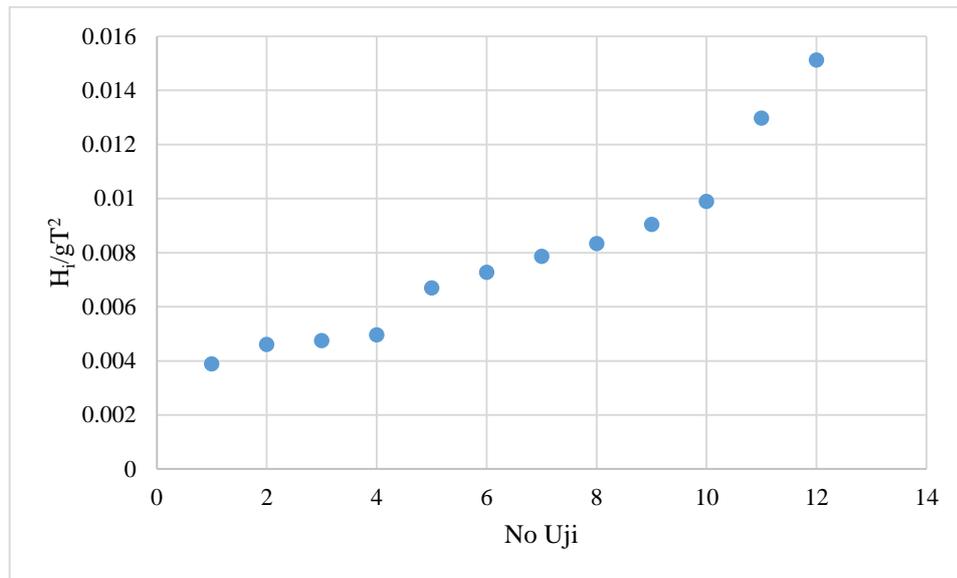
Gambar 3. 15 Korelasi Antara  $H_s$  Input dan  $H_s$  Output



Gambar 3. 16 Korelasi Antara  $T_p$  Input dan  $T_p$  Output

#### d. Penentuan Input Gelombang dan Periode Pada Komputer Kontrol

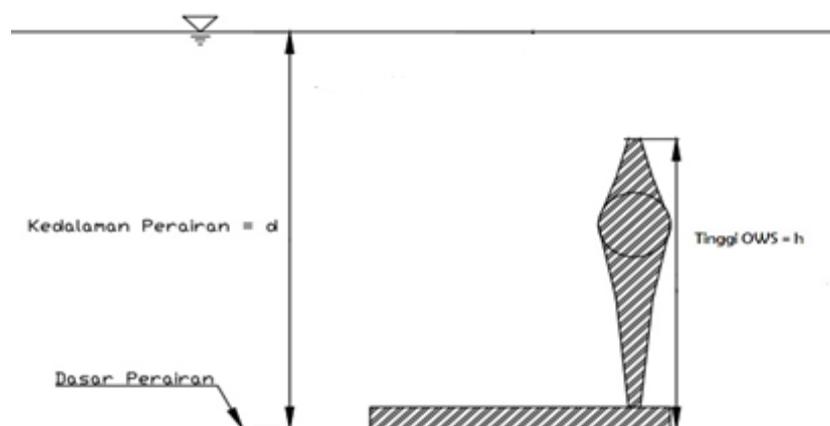
Input gelombang dan periode pada eksperimen ini dilakukan dengan cara menentukan rentang *wave steepness* atau kecuraman gelombang ( $H_i/gT^2$ ) terlebih dahulu agar grafik yang diinginkan memiliki hasil yang lebih menyebar.  $H_i$  atau tinggi gelombang insiden pada penelitian ini adalah tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan  $T$  atau periode gelombang adalah periode puncak ( $T_p$ ). Kecuraman gelombang yang dibangkitkan pada eksperimen ini berkisar antara 0.003 – 0.01 yang mana dilihat juga dari kemampuan laboratorium yang mampu membangkitkan gelombang dengan input tinggi gelombang 5 cm dan periode 1.5 detik untuk gelombang irreguler. Penentuan input gelombang berkisar antara 2 cm – 5 cm dan periode 1.1 detik – 1.5 detik dengan hasil seperti pada gambar 4.10



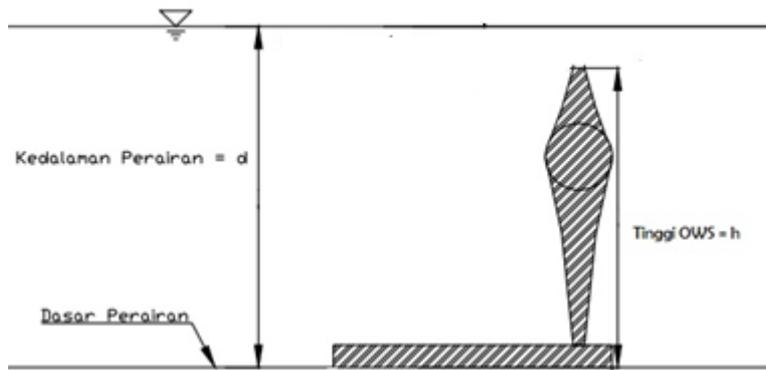
Gambar 3. 17 *Plotting Wave Steepness*

## 6. Pelaksanaan Eksperimen

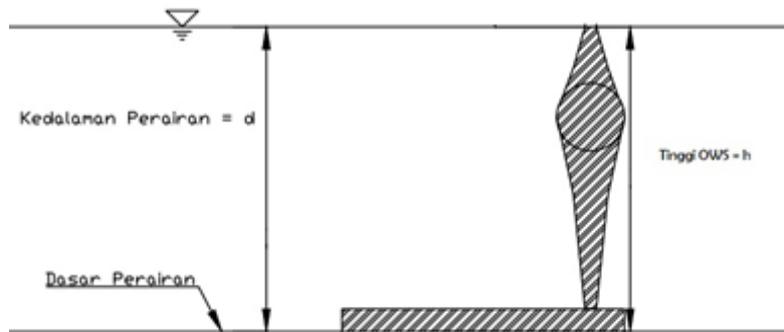
Melakukan eksperimen sesuai dengan permasalahan yang ingin dibahas, yaitu mengetahui pengaruh kedalaman terhadap redaman gelombangnya. Model akan disusun berdasarkan variasi kedalaman kolam gelombang dan sudut flapnya secara statis . Tinggi model OWS ( $h$ ) yang berukuran 27 cm divariasikan dengan 5 kedalaman kolam gelombang ( $d$ ) seperti pada gambar berikut ini:



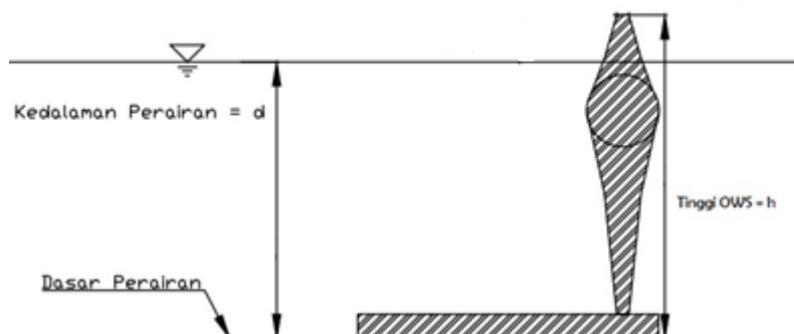
Gambar 3. 18 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 38 cm



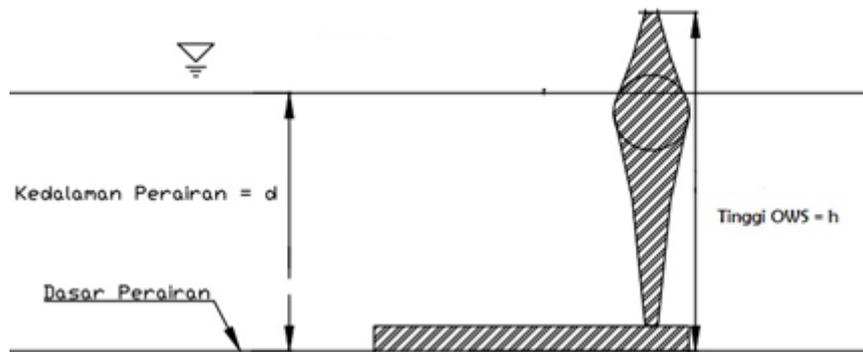
Gambar 3. 19 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 33 cm



Gambar 3. 20 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 27 cm



Gambar 3. 21 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 23 cm



Gambar 3. 22 Sketsa pengujian OWS pada kedalaman ( $d$ ) = 21 cm

Penyusunan model *OWS* dilakukan berdasarkan konfigurasi pada gambar sebelumnya. Pengukuran data gelombang dilakukan oleh alat *wave probe* yang diletakkan sejauh 2.53 meter sebelum struktur untuk mengukur tinggi gelombang datang. Menurut metode Goda (1985), perletakkan *wave probe* minimal sejauh satu panjang gelombang dari struktur. Hal ini dilakukan agar pembacaan *wave probe* tidak terganggu oleh gelombang pantul dari struktur itu sendiri. Dalam penelitian ini, periode yang digunakan adalah  $T = 1.5$  detik dengan kedalaman air = 0.38 meter, sehingga perhitungan untuk panjang gelombangnya adalah

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_0}\right) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$L_0 = 1.56 T^2$$

$$L_0 = 1.56 \times 1.5s^2 = 3.51 \text{ m}$$

$$d/L_0 = \frac{0.38 \text{ m}}{3.51 \text{ m}} = 0.108$$

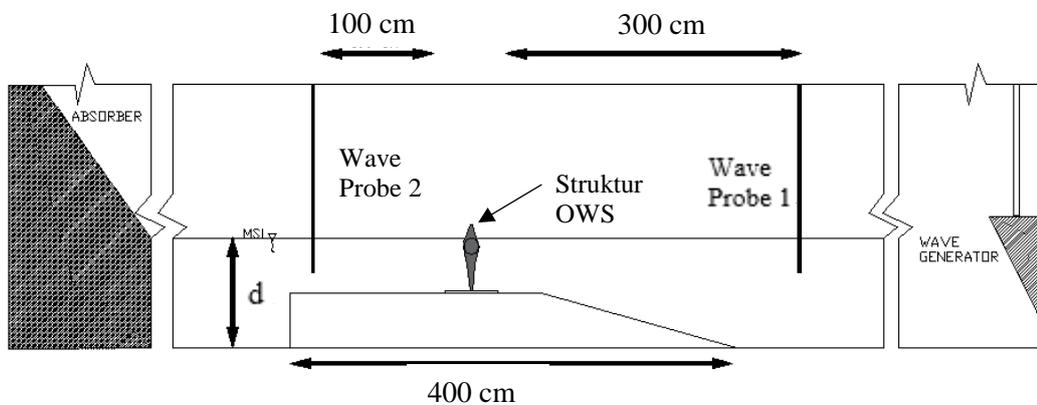
Maka,  $d/L$ :

$$d/L = 0.15$$

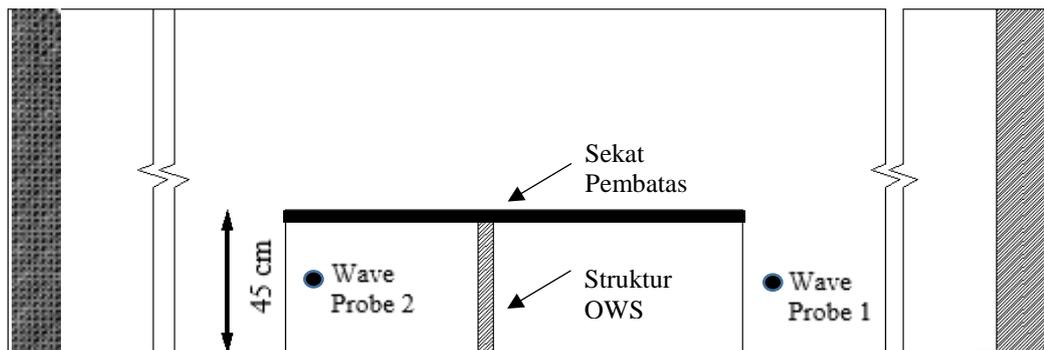
$$L = \frac{0.38 \text{ m}}{0.15 \text{ m}} = 2.53 \text{ m}$$

Jadi, *wave probe* 1 harus diletakkan minimal sejauh 2.53 m sebelum struktur. Sementara untuk *wave probe* di belakang struktur harus diletakkan

di daerah yang mana tidak terpengaruh gelombang pantul dari *wave absorber* (Neelmani, 1992). Maka *wave probe 2* diletakkan sejauh 1 meter di belakang struktur OWS dan 3 meter di depan *wave absorber* agar gelombang pantul dari *wave absorber* tidak mempengaruhi pembacaan *wave probe 2*. Penempatan ini juga didasarkan atas kalibrasi *wave probe* tanpa struktur yang menunjukkan pembacaan gelombang pada *wave probe 1* dan *2* tidak jauh berbeda. Setting flume tank pada eksperimen ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. 23 Sketsa Pengujian OWS Pada *Flume Tank* Tampak Samping



Gambar 3. 24 Sketsa Pengujian OWS Pada *Flume Tank* Tampak Atas

Data pengujian model *Oscillating Wave Surge* dapat dilihat pada Tabel 3.9

Tabel 3. 9 Perencanaan Desain Pengujian Model *Oscillating Wave Surge*

No Uji	Jenis Gelombang	Sudut Flap (°)			Kedalaman (cm)				
		45	60	90	38	33	27	23	21
1	Reguler H input = 5 cm T input = 1.2 det	√			√				
2		√				√			
3		√					√		
4		√						√	
5		√							√
6				√		√			
7				√			√		
8				√				√	
9				√					√
10				√					√
11					√	√			
12					√		√		
13					√			√	
14					√				√
15					√				√
16	Irreguler H input: 2 cm 3 cm 4 cm T input 1.1 detik 1.3 detik 1.5 detik	√			√				
17		√				√			
18		√					√		
19		√						√	
20		√							√
21				√		√			
22				√			√		
23				√				√	
24				√					√
25				√					√
26					√	√			
27					√		√		
28					√			√	
29					√				√
30					√				√

Jadi, pengujian yang dapat dilakukan adalah sebanyak 30 variasi.

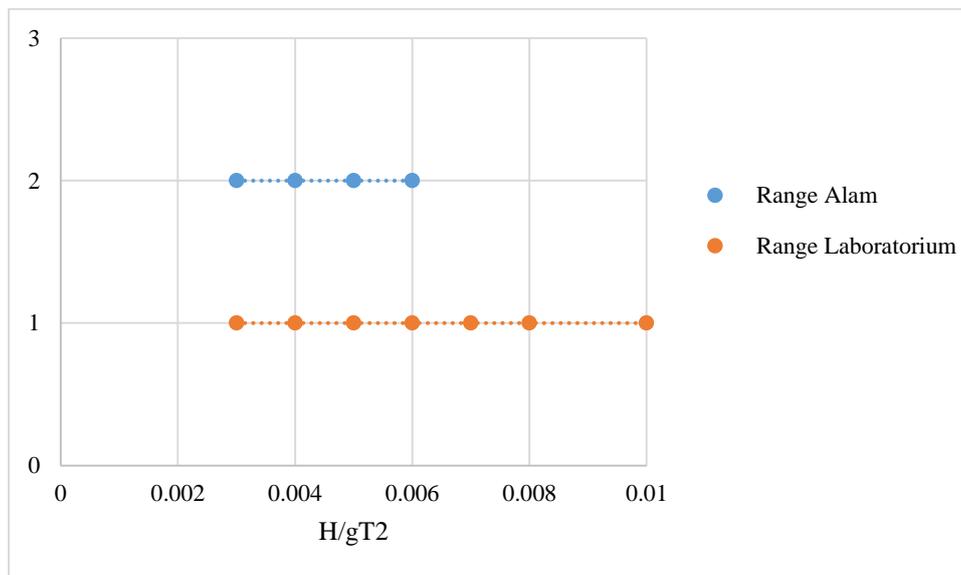
Untuk pembangkitan gelombang di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut disesuaikan dengan keadaan alam perairan sumba yang

memiliki nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) berkisar antara 0.003-0.006. Data ini didapatkan dari data gelombang Perairan Sumba tahun 2015-2016 dari BMKG Surabaya, dengan cara menentukan  $H_s$  minimum – maksimum dan  $T_p$  minimum – maksimum seperti pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.10 Kondisi Gelombang dan Periode di Perairan Sumba

$H_s$ Maksimum	$H_s$ Minimum	$T_p$ Maksimum	$T_p$ Maksimum
3.05 m	0.62 m	7.18 detik	4.85 detik

Namun, untuk gelombang di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut dapat membangkitkan gelombang dengan kecuraman ( $H/gT^2$ ) 0.003 – 0.01 sehingga pengujian di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut sudah dapat mewakili keadaan sebenarnya di alam.



Gambar 3. 25 Perbandingan Kemampuan Pembangkitan Gelombang Dengan Parameter Kecuraman ( $H/gT^2$ ) Antara Laboratorium dan Sumba

## 7. Mendapat Hasil Output Eksperimen dan Analisis Data Hasil Output

Hasil output eksperimen yang ditampilkan di komputer laboratorium akan diolah sesuai dengan teori yang berlaku. Hasil

perhitungan tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan pengaruh variabel tertentu terhadap koefisien transmisinya.

## **8. Kesimpulan**

Dari hasil analisis data yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diketahui variasi yang optimum untuk mendapatkan nilai koefisien transmisi. Hasil dari penelitian akan dibandingkan dengan penelitian yang dijadikan referensi dalam penulisan tugas akhir ini.

## **9. Penyusunan Laporan**

Penyusunan laporan dilakukan setelah penelitian berakhir. Tujuan dari penyusunan laporan adalah untuk membukukan hasil penelitian. Segala sesuatu dari proses hingga hasil dari eksperimen variasi kedalaman, tinggi gelombang, dan periode pada susunan *Oscillating Wave Surge* terhadap koefisien transmisinya dijelaskan secara terperinci. Selain itu ke depannya dapat menjadi bahan atau referensi bagi penulis yang ingin melakukan penelitian serupa.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

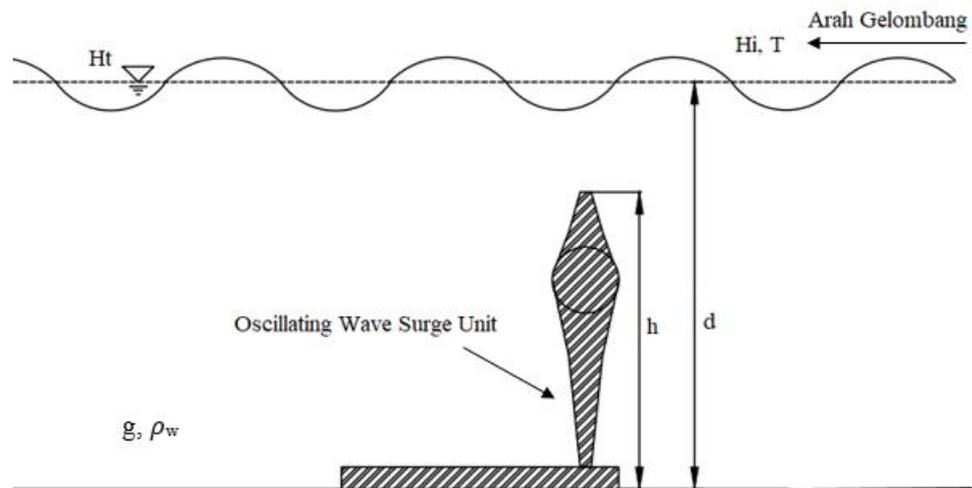
## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Data

##### 4.1.1 Analisis Dimensi

Analisis dimensi dilakukan untuk meninjau pengaruh Analisis tak berdimensi terhadap koefisien transmisi guna menyederhanakan proses eksperimen. Pada studi eksperimen ini, analisis dimensi dilakukan dengan metode matrix, sehingga didapatkan persamaan akhir sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Analisis Dimensi Koefisien Transmisi pada OWS

Secara umum koefisien transmisi dalam penelitian ini bergantung pada parameter berikut ini:

$$Ht = \phi[F; T; Hi; d; \rho_w; g]$$

di mana:

$Ht$  = tinggi gelombang tereduksi (m)

$h$  = tinggi oscillating wave surge (m)

$T$  = periode gelombang (detik)

$d = \text{kedalaman perairan (m)}$

$\rho_w = \text{massa jenis cairan (kg/m}^3\text{)}$

$g = \text{percepatan gravitas (m/s}^2\text{)}$

Pada penelitian ini, Analisis dimensi dilakukan menggunakan metode Basic Echelon Matrix sehingga diperoleh bilangan tak berdimensi sebagai berikut:

$$\phi \left[ \frac{Hi}{h} ; \frac{Ht}{h} ; \frac{d}{h} ; \frac{gT^2}{h} \right] = 0$$

Melakukan penyederhanaan (*compounding*) sehingga mendapatkan hasil akhir parameter tak berdimensi sebagai berikut:

$$\frac{Ht}{Hi} = \phi \left[ \frac{Hi}{gT^2} ; \frac{h}{d} \right]$$

Keterangan parameter tak berdimensi:

- $\frac{Ht}{Hi} = \text{gelombang transmisi}$
- $\frac{Hi}{gT^2} = \text{wave steepness}$
- $\frac{h}{d} = \text{relatiive depth submergence}$

#### 4.1.2 Analisis Output Wave Probe

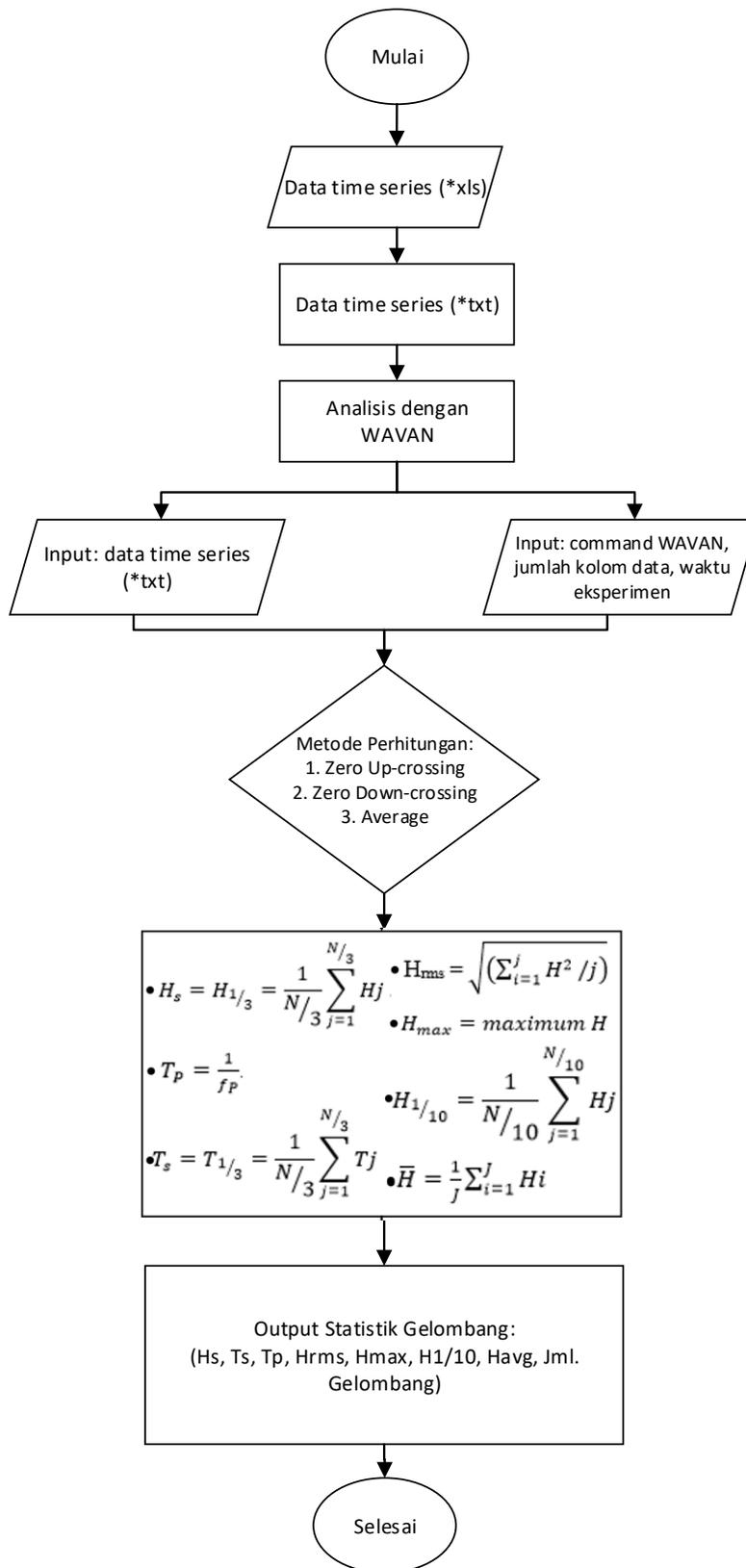
Data-data yang diperoleh selama eksperimen berasal dari rekaman *wave probe* yang dipasang di kolam gelombang dan ditampilkan pada komputer dalam bentuk data *time series*. *Wave probe* akan merekam data gelombang baik itu gelombang insiden maupun gelombang transmisi. Perekaman data oleh *wave probe* menggunakan frekuensi 25 Hz, yang berarti setiap 1 detiknya *wave probe* akan mencatat fluktuasi muka air sebanyak 25 data. Eksperimen dilakukan selama 3 menit untuk 1 variasi sehingga data yang terekam oleh komputer adalah rata-rata 4500 data. Hasil perekaman data oleh *wave*

*probe* ditampilkan dalam bentuk excel seperti pada Tabel 4.1 untuk variasi input (H) 4 cm, (T) 1.1 detik,  $d = h$ , Sudut Flap  $60^0$

Tabel 4. 1 Data Hasil Rekaman *Wave Probe*

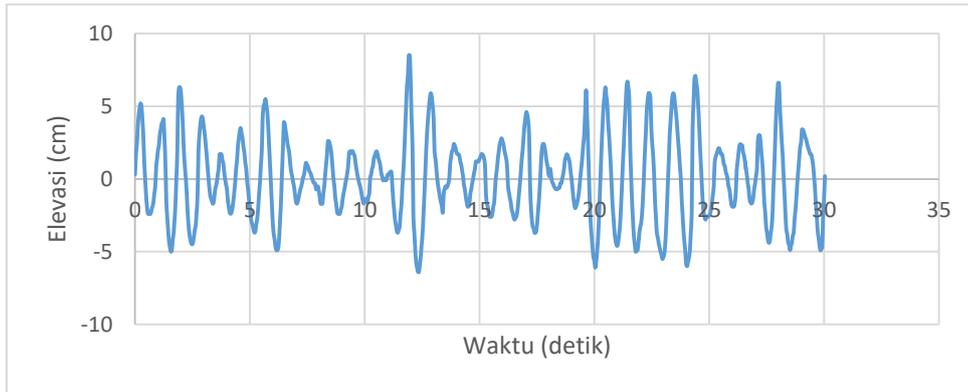
Data	Time	Probe 1	Probe 2
<b>1</b>	0	3	-50
<b>2</b>	0	7	-51
<b>3</b>	0	24	-46
..	..	..	..
..	..	..	..
..	..	..	..
<b>4520</b>	184	-28	10
<b>4521</b>	184	-26	-2
<b>4522</b>	184	-22	-11

Perhitungan tinggi gelombang dan periode yang ingin dicari dalam rekaman data *wave probe* dibantu oleh program **Wavan**, pada **Matlab** versi 1.1 Copyright (c) J.W. Kamphuis 2000. Proses pengolahan data hasil eksperimen diolah menjadi karakteristik gelombang dijelaskan pada gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4. 2 Proses Pengolahan Data Program **Wavan** Pada **Matlab**

Dilakukan juga perhitungan secara manual menggunakan metode *zero up crossing* untuk membandingkan data hasil pengolahan software tersebut. Gambar 4.3 menyajikan gambar grafik elevasi muka air selama 30 detik dari 180 detik data time series Tabel 4.1 sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan gelombang secara manual.



Gambar 4. 3 Fluktuasi Gelombang Selama 30 Detik Untuk (H) 4 cm; (T) 1.1 detik

Berdasarkan data time series pada hasil pembacaan wave probe untuk input (H) 4cm dan (T) 1.1. detik, maka didapatkan tinggi dan periode gelombang dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Gelombang Manual Menggunakan *Zero Up Crossing*

Gel ke-	H (cm)	T (detik)	H <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
1	7.6	0.92	57.76
2	9.1	0.88	82.81
3	10.8	0.96	116.64
4	6	0.84	36
5	4.1	0.8	16.81
6	7.2	1.08	51.84
11	3.6	1	12.96
...	...	...	...
30	7.4	0.8	54.76
31	11.5	0.8	132.25
32	8.3	1.16	68.89
Jumlah	237	30	2111.3

Dari tabel 4.2 didapatkan parameter gelombang sebagai berikut:

- Tinggi gelombang maksimum ( $H_{\max}$ ) = 14.9 cm
- Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) = 11.34 cm
- Tinggi gelombang rata-rata ( $H_{\text{avrg}}$ ) = 7.4 cm
- Tinggi gelombang 10% ( $H_{1/10}$ ) = 12.67 cm
- Tinggi gel. root mean square ( $H_{\text{rms}}$ ) =  $\sqrt{(\sum_{i=1}^n H^2 / n)} = 8.12$  cm
- Periode rata-rata = 0.94 detik
- Periode puncak = 0.93 detik

Langkah selanjutnya adalah membandingkan beberapa parameter gelombang ke dalam tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4. 3 Perbandingan Antara Perhitungan Gelombang Secara Manual dan Program Wavan, Matlab

Parameter Gelombang Datang	Manual	Wavan	Error
Jumlah gelombang	32	31	3.12%
Tinggi gelombang signifikan (cm)	11.34	11.33	0.08%
Tinggi gelombang rata-rata (cm)	7.4	7.3	1.35%
Tinggi gelombang maksimum (cm)	14.9	14.89	0.06%
Tinggi gelombang 10% ( $H_{1/10}$ ) (cm)	12.67	12.66	0.06%
Tinggi gelombang <i>root mean square</i> ( $H_{\text{rms}}$ )	8.12	8.07	0.61%
Periode Gelombang rata-rata (detik)	0.94	0.970	3.19%
Periode Puncak (detik)	0.93	0.94	1.06%

#### 4.1.2 Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Reguler

Perhitungan koefisien transmisi dilakukan dengan membandingkan tinggi gelombang setelah mengenai struktur ( $H_i$ ) dan tinggi gelombang sebelum mengenai struktur ( $H_t$ ) seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 4 Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Reguler

No	Kedalaman (cm)	<i>Relative depth submergence</i> (h/d)	Sudut Flap (deg)	$H_i$ (cm)	$T_i$ (detik)	$H_t$ (cm)	$H/gT^2$	$K_t$
1	21	1.3	45	5.24	0.97	1.92	0.004	0.366
2	21	1.3	60	5.03	1.12	1.81	0.004	0.360
3	21	1.3	90	5.81	1.12	1.78	0.004	0.306
4	23	1.2	45	4.8	1.12	2.24	0.004	0.467
5	23	1.2	60	5.31	1.11	2.479	0.004	0.467
6	23	1.2	90	5	1.12	1.68	0.004	0.336
7	27	1	45	5.13	1.12	4.44	0.004	0.865
8	27	1	60	5	1.12	3.70	0.004	0.740
9	27	1	90	5.12	1.12	3.17	0.004	0.619
10	33	0.8	45	5.12	1.12	5.01	0.004	0.979
11	33	0.8	60	5	1.10	4.88	0.004	0.976
12	33	0.8	90	5.1	1.10	4.90	0.004	0.961
13	38	0.7	45	5.49	1.12	5.48	0.004	0.998
14	38	0.7	60	5.1	1.12	5.09	0.004	0.998
15	38	0.7	90	5.04	1.12	5.02	0.004	0.996

Sehingga dapat ditarik kesimpulan hubungan *relative depth submergence* (h/d) mempengaruhi nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang mana koefisien transmisi ( $K_t$ ) terkecil terjadi pada *relative depth submergence* (h/d) yang tinggi atau dalam hal ini kedalaman yang rendah pada sudut flap  $90^0$  sebesar 0.306.

### 4.1.3 Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Irreguler

Perhitungan koefisien transmisi dilakukan dengan membandingkan tinggi gelombang signifikan setelah mengenai struktur dan tinggi gelombang signifikan sebelum mengenai struktur seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 5 Perhitungan Koefisien Transmisi Gelombang Irreguler  $H_{input\ komputer} = 3\text{ cm}$ ;

$$T_{input\ komputer} = 1.1\text{ detik}$$

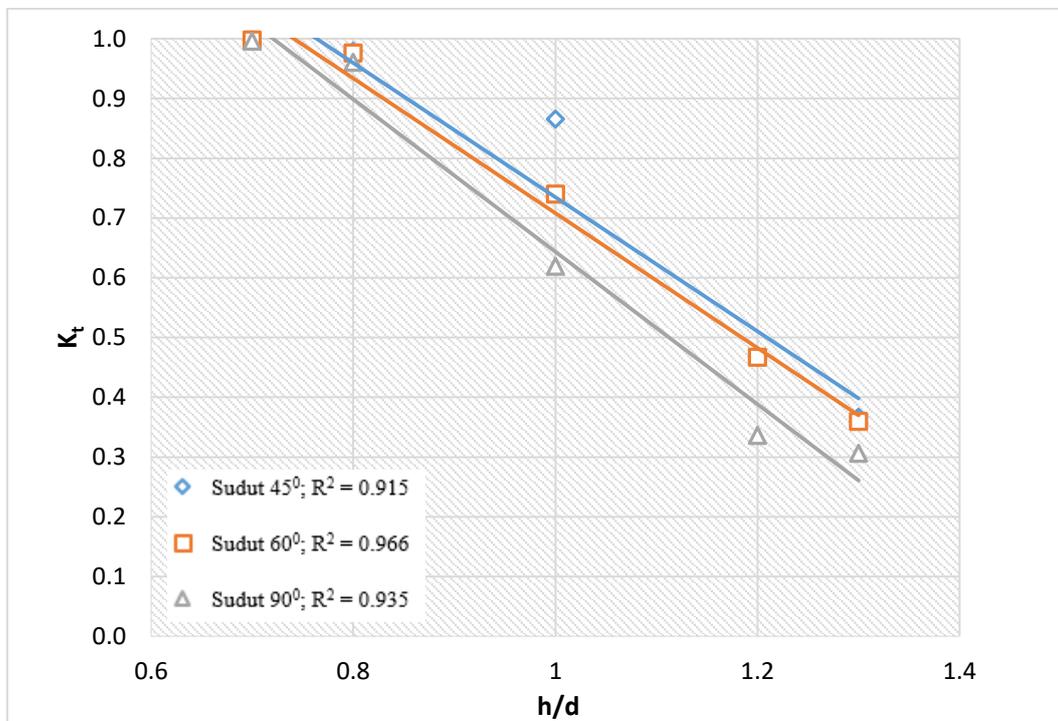
No	Kedalaman (cm)	<i>Relative depth submergence (h/d)</i>	Sudut Flap (deg)	$H_i$ (cm)	$T_i$ (detik)	$H_t$ (cm)	$H/gT^2$	$K_t$
1	21	1.3	45	7.446	0.912	2.680	0.0091	0.361
2	21	1.3	60	7.99	0.876	2.325	0.0106	0.291
3	21	1.3	90	7.969	0.870	1.760	0.0107	0.216
4	23	1.2	45	8.13	0.912	3.902	0.0100	0.480
5	23	1.2	60	8.143	0.910	3.354	0.0100	0.412
6	23	1.2	90	7.706	0.900	2.711	0.0097	0.353
7	27	1	45	7.93	1.087	6.740	0.0068	0.851
8	27	1	60	8.22	1.09	6.411	0.0071	0.780
9	27	1	90	8.09	1.079	5.280	0.0071	0.654
10	33	0.8	45	8.58	0.980	8.202	0.0091	0.956
11	33	0.8	60	7.92	0.984	7.374	0.0083	0.902
12	33	0.8	90	7.89	0.913	7.057	0.0096	0.863
13	38	0.7	45	7.48	0.889	7.383	0.0096	0.988
14	38	0.7	60	8.18	0.910	8.041	0.0101	0.973
15	38	0.7	90	7.87	0.925	7.691	0.0094	0.948

Sehingga dapat ditarik kesimpulan hubungan *relative depth submergence* mempengaruhi nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang mana koefisien transmisi ( $K_t$ ) terkecil terjadi pada *relative depth submergence* (h/d) tinggi atau dalam hal ini kedalaman rendah pada sudut  $90^0$ . Sementara koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin turun seiring dengan peningkatan *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ).

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan Kedalaman terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Reguler

Perhitungan koefisien transmisi dilakukan dengan membandingkan tinggi gelombang signifikan setelah mengenai struktur dan tinggi gelombang signifikan sebelum mengenai struktur. Nilai *relative depth submergence* didapat dari perbandingan antara tinggi struktur OWS ( $h$ ) terhadap tinggi kedalaman perairan ( $d$ ) sehingga parameter tak berdimensi yang dapat dihubungkan pada grafik adalah *relative depth submergence* ( $h/d$ ) terhadap koefisien transmisi ( $K_t$ ) seperti pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Hubungan parameter *relative depth submergence* ( $h/d$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Reguler

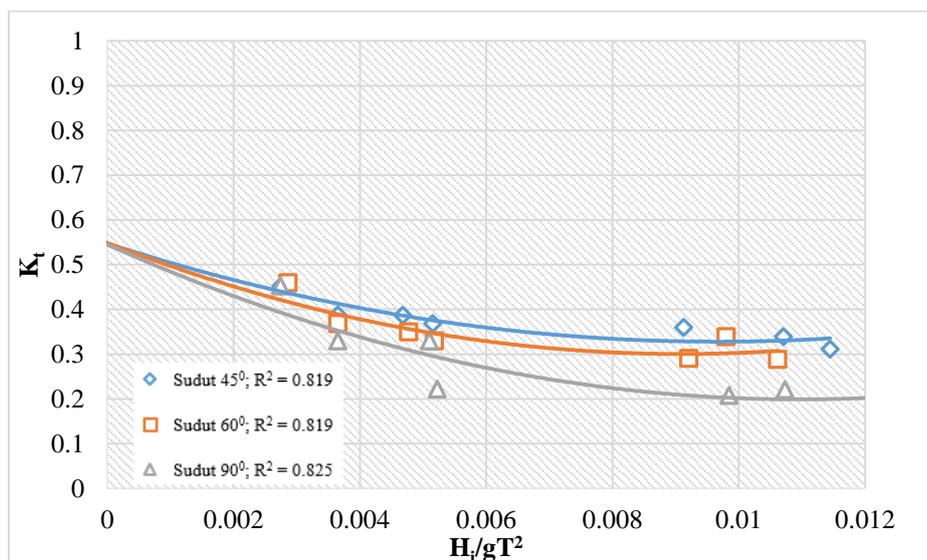
Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara *relative depth submergence* ( $h/d$ ) dengan koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang dibedakan oleh sudut flap OWS. Berdasarkan hasil eksperimen di *flume tank*, observasi dilakukan untuk meninjau pengaruh masing-masing parameter tak berdimensi terhadap koefisien transmisinya sebagai berikut:

- Kedalaman sebesar 21 cm dengan parameter tak berdimensi *relative depth submergence* ( $h/d = 1.3$ ) memiliki nilai koefisien transmisi yang paling rendah yaitu berkisar antara 0.306-0.387. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kedalaman yang semakin rendah mengakibatkan gelombang yang teredam akan semakin tinggi. Struktur OWS yang tinggi menghalangi penjalaran gelombang yang nantinya gelombang datang akan dipantulkan oleh struktur dan sebagiannya ditransmisikan ke belakang struktur.
- Kedalaman sebesar 38 cm dengan parameter tak berdimensi *relative depth submergence* ( $h/d = 0.7$ ) memiliki koefisien transmisi yang paling tinggi yaitu berkisar antara 0.998-1.00. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kedalaman yang semakin tinggi mengakibatkan gelombang yang datang tidak mampu diredam oleh struktur OWS. Hal tersebut dikarenakan gelombang datang tidak mengalami interaksi dengan bidang permukaan struktur OWS menyebabkan penempatan struktur pada kedalaman yang semakin tinggi tidak mampu meredam gelombang datang.
- Gelombang datang akan lebih teredam pada sudut flap  $90^0$ , hal ini ditunjukkan oleh grafik flap  $90^0$  selalu berada di bawah grafik flap  $45^0$  dan  $60^0$  atau dengan kata lain nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) sudut  $90^0$  lebih kecil dibandingkan dengan sudut  $60^0$  dan  $45^0$ . Hal tersebut dikarenakan flap pada kondisi sudut  $90^0$  memantulkan gelombang datang dengan baik. Gelombang yang terpantulkan, menyebabkan penjalaran terhadap gelombang datang berikutnya menjadi berkurang. Hal ini mengakibatkan gelombang refleksi meniadakan penjalaran gelombang datang, menyebabkan gelombang datang menjadi semakin tinggi dan pecah sebelum mampu mencapai struktur OWS kembali. Perlu diingat bahwa energi dalam gelombang merupakan energi kinetik yang ditunjukkan oleh cepat rambat gelombang ( $C$ ) dan kecepatan partikel gelombang. Sementara energi gelombang disebut energi potensial yaitu tinggi gelombang ( $H$ ) tersebut. Gelombang yang datang memiliki energi potensial dan kinetik yang sama, namun setelah mengenai struktur OWS dengan sudut flap  $90^0$ , menyebabkan gelombang terpantulkan mengalami

superposisi terhadap gelombang datang berikutnya. Hal ini menyebabkan penjaran gelombang menjadi berkurang namun tinggi gelombang menjadi bertambah sehingga tidak ada energi gelombang yang hilang. Kemudian selanjutnya karena gelombang terlalu tinggi menyebabkan kecepatan partikel gelombang pada puncaknya lebih besar dibandingkan dengan cepat rambatnya, menyebabkan gelombang pecah dan sebagiannya lagi ditransmisikan atau diteruskan ke belakang struktur OWS.

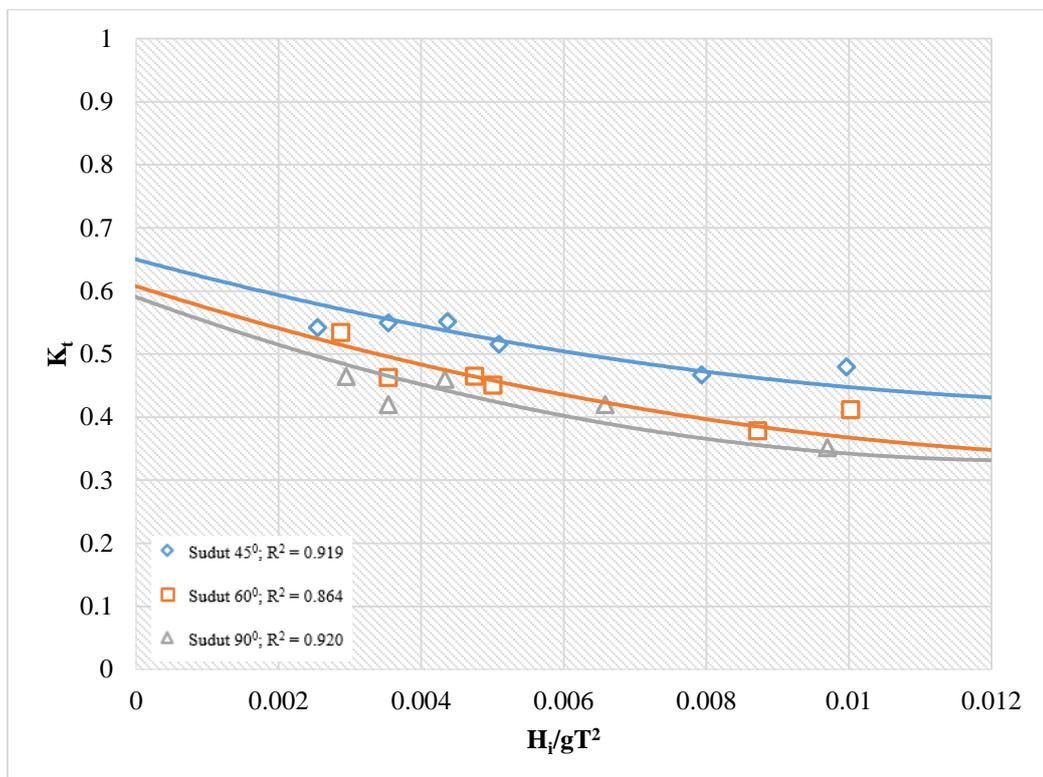
#### 4.2.2 Hubungan Kedalaman dan Wave Steepness ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Irreguler

Perhitungan koefisien transmisi dilakukan dengan membandingkan tinggi gelombang signifikan setelah mengenai struktur dan tinggi gelombang signifikan sebelum mengenai struktur. Nilai *relative depth submergence* didapat dari perbandingan antara tinggi struktur OWS ( $h$ ) terhadap tinggi kedalaman perairan ( $d$ ) sehingga parameter tak berdimensi yang dapat dihubungkan pada grafik adalah *relative depth submergence* ( $h/d$ ) terhadap koefisien transmisi ( $K_t$ ). Parameter tak berdimensi lainnya yaitu *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) juga mempengaruhi koefisien transmisi ( $K_t$ ) seperti pada gambar berikut:



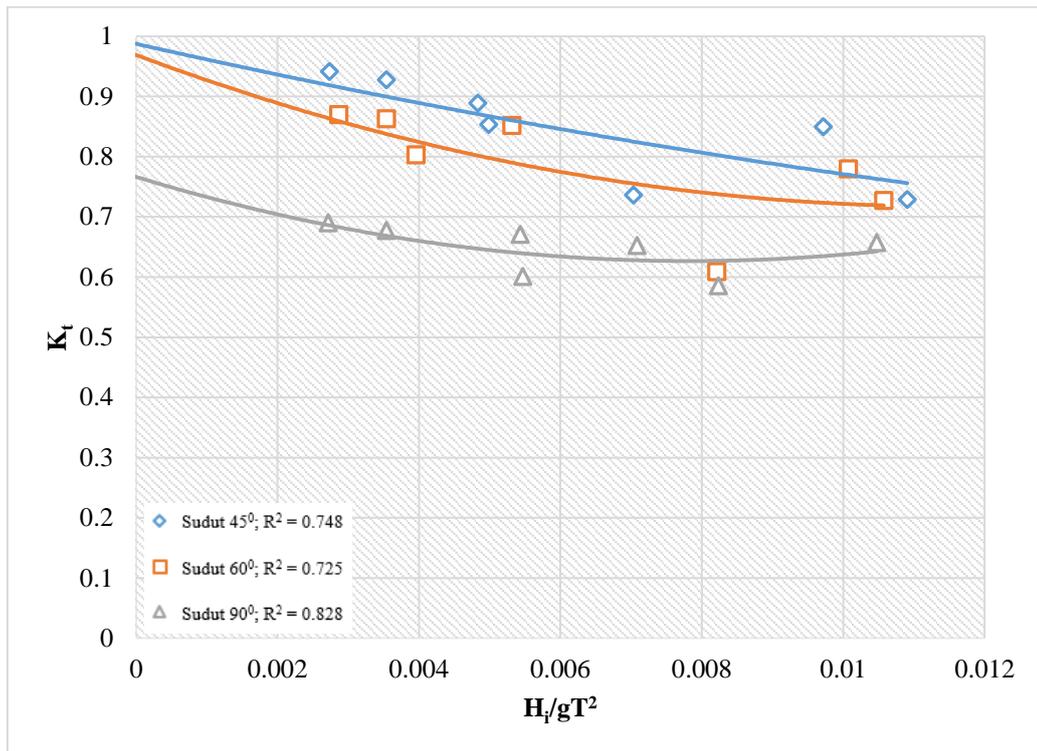
Gambar 4. 5 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada *Relative Depth Submergence* ( $h/d$ ) = 1.3

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1.3$ ) atau kedalaman 21 cm gelombang akan teredam semakin banyak pada sudut flap  $90^\circ$ , ditunjukkan oleh nilai koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) yaitu 0.189. Sementara koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 0.451 terjadi pada sudut flap  $45^\circ$ . Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



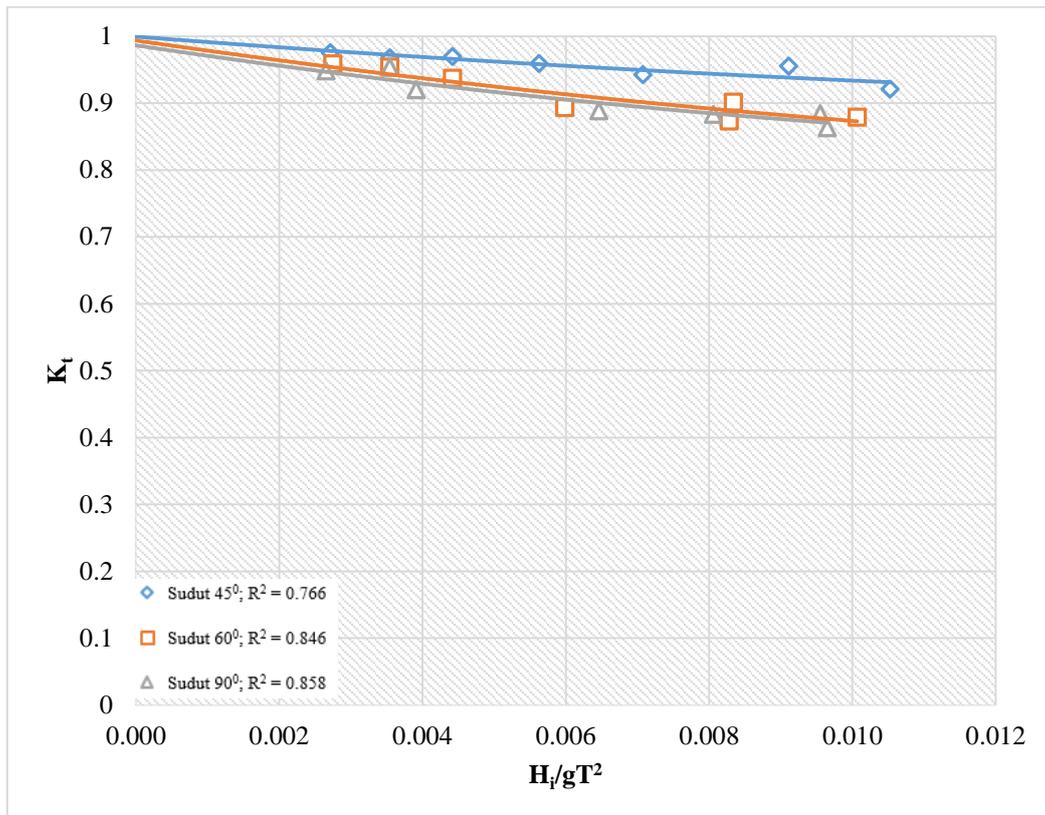
Gambar 4. 6 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada *Relative Depth Submergence* ( $h/d$ ) = 1.2

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1.2$ ) atau kedalaman 23 cm gelombang akan teredam semakin banyak pada sudut flap  $90^\circ$ , ditunjukkan oleh nilai koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) yaitu 0.314. Sementara koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 0.551 terjadi pada sudut flap  $45^\circ$ . Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



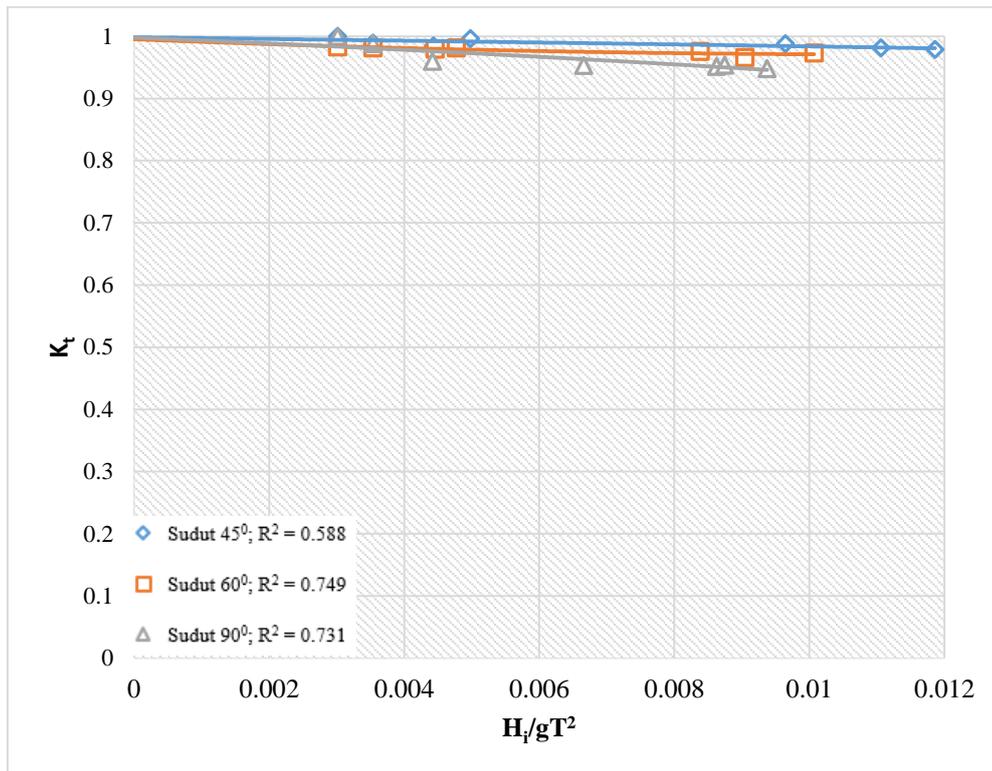
Gambar 4. 7 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada *Relative Depth Submergence* ( $h/d$ ) = 1

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1$ ) atau kedalaman 27 cm gelombang akan teredam semakin banyak pada sudut flap  $90^0$ , ditunjukkan oleh nilai koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) yaitu 0.585. Sementara koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 0.941 terjadi pada sudut flap  $45^0$ . Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



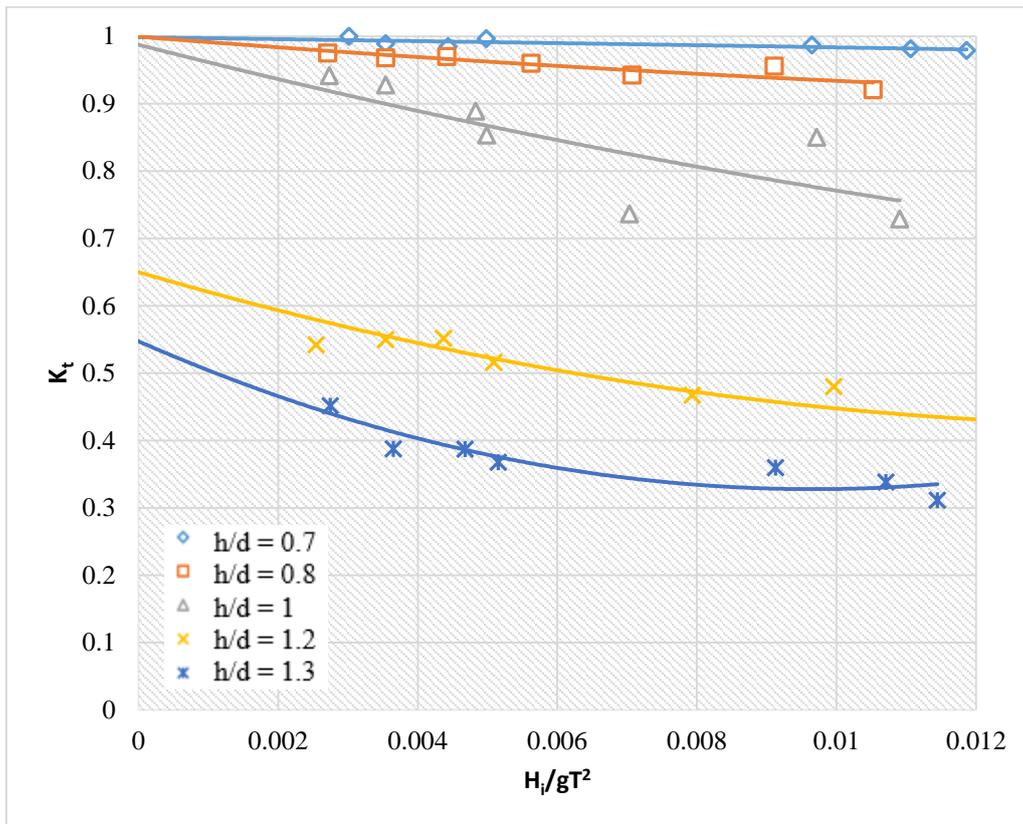
Gambar 4. 8 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada *Relative Depth Submergence* ( $h/d$ ) = 0.8

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada *relative depth submergence* ( $h/d = 0.8$ ) atau kedalaman 33 cm gelombang akan teredam semakin banyak pada sudut flap  $90^0$ , ditunjukkan oleh nilai koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) yaitu 0.863. Sementara koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 0.975 terjadi pada sudut flap  $45^0$ . Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



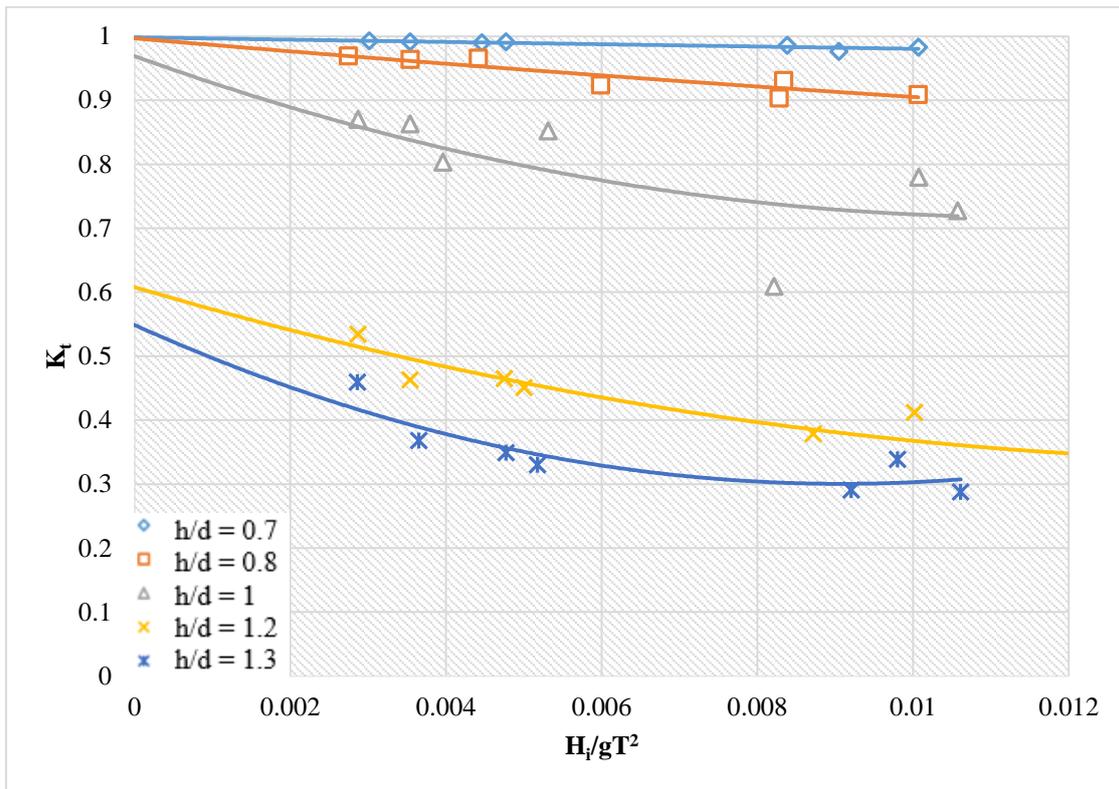
Gambar 4. 9 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ )  
 Pada *Free Board* Relatif ( $F/d$ ) = 0.3

Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pada *relative depth submergence* ( $h/d = 0.7$ ) atau kedalaman 38 cm gelombang akan teredam semakin banyak pada sudut flap  $90^0$ , ditunjukkan oleh nilai koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) yaitu 0.947. Sementara koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 1 terjadi pada sudut flap  $45^0$ . Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



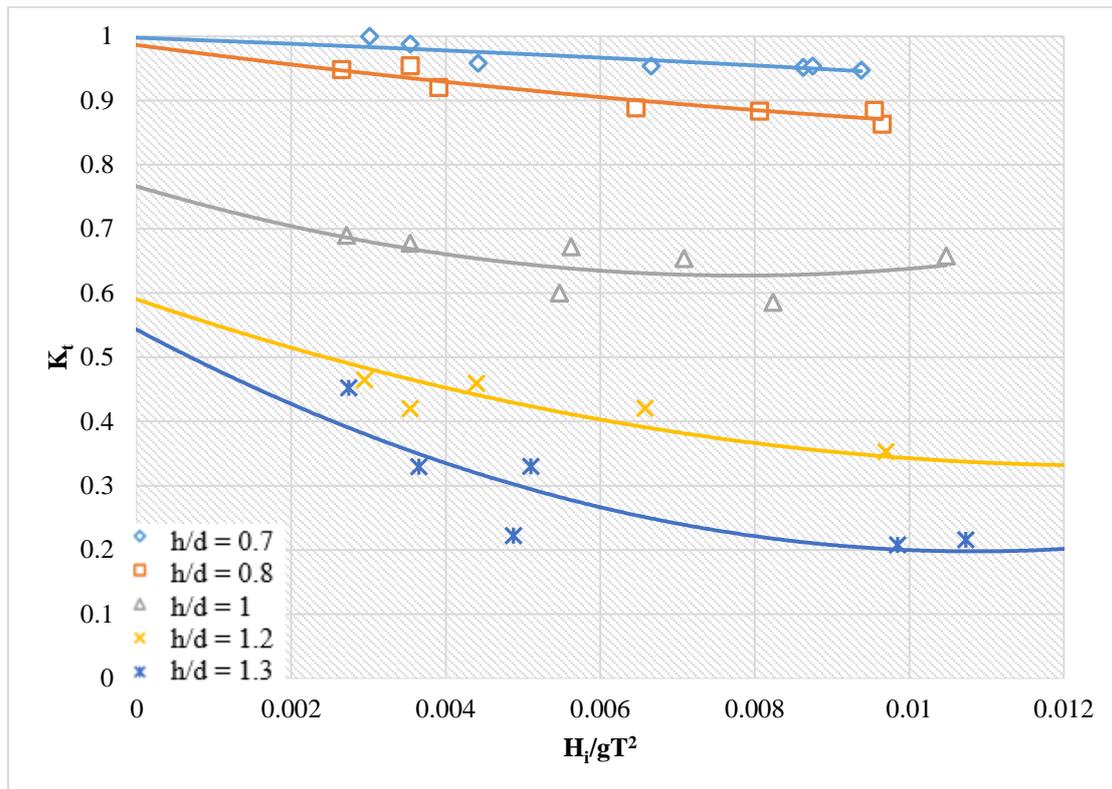
Gambar 4. 10 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada Sudut Flap  $45^\circ$

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pada sudut flap  $45^\circ$  koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) = 0.311 terjadi pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1.3$ ) dan koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 1 terjadi pada *relative depth submergence* ( $h/d = 0.7$ ). Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



Gambar 4. 11 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada Sudut Flap  $60^\circ$

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada sudut flap  $60^\circ$  koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) = 0.288 terjadi pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1.3$ ) dan koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 0.983 terjadi pada *relative depth submergence* ( $h/d = 0.7$ ). Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.



Gambar 4. 12 Hubungan *Wave Steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Pada Sudut Flap  $90^0$

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa pada sudut flap  $90^0$  koefisien transmisi terkecil ( $K_t$ ) = 0.189 terjadi pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1.3$ ) dan koefisien transmisi terbesar ( $K_t$ ) = 1 terjadi pada *relative depth submergence* ( $h/d = 0.7$ ). Dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan semakin rendah.

Berdasarkan hasil eksperimen di flume tank, observasi dilakukan untuk meninjau pengaruh masing-masing parameter tak berdimensi terhadap koefisien transmisinya sebagai berikut:

- Tes yang dilakukan pada *relative depth submergence* ( $h/d = 1.3$ ) atau dalam hal ini kedalaman terendah memiliki nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang paling rendah. Sementara pada *relative depth submergence* ( $h/d = 0.7$ ) atau dalam

hal ini kedalaman yang tinggi memiliki nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang paling tinggi.

- Pada *relative depth submergence* terendah ( $h/d = 0.7$ ) dengan tinggi OWS sekitar 70% dari kedalaman, tidak terdapat redaman gelombang yang signifikan. Hal ini dikarenakan gelombang tidak menyentuh permukaan dari OWS sehingga tidak terjadinya gesekan pada gelombang yang menyebabkan cepat rambat gelombang tidak mengalami penurunan, sehingga gelombang hanya akan melintas begitu saja pada permukaan air.
- Dampak pemasangan OWS pada *relative depth submergence* tinggi ( $h/d = 1.3$ ) atau dalam hal ini kedalaman rendah, memiliki nilai  $K_t$  berkisar antara 0.189-0.451. Hal ini berarti OWS mampu meredam gelombang datang lebih banyak dibandingkan pada *relative depth submergence* rendah ( $h/d = 0.7$ ) atau dalam hal ini kedalaman tinggi dengan nilai  $K_t$  sebesar 0.947-1.00
- Gelombang insiden dengan nilai *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) tinggi memiliki nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang rendah atau hubungan antara *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) berbanding terbalik terhadap nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ). Hal ini dikarenakan gelombang dengan kecuraman yang tinggi membuat gelombang tersebut menjadi tidak stabil dan mudah pecah. Menurut SPM (1984 Vol 1.1) saat gelombang mencapai batas kecuramannya, gelombang akan pecah dan terjadi disipasi energi. Hal ini terjadi sebagai akibat kecepatan partikel air pada puncak gelombang lebih tinggi dari cepat rambat gelombang. Perlu diketahui saat gelombang mengenai struktur OWS, cepat rambat gelombang tersebut akan berkurang.
- Nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang tertinggi ditemukan pada *relative depth submergence* rendah ( $h/d = 0.7$ ) dengan nilai *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) yang rendah. Gelombang dengan kecuraman yang rendah memiliki kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan gelombang dengan kecuraman yang lebih tinggi.
- Koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang paling rendah ditemukan pada sudut flap  $90^\circ$ . Hal ini dikarenakan struktur OWS mampu menghambat penjarangan gelombang dengan baik dibandingkan dengan sudut lainnya. Hal ini menyebabkan gelombang datang akan mengalami refleksi sehingga

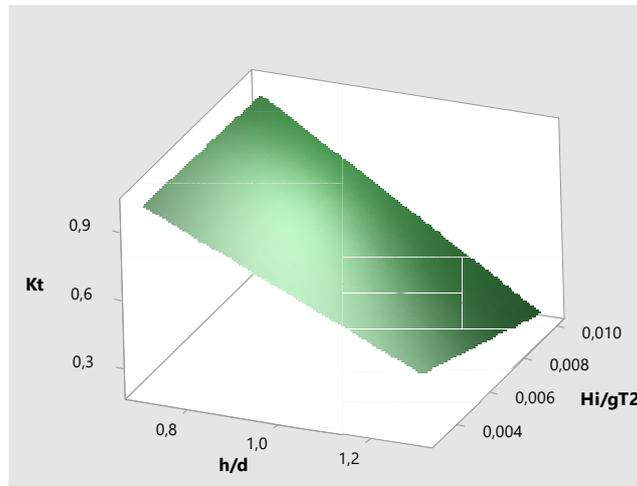
gelombang pantul akan mengalami superposisi terhadap gelombang datang lainnya, menyebabkan cepat rambat kedua gelombang tersebut saling meniadakan, gelombang bertambah tinggi hingga akhirnya menjadi tidak stabil. Ketidakstabilan pada gelombang disebabkan karena kecepatan partikel air pada puncak gelombang lebih besar daripada cepat rambatnya.

Pada eksperimen ini digunakan metode *steepest ascent* untuk mendapatkan hubungan antara variabel  $x_1 = h/d$  dan  $x_2 = H_i/gT^2$ . Tabel 4.6 menunjukkan perancangan eksperimen menggunakan metode *steepest ascent* untuk menemukan pengaruh *relative depth submergence* ( $h/d$ ) dan *wave steepness* ( $H_i/gT^2$ ) terhadap koefisien transmisi ( $K_t$ ).

Tabel 4. 6 Pengujian OWS dengan Metode *Steepest Ascent*

Run	Natural Variable		Coded Variable		Response
	h/d	$H_i/gT^2$	$x_1$	$x_2$	y
1	1.3	0.003	-1	-1	0.45
2	1.3	0.01	-1	1	0.21
3	0.7	0.003	1	-1	1.00
4	0.7	0.01	1	1	0.98
5	1	0.007	0	0	0.65
6	1	0.007	0	0	0.64
7	1	0.007	0	0	0.66
8	1	0.007	0	0	0.64
9	1	0.007	0	0	0.65

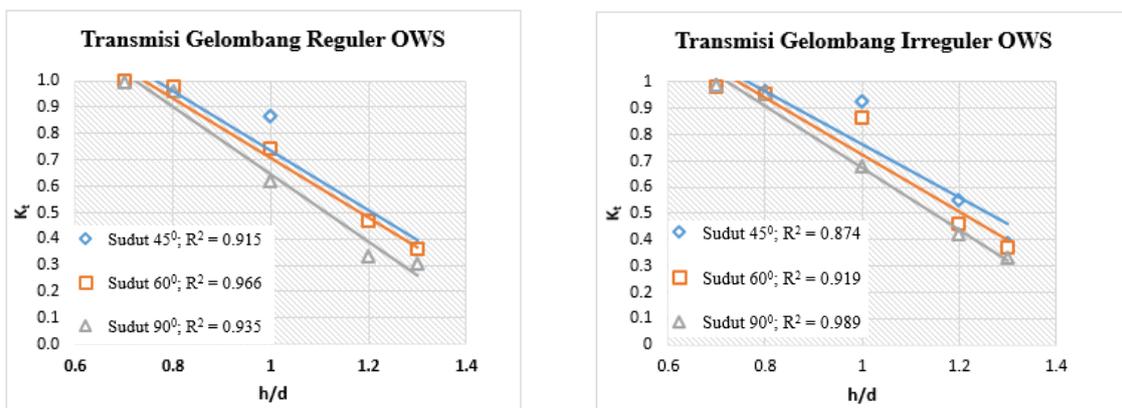
Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diidentifikasi bahwa nilai -1 menunjukkan angka variabel minimum, 1 menunjukkan angka variabel maksimum, dan 0 menunjukkan angka variabel rata-rata. Untuk *natural variable relative depth submergence* ( $h/d$ ) memiliki nilai minimum 0.7, nilai maksimum 1.3, dan nilai rata-rata 1. Untuk *natural variable*  $H_i/gT^2$  memiliki nilai minimum 0.003, nilai maksimum 0.01, dan nilai rata-rata 0.007. Hasil eksperimen pada laboratorium ditunjukkan oleh *response* ( $y$ ) yang merupakan nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ). Selanjutnya grafik *response surface* bisa didapat dengan bantuan *Software Minitab* seperti pada Gambar 4.12 berikut ini:



Gambar 4. 13 Response Surface  $K_t$  vs  $H_i/gT^2$ ;  $h/d$  Sudut Flap  $90^0$

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai parameter tak berdimensi *relative depth submergence* ( $h/d$ ) atau dalam hal ini kedalaman rendah maka koefisien transmisi ( $K_t$ ) akan menjadi semakin rendah. Di sisi lain kenaikan nilai parameter tak berdimensi kecuraman gelombang ( $H_i/gT^2$ ) akan menyebabkan penurunan nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ). Hal ini sesuai dengan analisis pada pembahasan sebelumnya.

#### 4.2.3 Perbandingan Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Reguler dan Irreguler



Gambar 4. 14 Perbandingan Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) Gelombang Reguler dan Irreguler

Berdasarkan gambar 4.14 dapat diidentifikasi bahwa koefisien transmisi ( $K_t$ ) pada gelombang reguler tidak berbeda jauh dengan gelombang irreguler. Gelombang yang diredam semakin banyak saat *relative depth submergence* ( $h/d$ ) semakin tinggi atau dalam hal ini kedalaman semakin rendah. Hal ini dikarenakan struktur OWS makin muncul ke permukaan sehingga lebih efektif dalam meredam gelombang insiden. Sementara itu gelombang akan teredam lebih banyak saat sudut flap  $90^\circ$  dibandingkan dengan sudut flap  $60^\circ$  dan  $45^\circ$ .

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dampak penempatan *Oscillating Wave Surge* terhadap redaman gelombang pada kondisi gelombang reguler menunjukkan bahwa semakin besar sudut flap dari OWS maka gelombang yang teredam akan semakin banyak. Selain itu, semakin rendah kedalaman perairan menyebabkan OWS mampu meredam gelombang datang lebih banyak. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) terkecil ditemukan pada sudut flap  $90^0$  dan kedalaman 21 cm yang berkisar antara 0.306-0.366. Sementara nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) terbesar ditemukan pada sudut flap  $45^0$  dan kedalaman 38 cm yang berkisar antara 0.996-0.998.
2. Dampak penempatan *Oscillating Wave Surge* terhadap redaman gelombang pada kondisi gelombang irreguler menunjukkan bahwa semakin besar sudut flap dari OWS maka gelombang yang teredam akan semakin banyak. Selain itu, semakin rendah kedalaman perairan menyebabkan OWS mampu meredam gelombang datang lebih banyak. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) terkecil ditemukan pada sudut flap  $90^0$  dan kedalaman 21 cm yang berkisar antara 0.329-0.388. Sementara nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) terbesar ditemukan pada sudut flap  $45^0$  dan kedalaman 38 cm yang berkisar antara 0.989-1.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan analisis dampak pemasangan OWS terhadap transport sedimennya
2. Perlu dilakukan analisis stabilitas OWS

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Armono, H. D. (2004). Wave Transmission over Hemispherical Shape Artificial Reefs. *Marine Technology Conference* (10 pp.). Johon Bahru, Malaysia: MARTEC.
- Bhattacharya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. Annapolis, Maryland: Wiley-Interscience.
- Chehaze, W., Chamoun, D., Bou-Mosleh, C., & Rahme, P. (2016). Wave Roller Device for Power Generation. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*, 144-150.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. USA: World Scientific.
- Departement of The Army. (1984). *Shore Protection Manual*. Mississippi: Waterways Experiment Station.
- Djatmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- Falnes, J. (2007). A Review of Wave-energy Extraction. *Marine Structures*, 185-201.
- Goda, Y. (1985). *Random Seas and Design of Marine Structure*. Japan: University of Tokyo Press.
- Hughes, S. (1993). *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. USA: Coastal Engineering Research Center.
- Kamphuis, J. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management*. Canada: World Scientific.
- Kinog, K. H. (2004). Transmisi Gelombang pada Breakwater Tenggelam. *Jurnal Teknik Sipil*, 11, 123-134.
- Lucas, J. M. (2012). Development of a wave energy converter (WEC) design tool-application to the WaveRoller WEC including validation of numerical estimates. *4th International Conference on Ocean Energy* (6 pp.). Dublin: International Conference on Ocean Energy.
- Maki, T., Vuorinen, M., & Mucha, T. (2014). WaveRoller-One of the Leading Technologies for Wave Energy Conversion. *5th International Conference on*

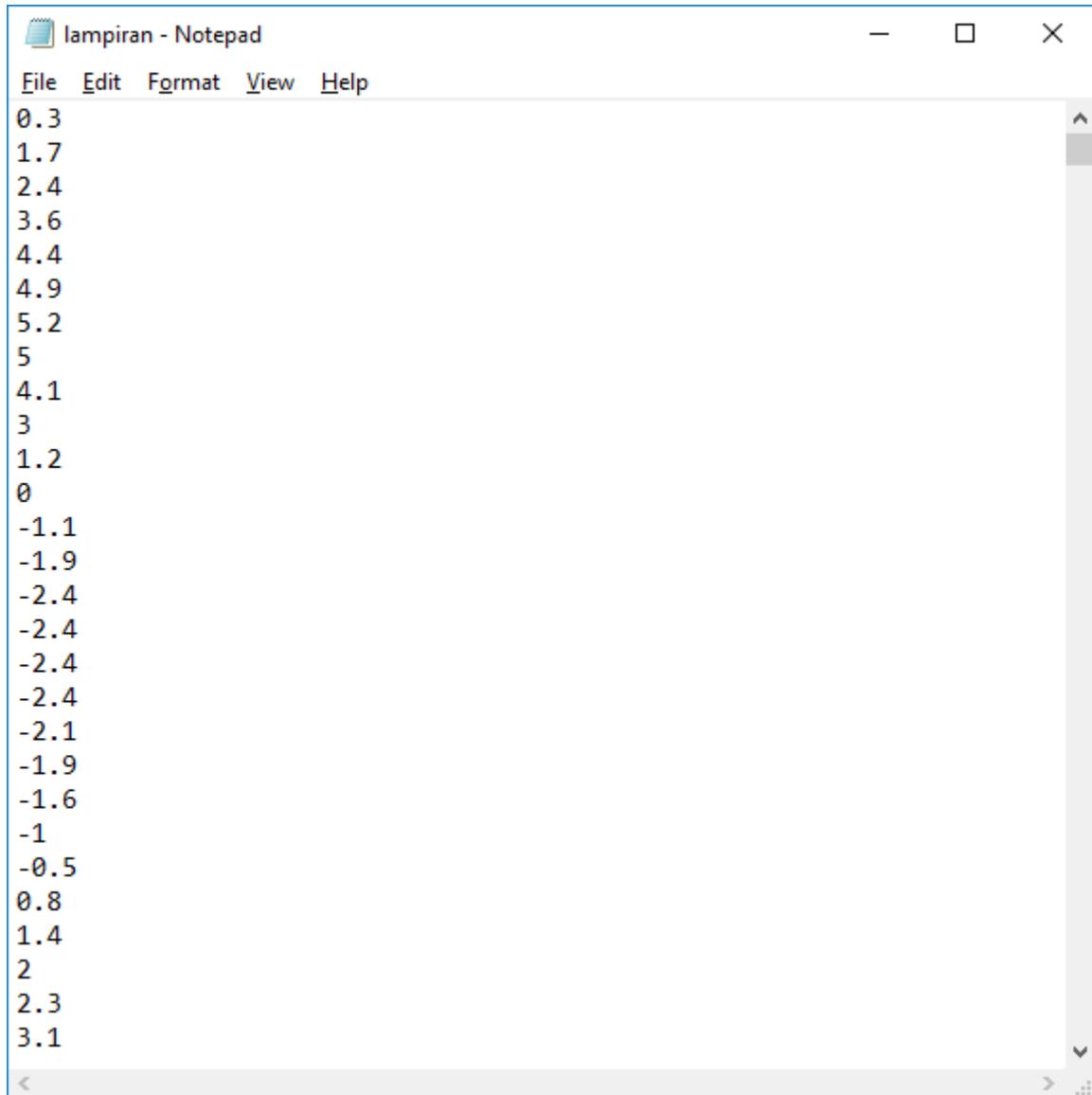
- Ocean Energy* (7 pp.). Halifax, Canada: International Conference on Ocean Energy.
- McCormick, M. (1973). *Ocean Engineering Wave Mechanics*. New York: Wiley-Interscience.
- Mukhtasor, & Firdaus, A. M. (2012). *Potensi Energi Gelombang Laut di Indonesia*. Jakarta: Asosiasi Energi Laut Indonesia.
- Neelmani, S., & Reddy, M. S. (1992). Wave Transmission and Reflection Characteristics of A Rigid Surface and Submerged Horizontal Plate. *Ocean Engng.*, 327-341.
- Norgaard, J. H., & Andersen, T. L. (2012). Investigation of Wave Transmission from a Floating Wave Dragon Wave Energy Converter. *International Offshore and Polar Engineering Conference* (pp. 509-516). Rhodes, Greece: International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Surendro, B., Yuwono, N., & Darsono, S. (2014). Transmisi dan Refleksi Gelombang pada Pemecah Gelombang Ambang Rendah Ganda Tumpukan Batu. *Jurnal MKTS*, 179-187.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Zanuttigh, B., Martinelli, L., Castagnetti, M., Ruol, P., Kofoed, J. P., & Frigaard, P. (2010). Integration of Wave Energy Converters Into Coastal Protection Schemes. *3rd International Conference on Ocean Energy* (6 pp.). Bilbao: ICOE 2010.

LAMPIRAN A. PEMBACAAN WAVE PROBE

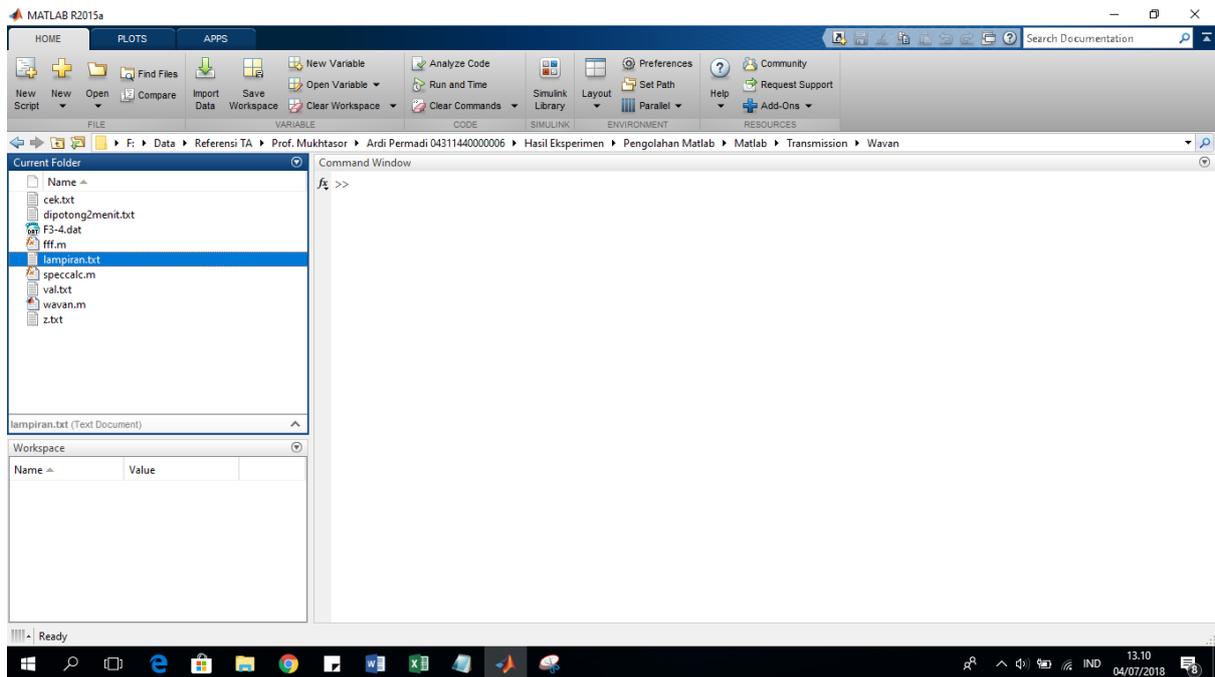
Time (s)	Ch 2 (mm)	Ch 4 (mm)
0.04	3	-50
0.08	17	-51
0.12	24	-46
0.16	36	-37
0.2	44	-26
0.24	49	-8
0.28	52	10
0.32	50	18
0.36	41	25
0.4	30	29
0.44	12	34
0.48	0	39
0.52	-11	40
0.56	-19	38
0.6	-24	34
0.64	-24	29
0.68	-24	24
0.72	-24	15
0.76	-21	4
0.8	-19	-5
0.84	-16	-16
0.88	-10	-24
0.92	-5	-32
0.96	8	-46
1	14	-48
1.04	20	-44
....	...	...
....	...	...
....	...	...
180.32	34	32
180.36	28	38
180.4	21	40
180.44	11	42
180.48	2	42
180.52	-6	44
180.56	-14	44
180.6	-20	44
180.64	-26	42
180.68	-30	34
180.72	-30	24

## LAMPIRAN B. PENGOLAHAN DATA DENGAN WAVAN

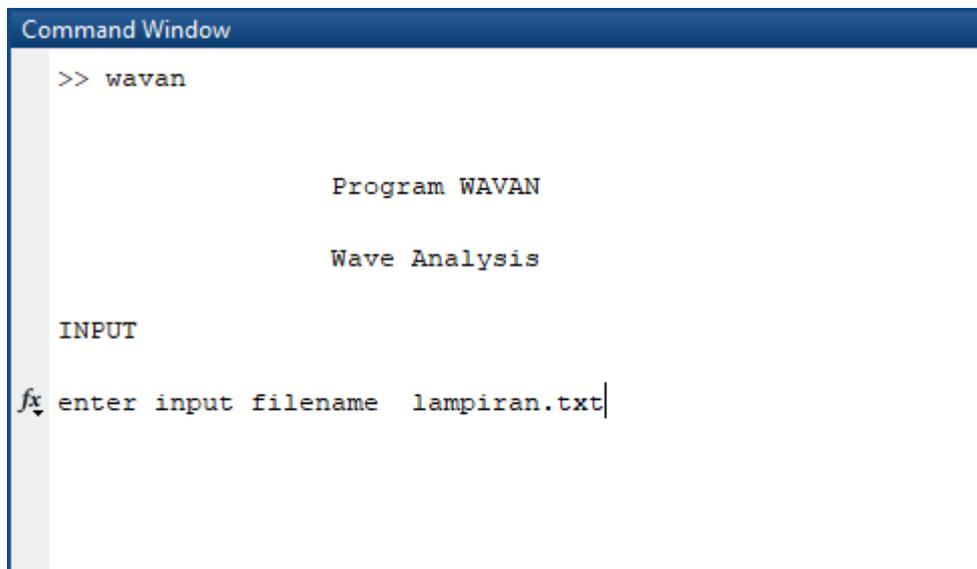
Setelah mendapatkan data pembacaan dari *wave probe*, selanjutnya data tersebut dikonversi ke satuan cm dan dipindahkan ke dalam notepad seperti pada gambar berikut:



Data yang telah dipindahkan ke dalam notepad selanjutnya disimpan pada folder Wavan untuk mempercepat pemanggilan data yang akan diolah seperti pada gambar berikut ini:



Pemanggilan file yang akan diolah dengan memasukkan perintah pada program Matlab seperti berikut:



Memasukkan input pengolahan Wavan sesuai dengan eksperimen yang kita lakukan

Command Window

```
>> wavan
```

```
Program WAVAN
```

```
Wave Analysis
```

```
INPUT
```

```
enter input filename lampiran.txt  
Enter Number of Columns in Input File: 1  
Enter Sampling Time, Delt: 0.04  
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4520  
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 1  
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2  
Enter Desired Resolution, M: 10
```

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

```
Basic Output
```

```
Mean Water Level      = 0.1008 centimetres  
Water Level Trend     = -0.00008 cm/s  
Sigma                 = 2.867 centimetres
```



Setelah itu memilih metode perhitungan gelombang dengan pilihan *up crossing method*, *down crossing method*, atau *average*. Kemudian akan muncul statistik gelombang seperti pada gambar berikut ini:

```
Command Window

Wave Statistics

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

Number of Waves          = 190
Average Wave Period      = 0.9516 seconds
Significant Wave Height  = 11.4156 centimetres
Maximum Wave Height     = 17.4000 centimetres
Average Wave Height      = 7.3336 centimetres
rms Wave Height          = 8.1405 centimetres
Average of Highest 1/10 = 13.6200 centimetres
SigmaZ                   = 2.2828 centimetres

For the Raw Spectrum

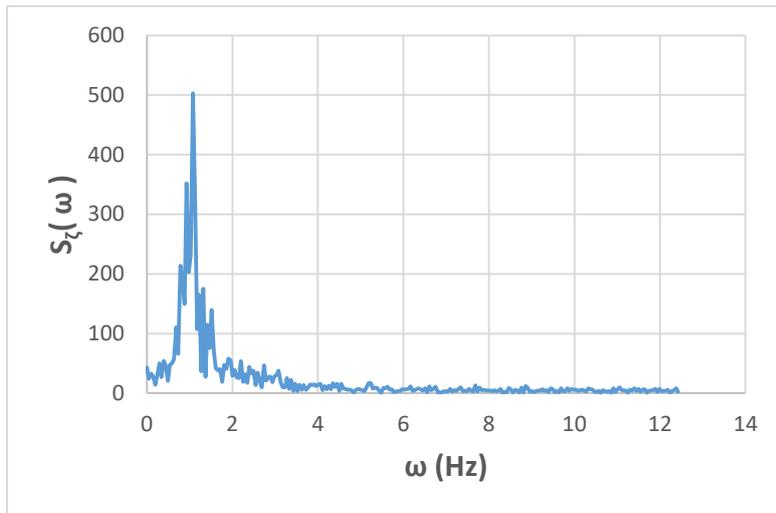
fmin                      = 0.0055 Hz
Sigma                     = 2.8669 cm
S(p)                     = 90.2839 cm2/Hz
f(p)                      = 0.9458 Hz
T(p)                      = 1.0573 sec
```

## LAMPIRAN C. VALIDASI PERIODE PUNCAK SECARA MANUAL DAN PROGRAM WAVAN, MATLAB

Data tinggi gelombang hasil pembacaan wave probe merupakan data gelombang dalam domain waktu. Data tersebut diubah menjadi spektra energi gelombang dalam domain frekuensi menggunakan algoritma deret Fourier. Algoritma yang digunakan telah dikembangkan sehingga proses transformasi secara numerik dapat dilakukan dengan cepat,, yang disebut dengan FFT (*Fast Fourier Transform*)

Time (s)	Hs (cm)	Kepadatan energi gelombang $S\zeta (\omega)$	$\omega$ (Hz)
0	0.3	43.20	0.00
0.04	1.7	24.47	0.05
0.08	2.4	32.93	0.10
0.12	3.6	28.30	0.15
0.16	4.4	14.21	0.20
0.2	4.9	29.94	0.24
0.24	5.2	50.12	0.29
0.28	5	26.77	0.34
0.32	4.1	54.42	0.39
0.36	3	46.54	0.44
0.4	1.2	20.40	0.49
0.44	0	47.14	0.54
0.48	-1.1	50.38	0.59
0.52	-1.9	56.98	0.64
0.56	-2.4	110.60	0.68
0.6	-2.4	66.13	0.73
0.64	-2.4	213.73	0.78
0.68	-2.4	193.45	0.83
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
0.92	0.8	342.35	1.13
20.04	-6.1	47.14	24.51
20.08	-5.7	20.40	24.56
20.12	-5	46.54	24.61
20.16	-4.1	54.42	24.66
20.2	-2.7	26.77	24.71
20.24	-1	50.12	24.76
20.28	0.7	29.94	24.80
20.32	2.4	14.21	24.85
20.36	3.8	28.30	24.90
20.4	5	32.93	24.95
20.44	5.7	24.47	25.00

Data yang telah diolah menggunakan FFT selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar berikut:



Hingga akhirnya didapatkan frekuensi sebesar 1.076 Hz dengan kepadatan energi 503.03. Frekuensi dirubah menjadi periode sehingga didapatkan periode puncak ( $T_p$ ) adalah 0.93 detik.

Hasil perhitungan periode puncak pada program Matlab, Wavan dapat dilihat sebagai berikut:

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

Number of Waves           = 31
Average Wave Period       = 0.9703 seconds
Significant Wave Height   = 11.3300 centimetres
Maximum Wave Height       = 14.8950 centimetres
Average Wave Height       = 7.3002 centimetres
rms Wave Height           = 8.0738 centimetres
Average of Highest 1/10   = 12.6690 centimetres
Sigma_z                   = 2.2031 centimetres

For the Raw Spectrum

fmin                       = 0.0332 Hz
Sigma                      = 2.8766 cm
S(p)                       = 59.3490 cm2/Hz
f(p)                       = 1.0638 Hz
T(p)                       = 0.9400 sec
```

Perbandingan hasil perhitungan manual dan Wavan sebagai berikut:

$T_p$ Manual (s)	0.93
$T_p$ Wavan (s)	0.94
Error (%)	1.06%

LAMPIRAN D. TABEL PERHITUNGAN KOEFISIEN TRANSMISI

$H_{input}$  2 cm;  $T_{input}$  1.5 detik

No	Variasi (F/d)	Sudut Flap (deg)	Hi (m)	Ti (s)	Ht (m)	$H_i/gT^2$	Kt
1	-0.3	45	5.136	1.380	2.3192	0.003	0.452
2	-0.3	60	5.344	1.380	2.4552	0.003	0.459
3	-0.3	90	5.128	1.380	2.3192	0.003	0.452
4	-0.17	45	4.752	1.380	2.576	0.003	0.542
5	-0.17	60	5.128	1.350	2.74	0.003	0.534
6	-0.17	90	5.192	1.340	2.776	0.003	0.535
7	0	45	4.536	1.300	4.272	0.003	0.942
8	0	60	4.512	1.266	3.9256	0.003	0.870
9	0	90	4.856	1.350	3.352	0.003	0.690
10	0.18	45	4.496	1.300	4.385	0.003	0.975
11	0.18	60	4.552	1.300	4.365	0.003	0.959
12	0.18	90	4.672	1.340	4.4298	0.003	0.948
13	0.3	45	5.43	1.310	5.43	0.003	1.000
14	0.3	60	5.14	1.260	5.052	0.003	0.983
15	0.3	90	5.42	1.260	5.42	0.003	1.000

$H_{input}$  3 cm;  $T_{input}$  1.1 detik

No	Variasi (F/d)	Sudut Flap (deg)	Hi (cm)	Ti (s)	Ht (cm)	$H_i/gT^2$	Kt
1	-0.3	45	7.446	0.912	2.690	0.0091	0.361
2	-0.3	60	7.99	0.876	2.325	0.0106	0.291
3	-0.3	90	7.969	0.870	1.720	0.0107	0.216
4	-0.17	45	8.13	0.912	3.900	0.0100	0.480
5	-0.17	60	8.143	0.910	3.353	0.0100	0.412
6	-0.17	90	7.706	0.900	2.720	0.0097	0.353
7	0	45	7.93	0.912	6.750	0.0097	0.851
8	0	60	8.22	0.912	6.411	0.0101	0.780
9	0	90	8.09	1.079	5.290	0.0071	0.654
10	0.18	45	8.58	0.980	8.200	0.0091	0.956
11	0.18	60	7.92	0.984	7.140	0.0083	0.902
12	0.18	90	7.89	0.913	6.811	0.0096	0.863
13	0.3	45	7.48	0.889	7.390	0.0096	0.988
14	0.3	60	8.18	0.910	7.959	0.0101	0.973
15	0.3	90	7.87	0.925	7.460	0.0094	0.948

$H_{input}$  3 cm;  $T_{input}$  1.3 detik

No	Variasi (F/d)	Sudut Flap (deg)	Hi (m)	Ti (s)	Ht (m)	$H_i/gT^2$	Kt
1	-0.3	45	7.852	1.246	2.882	0.005	0.367
2	-0.3	60	7.809	1.240	2.290	0.005	0.293
3	-0.3	90	7.425	1.246	1.650	0.005	0.222
4	-0.17	45	7.69	1.241	3.970	0.005	0.516
5	-0.17	60	7.632	1.247	3.444	0.005	0.451
6	-0.17	90	8.39	1.140	3.530	0.007	0.421
7	0	45	8.4	1.310	7.170	0.005	0.854
8	0	60	7.382	1.190	6.300	0.005	0.853
9	0	90	7.29	1.150	4.900	0.006	0.672
10	0.18	45	8.35	1.230	8.010	0.006	0.959
11	0.18	60	8.74	1.220	7.810	0.006	0.894
12	0.18	90	7.81	1.110	6.940	0.006	0.889
13	0.3	45	7.639	1.250	7.610	0.005	0.996
14	0.3	60	7.55	1.270	7.410	0.005	0.981
15	0.3	90	8.342	1.130	7.952	0.007	0.953

$H_{input}$  3 cm;  $T_{input}$  1.5 detik

No	Variation	Sudut Flap (deg)	Hi (m)	Ti (s)	Ht (m)	$H_i/gT^2$	Kt
1	d = 6/8 h	45	7.88	1.282	3.050	0.005	0.387
2	d = 6/8 h	60	7.68	1.300	2.680	0.005	0.349
3	d = 6/8 h	90	8.2	1.280	2.706	0.005	0.330
4	d = 6/7 h	45	7.324	1.307	4.040	0.004	0.552
5	d = 6/7 h	60	8.106	1.319	3.760	0.005	0.464
6	d = 6/7 h	90	7.29	1.300	3.350	0.004	0.460
7	d = h	45	7.732	1.277	6.860	0.005	0.887
8	d = h	60	7.948	1.430	6.375	0.004	0.802
9	d = h	90	8.25	1.240	4.950	0.005	0.600
10	d = 6/5 h	45	7.324	1.300	7.103	0.004	0.970
11	d = 6/5 h	60	7.3196	1.300	6.860	0.004	0.937
12	d = 6/5 h	90	7.4118	1.390	6.820	0.004	0.920
13	d = 6/4 h	45	7.353	1.300	7.240	0.004	0.985
14	d = 6/4 h	60	7.395	1.300	7.244	0.004	0.980
15	d = 6/4 h	90	7.326	1.300	7.030	0.004	0.960

$H_{input}$  4 cm;  $T_{input}$  1.1 detik

No	Variasi (F/d)	Sudut Flap (deg)	Hi (m)	Ti (s)	Ht (m)	$H_i/gT^2$	Kt
1	-0.3	45	11.23	1.000	3.497	0.01	0.311
2	-0.3	60	10.93	1.100	3.178	0.01	0.291
3	-0.3	90	11.69	0.990	2.210	0.01	0.189
4	-0.17	45	11.05	0.870	4.530	0.01	0.410
5	-0.17	60	11.6	0.982	3.740	0.01	0.322
6	-0.17	90	11.01	0.965	3.760	0.01	0.342
7	0	45	10.7	1.000	7.801	0.01	0.729
8	0	60	11.44	1.050	8.320	0.01	0.727
9	0	90	11.33	1.050	7.450	0.01	0.658
10	0.18	45	10.72	1.019	9.872	0.01	0.921
11	0.18	60	11.305	1.070	9.937	0.01	0.879
12	0.18	90	11.19	1.093	9.898	0.01	0.885
13	0.3	45	10.92	1.003	10.717	0.01	0.981
14	0.3	60	11.07	1.160	10.804	0.01	0.976
15	0.3	90	11.39	1.160	10.839	0.01	0.952

$H_{input}$  4 cm;  $T_{input}$  1.3 detik

No	Variasi (F/d)	Sudut Flap (deg)	Hi (m)	Ti (s)	Ht (m)	$H_i/gT^2$	Kt
1	-0.3	45	12.71	1.100	4.305	0.011	0.339
2	-0.3	60	11.55	1.096	3.913	0.010	0.339
3	-0.3	90	11.54	1.093	2.400	0.010	0.208
4	-0.17	45	11.32	1.206	5.290	0.008	0.467
5	-0.17	60	12.44	1.206	4.710	0.009	0.379
6	-0.17	90	11.69	0.949	3.680	0.013	0.315
7	0	45	11.31	1.280	8.330	0.007	0.737
8	0	60	11.72	1.206	7.140	0.008	0.609
9	0	90	11.83	1.210	6.930	0.008	0.586
10	0.18	45	11.37	1.280	10.718	0.007	0.943
11	0.18	60	11.58	1.194	10.116	0.008	0.874
12	0.18	90	11.5	1.206	10.160	0.008	0.883
13	0.3	45	11.64	1.000	11.396	0.012	0.979
14	0.3	60	12.57	1.190	12.143	0.009	0.966
15	0.3	90	12.48	1.206	11.903	0.009	0.954

LAMPIRAN E. DOKUMENTASI KEGIATAN

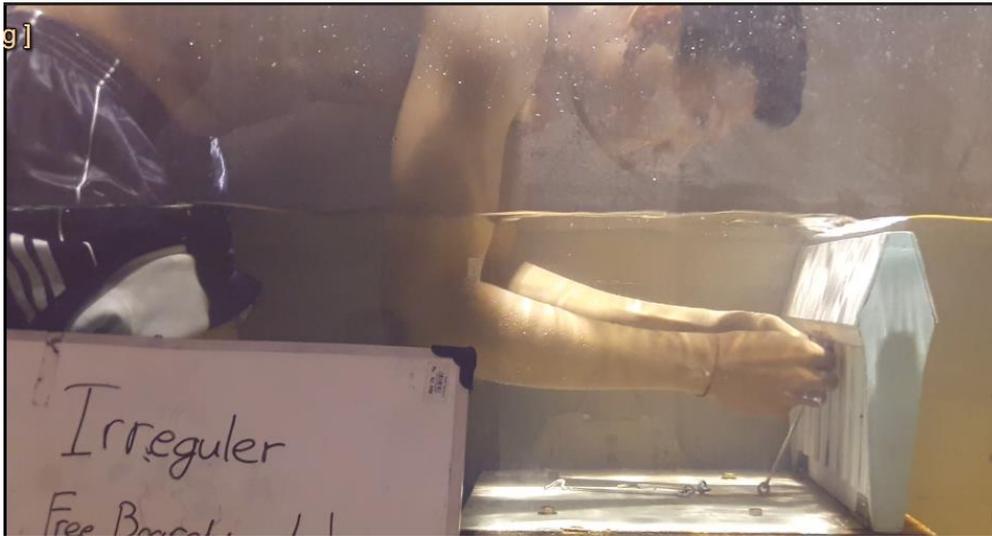
*MODEL OSCILLATING WAVE SURGE*



*KALIBRASI WAVE PROBE*



PELETAKAN MODEL OWS PADA KOLAM GELOMBANG



## BIODATA PENULIS



**Ardi Permadi**, lahir di Singaraja pada tanggal 11 April 1996, merupakan anak ke-2 dari pasangan Mistaji dan Ketut Satianing. Penulis memulai pendidikan formal pada jenjang taman kanak-kanak di TK Kumala Bhayangkari pada tahun 2000-2002. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD No 5 Kampung Baru pada tahun 2002-2008 dengan predikat lulusan terbaik. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Singaraja pada tahun 2008-2011, untuk selanjutnya diterima di SMA Negeri 1 Singaraja sejak 2011-2014. Setelah lulus dari SMA, penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada program studi Teknik Kelautan dengan NRP 04311440000006. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan, organisasi dan kepanitiaan. Penulis menjabat sebagai Staff Hubungan Internal TPKH-ITS pada masa kepengurusan 2015/2016. Kemudian menjabat sebagai Wakil Ketua Harian II TPKH-ITS pada masa kepengurusan 2016/2017. Selama menjabat, penulis berhasil meraih kejuaran di bidang non-akademis yaitu Juara 3 Lomba Futsal TPKH Games tingkat se-Jawa pada tahun 2015 dan Juara 1 Hindu Youth Futsal Competition 2017. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepedulian sosial, diantaranya sempat terjun sebagai panitia Pembangunan Pura Kahyangan Jagat Kendalisodo Malang dan Pura Satya Dharma Kediri pada tahun 2016, dan Pembangunan Pura Sasana Bina Yoga Mojokerto pada tahun 2015. Penulis pernah melakukan kerja prakterk selama 2 bulan di PT Gearindo Prakarsa yang bertempat di Bekasi, Jawa Barat.

*Contact Person:* [ardipermadi1996@gmail.com](mailto:ardipermadi1996@gmail.com)