



TESIS - MO 185401

**OPTIMALISASI BENTUK PEMECAH GELOMBANG APUNG  
DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)**

**ASFARUR RIDLWAN**

**NRP. 04311850010008**

**DOSEN PEMBIMBING:**

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

**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T. M.T.**

**PROGRAM MAGISTER**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**2019**



**TESIS - MO 185401**

**OPTIMALISASI BENTUK PEMECAH GELOMBANG APUNG  
DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)**

**ASFARUR RIDLWAN**

**NRP. 04311850010008**

**DOSEN PEMBIMBING:**

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

**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T. M.T.**

**PROGRAM MAGISTER**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**THESIS - MO 185401**

**OPTIMIZATION OF FLOATING BREAKWATER SHAPE WITH  
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) METHODS**

**ASFARUR RIDLWAN**

**NRP. 04311850010008**

**Supervisors:**

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

**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T. M.T.**

**MASTER PROGRAM**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**ASFARUR RIDLWAN**

**NRP: 04311850010008**

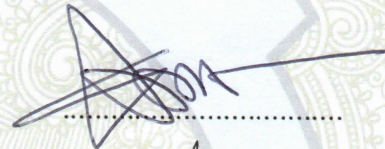
Tanggal Ujian: 23 Desember 2019

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP: 196808101995121001

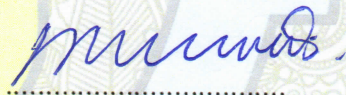


2. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.  
NIP: 1990201812030

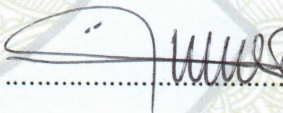


**Penguji:**

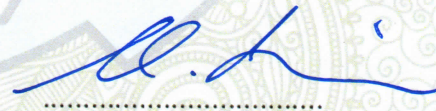
1. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc.  
NIP: 196012141989031001



2. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP: 197107231995121001



3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.  
NIP: 197702252002121002



Kepala Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan

**Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D**

NIP: 197304152000031001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## OPTIMALISASI BENTUK PEMECAH GELOMBANG APUNG DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

**Nama Penulis** : Asfarur Ridlwan  
**NRP** : 04311850010008  
**Departemen** : Teknik Kelautan FTK - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D  
Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

### ABSTRAK

Pemecah gelombang merupakan salah satu struktur pantai yang dibangun dengan tujuan untuk melindungi daerah pantai terhadap gelombang. Struktur ini umumnya dirancang untuk melindungi kapal dan fasilitas yang berada di Pelabuhan. Pemecah gelombang yang sering diterapkan adalah pemecah gelombang konvensional seperti tipe *rubble mound*. Perubahan iklim yang menyebabkan adanya variasi pasang surut dan ketinggian permukaan air laut yang cenderung berubah sewaktu-waktu, serta kondisi tanah yang tidak cocok menerima beban struktur yang cenderung besar akan memakan biaya dan lebih ekonomis jika menggunakan *floating breakwater*, apalagi jika di terapkan pada kedalaman lebih dari 3 meter. Seiring waktu, permintaan pembangunan *floating breakwater* meningkat sehingga para ilmuwan dan insinyur banyak melakukan pengembangan penelitian baik secara eksperimen fisik maupun model numerik. Dalam penelitian ini dilakukan permodelan numerik dengan bantuan *software Flow 3D* dimana menerapkan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Validasi dilakukan dengan membandingkan model *regular pontoon* (RG) uji eksperimen dan simulasi numerik. Terdapat tiga pengembangan model *floating breakwater* guna untuk mengoptimalkan nilai koefisien transmisi yaitu *square notch* (SQ), *circular notch* (CN), dan *triangular notch* (VN). Model di uji dengan gelombang non linear stokes orde 2 dengan rentang nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) antara 0.0016 hingga 0.0031. Area uji simulasi berupa *wave flume* dengan dimensi 10 m x 0.6 m x 0.8 m (panjang, lebar, tinggi) dengan kedalaman elevasi air tenang sebesar 0.615 m. Hasil validasi model menunjukkan tervalidasi dengan tingkat kesalahan sebesar 8,5% sehingga dapat dilakukan simulasi ketiga model pengembangan *floating breakwater*. Dari keseluruhan hasil simulasi pengembangan model *floating breakwater* diperoleh bahwa struktur SQ merupakan struktur paling optimal dengan koefisien transmisi rata-rata sebesar 0.6248. Sedangkan, koefisien transmisi rata-rata struktur CN dan VN masing-masing sebesar 0.6886 dan 0.6735.

Kata kunci : Breakwater, *Computational Fluid Dynamics*, *Floating Breakwater*, *Flow 3D*, Koefisien Transmisi, Pemecah Gelombang Apung, *Volume of Fluid*



*Halaman sengaja dikosongkan*

## **OPTIMIZATION OF FLOATING BREAKWATER SHAPE WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) METHODS**

**Author** : Asfarur Ridlwan  
**NRP** : 04311850010008  
**Department** : Ocean Engineering FTK - ITS  
**Supervisors** : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D  
Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

### **ABSTRACT**

Breakwater is one of coastal structures that was built to protect the coastal area against waves. This structure is generally designed to protect ships and facilities at the Port. Breakwaters that are often applied are conventional breakwaters such as the rubble mound type. Climate change that causes tidal variations and sea level height which tends to change at any time, as well as unsuitable soil conditions to receive large structural loads will be costly and more economical if using floating breakwater, especially if applied at deeper depths from 10 ft. Over time, the demand for floating breakwater development increased so that scientists and engineers did a lot of research development both in physical experiments and numerical models. In this research numerical modeling is done with the help of Flow 3D software which applies the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. Validation is done by comparing the regular pontoon (RG) model of experimental tests and numerical simulations. There are three floating breakwater model developments in order to optimize the transmission coefficient value, namely square notch (SQ), circular notch (CN), and triangular notch (VN). The model was tested with second order non linear stokes waves with a range of wave steepness values ( $H/gT^2$ ) between 0.0016 to 0.0031. The simulation test area is a wave flume with dimensions of 10 m x 0.6 m x 0.8 m (length, width, height) with a calm water elevation depth of 0.615 m. The result of the model validation shows that it is validated with an error rate of 8.5% so that it can do a simulation of the three floating breakwater development models. From the overall simulation results of the development of the floating breakwater model it is found that the SQ structure is the most optimal structure with an average transmission coefficient of 0.6248. Meanwhile, the average transmission coefficient of the CN and VN structures were 0.6886 and 0.6735, respectively.

**Keywords** : Breakwater, Computational Fluid Dynamics (CFD), Floating Breakwater, Flow 3D, Transmission Coefficient, Volume of Fluid (VOF)

*Halaman sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah wa syukurillah penulis panjatkan pada Allah SWT yang telah melimpahkan seluruh rahmat dan hidayah-Nya serta mencurahkan semua nikmat Iman dan Islam sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian thesis dengan judul: **“Optimalisasi Bentuk Pemecah Gelombang Apung Dengan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)”**.

Penelitian ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Magister (S-2) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penelitian ini membahas tentang studi optimalisasi bentuk pemecah gelombang apung dengan menggunakan pendekatan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mendapatkan koefisien redaman gelombang yang optimal.

Penulis sangat mengharapkan agar penelitian ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam lingkup rekayasa kelautan serta dapat dikembangkan kedalam penelitian yang lebih intensif dan ekstensif.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyelesaian penelitian ini terdapat kekurangan, maka diharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penelitian mendatang. Akhir kata penulis hanya dapat berharap penelitian ini terus berkembang agar bermanfaat bagi kemajuan dunia kelautan.

Surabaya, 23 Desember 2019

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan penulis dalam menyusun penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan bimbingan dari semua pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan tulus kepada :

1. Allah SWT, atas segala keberkahan dan kemudahan yang selalu diberikan.
2. Ibu Imamah dan Bapak Mutawadian sebagai orang tua kandung saya dan keluarga besar di kampung halaman, atas bantuan material dan perhatiannya yang selalu bisa menghidupkan semangat saya untuk mengerjakan penelitian ini.
3. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, motivasi, dan saran dalam penyelesaian penelitian ini.
4. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan waktunya dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Berkat jasa dan bimbingannya, penulis menjadi lebih mengerti tentang studi dalam penelitian ini lebih mendalam.
5. Teman-teman Pascasarjana Teknik Kelautan yang selalu memberikan *support* untuk bisa segera menyelesaikan studi magister (S-2)
6. Pihak-pihak lain yang membantu pelaksanaan dan penyelesaian penulisan penelitian ini yang mohon maaf tidak bisa disebutkan satu pesatu.

Penulis berhadap thesis ini dapat memberikan kebermanfaatan kepada setiap pihak terkait.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	7

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Teori Gelombang Linier.....	9
2.2 Penentuan Teori Gelombang.....	11
2.3 Teori Gelombang Stokes Orde 2.....	12
2.4 Bangunan Pemecah Gelombang ( <i>Breakwater</i> ).....	13
2.4.1 Tipe Bangunan Pemecah Gelombang ( <i>Breakwater</i> ).....	13

2.5	Bangunan Pemecah Gelombang Apung ( <i>Floating Breakwater</i> ).....	16
2.6	Aplikasi Pemecah Gelombang Apung ( <i>Floating Breakwater</i> ).....	19
2.7	Koefisien Transmisi Bangunan Pemecah Gelombang Apung ( <i>Floating Breakwater</i> ) .....	20
2.8	Metode Volume of Fluid (VOF).....	21
2.9	Permodelan Numerik Menggunakan Flow 3D Science Software .....	24
2.10	Validasi Model Hasil Simulasi Numerik.....	26

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2	Alur Diagram Alir Penelitian .....	28
3.3	Langkah Pengerjaan .....	34
3.3.1	Mendesain Model Struktur .....	34
3.3.2	Permodelan Menggunakan Flow-3D .....	34

### BAB IV ANALISI DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Permodelan Numerik.....	45
4.2	<i>Free Surface Elevation</i> .....	47
4.3	Validasi Model .....	49
4.4	Koefisien Transmisi Model Eksplorasi .....	52
4.4.1	Koefisien Transmisi Model Square Notch (SQ).....	52
4.4.2	Koefisien Transmisi Model Circular Notch (CN) .....	53
4.4.3	Koefisien Transmisi Model Triangular Notch (VN) .....	54
4.5	Perbandingan Koefisien Transmisi Model Terhadap Frekuensi (f) .....	56
4.6	Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) Terhadap Koefisien Transmisi .....	57
4.7	Pengaruh Variasi Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) Terhadap Koefisien Transmisi Model <i>Square Notch</i> (SQ) .....	59

## BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan..... 61

5.2 Saran..... 62

DAFTAR PUSTAKA ..... 63

LAMPIRAN A. Desain Permodelan Pada Software Flow 3D ..... 67

LAMPIRAN B. Hasil Simulasi Profile 2D (Sumbu X-Z) ..... 69

LAMPIRAN C. Hasil Analisis Data Time Series Dengan WAVAN ..... 73

LAMPIRAN D. Script Code/Prepin Flow 3D ..... 75

LAMPIRAN E. Rekap Data Gelombang Hasil Pengujian..... 83

BIODATA PENULIS



Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	(a) Pemecah Gelombang Konvensional [Integrated Publishing, 2019] (b) Pemecah Gelombang Apung [SF Marina, 2019] ..... 1
Gambar 1.2	Biaya Konstruksi Pemecah Gelombang (dalam Euro) per Meter [Fousert, 2006] ..... 2
Gambar 1.3	Hasil Pengujian Model Pemecah Gelombang Apung dengan <i>Styrofoam</i> [Armono et al, 2009] ..... 4
Gambar 2.1	Parameter Gelombang Reguler [Triatmodjo, 1999]..... 10
Gambar 2.2	Grafik <i>Region of Validity of Wave Theories</i> [Le Mehaute, 1976] ..... 12
Gambar 2.3	Pemecah Gelombang Konvensional Tipe Gundukan ( <i>mound</i> ) [Biesheuvel, 2013]..... 14
Gambar 2.4	Pemecah Gelombang Konvensional Tipe Monolitik [Biesheuvel, 2013]..... 14
Gambar 2.5	Pemecah Gelombang Konvensional Tipe Komposit [Biesheuvel, 2013]..... 15
Gambar 2.6	Pemecah Gelombang Tipe Tidak Konvensional [Biesheuvel, 2013] ..... 15
Gambar 2.7	Tipe Pemecah Gelombang Apung [McCartney, 1985] ..... 16
Gambar 2.8	(a) Tipe Pontoon [Biesheuvel, 2013]; (b) Tipe A-Frame [Morey, 1998]; (c) Tipe Hinge [Leach et al., 1985]..... 17
Gambar 2.9	(a) Tipe <i>Scrap Tire</i> [Harms et al., 1982]; (b) Tipe <i>Tethered Float</i> [Biesheuvel, 2013]; (c) Tipe <i>Porous Wall</i> [Biesheuvel, 2013]; (d) Tipe <i>Wave Trap</i> [Biesheuvel, 2013]..... 18

Gambar 2.10	Interaksi Antara Gelombang Datang dan Struktur Pemecah Gelombang Apung [Biesheuvel, 2013].....	21
Gambar 2.11	Nilai dari fungsi <i>VOF</i> untuk fluida permukaan [Monaco, 2010] .....	22
Gambar 2.12	Metode perhitungan menggunakan <i>TrueVOF</i> [Monaco, 2010] .....	23
Gambar 2.13	Perbandingan Metode <i>VOF</i> dengan <i>TrueVOF</i> [Monaco, 2010] .....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengerjaan Thesis .....	28
Gambar 3.2	<i>Cross Section Regular Pontoon Floating Breakwater</i> [Christensen, 2018] .....	29
Gambar 3.3	(a) Posisi Wave Gauges [dalam mm]; (b) Sketsa <i>Wave Flume</i> [Christensen, 2018] .....	31
Gambar 3.4	Model <i>RG Floating Breakwater</i> .....	31
Gambar 3.5	Model Pengembangan <i>Floating Breakwater</i> .....	32
Gambar 3.6	Permodelan Model <i>Floating Breakwater</i> .....	33
Gambar 3.7	Tampilan Submenu Workspace Flow 3D .....	34
Gambar 3.8	Tampilan Submenu Simulation.....	35
Gambar 3.9	Tampilan Submenu Model Setup.....	35
Gambar 3.10	Tampilan Submenu General .....	35
Gambar 3.11	Tampilan Submenu Physics .....	36
Gambar 3.12	Tampilan Submenu Fluids .....	37
Gambar 3.13	Tampilan Submenu Meshing And Geometry .....	37
Gambar 3.14	Tampilan Submenu Boundary Condition .....	38
Gambar 3.15	Tampilan Submenu Wave Probe .....	39
Gambar 3.16	Tampilan Submenu Output .....	40
Gambar 3.17	Tampilan Submenu Numerics.....	40
Gambar 3.18	Hasil Simulasi Pada Submenu Analyze .....	41
Gambar 3.19	Diagram Alir Pengolahan Data Menggunakan WAVAN.....	42
Gambar 3.20	Hasil Pengolahan Data Gelombang Menggunakan WAVAN..	43
Gambar 4.1	Hasil Grafik <i>Free Surface Elevation</i> Permodelan Numerik .....	46
Gambar 4.2	<i>Free Surface Elevation</i> Gelombang Input .....	46

Gambar 4.3	Hasil Tabel <i>Free Surface Elevation</i> Permodelan Numerik .....	47
Gambar 4.4	Hasil Gambar <i>Free Surface Elevation</i> Permodelan Numerik ..	47
Gambar 4.5	Elevasi Muka Air Percobaan Uji Gelombang 1 .....	48
Gambar 4.6	Koefisien Transmisi Eksperimen Christensen.....	50
Gambar 4.7	Regresi Koefisien Transmisi Eksperimen dan Numerik .....	51
Gambar 4.8	Validasi Koefisien Transmisi Eksperimen dan Numerik .....	52
Gambar 4.9	Koefisien Transmisi Model Square Notch (SQ) .....	53
Gambar 4.10	Koefisien Transmisi Model Circular Notch (CN) .....	54
Gambar 4.11	Koefisien Transmisi Model Triangular Notch (VN) .....	55
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Nilai Koefisien Transmisi Antar Model. .....	57
Gambar 4.13	Perbandingan Nilai Koefisien Transmisi VS Kecuraman Gelombang .....	58
Gambar 4.14	Grafik Nilai Koefisien Transmisi ( $K_T$ ) Terhadap Variasi Nilai Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) pada Model <i>Square Notch</i> (SQ) .....	60

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Keuntungan dan Kerugian Pemecah Gelombang Apung .....	3
Tabel 2.1. Parameter-parameter Gelombang .....	9
Tabel 3.1. Data Dimensi Model <i>Floating Breakwater</i> [Christensen, 2018] .....	29
Tabel 3.2. Data Lingkungan Tes Model [dalam skala 1:65].....	30
Tabel 3.3. Dimensi <i>Wave Flume</i> Model Eksperimen .....	30
Tabel 3.4. Boundary Setting Conditions .....	39
Tabel 4.1. Data Parameter Gelombang Hasil Analisis Wavan Coding Percobaan 1 (H=0.023 m, dan T=0.868s) .....	49
Tabel 4.2. Hasil Digitasi Koefisien Transmisi Eksperimen Christensen .....	50
Tabel 4.3. Koefisien Transmisi Eksperimen dan Numerik Regular Pontoon (RG) .....	51
Tabel 4.4. Tabel <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE).....	51
Tabel 4.5. Nilai Koefisien Transmisi Model <i>Square Notch</i> (SQ) .....	53
Tabel 4.6. Nilai Koefisien Transmisi Model <i>Circular Notch</i> (CN).....	54
Tabel 4.7. Nilai Koefisien Transmisi Model <i>Triangular Notch</i> (VN).....	55
Tabel 4.8. Perbandingan Koefisien Transmisi Model .....	56
Tabel 4.9. Perbandingan Koefisien Transmisi VS Kecuraman Gelombang.....	58
Tabel 4.10. Nilai Koefisien Transmisi ( $K_T$ ) Terhadap Variasi Nilai Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) pada Model <i>Square Notch</i> (SQ) .....	60

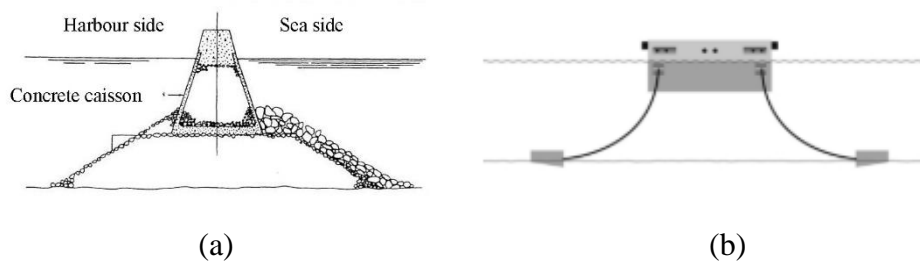
*Halaman sengaja di kosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemecah gelombang adalah salah satu struktur pantai yang dibangun dengan tujuan untuk melindungi daerah pantai terhadap gelombang. Struktur ini umumnya dirancang untuk melindungi kapal dan fasilitas yang berada di Pelabuhan. Tetapi terkadang juga struktur pemecah gelombang dibangun untuk melindungi habitat berharga ekosistem laut dari kekuatan destruktif gelombang atau untuk melindungi pantai dari erosi [Verhagen et al., 2008]. Pemecah gelombang dibedakan menjadi dua jenis yaitu pemecah gelombang konvensional (*conventional bottom founded breakwaters*) dan pemecah gelombang apung (*floating breakwaters*). Perbedaan fisik dari kedua jenis pemecah gelombang disajikan pada gambar 1.1



**Gambar 1.1** (a) Pemecah Gelombang Konvensional [Integrated Publishing, 2019]  
(b) Pemecah Gelombang Apung [SF Marina, 2019]

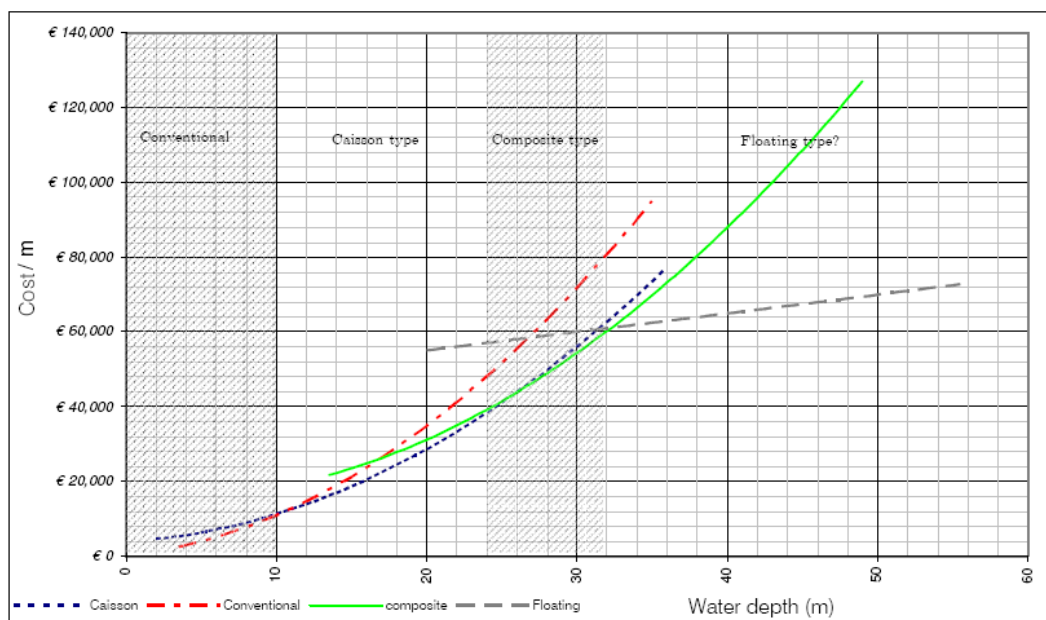
Umumnya pemecah gelombang konvensional berbentuk kotak atau trapezium dimana geometri konstruksinya tidak kompatibel dengan distribusi aliran gelombang di sepanjang kedalaman air laut. Selain itu, pemecah gelombang konvensional dianggap kurang ramah lingkungan karena menghambat sirkulasi air alami yang mengarah pada masalah polusi dan sedimentasi pada kawasan yang dilindungi [Dai et al., 2018]. Sedangkan ada beberapa kelebihan pemecah gelombang apung diantaranya hanya memerlukan sedikit tenaga (*effort*) untuk dipindah ke lokasi lain (*mobile*) [Christensen et al, 2018].

Perubahan iklim yang menyebabkan adanya variasi pasang surut dan ketinggian permukaan air laut yang cenderung berubah sewaktu-waktu akan lebih ekonomis jika menggunakan pemecah gelombang apung dibanding dengan



pemecah gelombang konvensional yang cenderung tetap. Apalagi jika kondisi tanah tidak cocok menerima beban struktur yang cenderung besar. Sehingga, dengan kondisi lingkungan yang telah diuraikan dapat disarankan bahwa pemecah gelombang apung (*floating breakwaters*) merupakan salah satu solusi paling ekonomis dalam meredam gelombang datang [Christensen et al., 2018].

Gambar 1.2 menunjukkan perbandingan biaya konstruksi per meter antara tipe pemecah gelombang konvensional, *caisson*, *composite*, dan pemecah gelombang apung. Terlihat pada gambar 1.2 bahwa untuk kondisi laut dengan kedalaman yang relatif besar, tipe pemecah gelombang apung merupakan yang paling ekonomis dibandingkan tipe pemecah gelombang lainnya.



**Gambar 1.2** Biaya Konstruksi Pemecah Gelombang (dalam Euro) per Meter [Fousert, 2006]

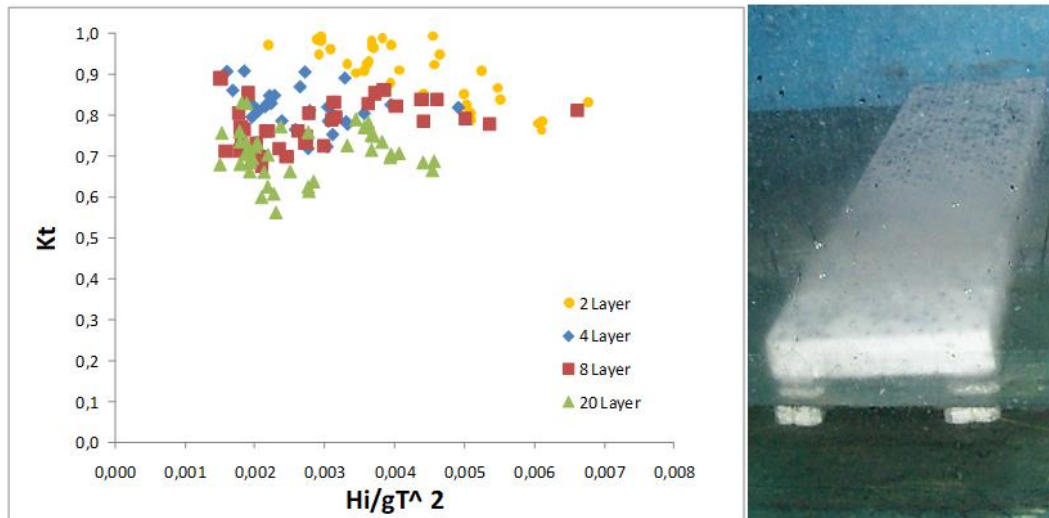
Bangunan pemecah gelombang terapung atau yang biasa disebut dengan *floating breakwater* untuk pertama kali di aplikasikan pada tahun 1811 di negara Inggris. Tujuan diciptakan pemecah gelombang terapung tak lain adalah untuk melindungi marina dan armada kapal dari gelombang yang ganas di pelabuhan Plymouth, Inggris [Morey, 1998]. Pada abad ke 20, permintaan bangunan pemecah gelombang apung meningkat sehingga para ilmuwan dan insinyur banyak melakukan pengembangan penelitian bangunan pemecah gelombang terapung

untuk mengembangkan model teoritis perilaku struktur gelombang secara eksperimen fisik maupun numerik [Hales, 1981].

Pemecah gelombang memberikan perlindungan terhadap pantai/kapal yang terletak dibelakangnya dengan meredam energi gelombang sehingga gelombang dan arus di belakangnya dapat tereduksi [Triatmodjo, 1999]. Dalam membangun struktur pemecah gelombang terapung yang optimal perlu dipertimbangkan kondisi spesifik lokasi dan persyaratan kondisi lain yang harus dipenuhi. Selain itu, perlu untuk meninjau kerugian dan kelebihan pemecah gelombang apung tersebut. Kerugian dan kelebihan pemecah gelombang apung dibandingkan dengan pemecah gelombang konvensional secara singkat dirangkum dalam table 1.1 berikut:

**Tabel 1.1** Keuntungan dan Kerugian Pemecah Gelombang Apung

Keuntungan	Kerugian
<p>a. Untuk kedalaman air yang lebih dari 10 ft dalam segi ekonomi lebih murah dibandingkan <i>fixed breakwater</i> [Hales, 1981]</p> <p>b. Dapat dengan mudah dipindahkan serta dapat dipergunakan kembali [Hales, 1981]</p> <p>c. Dapat dijadikan fungsi lainnya, seperti dijadikan tempat mooring kapal, jalan, atau fasilitas parkir [Biesheuvel, 2013]</p> <p>d. Hampir tidak ada gangguan dengan transportasi sedimen dan sirkulasi air [Biesheuvel, 2013]</p>	<p>a. Memiliki keterbatasan dalam meredam gelombang yang tinggi dengan rentang frekuensi yang terbatas [Foursert, 2006]</p> <p>b. Memberikan perlindungan yang kurang terhadap gelombang [Biesheuvel, 2013]</p> <p>c. Kurang efektif untuk gelombang yang panjang [Biesheuvel, 2013]</p> <p>d. Biaya pemeliharaan yang lebih tinggi karena respon dinamis [Biesheuvel, 2013]</p> <p>e. <i>Floating breakwater</i> mudah mengalami kegagalan struktural selama mengalami kondisi badai [Tsinker, 1995]</p>



**Gambar 1.3** Hasil Pengujian Model Pemecah Gelombang Apung dengan *Styrofoam* [Armono et al, 2009]

Beberapa studi eksperimen fisik, numerik, ataupun kombinasi keduanya mengenai transmisi gelombang pada struktur pemecah gelombang apung telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian biasanya dilakukan pada berbagai bentuk struktur pemecah gelombang apung dengan berbagai karakteristik gelombang, tipe breakwater, dan bentuk geometris struktur. Adapun tujuan penelitian biasanya dititikberatkan pada kinerja struktur, yaitu pengamatan dalam meredam energi gelombang.

Rahman et al [2006] telah meneliti *single pontoon floating breakwater* tipe *submerged* (seluruh struktur berada di dalam air) dengan penyelesaian persamaan Navier Stokes dengan metode Volume of Fluid (VOF). Rahman melakukan validasi model yang dikembangkannya dengan eksperimen yang telah dilakukan dari pengamatan gelombang 2 dimensi. Artinya hanya dilihat dari satu sisi vertical kolam.

Dong et al [2008] dalam jurnalnya yang berjudul “*Experiments on wave transmission coefficients of floating breakwater*” telah melakukan eksperimen fisik pada variasi ketiga bentuk pemecah gelombang yaitu *single box*, *double box*, dan *board net*. Dong et al [2008] dalam eksperimennya mengamati transmisi gelombang pada model tes fisik 2 dimensi dengan menggunakan gelombang regular. Hasil menunjukkan bahwa transmisi gelombang sangat dipengaruhi oleh tinggi gelombang

datang ( $H_i$ ), panjang gelombang ( $L$ ), lebar struktur ( $B$ ), kedalaman air di depan struktur ( $d$ ), dan sarat ponton ( $s$ ).

Armono et al [2009] dalam penelitiannya melakukan ujicoba berbagai variasi layer dari pemanfaatan Styrofoam di laboratorium sebagai upaya pemecah gelombang apung. Hasil pengujian pada berbagai kondisi gelombang ( $H_i/gT^2$ ) menunjukkan bahwa lebar struktur (jumlah layer) sangat berpengaruh pada kemampuan dalam meredam gelombang ( $K_i$ ). Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1.3

Armono et al [2011] melakukan penelitian perbaikan uji laboratorium dari penelitian sebelumnya Armono et al [2009] dikarenakan material *Styrofoam* belum dapat mempresentasikan perilaku struktur apung yang dijual dipasaran. Sehingga dilanjutkan dengan usulan perbaikan yaitu dengan menggunakan Floaton® sebagai struktur pemecah gelombang apung dimana unit-unit nya telah diproduksi oleh PT. Indopipe. Dalam pengujian ini, dilakukan 2 tipe konfigurasi pemecah gelombang yaitu tipe rakit dan tipe belah ketupat. Dari hasil yang didapatkan bahwa tipe rakit memiliki kinerja meredam gelombang sedikit lebih baik bila dibanding tipe belah ketupat.

Christensen et al [2018] telah melakukan eksperimen fisik dan permodelan numerik menggunakan software WAMIT 2015 pada tiga bentuk pemecah gelombang apung (RG, WP, dan WP P100). Christensen [2018] melakukan evaluasi fisik dan numerik terhadap efek redaman gelombang.

Dalam buku “*Marine Structures Engineering Specialized Applications*” Headland [1990] menulis bahwa ada 4 aspek dasar dalam mendesain *floating breakwater* yaitu *buoyancy & floating stability*, *wave transmission*, *mooring forces*, dan *breakwater units structural design*. Salah satu yang terpenting dari 4 aspek dalam mendesain *floating breakwater* yaitu efektifitas struktur dalam meredam energi gelombang. Pada kelima penelitian yang telah dijabarkan diatas masih perlu dilakukan penelitian lebih agar kedepan dapat menciptakan struktur *floating breakwater* yang benar-benar dapat meredam energi gelombang secara efektif.

Oleh karena itu, dalam penelitian thesis ini penulis melakukan simulasi numerik dengan menggunakan *software Flow 3D Science* dengan metode *volume of fluid* untuk mengetahui koefisien redaman. Dalam penelitian ini juga dilakukan

variasi bentuk pemecah gelombang apung dengan tujuan mendapatkan koefisien redaman yang optimal dari pengembangan bentuk struktur yang telah diteliti sebelumnya. Variasi bentuk pemecah gelombang apung yaitu *square notch* (SQ), *circular notch* (CN), dan *triangular notch* (VN).

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun perumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana validasi koefisien redaman gelombang hasil simulasi numerik?
2. Bagaimana pengaruh variasi bentuk sisi depan pemecah gelombang apung terhadap koefisien redaman gelombang?
3. Bagaimana bentuk sisi depan pemecah gelombang apung yang paling optimal untuk meredam gelombang?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Memvalidasi koefisien redaman gelombang hasil simulasi numerik.
2. Mengetahui pengaruh variasi bentuk sisi depan pemecah gelombang apung terhadap koefisien redaman gelombang.
3. Menentukan bentuk sisi depan pemecah gelombang apung yang paling optimal untuk meredam gelombang.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran pemahaman tentang informasi ilmiah bagaimana pengaruh bentuk sisi depan pemecah gelombang apung dalam meredam gelombang. Selain itu, juga memberikan gambaran bagaimana simulasi numerik dapat mempresentasikan pendekatan eksperimen yang telah dilakukan, sehingga dapat mengembangkan bentuk pemecah gelombang apung yang lebih optimal.

## **1.5 Batasan Masalah**

Pembatasan masalah dibuat untuk menghindari pembahasan yang melebar. Batasan ruang lingkup yang diberlakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Validasi menggunakan data eksperimen (Christensen et al., 2018)

2. Simulasi numerik menggunakan permodelan *software Flow 3D Science*
3. Kondisi dasar perairan dianggap rata
4. Tidak melakukan analisis *mooring system*
5. Tidak melakukan analisis stabilitas struktur pemecah gelombang apung
6. Dalam analisis menggunakan gelombang stokes orde 2
7. Tidak melakukan analisis model struktur
8. Arah sudut gelombang tegak lurus terhadap model struktur
9. Gesekan yang terjadi pada dasar laut diabaikan

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam thesis ini sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan beberapa hal antara lain latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, dan batasan masalah agar dalam pembahasan tidak meluas.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka dan dasar-dasar teori yang akan digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian thesis.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian thesis.

### **BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan mengenai pembahasan dan pengerjaan thesis. Dilanjutkan analisis data dengan permodelan menggunakan *software*.

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB VI. DAFTAR PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang semua pustaka yang dijadikan referensi dalam penulisan thesis.

## **BAB VII. LAMPIRAN**

Bab ini berisi tentang semua lampiran yang diperlukan untuk mendukung analisis data, pembahasan, dan kesimpulan yang diberikan sebelumnya.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Teori Gelombang Linier

Gelombang terbentuk akibat gaya-gaya luar yang mengenai fluida. Gaya-gaya luar tersebut dapat berupa gangguan akibat angin, pasang surut, pergerakan tanah, dan gempa bumi. Diantara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin (untuk selanjutnya disebut gelombang laut) dan pasang surut. Ketika gelombang terbentuk, gaya gravitasi dan tegangan permukaan akan bereaksi untuk menimbulkan rambatan gelombang. Bentuk ideal gelombang beramplitudo kecil di perairan dalam adalah sinusoidal.

Teori gelombang linear diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak berotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan dasar laut. Kondisi batas di permukaan air didapat dengan melinearkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mampat. Penyelesaian persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak rotasional. Potensial kecepatan ini kemudian digunakan untuk menurunkan persamaan dari berbagai karakteristik gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, kecepatan rambat gelombang, dan sebagainya.

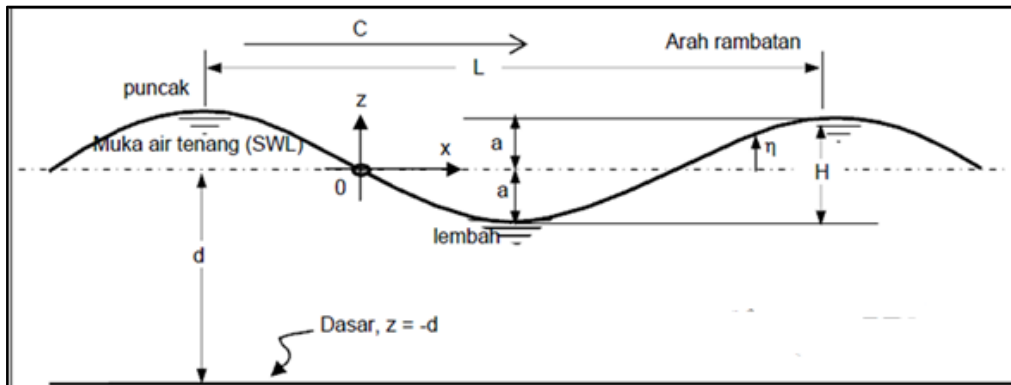
**Tabel 2.1** Parameter-parameter Gelombang

Nama	Notasi	Definisi
Panjang gelombang	L	jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah gelombang yang saling berurutan
Tinggi gelombang	H	jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang
Periode gelombang	T	waktu yang ditempuh untuk mencapai satu lintasan gelombang dengan satuan detik
Frekuensi gelombang	f	1/T dengan satuan Hz
Frekuensi angular	$\omega$	$2\pi/T$ dengan satuan rad
Kedalaman perairan	d	jarak antara muka air rerata dan dasar laut



Kecepatan gelombang	C	hasil panjang gelombang per periodenya atau $c = L/T$
Wave steepness	S	parameter non-dimensional untuk gelombang yang didapatkan dari $2\pi H/gT^2$
Amplitudo gelombang	a	simpangan terjauh dari titik keseimbangan gelombang

Untuk lebih mengetahui parameter-parameter yang terdapat dalam gelombang, dapat dilihat pada ilustrasi gambar 2.1 berikut.



**Gambar 2.1** Parameter Gelombang Reguler [Triatmodjo, 1999]

Parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan karakteristik gelombang dan penentuan persamaan teori gelombang yang digunakan untuk menentukan parameter tambahan gelombang, seperti kecepatan, percepatan, dan kecepatan partikel gelombang.

Teori gelombang linear dapat diturunkan dari persamaan kontinuitas untuk aliran tak rotasi yaitu:

1. Persamaan Laplace

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

2. Kondisi Batas

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \quad \text{di } y = -d \quad (2.2)$$

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y=0} \quad (2.3)$$

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

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (2.4)$$

dengan:

$\varphi$ : potensial kecepatan

$g$ : percepatan gravitasi

$\sigma$ : frekuensi gelombang

$k$ : angka gelombang

$d$ : kedalaman laut

$y$ : jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap muka air diam

$x$ : jarak horizontal

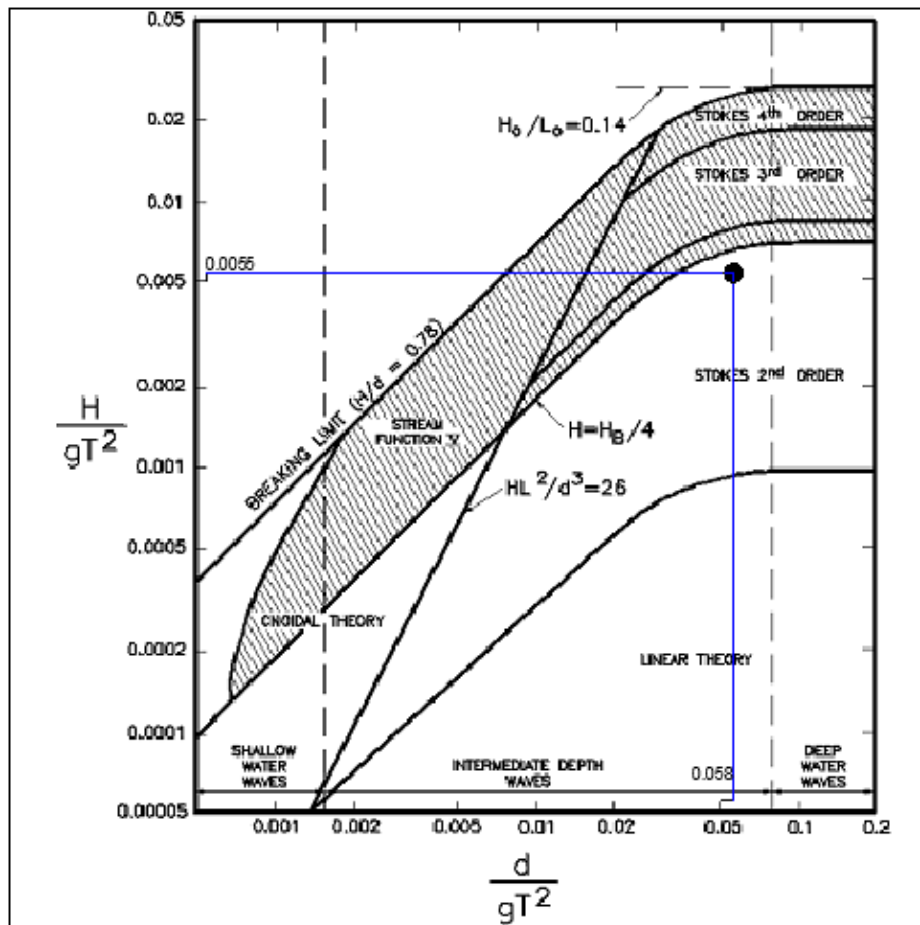
$t$ : waktu

## 2.2 Penentuan Teori Gelombang

Dalam suatu analisis perencanaan bangunan atau struktur yang berhubungan dengan laut, maka teori gelombang linear merupakan asumsi penyederhanaan atas analisis yang dilakukan untuk mengetahui dampak dari gelombang laut terhadap bangunan atau struktur tersebut. Teori gelombang linear diperlukan untuk analisis gaya-gaya yang terjadi terhadap bangunan pemecah gelombang apung akibat gelombang laut. Teori gelombang linear diformulasikan sebagai berikut:

$$\frac{H}{g.T^2} \text{ dan } \frac{d}{g.T^2} \quad (2.5)$$

Hasil dari formulasi matematika tersebut kemudian disesuaikan dengan grafik daerah aplikasi teori gelombang “*Region of Validity of Wave Theories*”, seperti terlihat pada gambar 2.2 sehingga dapat diketahui teori gelombang yang akan digunakan



**Gambar 2.2** Grafik *Region of Validity of Wave Theories*

[sumber: Le Mehaute, 1976]

### 2.3 Teori Gelombang Stokes Orde 2

Persamaan kecepatan dan percepatan partikel gelombang pada arah horizontal untuk teori gelombang Stokes Orde 2 dapat diketahui dari persamaan berikut (Chakrabarti, 1987):

- Kecepatan horizontal:

$$u = \frac{\pi H \cosh(ks)}{T \sinh(kd)} \cos\theta + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H \cosh(2ks)}{T \sinh^4(kd)} \cos(2\theta) \quad (2.6)$$

- Percepatan Horizontal

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H \cosh(ks)}{T^2 \sinh(kd)} \sin\theta + \left( \frac{3\pi^2 H}{T^2} \right) \frac{\pi H \cosh(2ks)}{L \sinh^4(kd)} \sin(2\theta) \quad (2.7)$$

Nilai  $s$  dan  $k$  diketahui dari persamaan berikut:

$$s = d \pm z \quad (2.8)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2.9)$$

## 2.4 Bangunan Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) merupakan salah satu bangunan laut yang digunakan untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang, biasanya dibuat pada jarak tertentu sesuai dengan kondisi garis pantai. *Breakwater* ini berfungsi untuk menghancurkan atau menyerap energi gelombang sebelum sampai ke pantai.

Bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) sering dijumpai di daerah pelabuhan. Suatu pelabuhan harus terlindung dari pengaruh gelombang di lautan agar mobilisasi kapal tidak terganggu. Pada prinsipnya pemecah gelombang dibuat sedemikian rupa sehingga mulut pelabuhan tidak menghadap ke arah gelombang dan arus dominan yang terjadi di lokasi pelabuhan. Gelombang yang datang dengan membentuk sudut terhadap garis pantai dapat menimbulkan arus sepanjang pantai. Kecepatan arus yang besar ini dapat mengangkut sedimen dasar dan membawanya searah dengan arus tersebut. Hal ini dapat menyebabkan pendangkalan. Hal-hal yang harus diketahui dalam perencanaan pemecah gelombang antara lain adalah tata letak, penentuan kondisi perencanaan, dan seleksi tipe struktur yang akan digunakan.

### 2.4.1 Tipe Bangunan Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Ada banyak klasifikasi jenis bangunan pemecah gelombang. Namun dalam berbagai literatur sering disebutkan berdasarkan tipe struktur *breakwater* yaitu tipe konvensional (*submerged*) dan tidak konvensional (*floating*). Berikut adalah penjelasan dari dua tipe *breakwater* tersebut:

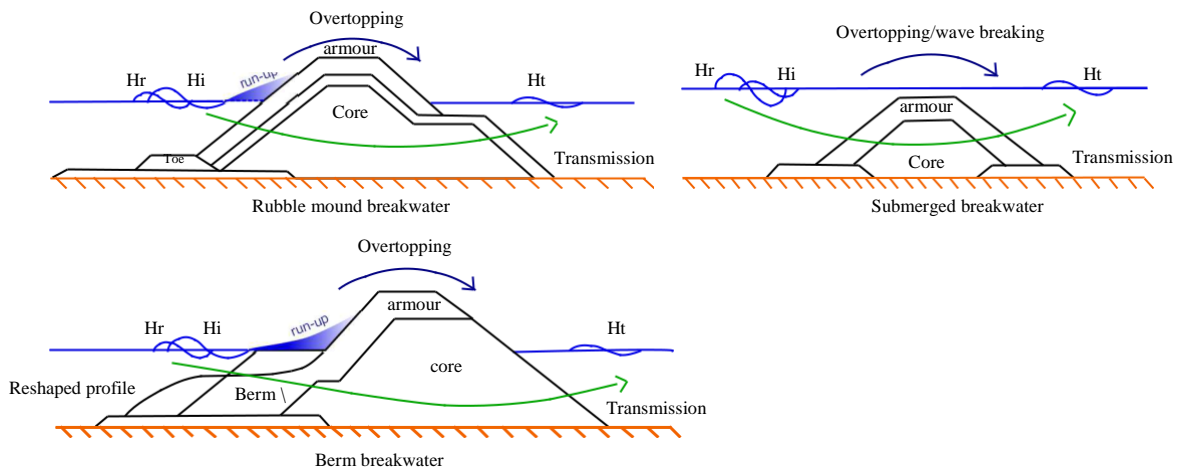
#### a. Tipe Konvensional (*submerged*)

Penelitian pemecah gelombang konvensional telah banyak dilakukan oleh beberapa pakar di bidangnya. Berikut adalah 3 jenis tipe pemecah gelombang konvensional yang akan dibahas dalam bab ini:

- *Mound Types*

Jenis ini dapat terdiri dari tumpukan batu atau balok beton. Jenis pemecah gelombang ini akan lebih ekonomis untuk diterapkan jika material struktur tersedia di sekitar lokasi dan di perairan dangkal (kedalaman <10m) [Fousert, 2006]. Sebaliknya, di perairan yang lebih dalam biaya akan naik

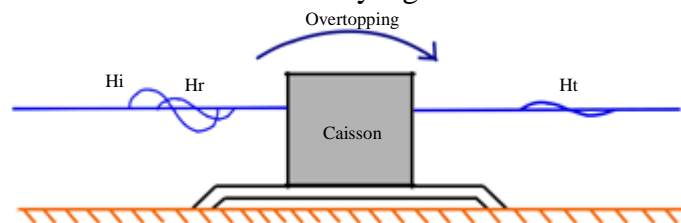
dengan cepat karena strukturnya menjadi lebih besar dimana membutuhkan banyak material.



**Gambar 2.3** Pemecah Gelombang Konvensional Tipe Gundukan (*mound*) [Biesheuvel, 2013]

- *Monolithic Types*

Pemecah gelombang monolitik dicirikan dengan satu balok blok padat besar. Struktur ini biasanya tersusun dari dinding balok, dinding bata, dan *caisson*. Jenis pemecah gelombang monolitik cocok diterapkan pada kedalaman air sedang ( $10\text{m} < \text{kedalaman} < 24\text{m}$ ) [Fousert, 2006], di mana akan lebih ekonomis daripada jenis pemecah gelombang gundukan (*mound*). Kondisi tanah juga harus diperhatikan untuk menjaga pondasi yang stabil dari elemen-elemen balok yang relatif berat.

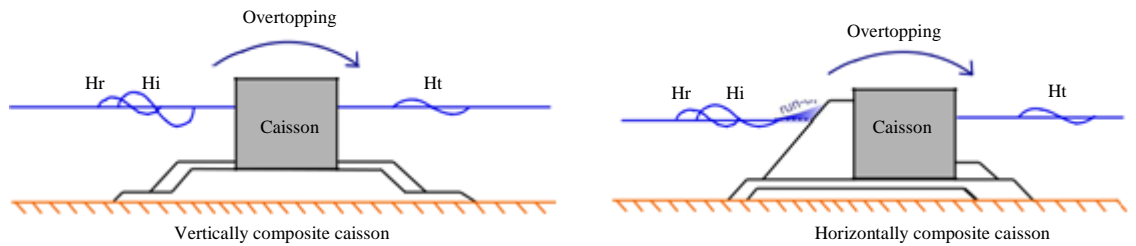


**Gambar 2.4** Pemecah Gelombang Konvensional Tipe Monolitik [Biesheuvel, 2013]

- *Composite Types*

Pemecah gelombang tipe komposit adalah kombinasi pemecah gelombang monolitik dengan tanggul. Jenis pemecah gelombang komposit cocok

diterapkan pada perairan yang lebih dalam ( $24\text{m} < \text{kedalaman} < 32\text{m}$ ) [Fousert, 2006] dan di daerah yang memiliki kondisi tanah stabil.

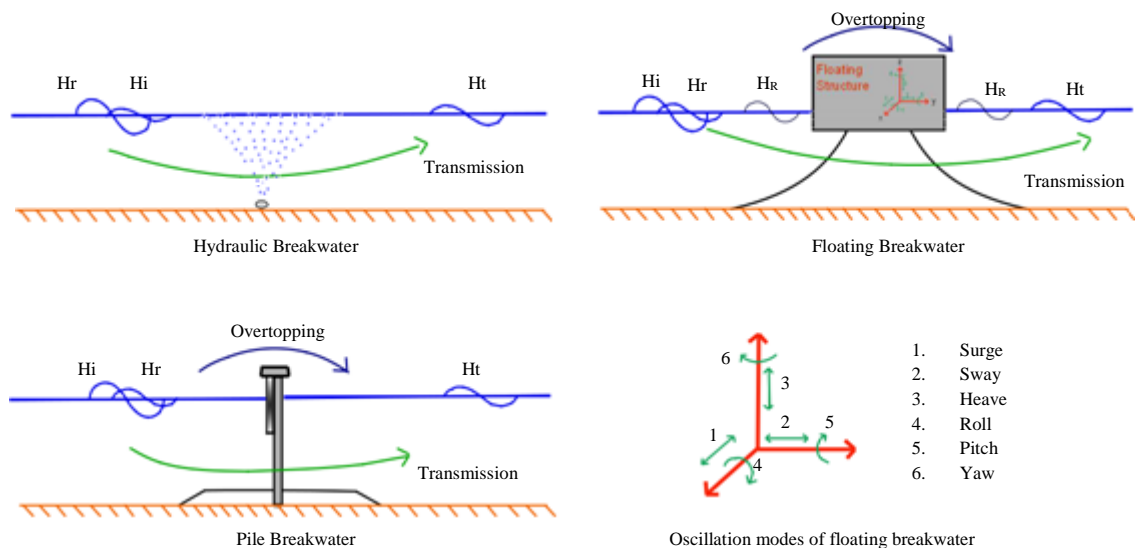


**Gambar 2.5** Pemecah Gelombang Konvensional Tipe Komposit [Biesheuvel, 2013]

b. Tipe Tidak Konvensional

Dalam kasus khusus misalnya pada kedalaman laut yang dalam dan dibutuhkan struktur yang kuat, terkadang pemecah gelombang konvensional sering kali kurang ekonomis dan optimal dalam meredam gelombang. Suatu kemungkinan ide muncul untuk mengatasi masalah tersebut. Munculah ide bangunan pemecah gelombang tidak konvensional yang cocok pada kedalaman lebih dari 20 meter. Berikut adalah 3 struktur pemecah gelombang tidak konvensional dan di ilustrasikan pada gambar 2.6 [Verhagen et al., 2008]:

- Pemecah gelombang apung (*floating breakwater*)
- *Hydraulic breakwater*
- *Pile breakwater*



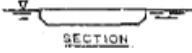




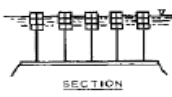


**Gambar 2.6** Pemecah Gelombang Tipe Tidak Konvensional [Biesheuvel, 2013]

## 2.5 Bangunan Pemecah Gelombang Apung (*Floating Breakwater*)

Pemecah gelombang terapung (*floating breakwater*) merupakan bangunan laut yang dibangun dengan tujuan untuk mereduksi energi gelombang dengan menghancurkan gelombang yang datang melalui interaksi struktur dengan gelombang. *Floating breakwater* dikembangkan karena adanya keterbatasan dari struktur *breakwater* konvensional dan biaya pembuatan yang mahal mengikuti kedalaman laut. Menurut Fousert [2006] hubungan sarat dan lebar struktur adalah faktor yang paling penting dalam menentukan kinerja *floating breakwater*. Pemilihan tipe *floating breakwater* yang menjadi pertimbangan adalah faktor redaman gelombang yang paling besar.

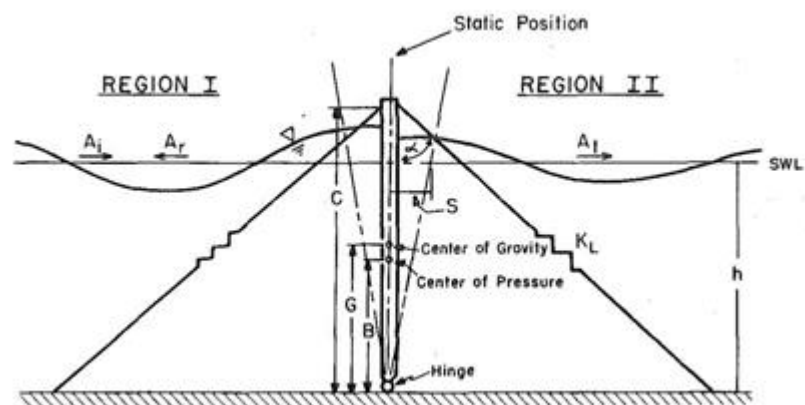
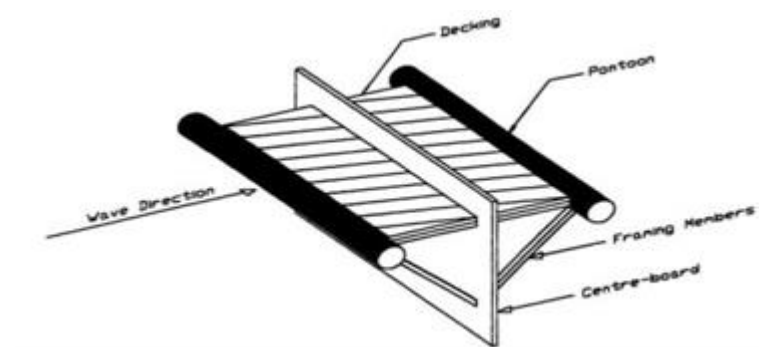
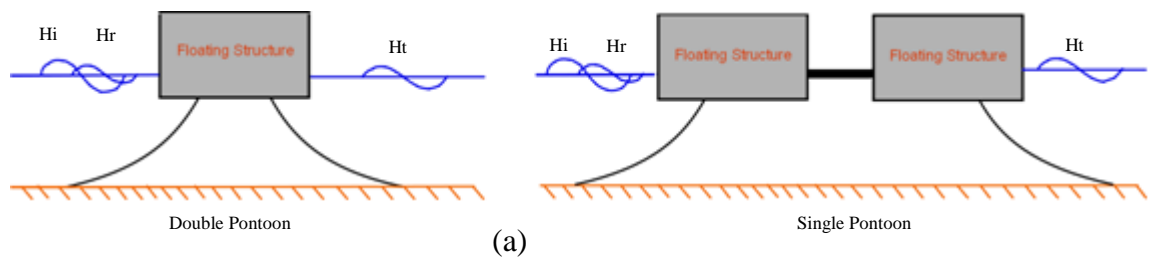
Secara garis besar terdapat empat tipe *floating breakwater*, yaitu: a) tipe pontoon; b) tipe modul apung; c) tipe rakit; dan d) tipe kotak (box). Masing-masing bentuk tersebut memiliki karakteristik dan mekanisme tersendiri dalam mereduksi gelombang yang datang. Kinerja yang bagus diperoleh apabila kemampuan redaman struktur cukup besar, atau koefisien transmisi yang dihasilkannya bernilai kecil. Bentuk-bentuk berbagai tipe *floating breakwater* dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini.

Tipe Box			Tipe Pontoon		
<i>Solid Rectangel</i>		Umumnya terbuat dari beton bertulang	<i>Twin Pontoon</i>		Seperti perahu dengan 2 lambung
<i>Barge</i>		Bangkai kapal tongkang	<i>Open Compartment</i>		Sering disebut juga tipe alaska
Tipe Mat			Tipe Tethered Float		
<i>Tire Mat</i>		Susunan ban bekas yang diikat bersamaan	<i>Sphere</i>		Struktur disusun berjajar
<i>Log Mat</i>		Susunan kayu yang diikat bersamaan	<i>Tire</i>		Sama seperti tipe sphere namun menggunakan an drum

Gambar 2.7 Tipe Pemecah Gelombang Apung [McCartney, 1985]

Menurut (PIANC, 1994), prinsip kerja *floating breakwater* adalah untuk mengurangi/mereduksi gelombang yang datang, maka dari itu *floating breakwater* dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelas yaitu:

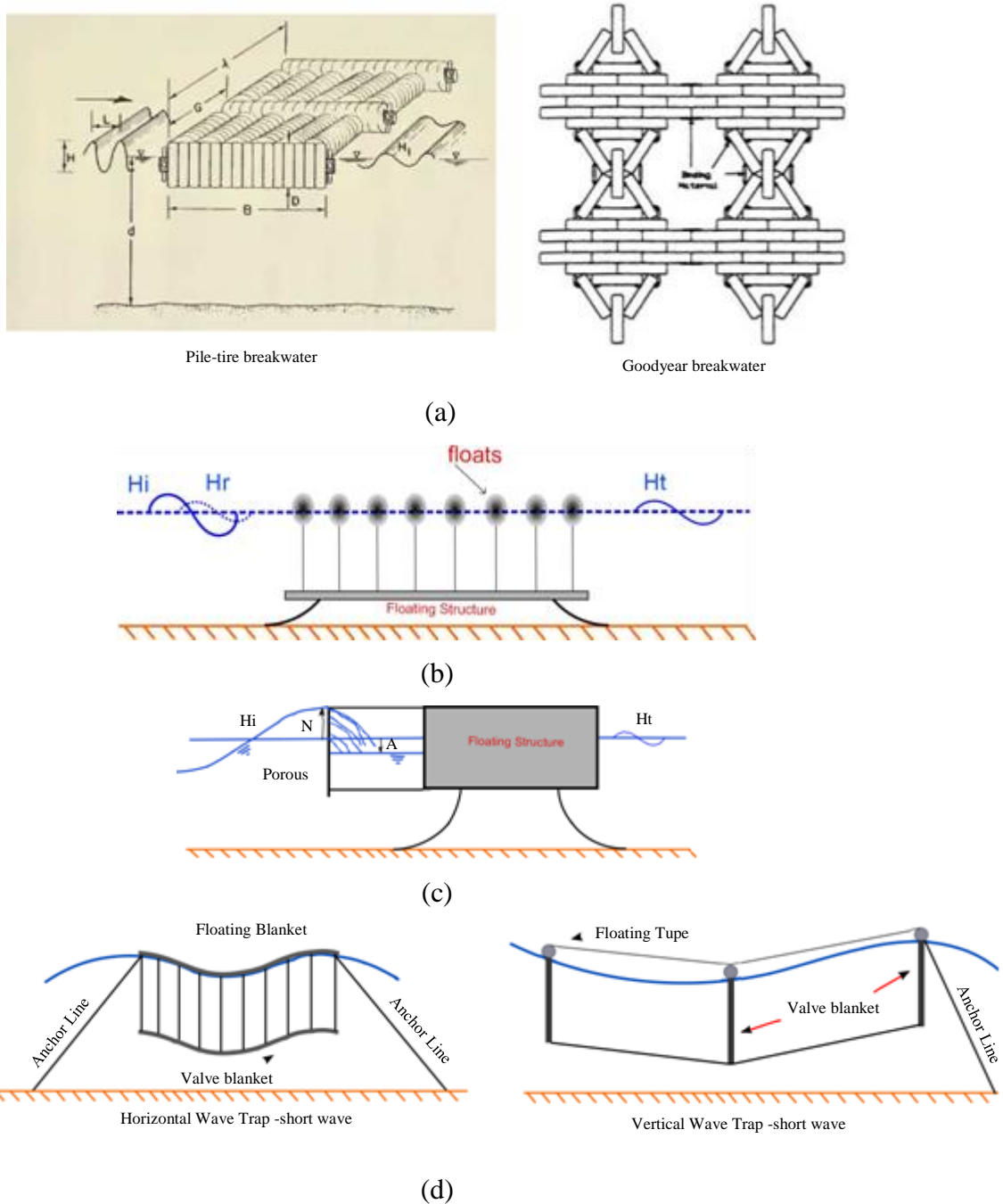
1. Struktur reflektif, yaitu jenis struktur rigid yang berfungsi untuk merefleksikan gelombang datang. Istilah rigid yang dimaksud adalah struktur tidak merusak beban gelombang bawah. Berikut adalah contoh struktur rigid yang disajikan pada gambar 2.8 di bawah ini.



**Gambar 2.8** (a) Tipe Pontoon [Biesheuvel, 2013]; (b) Tipe A-Frame [Morey, 1998]; (c) Tipe Hinge [Leach et al., 1985]



2. Struktur dissipative, yaitu jenis struktur yang menghilangkan energi gelombang turbulensi, gesekan dan deformasi non-elastis, struktur ini lebih bersifat fleksibel. Beberapa contoh struktur dissipative dapat di ilustrasikan pada gambar 2.9 dibawah ini.



**Gambar 2.9** (a) Tipe *Scrap Tire* [Harms et al., 1982]; (b) Tipe *Tethered Float* [Biesheuvel, 2013]; (c) Tipe *Porous Wall* [Biesheuvel, 2013]; (d) Tipe *Wave Trap* [Biesheuvel, 2013]

## 2.6 Aplikasi Pemecah Gelombang Apung (*Floating Breakwater*)

Pemecah gelombang apung selain dapat mereduksi energi gelombang juga memiliki banyak keunggulan yaitu memiliki desain fleksibel yang mudah untuk dipindahkan dan dirakit kembali serta memiliki nilai-nilai estetika yang cocok untuk di aplikasikan sebagai:

### a. Pelabuhan Apung

Pada kondisi laut yang memiliki dasar tanah dengan kedalaman yang lebih serta dengan adanya pertumbuhan kapal yang meningkat pesat maka perlu dibangun pelabuhan untuk mengakomodasi transportasi kapal-kapal besar. Pembangunan pelabuhan dengan kedalaman air yang besar seringkali sangat mahal karena dinding dermaga yang tinggi dan banyaknya pekerjaan pengerukan yang diperlukan. Menurut Ali [2006] dan De Roiij [2006] pembangunan pelabuhan apung lebih efisien pada dasar laut yang memiliki kedalaman yang lebih.

### b. Keramba Apung

Keramba apung adalah salah satu wadah sebagai tempat budidaya ikan ataupun biota laut lainnya. Pengembangan keramba apung tentunya dapat memiliki potensi untuk mendorong sektor perikanan ke ekonomi hijau dengan mendorong keberlanjutan pengelolaan jangka panjang dari sektor perikanan dan meningkatkan pasokan ikan. Namun dalam pembangunan keramba apung diperlukan pemeliharaan struktur agar tidak mudah rusak akibat hantaman gelombang. Oleh karena itu, pemecah gelombang apung merupakan salah satu solusi dalam meredam gelombang untuk pemeliharaan keramba apung.

### c. *Offshore Engineering*

*Offshore floating wind turbine* (kincir angin) merupakan bisnis yang lagi booming akhir-akhir ini untuk menciptakan energi terbarukan. Namun struktur yang dipasang harus memiliki kekuatan dan terhindar dari gelombang yang cukup besar. Untuk melakukan pemeliharaan pada struktur kincir angin ini, tidak di izinkan terkena gelombang yang besar. Maka pemecah gelombang apung relative lebih efisien dan fleksibel jika di terapkan

untuk ikut serta dalam pemeliharaan struktur kincir angin dengan meredam gelombang dengan ketinggian yang besar.

## 2.7 Koefisien Transmisi Bangunan Pemecah Gelombang Apung (*Floating Breakwater*)

Ketika gelombang datang dan mengenai struktur pemecah gelombang, sebagian gelombang akan di teruskan atau di transmisikan [CERC, 1984]. Transmisi gelombang merupakan sisa energi gelombang setelah melewati struktur pemecah gelombang [CERC, 1984]. Semakin kecil reduksi energi gelombangnya, maka semakin besar koefisien transmisi gelombang yang terjadi. Efektivitas dari struktur pemecah gelombang apung ditentukan dari koefisien transmisinya ( $K_t$ ). Koefisien transmisi ( $K_t$ ) didefinisikan sebagai rasio tinggi gelombang di belakang struktur ( $H_t$ ) dengan tinggi gelombang yang datang ( $H_i$ ). Secara umum, koefisien transmisi didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (2.10)$$

Bleck dan Oumeraci [2001] mendefinisikan bahwa koefisien transmisi adalah akar perbandingan energi spektrum gelombang transmisi dan energi spektrum gelombang datang. Persamaan umumnya dapat dilihat sebagai berikut:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \quad (2.11)$$

Dimana,

$K_t$  = koefisien transmisi gelombang

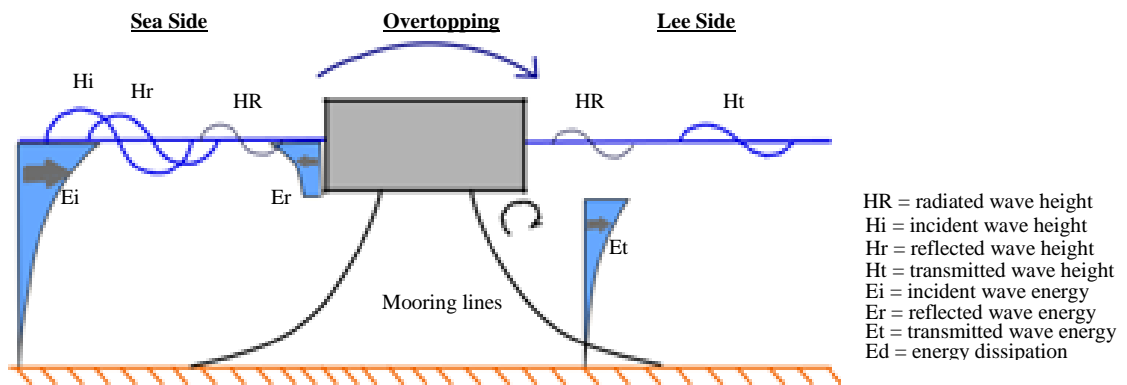
$H_t$  = tinggi gelombang transmisi

$H_i$  = tinggi gelombang datang

$E_t$  = energi spektrum gelombang transmisi

$E_i$  = energi spektrum gelombang datang

Performa pemecah gelombang apung dapat dilihat dari besar kemampuan struktur dalam mereduksi energi gelombang yang datang ( $E_i$ ). Energi gelombang akan dipantulkan ( $E_r$ ), energi gelombang ditransmisikan ( $E_t$ ) dan Energi gelombang terdisipasi ( $E_d$ ) seperti pada gambar 2.10 dibawah ini.



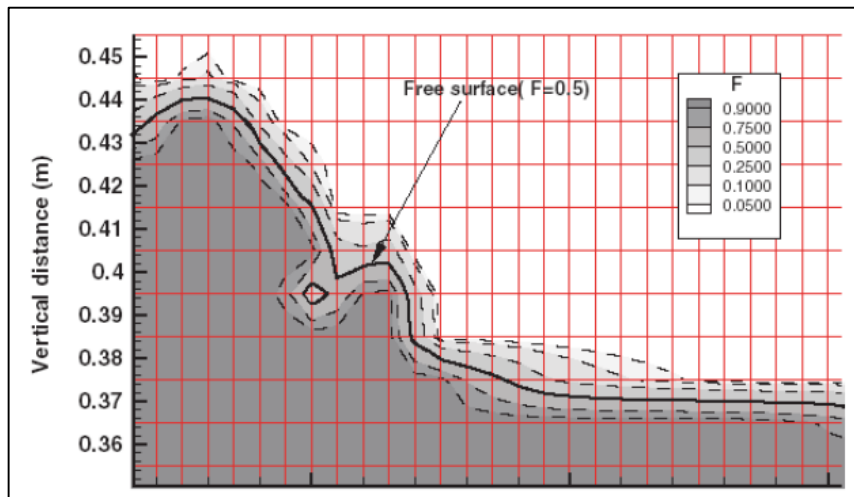
**Gambar 2.10** Interaksi Antara Gelombang Datang dan Struktur Pemecah Gelombang Apung [Biesheuvel, 2013]

### 2.8 Metode *Volume of Fluid* (VoF)

Dalam mendeskripsikan interaksi antara dua jenis fluida yang berbeda, sebagai contoh antara air dan udara, dapat menggunakan metode pendekatan *VOF* (*Volume of Fluid*). Metode ini menentukan volume dari fluida sebagai fungsi  $F$  sebagai komponen dari air. Dalam perhitungan, setiap bagian dari model dibagi dalam banyak sel. Fungsi  $F$  menjelaskan jumlah bagian dari fluida dalam suatu sel. Nilai  $F = 0$  mengindikasikan bahwa dalam sel tersebut tidak mengandung air / fluida. Sel dengan nilai  $F$  antara 0 dan 1 menandakan bahwa sel tersebut adalah sel yang mengandung dua jenis fluida yang berbeda (air dan udara). Persamaan  $F$  dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F = \frac{V_w}{V_c} \quad (2.12)$$

Dimana  $V_w$  adalah volume air di dalam sel dan  $V_c$  adalah volume sel. Dalam menentukan permukaan fluida, diperlukan perhitungan algoritma yang terdiri dari dua tahapan. Pertama, penentuan permukaan fluida ditentukan dengan garis linear tiap segmen dari sel. Kedua, permukaan fluida ditentukan dengan menyelesaikan persamaan fungsi  $F$  untuk tiap *time step*.



**Gambar 2.11.** Nilai dari fungsi *VOF* untuk fluida permukaan [Monaco, 2010]

Metode *VOF* dapat diaplikasikan dengan baik pada simulasi dengan ukuran grid yang tetap, dengan bentuk permukaan fluida yang kompleks. Sebagai contoh dalam simulasi gelombang, bentuk permukaan fluida yang kompleks dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *VOF*.

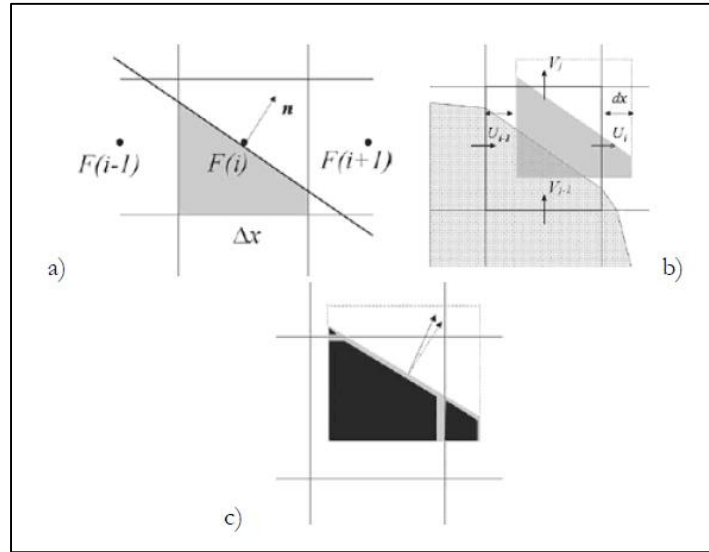
Metode *Volume of Fluid* pertama kali dikenalkan oleh Hirt dan Nichols, (1981). Penelitian yang dilakukan pertama kali adalah persamaan fluida 2 dimensi berdasarkan persamaan Navier-Stokes dengan bentuk persamaan

$$\frac{dy}{dt} + u \frac{du}{dx} + w \frac{du}{dz} = -\frac{dp}{dx} + gx + v \left[ \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dz^2} \right] \quad (2.13)$$

$$\frac{dw}{dt} + u \frac{dw}{dx} + w \frac{dw}{dz} = -\frac{dp}{dz} + gz + v \left[ \frac{d^2w}{dx^2} + \frac{d^2w}{dz^2} \right] \quad (2.14)$$

Dimana  $u$  dan  $w$  adalah komponen kecepatan dalam arah  $x$  dan  $z$ ,  $gx$  dan  $gz$  adalah percepatan gravitasi arah  $x$  dan  $z$ ,  $p$  adalah tekanan, dan  $v$  adalah koefisien viskositas kinematik. Untuk fluida inkompresibel, persamaan diatas di diselesaikan dengan kondisi

$$\frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz} = 0 \quad (2.15)$$



**Gambar 2.12.** Metode perhitungan menggunakan *TrueVOF* [Monaco, 2010]

Untuk membatasi efek kompresibilitas, persamaan diatas disederhanakan menjadi

$$\frac{1}{c^2} \frac{dp}{dt} + \frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz} = 0 \quad (2.16)$$

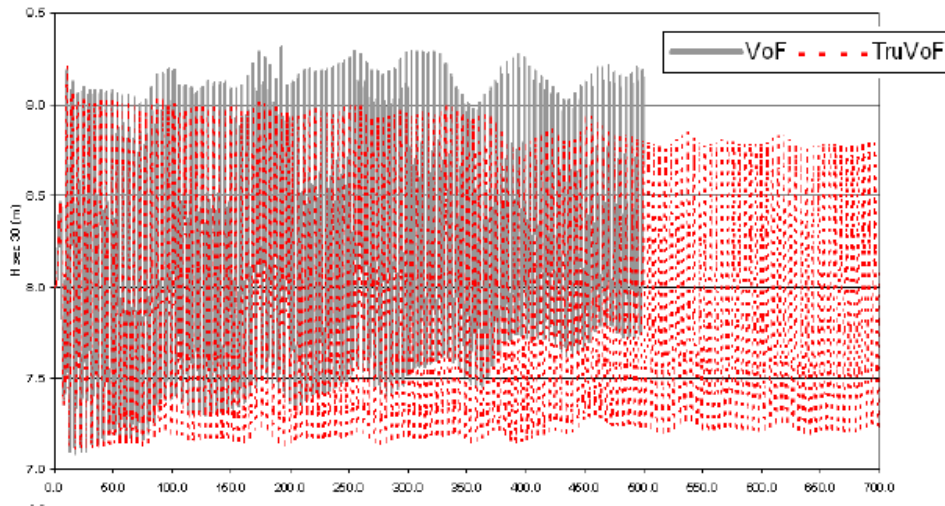
Dengan  $c$  adalah kecepatan suara dalam media air,  $t$  merupakan waktu. Secara umum, metode VOF ini terdiri dari tiga komponen, yaitu perubahan tekanan terhadap waktu, kecepatan partikel fluida arah  $x$  dan  $z$ . Persamaan fluida  $F$  dari VOF untuk mengetahui posisi permukaan air. Di dalam air, nilai  $F$  sama dengan persamaan (2.17) dan bernilai nol saat berada di luar air. Persamaan yang mengatur hal ini adalah sebagai berikut.

$$\frac{dF}{dt} + u \frac{dF}{dx} + w \frac{dF}{dz} = 0 \quad (2.17)$$

Pengembangan dilakukan untuk metode *VOF*, sehingga ditemukannya pada tahun 1981 dengan nama *true volume of fluid (TrueVOF)*. *TrueVOF* dikembangkan untuk menyempurnakan persamaan algoritma dari metode *VOF*. Terdapat tiga metode algoritma dari *TrueVOF* yaitu (gambar 2.12) :

- a. Memperkirakan permukaan fluida dalam sel dengan *planar surface*
- b. Memindahkan volume fluida sesuai dengan definisi kecepatan lokal sel
- c. Menghitung fraksi fluida baru pada sel yang sama dengan metode *overlay*

Kelebihan *TrueVOF* adalah akurasi yang lebih baik dalam menentukan permukaan fluida bebas untuk berbagai arah dalam satu sel.



**Gambar 2.13.** Perbandingan metode *VOF* dengan *TrueVOF* [Monaco, 2010]

Dalam simulasi gelombang, metode *VOF* memiliki kecenderungan timbulnya penambahan volume fluida dalam model. Seperti pada gambar diatas, grafik metode *VOF* meningkat seiring dengan penambahan waktu simulasi. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakstabilan algoritma metode *VOF* dalam perhitungan untuk simulasi gelombang. Berbeda dengan metode *TrueVOF* yang lebih stabil sistem algoritmanya dalam mensimulasikan gelombang. Metode *TrueVOF* ini digunakan pada beberapa perangkat lunak untuk melakukan pemodelan aliran permukaan maupun gelombang, salah satunya *Flow 3D*.

## 2.9 Permodelan Numerik Menggunakan *Flow 3D Science Software*

*Flow 3D* merupakan perangkat lunak yang akan digunakan dalam penelitian ini. *Flow 3D* dikembangkan oleh perusahaan Flow Science, Amerika Serikat. Dengan menggunakan konsep *Computational Fluid Dynamic (CFD)*, *Flow 3D* dikembangkan untuk menyelesaikan persamaan gerak fluida untuk mengetahui penyelesaian masalah fluida secara tiga dimensi dan masalah fluida secara kompleks. Berbagai macam parameter secara fisika dan numerikal dapat diaplikasikan dalam perangkat lunak ini sehingga mampu menyelesaikan berbagai jenis aliran fluida dan *heat transfer* (Flow Science, 2016).

*Software Flow 3D* merupakan *software* karakteristik fluida untuk menganalisis beban lokal pada struktur dengan metode elemen hingga. Software ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk memecahkan persamaan gerak *Volume of Fluid (VOF)*. Persamaan gerak fluida yang digunakan adalah persamaan Navier-stokes seperti di bawah ini :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_y + f_y \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_y + f_y \quad (2.13)$$

Dimana :

- U dan V : kecepatan fluida pada sumbu (X,Y)
- A<sub>x</sub> dan A<sub>y</sub> : daerah terbuka fraksional pada aliran dalam axis (X,Y)
- V<sub>f</sub> : volume terbuka fraksional pada aliran terbuka
- t : waktu
- P : tekanan
- ρ : densitas air laut
- F<sub>x</sub> dan F<sub>y</sub> : percepatan viscositas
- g<sub>x</sub> dan g<sub>y</sub> : percepatan grafitasi pada axis (X,Y)

Secara umum, simulasi dilakukan dengan menyiapkan *mesh* atau *grid* dari area yang akan di analisa. *Mesh* merupakan susunan atau integrasi dari beberapa sel atau elemen. Sel atau elemen yang terdiri dari titik-titik volume atau *node*. Setiap *node* memiliki nilai-nilai parameter fisik maupun fluida seperti tekanan, suhu, dan kecepatan tertentu pada waktu tertentu pula. Dalam *Flow 3D*, metode *meshing* yang dilakukan dengan menyusun sel-sel berbentuk kotak yang menggambarkan area yang akan di modelkan. Pembentukan sel tersebut disebut pula sebagai metode *rectangular mesh*. Pola *mesh* lain juga ditawarkan dalam *Flow 3D* dengan memodifikasi *mesh* yang telah terbentuk. Mengurangi ukuran *grid* atau merapatkan *mesh* dapat menghasilkan model numeris yang lebih baik. Namun hal tersebut berdampak dengan semakin besarnya ukuran *file output* yang dihasilkan.



## **2.10 Validasi Model Hasil Simulasi Numerik**

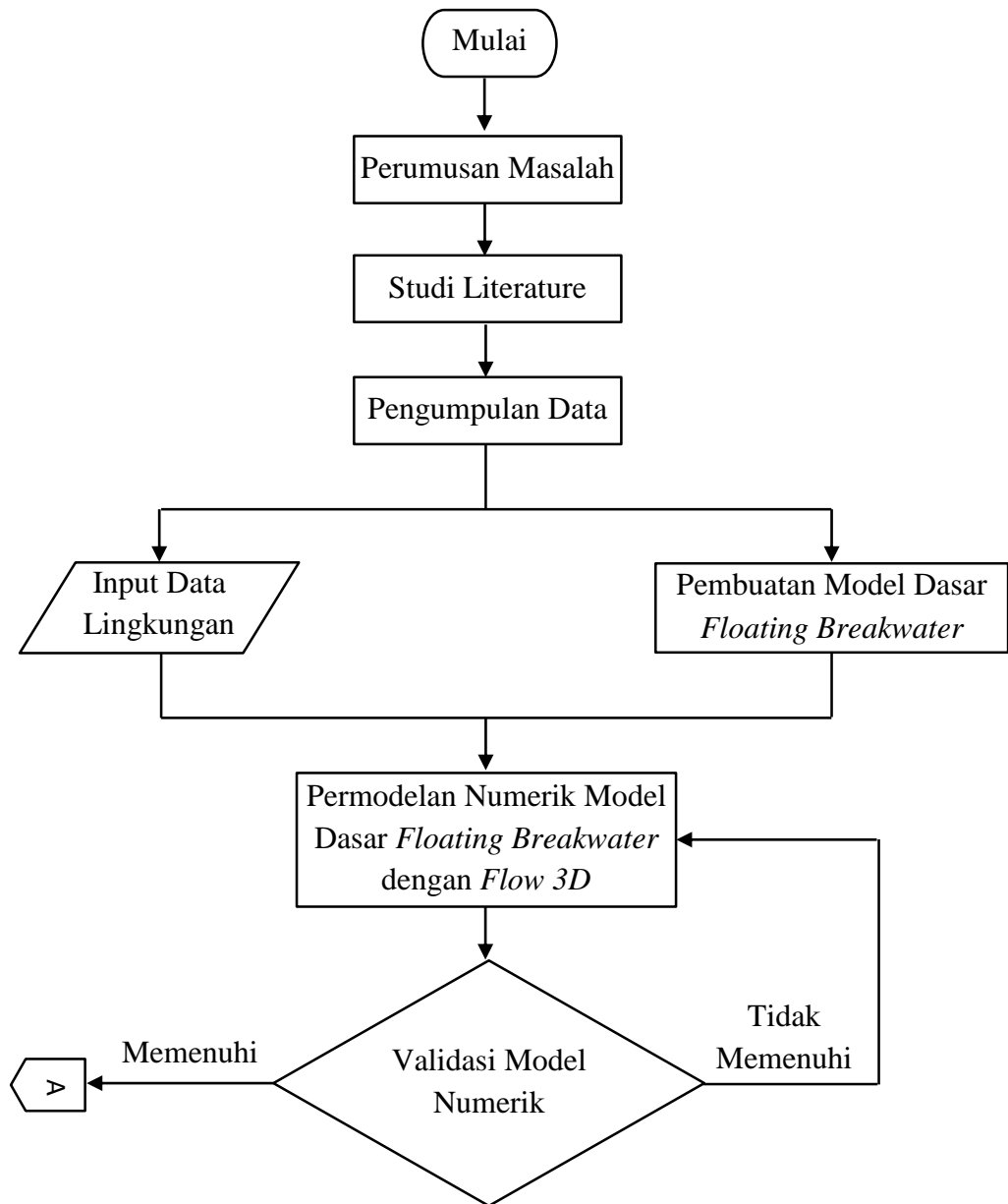
Model simulasi yang dibangun harus kredibel. Representasi kredibel model simulasi terhadap sistem nyata ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model. Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika program computer sudah sesuai dengan logika diagram alur (Hoover dan Perry, 1989). Istilah sederhananya, apakah ada kesalahan dalam program?. Validasi adalah penentuan apakah model simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan (Law dan Kelton, 1991). Setelah kedua proses diatas dilakukan, data hasil pengujian dapat diolah untuk menentukan kesimpulan. Pengolahan dapat dilakukan dengan menggunakan analisa statistik.

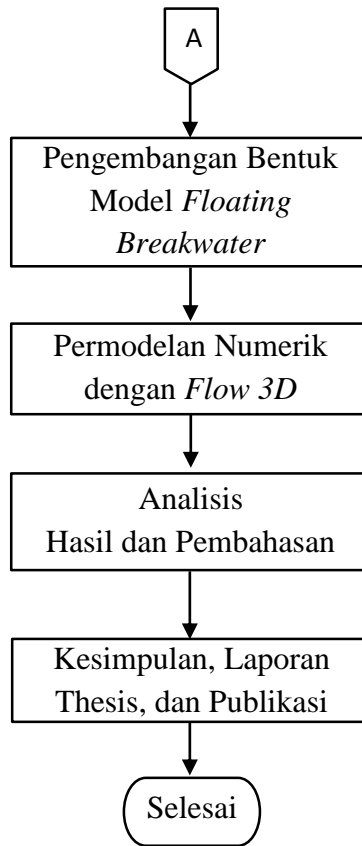
Dalam penarikan kesimpulan suatu penelitian, jumlah data sangat berpengaruh dalam menentukan hasil yang sesuai dengan kondisi nyata. Roscoe (1975) dalam Hill (1998) menyatakan bahwa dalam analisa statistik data eksperimen maupun riset, penggunaan jumlah data kurang dari 10 data sangat tidak dianjurkan. Jumlah penggunaan data yang direkomendasikan adalah dalam rentang 20 hingga 500 data dalam satu kali pengambilan data. Semakin banyak data yang digunakan, maka semakin tinggi akurasi data hasil pengujian terhadap kondisi aslinya.

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**

Penelitian yang akan di lakukan bersifat numerik dengan melibatkan *software flow 3D* untuk mengamati dan menganalisis transmisi gelombang. Adapun rencana penelitian yang digunakan dalam thesis ini dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) dapat dilihat pada gambar 3.1:





**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan Thesis

### 3.2 Alur Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam menyelesaikan thesis ini seperti diagram alir pada gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Perumusan Masalah

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah perumusan masalah yaitu mencari isu-isu paling mutakhir khususnya pada bidang kelautan. Selanjutnya disimpulkan bahwa isu tentang perlindungan pantai pada kedalaman laut yang dalam perlu di perhatikan untuk penelitian lanjut kedepan. Tujuannya tak lain untuk menghadapi tantangan masa depan terkait transportasi kapal yang semakin berkembang pesat.

#### 2. Studi Literature

Ada beberapa langkah dalam studi tahap ini, yaitu studi literatur yang dilakukan dengan cara pengumpulan referensi yang mendukung topik penelitian yang didapatkan dari berbagai buku, jurnal nasional maupun

internasional, dan beberapa thesis/disertasi tahun sebelumnya yang membahas tentang bangunan pemecah gelombang khususnya pemecah gelombang apung.

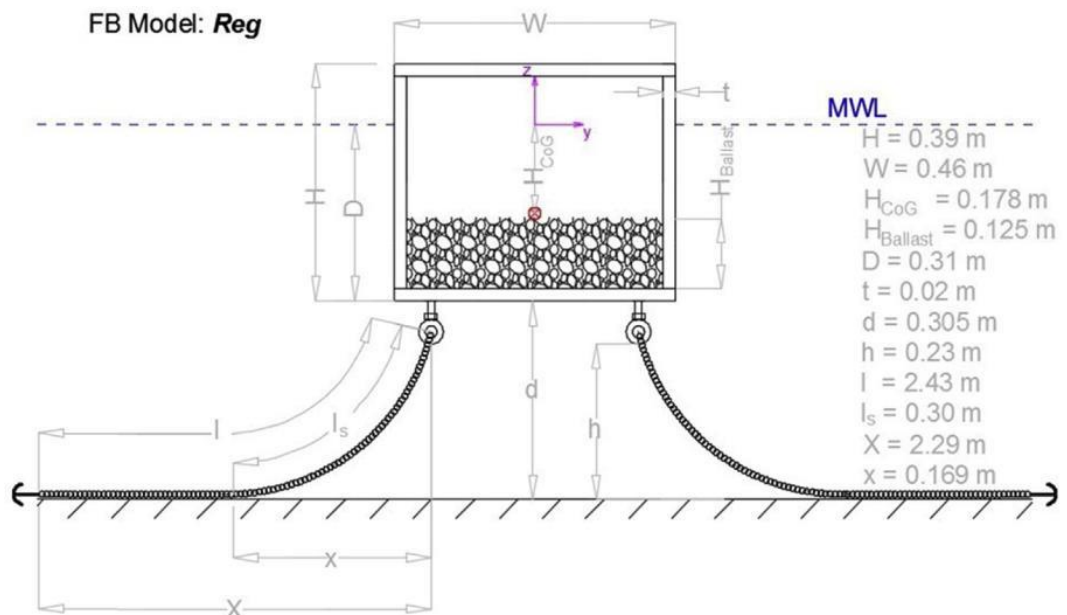
### 3. Pengumpulan Data

Data mengacu pada penelitian uji eksperimen sebelumnya yaitu data dari penelitian Christensen et. al [2018] dengan jurnal yang berjudul “*An Experimental and Numerical Study of Floating Breakwaters*”. Data tersebut nantinya akan digunakan untuk permodelan numerik dan selanjutnya hasil permodelan numerik akan di bandingkan dengan hasil uji eksperimen Christensen et. al [2018]. Data-data yang akan digunakan untuk permodelan numerik dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Data Dimensi Model *Floating Breakwater* [Christensen, 2018]

Dimensi	RG [m]
Panjang	0.58
Lebar	0.46
Tinggi	0.39
Draft	0.31

Ilustrasi dan informasi dimensi lebih lengkap dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini;



**Gambar 3.2** Cross Section *Regular Pontoon* [Christensen, 2018]

Rencana Christensen et.al [2018] melakukan penelitian pemecah gelombang apung mengacu pada kondisi lapangan dengan kedalaman laut 40 meter, periode (*peak period*) 7 detik, dan tinggi gelombang signifikan 2.5 meter. Adapun tabel 3.2 merupakan data hasil skala 1:65 berdasarkan asumsi skala *Froude Number*, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 3.2** Data Lingkungan Tes Model [dalam skala 1:65]

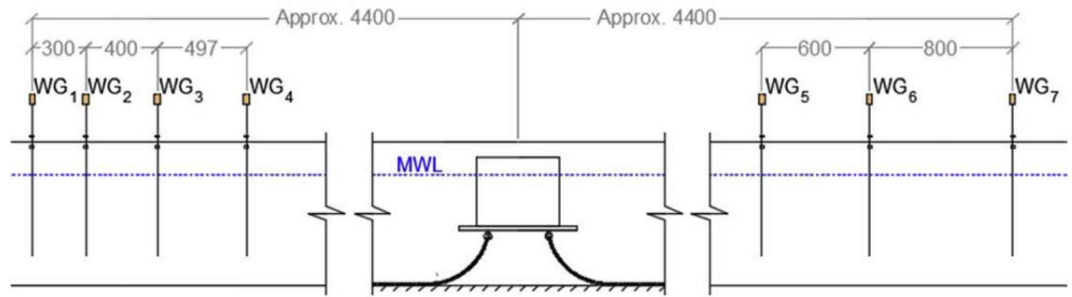
No	Panjang Gelombang L[m]	Periode Gelombang T [s]	Frekuensi Gelombang f [Hz]	Depth Ratio h/L []	Tinggi Gelombang H <sub>2%</sub> [m]
1	1.174	0.868	1.152	0.524	0.023
2	1.883	1.116	0.896	0.327	0.036
3	2.252	1.240	0.806	0.273	0.041
4	2.979	1.488	0.672	0.207	0.049
5	3.333	1.613	0.620	0.185	0.052
6	4.024	1.861	0.538	0.153	0.055

Eksperimen dilakukan pada *wave flume* yang berada di *hydraulic laboratory* di *Technical University of Denmark*. Adapun parameter dimensi *wave flume* dapat dilihat pada tabel 3.3 dibawah ini:

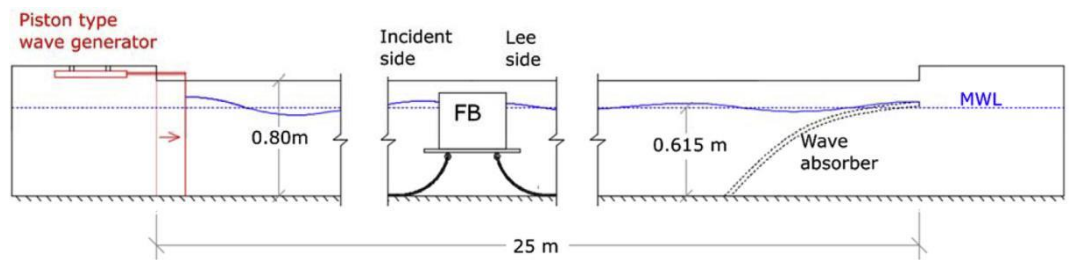
**Tabel 3.3** Dimensi *Wave Flume* Model Eksperimen

No	Dimensi	Ukuran [m]
1	Panjang	28
2	Lebar	0.6
3	Tinggi	0.8
4	Kedalaman air	0.615
5	Jarak <i>Piston</i> ke <i>Wave Absorber</i>	25

*Wave flume* juga dilengkapi dengan *Wave Gauge (Probes)*. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini:



(a)



(b)

**Gambar 3.3** (a) Posisi Wave Gauges [dalam mm]; (b) Sketsa *Wave Flume* [Christensen, 2018]

#### 4. Pembuatan dan Permodelan Numerik Model Dasar *Floating Breakwater*

Dalam tahap ini, penulis membuat desain model dasar geometri *floating breakwater*. Adapun yang dimaksud dengan model dasar yaitu tipe *Regular Ponton (RG)* dari penelitian Christensen et. al [2018]. *Regular Pontoon (RG)* di buat di Autocad dengan dimensi sesuai dengan tabel 3.1. Setelah membuat model dengan format ekstension .dwg langkah selanjutnya adalah diexport ke dalam format lithography .stl. Setelah itu , dilakukan permodelan numerik dengan *software Flow 3D*. Adapun model RG dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini:



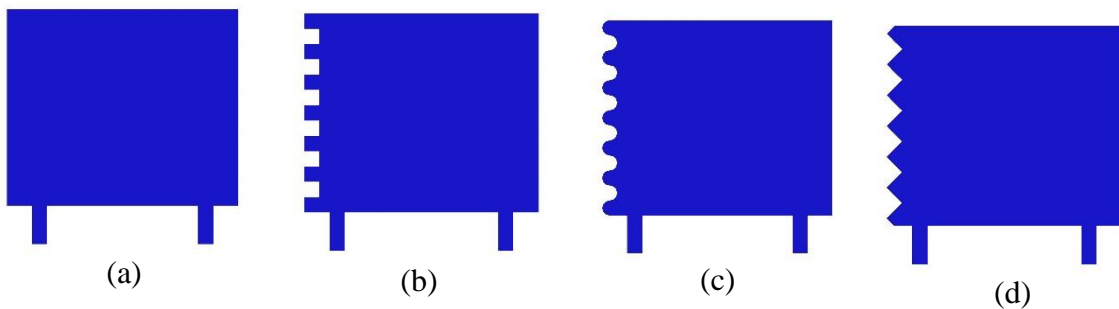
**Gambar 3.4** Model *RG Floating Breakwater* (dalam satuan centimeter)

## 5. Validasi Model Numerik

Pada tahap ini dilakukan validasi model RG dimana dengan membandingkan hasil eksperimen fisik yang telah dilakukan oleh Christensen et. al [2018] dengan hasil uji numerik dalam penelitian ini. Validasi di ilustrasikan dalam bentuk grafik, supaya mudah dalam pengamatan tingkat ke-eroran. Pada tahap validasi ini hal utama yang diperiksa tingkat validitasnya adalah koefisien transmisi gelombang.

## 6. Pengembangan Model *Floating Breakwater*

Tahap pengembangan desain model *floating breakwater* dimaksudkan untuk mengetahui hasil dari tujuan penelitian yang paling optimal. Tujuannya yaitu untuk mengecilkan nilai koefisien transmisi gelombang. Adapun pengembangan model akan dilakukan dengan membuat desain baru, namun mengacu pada penelitian sebelumnya dan berdasar dengan teori yang ada. Variasi model akan mengarah pada pengembangan penelitian Christensen et. al [2018] yaitu model *floating breakwater* tipe RG (lihat gambar 3.2). Berikut adalah variasi pengembangan model *floating breakwater* yang akan disimulasi dalam penelitian ini, dapat dilihat pada gambar 3.5 dibawah ini:



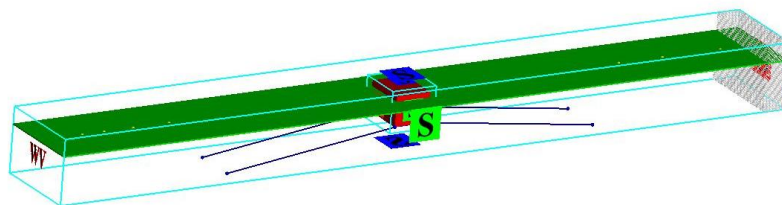
**Gambar 3.5** Model Pengembangan *Floating Breakwater* (a) Regular Pontoon, RG (b) Square Notch, SQ (c) Circular Notch, CN (d) Triangular Notch, VN

## 7. Analisis Koefisien Transmisi Gelombang

Analisis ini dilakukan dengan permodelan numerik desain gambar 3.5 dimana dimulai dengan membentuk data dimensi dan data lingkungan yang mirip dengan kolam uji sesuai dengan tabel 3.2 dan tabel 3.3 dengan

tujuan untuk memastikan elemen apa saja yang berpengaruh terhadap nilai koefisien transmisi gelombang.

Selain melakukan input data tabel 3.2 dan tabel 3.3, selanjutnya dibuat *mesh block* dimana digunakan untuk memodelkan daerah yang akan dimodelkan. Semakin kecil nilai grid maka meshing akan semakin detail namun berdampak pada ukuran file output yang akan semakin besar dan simulasi berjalan lebih lama. Pada penelitian ini juga dilakukan input kondisi batas (*boundary condition*) pada *software flow 3D* seperti pada gambar 3.6. Pada kondisi -X diatur pada kondisi *wave*, +X diatur sebagai *outflow*, -Z diatur sebagai *symetry* untuk menggambarkan kondisi *seabed*, +Z diatur sebagai *symetry*, sumbu -Y diatur sebagai *symetry* dan +Y diatur sebagai *symetry*. Untuk selanjutnya, kondisi *probe* juga di modelkan sebelum struktur dan sesudah struktur untuk mendapatkan elevasi gelombang setiap waktu. Setelah memasukkan semua parameter yang diperlukan untuk pemodelan *floating breakwater* maka selanjutnya adalah melakukan running model. Hasil dari running model akan ditampilkan pada *tool analyze* dan *software flowsight*.



**Gambar 3.6** Permodelan Model *Floating Breakwater*

#### 8. Kesimpulan, Laporan, dan Publikasi

Dari hasil analisa akan diperoleh nilai koefisien transmisi gelombang. Analisis tersebut didapatkan dari uji numerik dari pengembangan model sesuai dengan gambar 3.5 berdasarkan data-data yang sudah ditetapkan (lihat tabel 3.2 dan tabel 3.3). Selanjutnya, dibuatlah laporan penelitian dan publikasi internasional sebagai syarat kelulusan program magister. Serta, dari penelitian ini juga berisi saran untuk dijadikan acuan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *floating breakwater*, dapat berupa analisis ekonomi atau ke-efektifan struktur *floating breakwater* terhadap lokasi penelitian.



### 3.3 Langkah Pengerjaan

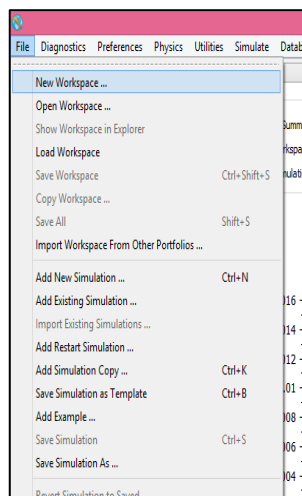
Dalam mengerjakan penelitian ini terdapat beberapa langkah pengerjaan yang perlu dilakukan untuk mencapai hasil tujuan. Adapun langkah – langkah pengerjaan simulasi model numerik *floating breakwater* adalah sebagai berikut ini :

#### 3.3.1 Mendesain Model Struktur

Tahap pertama kali yaitu mendesain struktur *floating breakwater* yang akan dimodelkan dan disimulasi. Dalam penelitian ini, penulis mendesain struktur *floating breakwater* meliputi model validasi dan model pengembangan dengan menggunakan *Computer Aided Design* yaitu software AutoCAD 2017. Sebaiknya saat mendesain model di setting terlebih dahulu dengan koordinat (0,0,0) pada pusat struktur agar memudahkan dalam proses simulasi numerik. Selanjutnya, setelah selesai mendesain struktur dilakukan ekspor desain struktur ke dalam format \*STL. Model yang akan divalidasi adalah model pada percobaan eksperimen (Christensen, 2018). Hasil desain model validasi dan model pengembangan dengan AutoCAD 2017 dapat dilihat pada gambar 3.5.

#### 3.3.2 Pemodelan menggunakan Flow-3D

Pemodelan pada *software Flow-3D* digunakan untuk mensimulasikan model struktur secara numerik dengan berdasarkan model uji eksperimen yang telah dilakukan oleh Christensen 2018. Adapun beberapa tahapan dalam pemodelan *Flow-3D* adalah sebagai berikut :



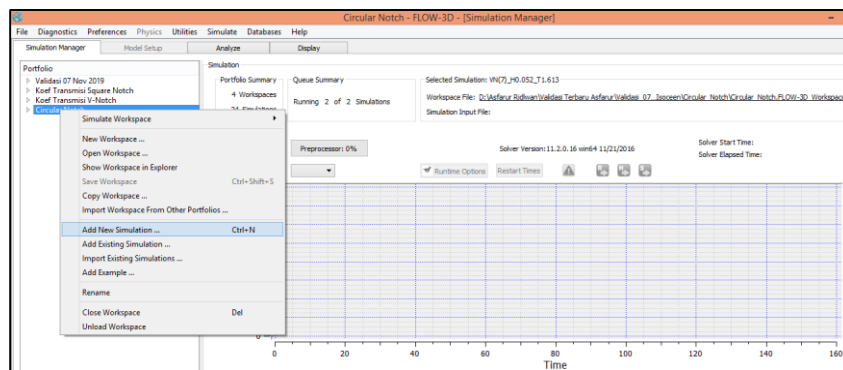
Gambar 3.7 Tampilan Submenu *Workspace Flow-3D*

### 1. Pembuatan *Workspace*

Pada tampilan awal *Flow-3D* pilih *menu file* di *toolbar* dan pilih *sub menu new workspace* seperti pada gambar 3.7. *Workspace* merupakan tempat kerja untuk *file* simulasi pada *software Flow-3D*.

### 2. Pembuatan Simulation

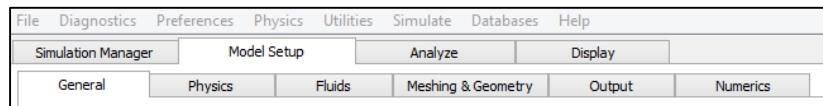
Apabila *workspace* telah terbuat, klik kanan pada *workspace* maka akan muncul *sub menu* lalu pilih “*Add New Simulation*” dan berikan nama pada simulasi yang akan dilakukan seperti pada gambar 3.8 dibawah ini. Simulasi digunakan untuk membuat pemodelan yang akan dilakukan.



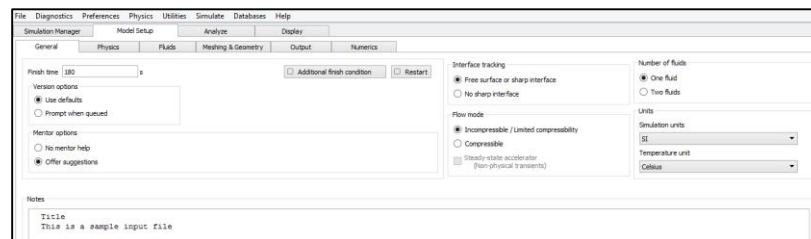
**Gambar 3.8** Tampilan Sub Menu Simulation

### 3. Pengaturan Menu *Model Setup*

Setelah lembar simulasi terbuat maka akan muncul *sub menu* simulasi *model setup*, yaitu *sub menu* yang digunakan untuk memodelkan *wave flume*, struktur dan parameter data yang akan di *input* kan untuk menjalankan analisa model numerik *floating breakwater*. Pada model *setup* terdapat 6 pilihan *sub menu* seperti gambar 3.9 dibawah ini.



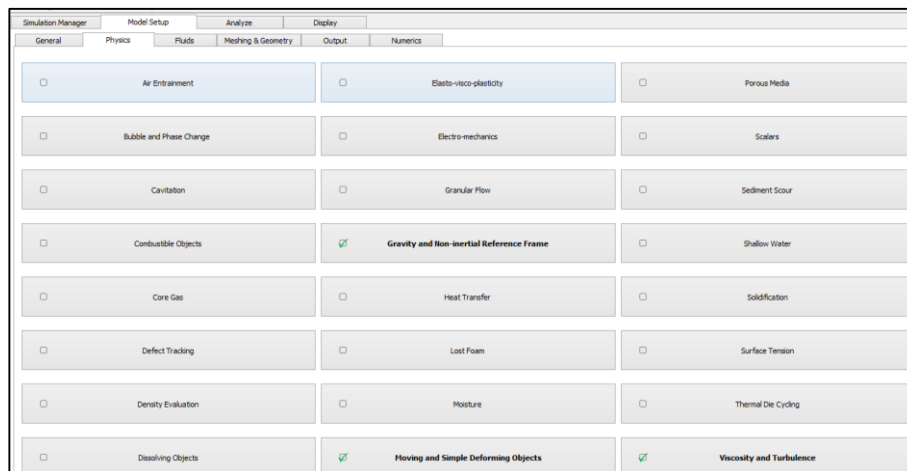
**Gambar 3.9** Tampilan Submenu Model Setup



**Gambar 3.10** Tampilan Sub Menu General

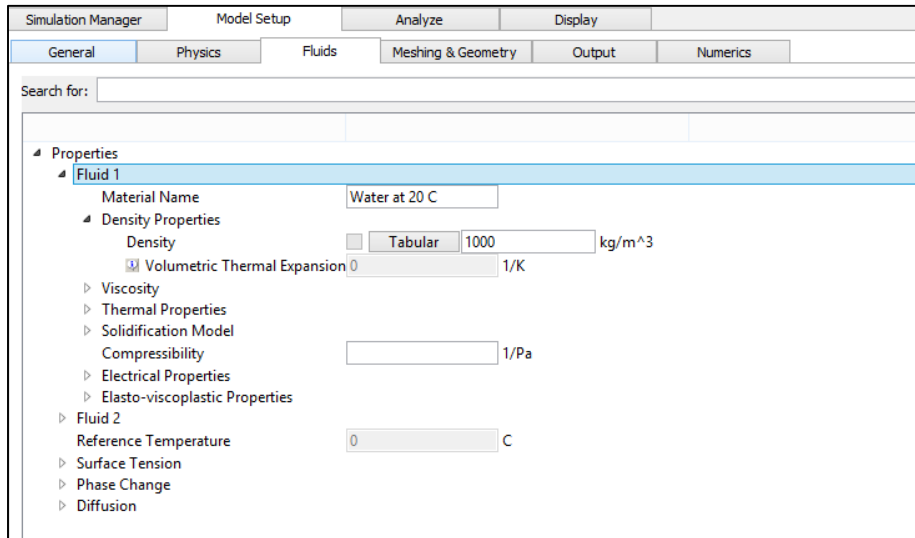
Pada setiap *sub menu* kita meng-*input* parameter-parameter yang diperlukan. Pada tab “*General*”, *finish time* yang digunakan adalah range 180-300 detik dan pengaturan satuan yang digunakan dalam *Flow-3D* adalah satuan SI (Sistem Internasional). Untuk menu lainya tidak diubah atau *default* seperti pada gambar 3.10

Pada *sub menu* “*Physics*” (lihat gambar 3.11) akan muncul pilihan beberapa parameter yang dapat di input untuk menganalisis secara numerik dengan menggunakan *Flow-3D*. Pada penelitian ini diaktifkan parameter “*Gravity and Non-inertial Reference Frame*” yang nilai *gravity*-nya sebesar -9,81, “*Moving and simple deforming objects*” untuk mendefinisikan bahwa struktur itu dapat bergerak, dan “*Viscosity and Turbulance*” untuk mengaktifkan jenis aliran fluida dan turbulensi yang akan digunakan dalam analisis. Adapun jenis turbulensi yang digunakan adalah RNG k- $\epsilon$  karena dalam penelitian ini menganalisis *free surface flow* dengan efek bilangan Reynolds yang relative kecil. Selain itu, RNG k- $\epsilon$  dapat mempresentasikan kondisi lingkungan yang sebenarnya.



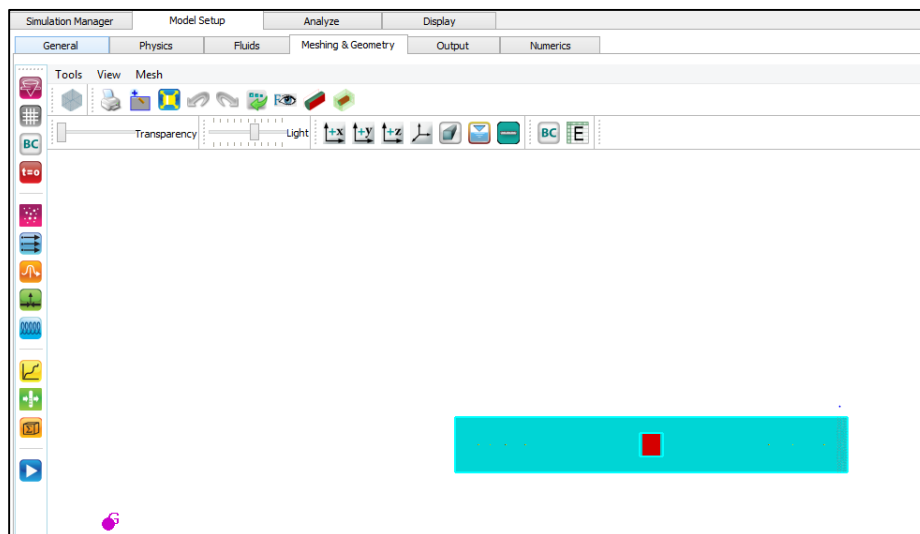
**Gambar 3.11** Tampilan *Sub Menu Physics*

Setelah itu pengaturan di tab “*Fluid*” dimana pada tab ini memasukan parameter karakteristik fluida yang akan digunakan. Untuk eksperimen ini yang digunakan adalah air tawar sehingga nilai densitasnya adalah 1000kg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 3.12** Tampilan Sub Menu *Fluids*

Selanjutnya adalah Sub Menu “*Meshing and Geometry*”. Pada sub menu ini berisi beberapa fungsi window yang digunakan untuk *input* data dan parameter simulasi model *floating breakwater*.



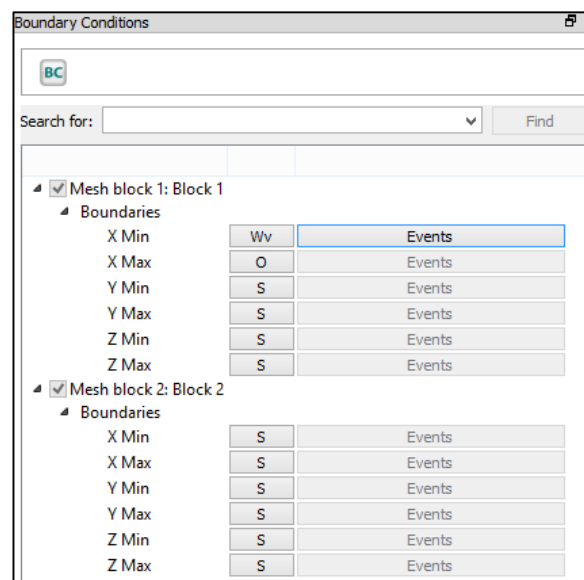
**Gambar 3.13** Tampilan Sub Menu *Meshing and Geometry*

Dalam sub menu ini kita memilih *geometry window* yang berfungsi untuk meng-*input* model geometri struktur kedalam simulasi. Struktur yang di inputkan berupa ekstensi file “.STL”.

Selanjutnya membuat *mesh block* yang digunakan untuk menentukan batasan yang akan dimodelkan. Semakin rapat *meshing* maka akan semakin detail namun membuat ukuran *file output* semakin besar dan

simulasi berjalan lebih lama. Pemodelan *floating breakwater* dalam penelitian ini menggunakan 2 *mesh block*. *Mesh block 1* dengan ukuran *meshing* 0.04 m, dengan panjang *mesh cartesian* menyesuaikan *wave flume* pada sumbu  $X_{\min} = -5$  m,  $X_{\max} = +5$  m, dengan lebar sumbu  $Y_{\min} = -0.7$  m,  $Y_{\max} = +0.7$  m dan dengan kedalaman sumbu  $Z_{\min} = -0.615$  m,  $Z_{\max} = +0.225$  m. Sedangkan, *mesh block 2* diletakan mengelilingi struktur dengan tujuan memperkecil ukuran *meshing* agar lebih detail strukturnya serta hasil analisis nanti dapat lebih valid dan dapat dipertanggungjawabkan. *Mesh block 2* di setting dengan ukuran *meshing* 0.01 m, dengan panjang *mesh cartesian* pada sumbu  $X_{\min} = -0.3$  m,  $X_{\max} = +0.3$  m, dengan lebar sumbu  $Y_{\min} = -0.3$  m,  $Y_{\max} = +0.3$  m dan dengan ketinggian sumbu  $Z_{\min} = -0.38$  m,  $Z_{\max} = +0.15$  m.

Setelah membuat *mesh block* langkah selanjutnya adalah membuat *boundary condition* (lihat gambar 3.14). Tujuan dari *boundary condition* ini adalah untuk menentukan batas dalam pemodelan *Flow-3D*. Dalam setiap *mesh block* terdapat 6 *boundary condition*. Penentuan *boundary condition* pada pemodelan kali ini adalah seperti gambar 3.14 dibawah ini.



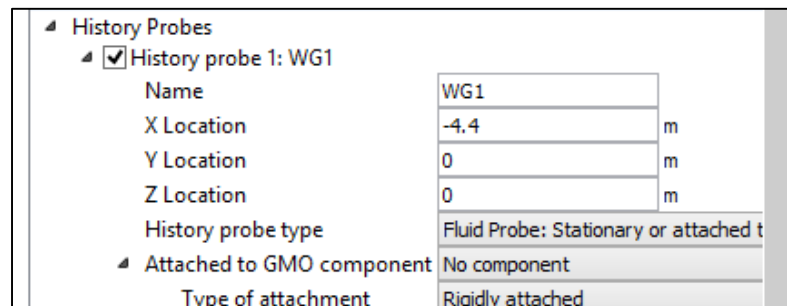
**Gambar 3.14** Tampilan Submenu *Boundary Condition*

Pada *sub menu boundary condition*  $X_{\min}$  sebagai *wave*, dimana  $X_{\min}$  merupakan daerah pembangkitan gelombang datang. Jenis gelombang yang digunakan adalah gelombang non linear stokes orde 2 dengan

parameter tinggi gelombang dan periode gelombang sesuai dengan tabel 3.2 serta elevasi ketinggian air yang digunakan didalam *flume* sebesar  $\pm 0$  m (dengan acuan koordinat). Untuk lebih detail mengetahui *boundary condition computational domain* dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini:

**Tabel 3.4** Boundary Setting Conditions

Deskripsi	Mesh Block 1	Mesh Block 2
$X_{min}$	Wave	Symmetry
$X_{max}$	Outflow	Symmetry
$Y_{min}$	Symmetry	Symmetry
$Y_{max}$	Symmetry	Symmetry
$Z_{min}$	Symmetry	Symmetry
$Z_{max}$	Symmetry	Symmetry



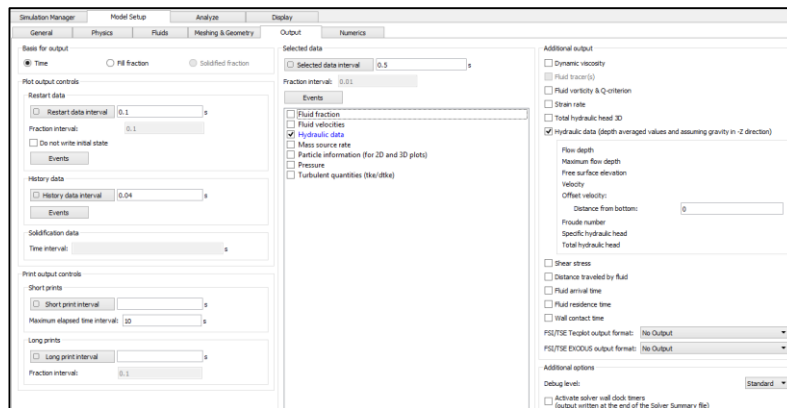
**Gambar 3.15** Tampilan Submenu *Wave Probe*

Langkah selanjutnya adalah memilih *sub menu History Probes Window* digunakan untuk merekam datangnya gelombang terhadap waktu. Pada pemodelan ini dipasang 7 *wave probes*. Dimana hanya digunakan 2 *wave probes* di depan struktur dan dibelakang struktur (*wave probe 1* dan *wave probe 5*). *Wave Probe 1* diletakkan pada daerah pembentukan gelombang sebelum mengenai struktur, sedangkan *wave probe 5* diletakkan setelah melewati struktur. Peletakan *wave probe* sendiri menggunakan titik koordinat yang berada di flume. Posisi peletakan *wave probe* dapat dilihat pada gambar 3.3 (a). Peletakan *wave probe* harus berada di permukaan air atau nilai *Z wave probe* sama dengan nilai *Z* untuk *initial condition*,

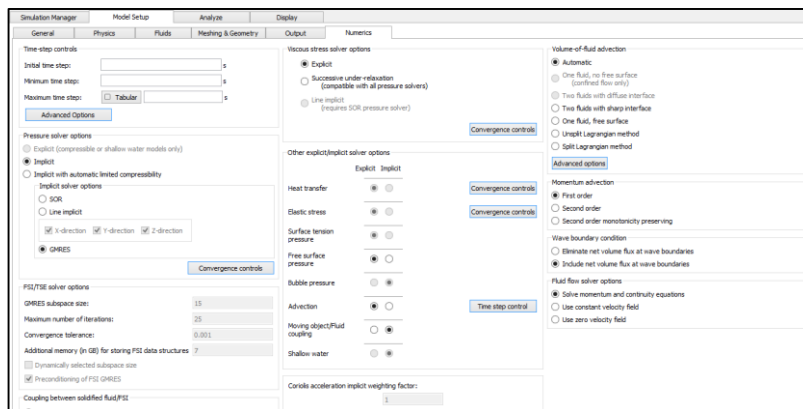
sehingga pencatatan data dimulai pada keadaan *Mean Water Level*. *Sub menu history probes* dapat dilihat pada gambar 3.15.

#### 4. Pengaturan *Sub Menu Output*

*Sub menu output* digunakan untuk mencatat hasil data pemodelan serta mengatur pencatatan *data interval* waktu sesuai dengan apa yang di setting. Semakin kecil interval waktu akan semakin lebih detail dalam pencatatan hasil simulasi. Contoh tampilan sub menu *output* ditunjukkan pada gambar 3.16 dibawah ini.



**Gambar 3.16** Tampilan *Submenu Output*



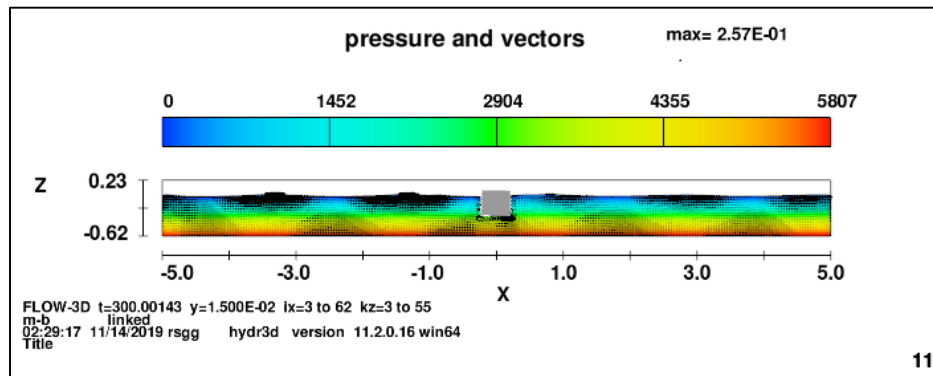
**Gambar 3.17** Tampilan *Submenu Numerics*

#### 5. *Numerics*

Selanjutnya adalah *sub menu Numerics*, yang berfungsi untuk mengatur model numerik simulasi agar sesuai dengan hasil yang diinginkan. Pada *sub menu numerics* ini dapat dibiarkan *default* sehingga *Flow-3D* dapat menyesuaikan dengan simulasi yang dilakukan. Adapun tampilan sub menu *numerics* dapat di lihat pada gambar 3.17.

## 6. Hasil Running Model

Setelah meng-*input* semua parameter yang diperlukan untuk simulasi *floating breakwater* selanjutnya adalah memulai *simulasi* model. Hasil dari simulasi model akan ditampilkan pada *Submenu analyze* dan *software flowsight*. Gambar hasil *simulasi* adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.18** Hasil Simulasi Pada *Submenu Analyze*

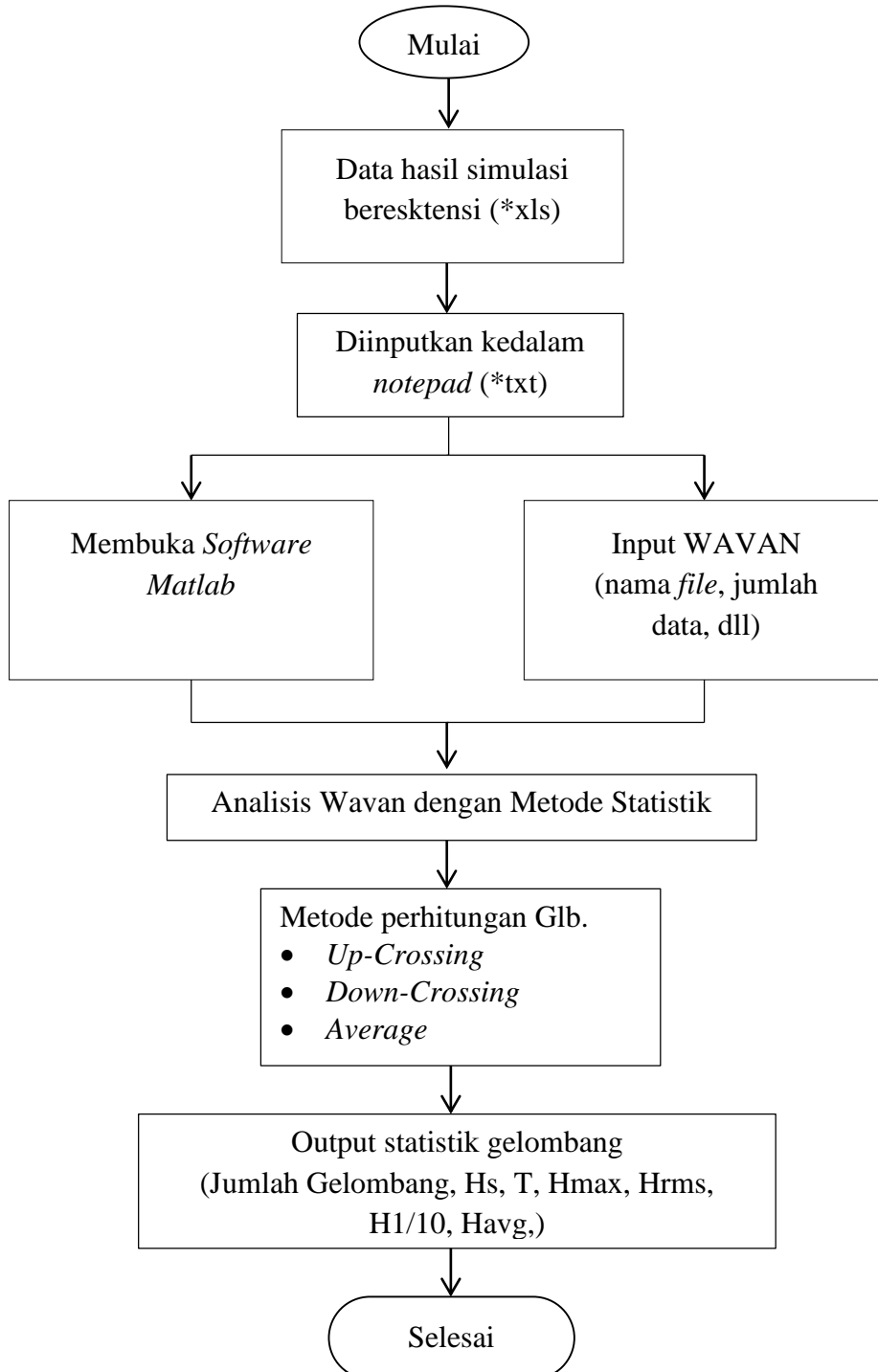
## 7. Analisis Data Gelombang Hasil Simulasi Menggunakan *Wave Analysis Coding*

Data elevasi gelombang yang tercatat pada *wave probe 1* dan *wave probe 5* untuk selanjutnya dianalisis dengan menggunakan *wavan coding* dengan menerapkan metode statistik gelombang untuk didapatkan nilai tinggi gelombang datang (*wave probe 1*) dan tinggi gelombang transmisi (*wave probe 5*). Hasil keluaran *wavan coding* yaitu berupa parameter gelombang salah satunya adalah tinggi gelombang dan periode gelombang. Dalam penelitian ini tinggi gelombang hasil keluaran *wavan coding* yang digunakan adalah tinggi gelombang rata-rata ( $H_{\text{average}}$ ).

Metode program WAVAN (*Wave Analysis*) versi 1.1 Copyright (c) J.W. Kamphuis 2000 dalam mendapatkan nilai  $H_{\text{average}}$  dan  $T_{\text{average}}$ , pertama yang harus dilakukan adalah data hasil simulasi yang berbentuk *extension* (\*.xls) diubah ke *notepad*, *extension* (\*.txt). Kemudian *file extension* (\*.txt) tersebut menjadi input file *wave analysis* (nama *file*, jumlah kolom data, jumlah data, dll). Untuk mengeluarkan output statistik gelombang pertama kita harus memilih metode penentuan perhitungan gelombang yaitu *zero up-crossing*, *zero down-crossing*, atau *average*. Setelah memilih metode penentuan perhitungan gelombang akan menampilkan data berupa nilai



jumlah gelombang,  $H_s$ ,  $T_{avg}$ ,  $H_{max}$ ,  $H_{avg}$ ,  $H_{rms}$ ,  $H1/10$ . Dibawah ini merupakan alur pengolahan data menggunakan WAVAN dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.19.



**Gambar 3.19.** Diagram Alir Pengolahan Data Menggunakan WAVAN

Contoh pengolahan data menggunakan wavan bisa dilihat pada gambar dibawah ini.

```
Command Window
>> run wavan

          Program WAVAN

          Wave Analysis

INPUT

enter input filename  coball.txt
Enter Number of Columns in Input File:  2
Enter No. of Points (Multiple of 8):  1520
Do you want plots? - Yes=1, No=0:  0
Remove Mean (1) or Trend (2)?:  2
Enter Desired Resolution, M:  4

Enter Number of Bins for Histogram: 10

Basic Output

Mean Water Level      =  0.0557 centimetres
Water Level Trend     = -0.00394 cm/s
Sigma                 =  0.021 centimetres

Wave Statistics

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

**Gambar 3.20** Hasil Pengolahan Data Gelombang dengan Wavan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

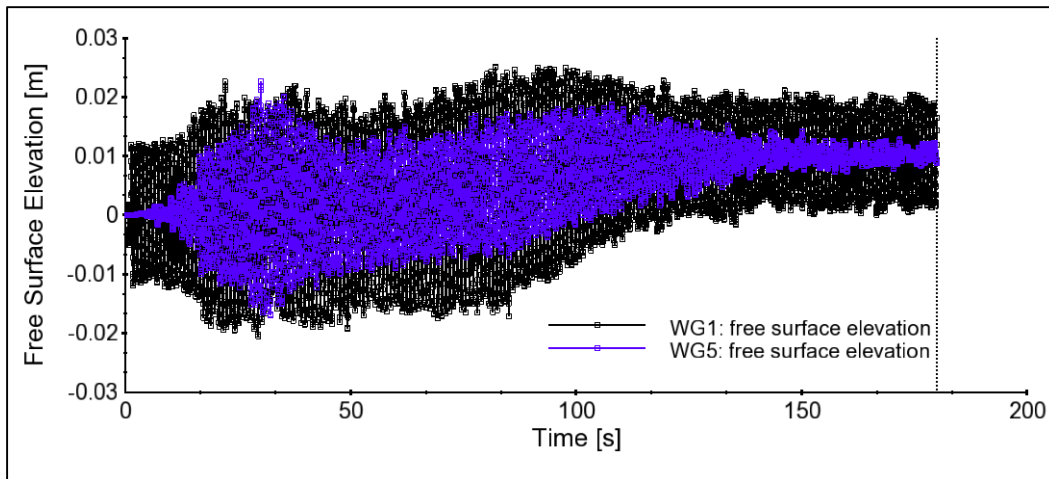
Dalam penelitian ini suatu pendekatan simulasi numerik dilakukan untuk mendapatkan koefisien transmisi yang optimal dengan mengubah variasi bentuk *porous* dari *floating breakwater*. Dalam menentukan nilai koefisien transmisi dilakukan simulasi numerik yang dibantu dengan menggunakan *software Flow 3D*. Selanjutnya, dilakukan *running software* dan hasil output diperoleh data *free surface elevation* untuk tiap pengamatan titik gelombang tiap waktu yang telah disetting sebelumnya dalam *software Flow 3D*. Selanjutnya, dilakukan analisis data *free surface elevation* untuk mendapatkan parameter gelombang seperti jumlah gelombang ( $n$ ), ketinggian gelombang ( $H$ ), dan periode gelombang ( $T$ ) dengan menggunakan *Wave Analysis Coding (WAVAN)*. Dimana *Wave Analysis Coding (Wavan)* menerapkan metode statistik gelombang yang perhitungannya dibantu dengan *software Matlab*.

#### 4.1 Hasil Permodelan Numerik

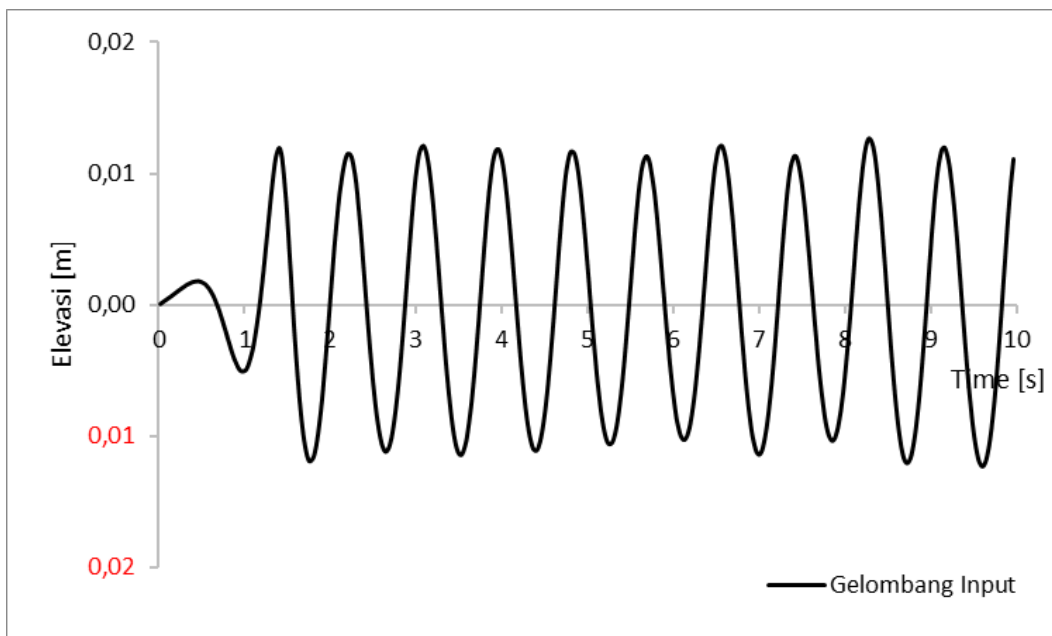
Analisis dan pembahasan kinerja/*performance* aliran fluida di sekitar struktur dilakukan dengan cara melihat hasil luaran dari *software flow 3d* baik berupa grafik, tabel, maupun gambar. Luaran biasanya juga berupa data yang masih perlu dilakukan pengolahan kembali menggunakan metode statistik supaya mendapatkan satu hasil yang di inginkan. Aspek pengamatan dilakukan secara bertahap pada masing-masing model struktur berdasar jumlah gelombang uji yang diberikan dimulai dengan tinggi gelombang terkecil ke tinggi gelombang terbesar. Diharapkan pengamatan dapat terlihat suatu perubahan disetiap kenaikan tinggi gelombang.

Berikut disajikan hasil output simulasi berupa grafik, tabel dan gambar yang dapat dilihat pada gambar 4.1-4.4. Grafik pada gambar 4.1 merupakan hasil simulasi yang berupa elevasi gelombang. Grafik ini hanya dianalisis pada range waktu yang menunjukkan elevasi gelombang relative stabil yaitu pada waktu 50-100 detik. Gambar 4.2 merupakan perbesaran dari gambar 4.1 yang diambil waktu antara 0-10 detik supaya dapat menunjukkan tipe gelombang input yang digunakan yaitu stoke orde 2. Tabel pada gambar 4.3 merupakan hasil simulasi yang berupa elevasi gelombang kemudian dilakukan analisis statistik dengan mengambil data

elevasi gelombang pada saat range waktu stabil. Sehingga hasil analisis statistik hanya didapatkan satu nilai tinggi gelombang rata-rata baik berupa tinggi gelombang datang maupun tinggi gelombang transmisi. Inilah yang dijadikan acuan dalam perhitungan koefisien transmisi. Gambar 4.4 merupakan hasil simulasi yang berupa gambar atau animasi. Jadi hasil simulasi gambar 4.4 dapat digunakan sebagai bahan presentasi supaya terlihat real.



**Gambar 4.1** Hasil Grafik *Free Surface Elevation* Permodelan Numerik

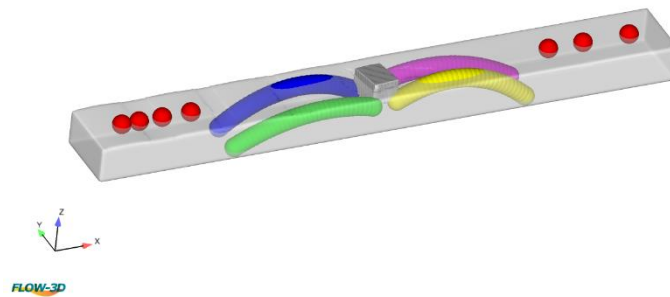


**Gambar 4.2** *Free Surface Elevation* Gelombang Input

	Time	Wg1: free surface elevation	: free surface eleva
1	1.596377E-02	5.558082E-05	9.485121E-14
2	4.789132E-02	2.113299E-04	-2.652144E-10
3	7.981886E-02	3.538101E-04	-1.612350E-09
4	1.277102E-01	5.777070E-04	-4.818848E-09
5	1.596377E-01	7.331591E-04	-7.449069E-09
6	2.075290E-01	9.702957E-04	-1.301759E-08
7	2.394566E-01	1.127259E-03	-1.885688E-08
8	2.873479E-01	1.352797E-03	-3.317339E-08
9	3.192754E-01	1.490089E-03	-4.604625E-08
Min		-2.051296E-02	-1.697932E-02
Max		2.508978E-02	2.271224E-02
Average		5.584491E-03	5.648379E-03

**Gambar 4.3** Hasil Tabel *Free Surface Elevation* Permodelan Numerik

Time = 180.00

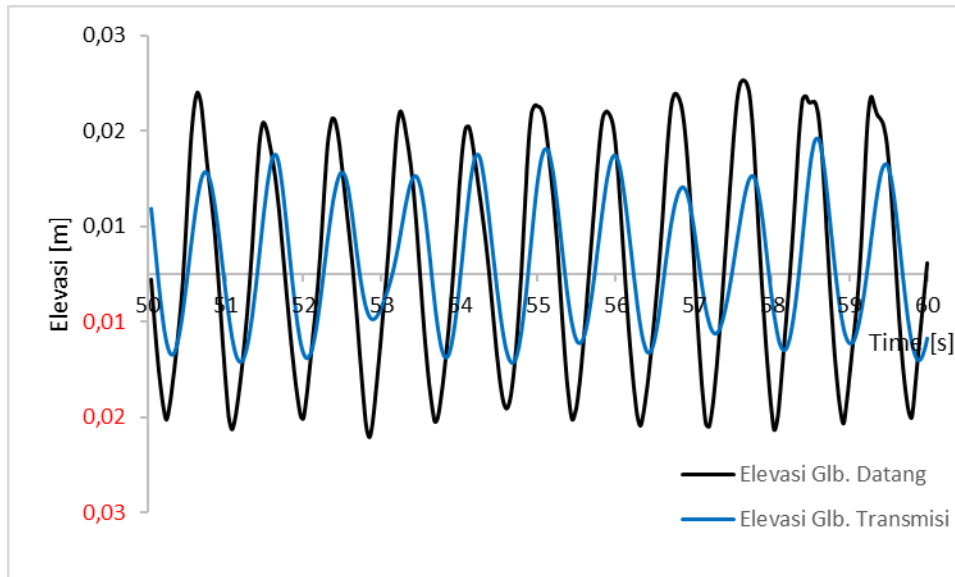


**Gambar 4.4** Hasil Gambar *Free Surface Elevation* Permodelan Numerik

#### 4.2 *Free Surface Elevation*

Data *free surface elevation* (elevasi muka air) didapatkan dari hasil output simulasi numerik berextension .flsgrf pada menu *history data*. Data elevasi muka air yang akan di analisis menggunakan statistik gelombang adalah data elevasi muka air pada saat stabil. Data yang diperoleh berupa data *free surface elevation* (sumbu Y) dan *time series* (sumbu X) sesuai dengan lama waktu yang direncanakan dalam pengujian dan dalam satuan meter. Data elevasi muka air kemudian di analisa dengan bantuan coding WAVAN (*Wave Analysis*) yang di *run* pada *software Matlab* untuk mengetahui parameter gelombang khususnya besar periode gelombang ( $\bar{T}$ ) dan tinggi gelombang rata-rata ( $\bar{H}$ ) secara keseluruhan. Berikut disajikan sampel data elevasi muka air pada percobaan 1 dengan input ketinggian gelombang  $H=0.023$  meter dan periode gelombang  $T=0.868$  detik. Hasil elevasi

muka air setelah dilakukan simulasi numerik di ilustrasikan gambar 4.5 dibawah ini:



**Gambar 4.5** Elevasi Muka Air Percobaan Uji Gelombang 1

Data *free surface elevation* (elevasi muka air) pada gambar 4.5 didapatkan dari hasil output simulasi numerik model berupa angka dan grafik. Data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan *Wavan Coding* yang mengacu pada metode statistik gelombang rata-rata antara *up-crossing* dan *down-crossing*. Terdapat 2 *wave gauges* dan setiap *wave gauge* menghasilkan data elevasi muka air dimana akan dilakukan analisis sendiri-sendiri menggunakan *wavan coding*. Data elevasi muka air yang sudah dianalisis menggunakan *wavan coding* kemudian di peroleh nilai rata-rata tinggi gelombang ( $\bar{H}$ ) dan periode gelombang rata-rata ( $\bar{T}$ ) pada setiap *wave gauge* (di depan struktur dan di belakang struktur). Hasil ketinggian rata-rata gelombang ( $\bar{H}$ ) tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai koefisien transmisi ( $K_T$ ) yang dirumuskan sesuai dengan formula (1). Berikut disajikan nilai tinggi gelombang rata-rata ( $\bar{H}$ ) dan periode gelombang rata-rata ( $\bar{T}$ ) pada ke 4 model struktur yang telah dilakukan simulasi numerik dengan input data percobaan uji gelombang 1 ( $H=0.023\text{m}$  dan  $T=0.868\text{s}$ ), lihat tabel 4.1 dibawah ini:

**Tabel 4.1** Data Parameter Gelombang Hasil Analisis Wavan Coding Percobaan Uji Gelombang 1 ( $H=0.023$  m, dan  $T=0.868$ s)

Wave Gauge	Parameter Gelombang	Regular Pontoon	Square Notch	Circular Notch	Triangular Notch
Wave Gauge 1 (Depan Struktur)	H [m]	0.0353	0.0300	0.0246	0.0272
	T [s]	0.8636	0.9173	0.8773	0.8669
Wave Gauge 5 (Belakang Struktur)	H [m]	0.0197	0.0120	0.0134	0.0135
	T [s]	0.8487	0.8552	0.9035	0.8797

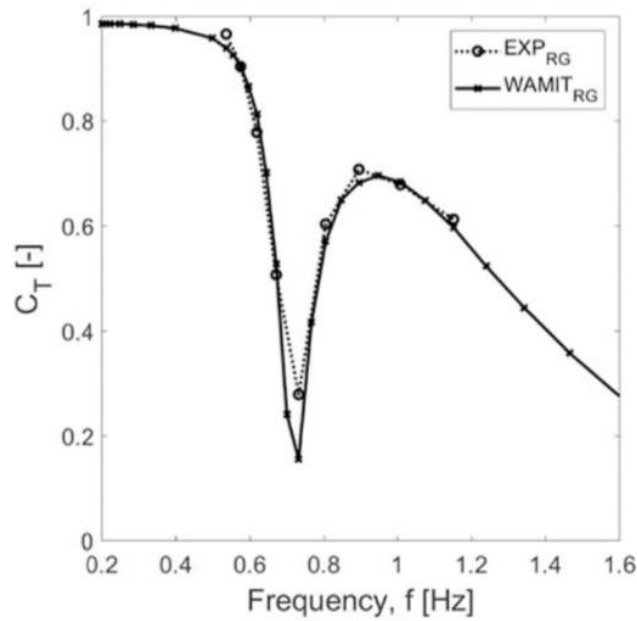
Selanjutnya dilakukan juga simulasi numerik untuk percobaan uji gelombang 2 sampai 6 dengan data input seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2. Dengan langkah yang sama sehingga didapatkan data parameter gelombang hasil analisis *wavan coding* seperti tabel 4.1.

### 4.3 Validasi Model

Validasi model pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien transmisi antara simulasi numerik dengan eksperimen. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah struktur model sudah dapat mempresentasikan atau belum terhadap uji eksperimen. Jika sudah sesuai maka dapat dilakukan simulasi numerik pada model-model pengembangan yang lain untuk mendapatkan koefisien transmisi yang paling optimal. Dalam penelitian ini terdapat 4 pengembangan model yang dapat dilihat pada gambar 3.5.

Nilai koefisien transmisi pada uji eksperimen diperoleh dari penelitian (Christensen, 2018) dan di lakukan digitasi karena dalam jurnal (Christensen, 2018) tidak disebutkan nilai koefisien transmisi dalam angka namun di ilustrasikan pada gambar. Dapat dilihat pada gambar 4.6 untuk koefisien transmisi eksperimen (Christensen, 2018) dan hasil digitasi dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini. Semua parameter uji eksperimen (Christensen, 2018) di input kedalam software Flow 3D untuk dilakukan simulasi numerik. Mulai dari parameter gelombang, dimensi struktur, dan properties mooring. Model yang digunakan untuk validasi adalah model struktur Regular Pontoon (RG) sesuai dengan gambar 3.4.





**Gambar 4.6** Koefisien Transmisi Eksperimen Christensen

**Tabel 4.2** Hasil Digitasi Koefisien Transmisi Eksperimen Christensen

No	Frekuensi [Hz]	Koefisien Transmisi Eksperimen [-]
1	1.1520	0.6046
2	0.8960	0.7114
3	0.8060	0.6125
4	0.6720	0.5054
5	0.6200	0.7756
6	0.5380	0.9673

Dalam eksperimen Christensen dilakukan 9 kali percobaan dengan input parameter gelombang yang berbeda-beda. Dalam validasi penelitian ini, penulis hanya memvalidasi 6 percobaan dikarenakan waktu simulasi numerik yang cukup lama namun sudah cukup mewakili range 9 percobaan. Dilakukan simulasi 6 kali setiap model berdasarkan variasi ketinggian gelombang dan periode gelombang (data data dilihat pada tabel 3.2). Berjalanya waktu simulasi di setting dalam kolom *Finish Time* di software Flow 3D berdasarkan kestabilan *performance structure model*. Hasil yang di ambil dan di analisis hanya dari waktu structure model terlihat stabil. Hasil koefisien transmisi dari simulasi numerik dapat dilihat pada tabel 4.3. Dalam tabel 4.3 dimasukan juga nilai koefisien transmisi eksperimen untuk

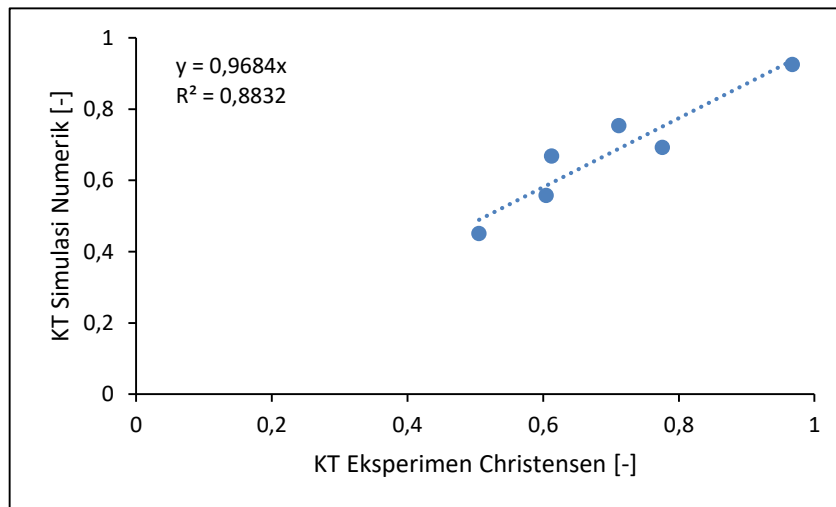
mengetahui tingkat akurasi prediksi berdasarkan teori *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Terlihat bahwa tingkat akurasi antara range 0-20% dan dapat dikatakan baik berdasarkan tabel MAPE yang dapat dilihat pada tabel 4.4. Selain itu, koefisien determinasi menunjukkan angka 0.8832 dimana semakin mendekati nilai 1, sehingga menunjukkan semakin kuat relasi antara kedua variable. Selanjutnya, dilakukan validasi antara hasil koefisien transmisi eksperimen dan koefisien transmisi numerik yang di ilustrasikan pada gambar 4.8.

**Tabel 4.3** Koefisien Transmisi Eksperimen dan Numerik Regular Pontoon (RG)

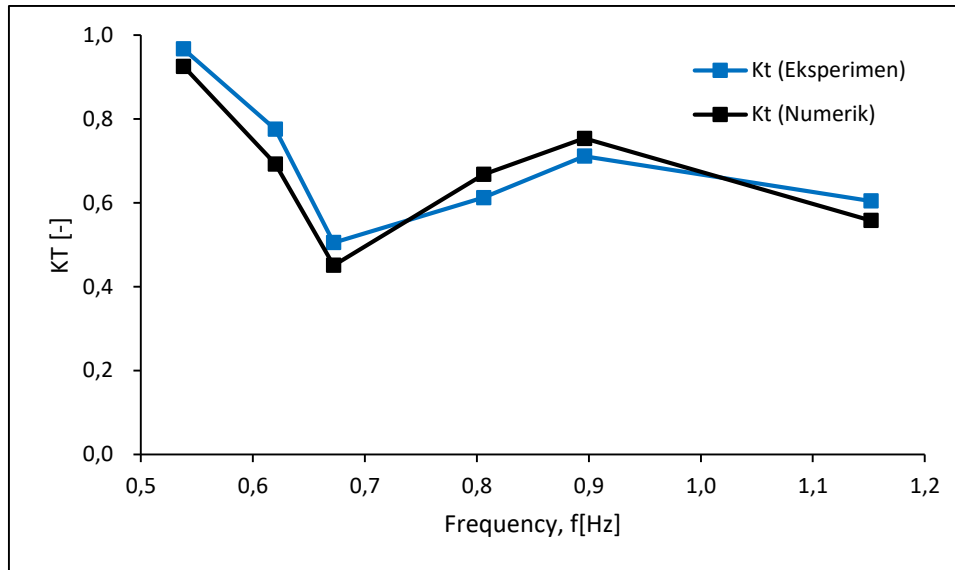
No	Data Input		$H_I$	$H_T$	$K_T$ (experiment)	$K_T$ (numeric)	Error (%)	$R^2$
	H [m]	T [s]						
1	0,0230	0,8680	0,0353	0,0197	0,6046	0,5581	8,3370	0,8832
2	0,0360	1,1160	0,0329	0,0248	0,7114	0,7538	5,6248	
3	0,0410	1,2400	0,0491	0,0328	0,6125	0,6680	8,3117	
4	0,0490	1,4880	0,0521	0,0235	0,5054	0,4511	12,0483	
5	0,0520	1,6130	0,0589	0,0408	0,7756	0,6927	11,9677	
6	0,0550	1,8610	0,0498	0,0461	0,9673	0,9257	4,4936	
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)							8,4638	

**Tabel 4.4** Tabel *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

No	Nilai MAPE	Akurasi Prediksi
1	$MAPE \leq 10\%$	Tinggi
2	$10\% < MAPE \leq 20\%$	Baik
3	$20\% < MAPE \leq 50\%$	Reasonable
4	$MAPE > 50\%$	Rendah



**Gambar 4.7** Regresi Koefisien Transmisi Eksperimen dan Numerik



**Gambar 4.8** Validasi Koefisien Transmisi Eksperimen dan Numerik

Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa koefisien transmisi antara simulasi numerik dengan eksperimen memiliki trend kurva yang sama namun ada sedikit perbedaan yang mungkin dikarenakan adanya factor manusia atau alat pengukur (*wave gauge*) yang tidak dapat di idealkan pada saat eksperimen.

#### 4.4 Koefisien Transmisi Model Eksplorasi

Setelah model regular ponton (RG) *floating breakwater* tervalidasi antara simulasi numerik dengan uji eksperimen, Selanjutnya, 3 model eksplorasi pada gambar 3.5 di lakukan simulasi numerik dengan domain dan inputan yang sama persis seperti model yang telah tervalidasi. Selanjutnya dilakukan running dan hasilnya sebagai berikut:

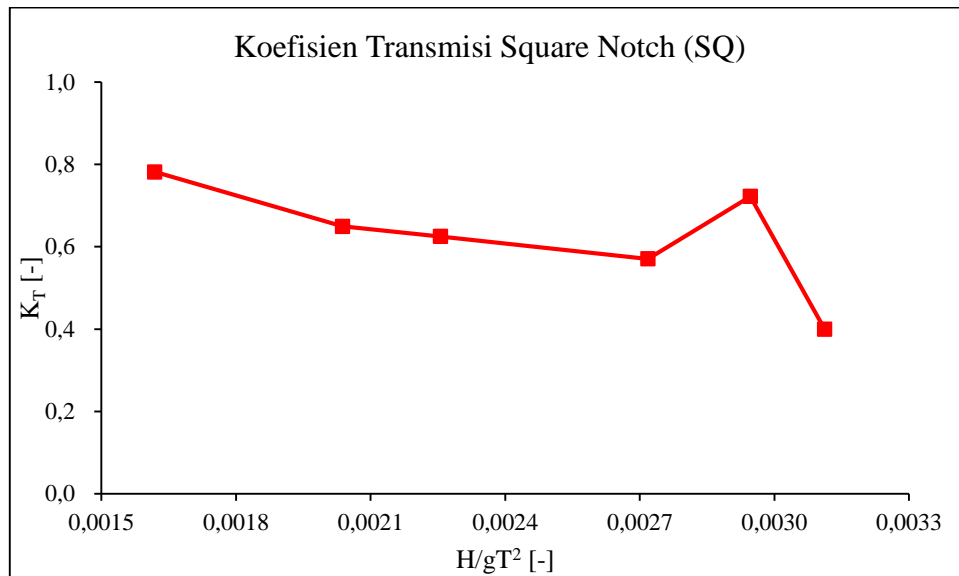
##### a. Koefisien Transmisi Model Square Notch (SQ)

Simulasi numerik model *square notch* (SQ) dilakukan 6 kali percobaan simulasi dengan variasi nilai tinggi gelombang dan periode gelombang sesuai pada tabel 3.2. Ketika simulasi telah selesai, pencatatan hasil output parameter gelombang di dapatkan dari *wave gauges (probes)* berupa data dalam bentuk *time series*. Data pencatatan oleh *wave gauges* tersebut kemudian di analisis dengan menggunakan *coding wavan* untuk di dapatkan parameter-parameter gelombang yang nanti akan digunakan dalam perhitungan koefisien transmisi. Dalam pembahasan penelitian ini hanya ditampilkan parameter ketinggian gelombang rata-rata dan periode gelombang rata-rata. Pengolahan *coding wavan* di bantu oleh *software Matlab*. Berikut ini adalah tabel 4.5 berupa data parameter gelombang

hasil analisis wavan dan nilai koefisien transmisi pada struktur *floating breakwater* model *square notch* (SQ). Tabel 4.5 juga di ilustrasikan pada gambar 4.9 dibawah ini.

**Tabel 4.5** Nilai Koefisien Transmisi Model *Square Notch* (SQ)

No	Data Input		$H_I$	$H_T$	$K_{T(SQ)}$
	H [m]	T [s]			
1	0,0230	0,8680	0,0300	0,0120	0,4000
2	0,0360	1,1160	0,0342	0,0247	0,7222
3	0,0410	1,2400	0,0524	0,0299	0,5706
4	0,0490	1,4880	0,0464	0,0290	0,6250
5	0,0520	1,6130	0,0579	0,0376	0,6494
6	0,0550	1,8610	0,0550	0,0430	0,7818
<b>Rata-Rata <math>K_T</math> SQ [-]</b>					<b>0,6248</b>



**Gambar 4.9** Koefisien Transmisi Model *Square Notch* (SQ)

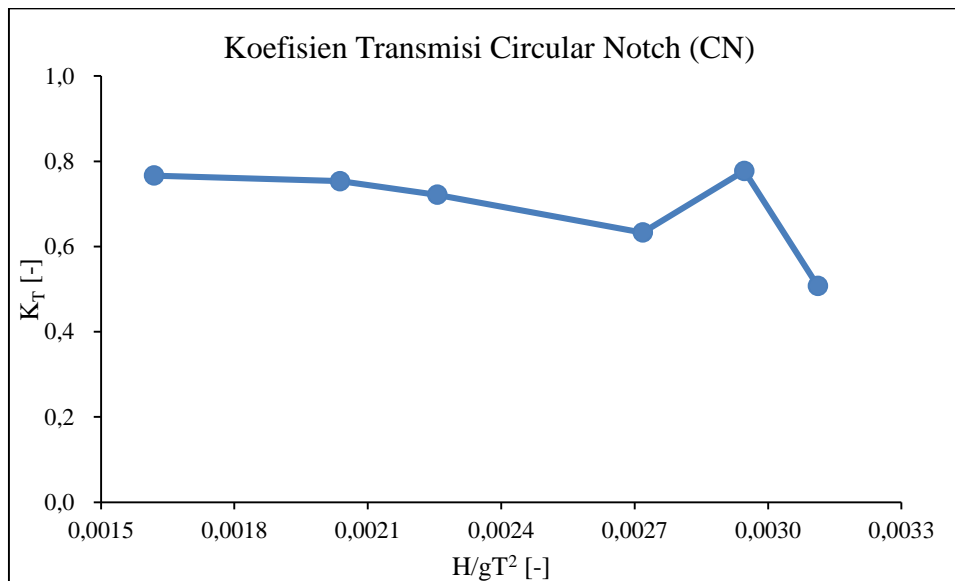
**b. Koefisien Transmisi Model *Circular Notch* (CN)**

Simulasi numerik model *circular notch* (CN) dilakukan 6 kali percobaan simulasi dengan variasi nilai tinggi gelombang dan periode gelombang sesuai pada tabel 3.2. Ketika simulasi telah selesai, pencatatan hasil output parameter gelombang di dapatkan dari *wave gauges (probes)* berupa data dalam bentuk *time series*. Data pencatatan oleh *wave gauges* tersebut kemudian di analisis dengan menggunakan *coding wavan* untuk di dapatkan parameter-parameter gelombang yang nanti akan digunakan dalam perhitungan koefisien transmisi. Dalam

pembahasan penelitian ini hanya ditampilkan parameter ketinggian gelombang rata-rata dan periode gelombang rata-rata. Pengolahan *coding wavan* di bantu oleh *software Matlab*. Berikut ini adalah tabel 4.6 berupa data parameter gelombang hasil analisis wavan dan nilai koefisien transmisi pada struktur *floating breakwater* model *circular notch* (CN). Tabel 4.6 juga di ilustrasikan pada gambar 4.10 dibawah ini.

**Tabel 4.6** Nilai Koefisien Transmisi Model *Circular Notch* (CN)

No	Data Input		$H_I$	$H_T$	$K_{T(CN)}$
	H [m]	T [s]			
1	0,0230	0,8680	0,0264	0,0134	0,5076
2	0,0360	1,1160	0,0350	0,0272	0,7771
3	0,0410	1,2400	0,0539	0,0341	0,6327
4	0,0490	1,4880	0,0438	0,0316	0,7215
5	0,0520	1,6130	0,0588	0,0443	0,7534
6	0,0550	1,8610	0,0582	0,0446	0,7663
<b>Rata-Rata <math>K_T</math> CN [-]</b>					<b>0,6886</b>



**Gambar 4.10** Koefisien Transmisi Model *Circular Notch* (CN)

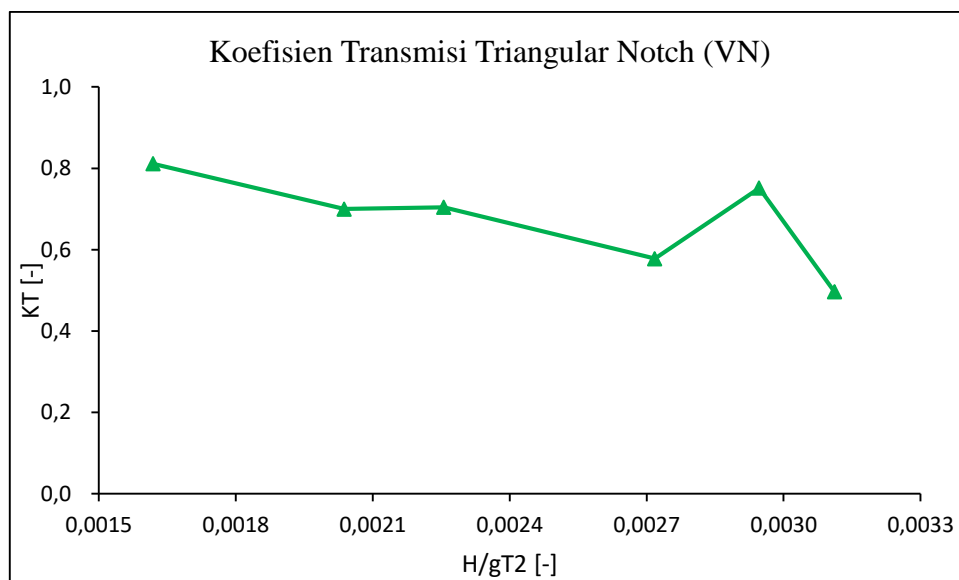
**c. Koefisien Transmisi Model *Triangular Notch* (VN)**

Simulasi numerik model *triangular notch* (VN) dilakukan 6 kali percobaan simulasi dengan variasi nilai tinggi gelombang dan periode gelombang sesuai pada tabel 3.2. Ketika simulasi telah selesai, pencatatan hasil output parameter

gelombang di dapatkan dari *wave gauges (probes)* berupa data dalam bentuk *time series*. Data pencatatan oleh *wave gauges* tersebut kemudian di analisis dengan menggunakan *coding wavan* untuk di dapatkan parameter-parameter gelombang yang nanti akan digunakan dalam perhitungan koefisien transmisi. Dalam pembahasan penelitian ini hanya ditampilkan parameter ketinggian gelombang rata-rata dan periode gelombang rata-rata. Pengolahan *coding wavan* di bantu oleh *software Matlab*. Berikut ini adalah tabel 4.7 berupa data parameter gelombang hasil analisis wavan dan nilai koefisien transmisi pada struktur *floating breakwater* model *triangular notch (VN)*. Tabel 4.7 juga di ilustrasikan pada gambar 4.11 dibawah ini.

**Tabel 4.7** Nilai Koefisien Transmisi Model *Triangular Notch (VN)*

No	Data Input		$H_I$	$H_T$	$K_{T(VN)}$
	H [m]	T [s]			
1	0,0230	0,8680	0,0272	0,0135	0,4963
2	0,0360	1,1160	0,0342	0,0257	0,7515
3	0,0410	1,2400	0,0533	0,0308	0,5779
4	0,0490	1,4880	0,0446	0,0314	0,7040
5	0,0520	1,6130	0,0553	0,0387	0,6998
6	0,0550	1,8610	0,0546	0,0443	0,8114
<b>Rata-Rata <math>K_T</math> VN [-]</b>					<b>0,6735</b>



**Gambar 4.11** Koefisien Transmisi Model *Triangular Notch (VN)*

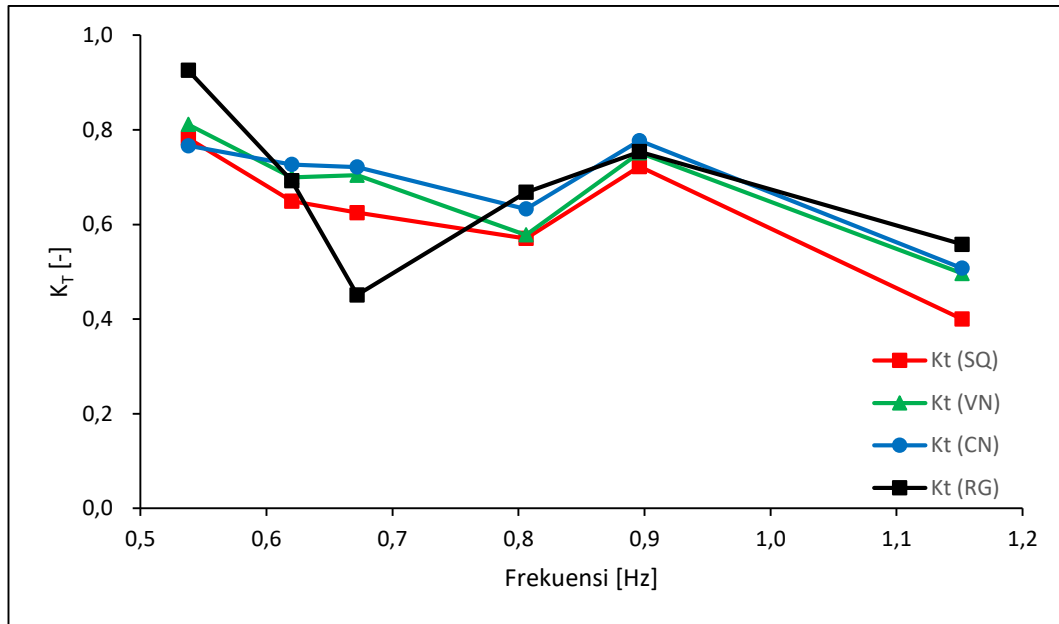
#### 4.5 Perbandingan Koefisien Transmisi Model Terhadap Frekuensi (f)

Dilakukan perbandingan antara koefisien transmisi model dan frekuensi gelombang tujuannya adalah untuk mengetahui apakah perbedaan frekuensi dapat memberikan efek yang cukup besar terhadap koefisien transmisi. Dari hasil pengujian simulasi numerik pada model dapat disimpulkan bahwa frekuensi cukup memberikan pengaruh yang signifikan terhadap koefisien transmisi. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8 dan diilustrasikan pada gambar 4.12 dibawah ini:

**Tabel 4.8** Perbandingan Koefisien Transmisi Model

f [Hz]	Koefisien Transmisi [-]			
	Model SQ	Model CN	Model VN	Model RG
1.1520	0,4000	0,5076	0,4963	0.5581
0.8960	0,7222	0,7588	0,7515	0.7538
0.8060	0,5706	0,5963	0,5779	0.6680
0.6720	0,6250	0,7215	0,7040	0.4511
0.6200	0,6494	0,7534	0,6998	0.6927
0.5380	0,7818	0,7766	0,8114	0.9257
<b>Rata-Rata <math>K_T</math> [-]</b>	<b>0,6248</b>	<b>0,6886</b>	<b>0,6735</b>	<b>0.6749</b>

Tabel 4.8 merupakan nilai perbandingan koefisien transmisi pada struktur antar model *Square Notch* (SQ), *Circular Notch* (CN), *Triangular Notch* (VN), serta model dasar *Regular Pontoon* (RG). Range nilai koefisien transmisi model *square notch* (SQ) sebesar 0.4000-0.7818, model *circular notch* (CN) memiliki range koefisien transmisi sebesar 0.5076-0.776, model *triangular notch* (VN) memiliki range koefisien transmisi sebesar 0.4963-0.8114, dan model *regular pontoon* (RG) memiliki range koefisien transmisi sebesar 0.5581-0.9257. Selanjutnya untuk memudahkan mengetahui perbedaan nilai koefisien transmisi antar model dapat di ilustrasikan pada gambar grafik 4.12 dibawah ini:



**Gambar 4.12** Grafik Perbandingan Nilai Koefisien Transmisi Antar Model

Grafik pada gambar 4.12 merupakan grafik perbandingan antara nilai koefisien transmisi dan frekuensi gelombang antar model penelitian. Grafik tersebut menginformasikan bahwa struktur dengan model *square notch* (SQ), *circular notch* (CN), dan *triangular notch* (VN) menunjukkan tren kurva yang sama namun memiliki nilai koefisien transmisi yang berbeda-beda berdasarkan frekuensinya.

#### 4.6 Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) terhadap Koefisien Transmisi

Korelasi antara nilai koefisien transmisi ( $K_T$ ) dan pengaruh kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) akan dibahas dalam penelitian ini. Pengaruh kecuraman gelombang terhadap koefisien transmisi dalam penelitian ini terdapat 3 tipe model dengan ketinggian gelombang dan periode gelombang yang berbeda-beda antar uji percobaan gelombang. Dan dilakukan simulasi terhadap 3 model struktur *floating breakwater* yakni Square Notch (SQ), Circular Notch (CN), dan Triangular Notch (VN).

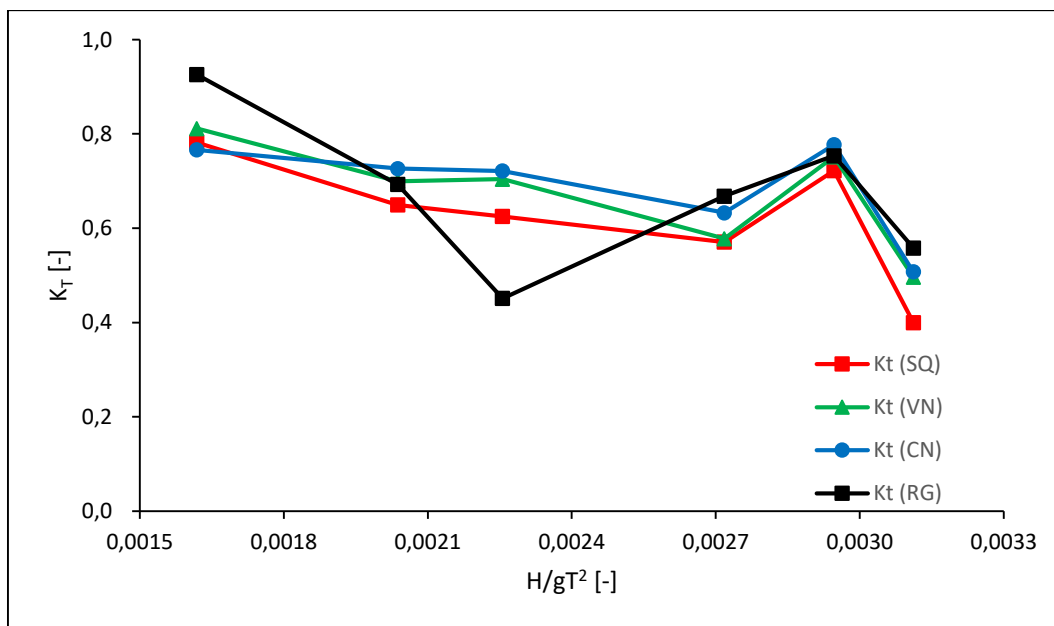
Hasil koefisien transmisi pada permodelan struktur *floating breakwater* ke tiga eksplorasi model (SQ, CN, dan VN) dan model dasar regular pontoon (RG)



akibat pengaruh kecuraman gelombang dapat dilihat pada tabel 4.9 serta di ilustrasikan pada gambar 4.13 dibawah ini.

**Tabel 4.9** Perbandingan Koefisien Transmisi VS Kecuraman Gelombang

H/gT <sup>2</sup> [-]	Koefisien Transmisi [-]			
	Model SQ	Model CN	Model VN	Model RG
0,0031	0,4000	0,5076	0,4963	0,5581
0,0029	0,7222	0,7588	0,7515	0,7538
0,0027	0,5706	0,5963	0,5779	0,6680
0,0023	0,6250	0,7215	0,7040	0,4511
0,0020	0,6494	0,7534	0,6998	0,6927
0,0016	0,7818	0,7766	0,8114	0,9257
<b>Rata-Rata K<sub>T</sub> [-]</b>	<b>0,6248</b>	<b>0,6886</b>	<b>0,6735</b>	<b>0,6749</b>



**Gambar 4.13** Perbandingan Nilai Koefisien Transmisi VS Kecuraman Gelombang

Tabel 4.9 merupakan nilai perbandingan koefisien transmisi pada struktur antar model *Square Notch* (SQ), *Circular Notch* (CN), *Triangular Notch* (VN), dan *Regular Pontoon* (RG) akibat pengaruh kecuraman gelombang. Range nilai

koefisien transmisi model *square notch* (SQ) sebesar 0.4000-0.7818, model *circular notch* (CN) memiliki range koefisien transmisi sebesar 0.5076-0.776, model *triangular notch* (VN) memiliki range koefisien transmisi sebesar 0.4963-0.8114, dan model *regular pontoon* (RG) memiliki range koefisien transmisi sebesar 0.5581-0.6749. Selanjutnya untuk memudahkan mengetahui perbedaan nilai koefisien transmisi antar model dapat di ilustrasikan pada gambar grafik 4.13.

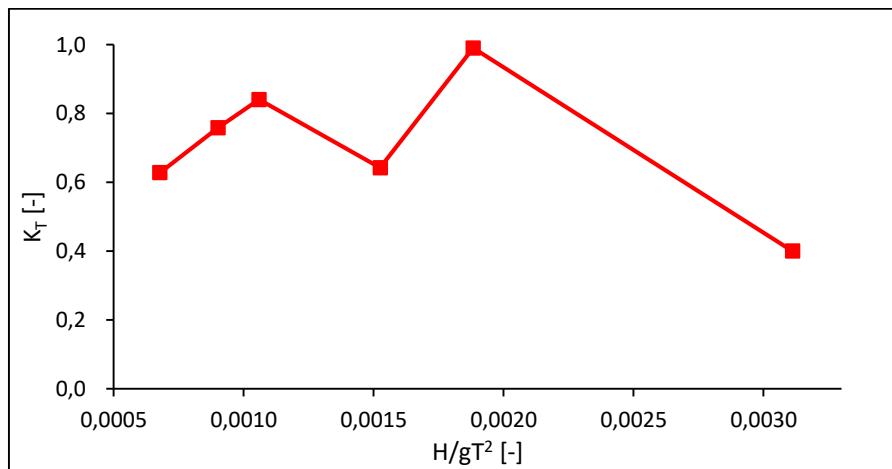
Gambar 4.13 menunjukkan suatu perbandingan nilai koefisien transmisi untuk setiap struktur akibat pengaruh besarnya kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ). Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai  $H/gT^2$  maka semakin kecil nilai koefisien transmisi yang dihasilkan, artinya struktur dalam meredam energi gelombang lebih optimal. Namun pada nilai kecuraman gelombang 0,0029 di semua model struktur, nilai  $H/gT^2$  mengalami kenaikan koefisien transmisi selanjutnya mengalami penurunan nilai koefisien transmisi kembali. Dari perbandingan ketiga model struktur *floating breakwater* yang di ilustrasikan pada gambar 4.13 diperoleh bahwa struktur model *square notch* (SQ) memiliki performa yang terbaik dalam meredam tinggi gelombang datang/energi gelombang. Hal ini di tunjukan dengan nilai koefisien transmisi yang lebih rendah dari struktur model lainnya yaitu model *circular notch*(CN) dan model *triangular notch* (VN).

#### **4.7 Pengaruh Periode Terhadap Koefisien Transmisi Model *Square Notch* (SQ)**

Berdasarkan penjelasan 4.6 yang terkait dengan model yang paling optimal yaitu model *square notch* (SQ) dikarenakan memiliki koefisien transmisi yang lebih rendah dari model CN dan VN. Selanjutnya, dilakukan variasi range  $H/gT^2$  guna menentukan lokasi struktur *floating breakwater* model *square notch* (SQ) pada kondisi lingkungan sebenarnya. Penentuan variasi  $H/gT^2$  dengan cara memvariasi periode gelombang (T) pada satu tinggi gelombang (H) uji coba 1. Jadi tinggi gelombang (H) merupakan variable tetap, sedangkan periode gelombang (T) merupakan variable bebas. Untuk ilustrasi data yang lebih detail dapat dilihat pada tabel 4.10. Adapun korelasi antara nilai  $H/gT^2$  dengan nilai koefisien transmisi ( $K_T$ ) di ilustrasikan dengan grafik pada gambar 4.14 dibawah ini:

**Tabel 4.10** Nilai Koefisien Transmisi ( $K_T$ ) Terhadap Variasi Nilai Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) pada Model *Square Notch* (SQ)

No	Data Input		$H/gT^2$	$H_i$	$H_T$	$K_{T(SQ)}$
	H [m]	T [s]				
1	0,0230	0,8680	0.0031	0.0300	0.0120	0.4000
2		1,1160	0.0019	0.0207	0.0205	0.9903
3		1,2400	0.0015	0.0327	0.0210	0.6422
4		1,4880	0.0011	0.0301	0.0253	0.8405
5		1,6130	0.0009	0.0257	0.0195	0.7588
6		1,8610	0.0007	0.0207	0.0130	0.6280



**Gambar 4.14** Grafik Nilai Koefisien Transmisi ( $K_T$ ) Terhadap Variasi Nilai Kecuraman Gelombang ( $H/gT^2$ ) pada Model *Square Notch* (SQ)

Gambar 4.14 menunjukkan suatu perbandingan nilai koefisien transmisi terhadap kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ). Dapat disimpulkan bahwa pada range  $H/gT^2$  antara 0.0025 hingga 0.0030 atau antara 0.0005 hingga 0.0010 memiliki nilai koefisien transmisi terkecil di banding nilai  $H/gT^2$  lainnya. Sehingga range  $H/gT^2$  tersebut dapat dijadikan sebagai daerah pemilihan lokasi floating breakwater model *square notch* (SQ). Karena memiliki koefisien transmisi yang relative lebih kecil dibanding range  $H/gT^2$  lainnya yang artinya lebih efektif dalam meredam energi gelombang.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uraian dan analisa penelitian, interaksi antara gelombang dan struktur *floating breakwater* disimulasikan menggunakan teknik integrasi antara *Computed-Aided Design* (CAD) dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Permodelan metode CFD seluruhnya menggunakan persamaan *Reynolds Average Navier Stokes* (RANS) dan menggunakan model turbulensi RNG k- $\epsilon$ . Adapun metode ukuran meshing yang digunakan menggunakan Volume of Fluid Method (VoF) dimana di atur kecil dan optimal terhadap kekuatan kapasitas komputer. Sehingga, setelah simulasi dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendekatan validasi yang dilakukan pada penelitian ini antara uji eksperimen oleh (Christensen, 2018) dengan simulasi numerik dapat dikatakan valid dikarenakan masih dalam batas toleransi error sehingga juga dapat dilakukan pengembangan bentuk model yang lebih optimal. Adapun nilai validasi model dapat di lihat pada tabel 4.4 dengan tingkat ke-eroran rata-rata sebesar 8.5%.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai transmisi koefisien secara alami dipengaruhi oleh parameter gelombang khususnya periode gelombang dan tinggi gelombang. Namun untuk mengecilkan nilai transmisi koefisien dapat menggunakan konsep pengembangan model porous depan struktur *floating breakwater*. Dalam penelitian ini terdapat 3 model pengembangan yaitu *square notch* (SQ), *circular notch* (CN), dan *triangular notch* (VN). Nilai transmisi koefisien ketiga model pengembangan dapat dilihat pada tabel 4.6, table 4.7, dan tabel 4.8 dengan nilai rata-rata nilai koefisien transmisi masing-masing sebesar 0,6248; 0,6886; dan 0,6735.
3. Penentuan model struktur *floating breakwater* yang paling optimal didasarkan pada segi koefisien transmisi, dengan cara membandingkan nilainya. Semakin kecil nilai koefisien transmisi semakin yang paling optimal. Hasil perbandingan koefisien transmisi yang tercantum pada gambar 4.8, dapat disimpulkan bahwa model *square notch* (SQ) adalah struktur *floating breakwater* yang paling optimal.

## 5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi masukan dan bahan pertimbangan dalam inovasi untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penelitian uji eksperimen model *square notch* (SQ) dengan parameter dan dimensi yang sama persis untuk memverifikasi hasil simulasi numerik.
2. Dapat menambahkan variable model yang optimal dari segi analisis mooring sistem dan analisis stabilitas struktur pada penelitian selanjutnya.
3. Permodelan dapat dilakukan dengan menggunakan ukuran mesh yang lebih kecil sehingga hasil yang diperoleh dapat mendekati kondisi aslinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., 2006. *Floating Transshipment Container Terminal*. Master of Science Thesis. Delft University of Technology: Netherlands
- Armono, H.D., Supriadi, H., Yuniardo, R.K., 2009. *Pemakaian Floaton untuk Gelombang Pemecah Terapung (Floating Breakwater)*. Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IX, Kampus ITS Surabaya
- Armono, H.D., Suastika, K.S., Sujantoko., Sholihin., Supriadi, H., 2011. *Laporan Akhir Riset Andalan Perguruan Tinggi dan Industri: Rancang Bangun Floating Breakwater High Density Polyethylene untuk Pulau-pulau Kecil di Indonesia*. LPPM ITS Surabaya
- Biesheuvel, A.C., 2013. *Effectiveness of Floating Breakwaters: wave attenuating floating structures*. Master of Science Thesis. Delft University of Technology: Netherlands
- Bleck, M., Oumeraci, H., 2001. *Wave Damping and Spectral Evolution at Art Reef*. Proceedings 4<sup>th</sup> international Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis. San Fransisco, California, USA
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. CBI Industries, Inc: USA.
- Christensen, E.D., Bingham, H.B., Friis, A.P.S., 2018. *An Experimental and Numerical Study of Floating Breakwaters*. Ocean Eng. 137, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.03.002>.
- Dai, J., Wang, C.M., Utsunomiya, T., Duan, W., 2018. *Review of Recent Research and Developments on Floating Breakwaters*. Ocean Eng. 158, 132-151. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.03.083>.

- De Ruij, G.V.P., 2006. *A Very Large Floating Container Terminal*. Delft University of Technology: Netherlands
- Dong, G.H., Zheng, Y.N., Li, Y.C., Teng, B., Guan, C.T., Lin, D.F., 2008. *Experiments on Wave Transmission Coefficients of Floating Breakwaters*. Ocean Eng. 35, 931-938. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2008.01.010>
- Fatnanta, F., 2009. *Kajian Perilaku Transmisi dan Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir Tipe Tenggelam*. Disertasi: ITS Surabaya
- Fauzi, M.A.R., 2017. *Perbandingan Perfoma Bentuk Terumbu Buatan dalam Mengurangi Tinggi Gelombang*. Laporan Thesis: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Fousert, M.W., 2006. *Floating Breakwater "A Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System"*. Final Report of Master Thesis: Delf University of Technology
- Hales, L.Z., 1981. "*Floating Breakwater: State of The Art, Literature Review*," TR 81-1, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, CE, Fort Belvoir, Virginia, October.
- Harms, V.W., Westerink, J.J., Sorensen, R.M., AAC Tamany, J.E., 1982. *Coastal Engineering Research Center*
- Headland, J.R., 1990. *Floating Breakwaters*. Dalam Buku: Marine Structures Engineering: Specialized Applications. Chapman & Hall An International Thomson Publishing: USA
- Holthuijsen, L.H., 2007. *Wave in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press: United Kingdom
- Integrated Publishing. 2019. *Breakwaters and Jetties*. <http://constructionmanuals.tpub.com/14044/css/Offshore-296.htm>. (di akses 11 Agustus 2019)

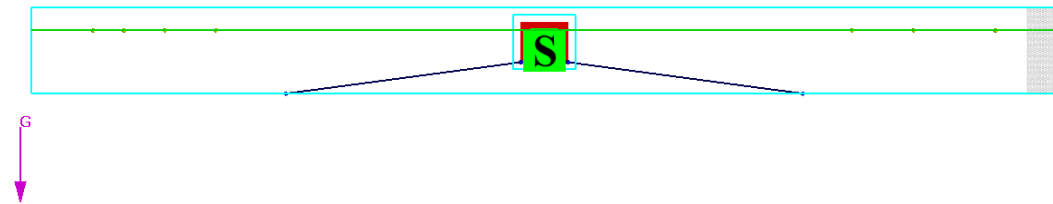
- Kim, C.G., Kim, S.H., Kim, T.H., Baik, C.I., 2001. *Monitoring of Floating Fish Reef Installed in Koje Coastal Waters*. Ocean and Polar Research. 23(3), 305-310.
- Leach, P.A., McDougal, W.G., Sollitt, C.K., 1985. *Hinged Floating Breakwater*. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng. 111(5), 895-909. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1985\)111:5\(895\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1985)111:5(895))
- Le Mehaute, B. 1976. *An Introduction to Hydrodynamics and Water Wave*. Springer Verlag: Berlin
- Massie, W.W., Journee, J.M.J., 2001. *Offshore Hydromechanics*. Delft University of Technology: Netherlands
- McCartney., Bruce, L., Asce, M., 1985. *Floating Breakwater Design*. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng. 111(2), 304-318. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1985\)111:2\(304\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1985)111:2(304))
- PIANC. 1994. *Floating Breakwaters: A Practical Guide for Design and Construction*. PIANC: Belgium
- Rahman, Md.A., Mizutani, N., Kawasaki, K., 2006. *Numerical Modeling of Dynamic Responses and Mooring Forces of Submerged Floating Breakwater*. Coastal Eng. 53, 799-815. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2006.04.001>
- Akhwady, R., 2012. *Kinerja Terumbu Buatan Silinder Berongga (Bottle Reef) sebagai Pemecah Gelombang Ambang Terbenam*. Laporan Disertasi: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- SF Marina. 2019. *Floating Brakwaters*. <https://www.sfmarina.com/solutions/breakwaters/>. (diakses 11 Agustus 2019)
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset: Yogyakarta.



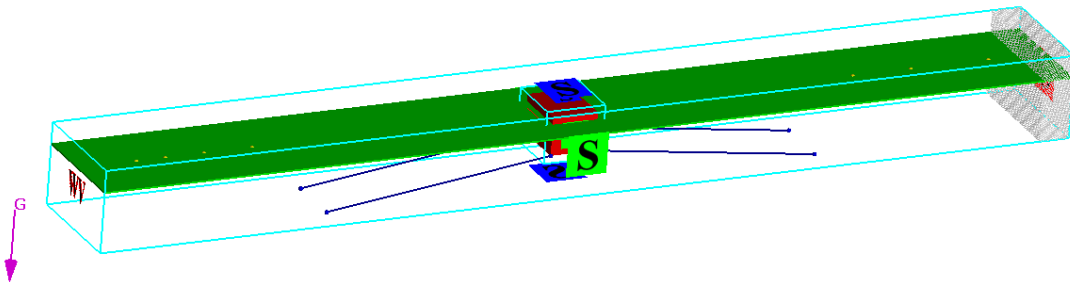
- Tsinker, G.P., 1995. *Marine Structures Engineering: Specialized Applications*. Chapman & Hall An International Thomson Publishing: USA
- U.S. Navy Corps of Engineers., 1984. *Shore Protection Manual: Coastal Engineering Research Center (CERC)*. Washington DC.
- U.S. Navy Corps of Engineers., 2008. *Coastal Engineering Manual: Complete All Parts, All Sections*. Washington DC.
- Verhagen, H.J., D'Angremond, K., dan Van Roode, F., 2008. *Breakwaters and Closure dams*. VSSD Publising: Delft Netherlands.

## Lampiran A. Desain Permodelan Pada Software Flow 3D

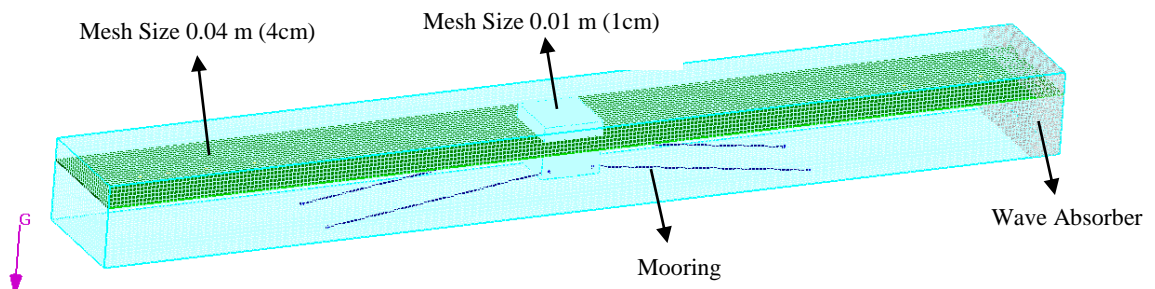
Pada lampiran A. disajikan contoh desain permodelan model *floating breakwater* pada software Flow 3D. Ada 4 model *floating breakwater* yang dilakukan simulasi numerik yaitu model validasi (*model regular ponton, RG*) dan model pengembangan (*square notch, SQ; circular notch, CN; dan triangular notch, VN*). Lampiran A hanya menyajikan model *regular ponton* sebagai contoh ilustrasi desain permodelan pada software Flow 3D. Selanjutnya untuk model pengembangan hanya mengganti strukturnya namun dengan domain dan parameter input data yang sama.



Gambar A.1. Desain Model Tampak Samping



Gambar A.2. Desain Model Tampak Isometri

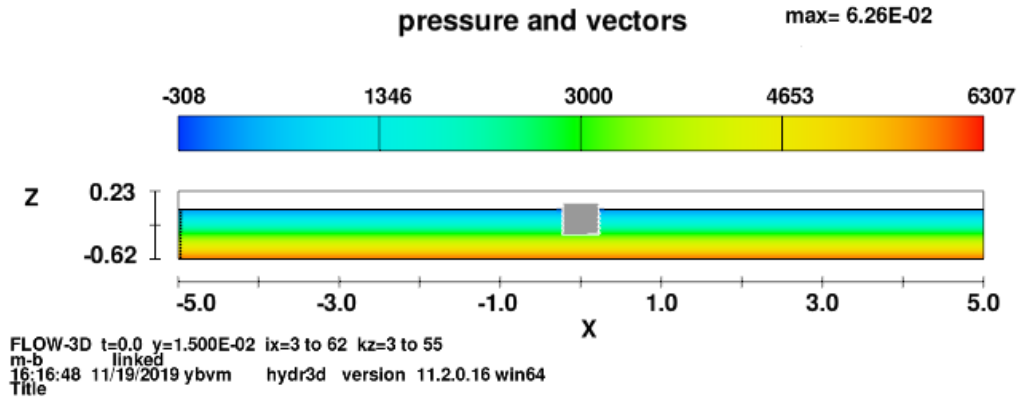


Gambar A.3. Desain Model Dengan Ilustrasi Mesh Size

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

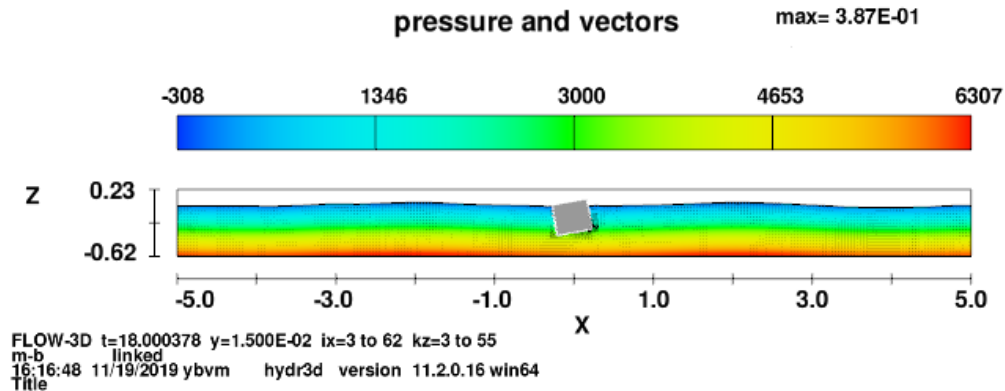
## Lampiran B. Hasil Simulasi Profile 2D (Sumbu.X-Z)

Lampiran B merupakan ilustrasi hasil simulasi model dimana pergerakan model terlihat disetiap waktu akibat gaya gelombang yang mengenai model struktur. Pergerakan model dimulai pada rentang waktu 0 detik hingga 180 detik. Selain terlihat pergerakan model struktur, pencatatan elevasi gelombang pada setiap waktu juga tercatat yang nanti diolah dengan statistik gelombang sehingga didapatkan tinggi gelombang rata-rata di depan struktur dan belakang struktur.



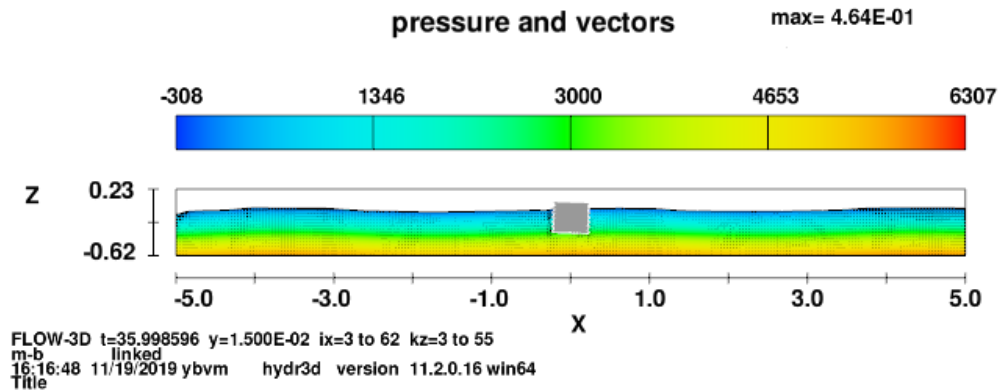
1

Gambar B.1. Pergerakan Struktur Pada Detik 0



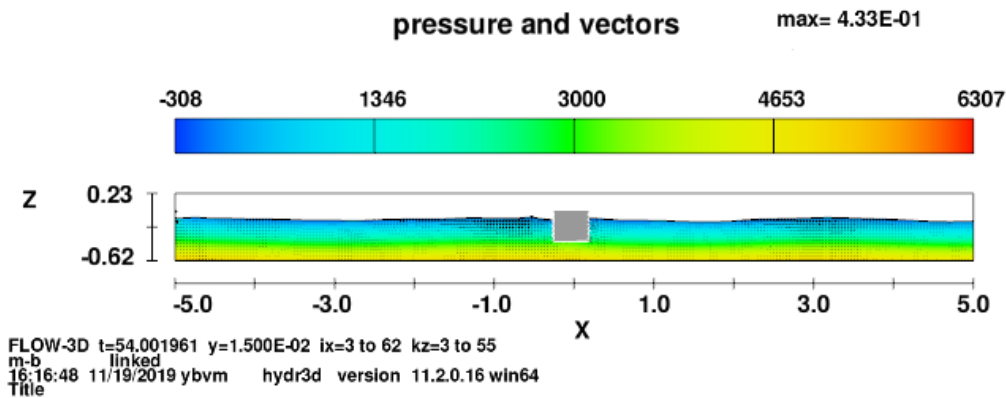
2

Gambar B.2. Pergerakan Struktur Pada Detik 18



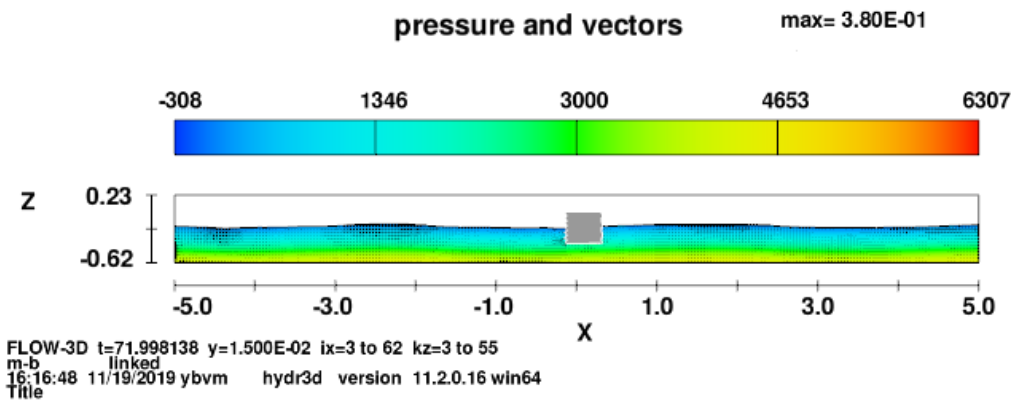
3

**Gambar B.3. Pergerakan Struktur Pada Detik 36**



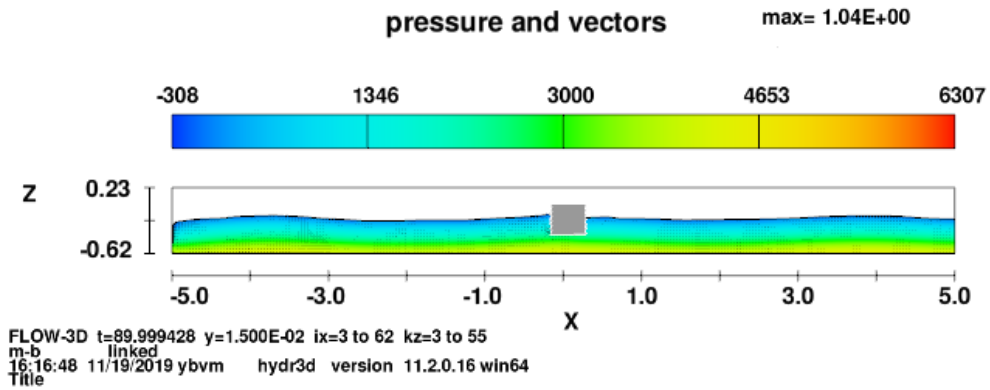
4

**Gambar B.4. Pergerakan Struktur Pada Detik 54**



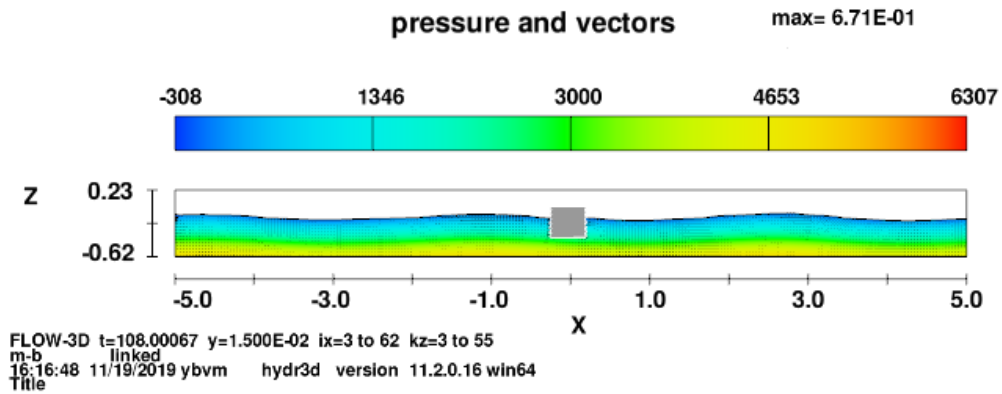
5

**Gambar B.5. Pergerakan Struktur Pada Detik 72**



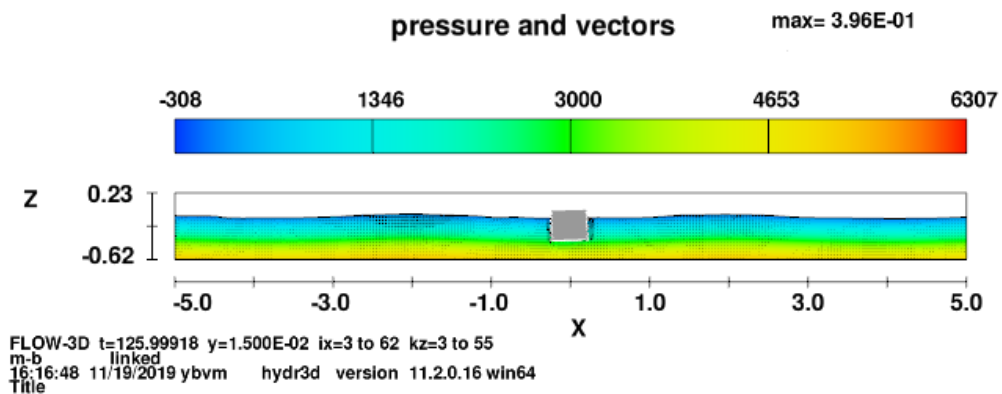
6

**Gambar B.6. Pergerakan Struktur Pada Detik 90**



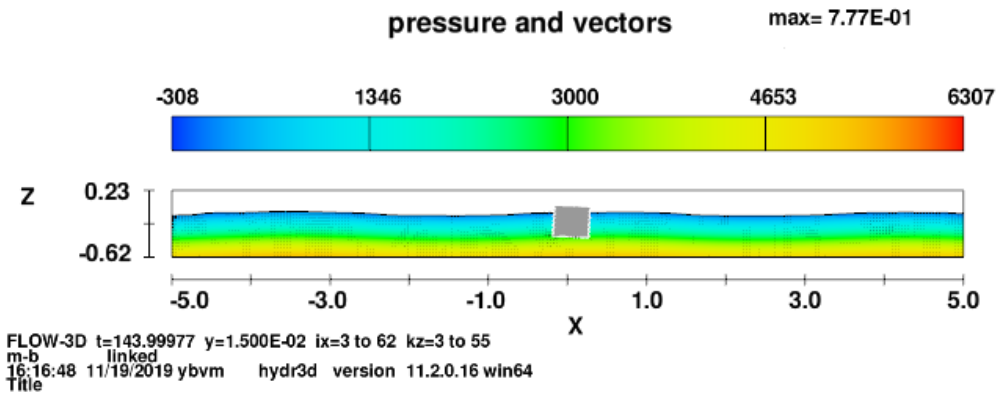
7

**Gambar B.7. Pergerakan Struktur Pada Detik 108**



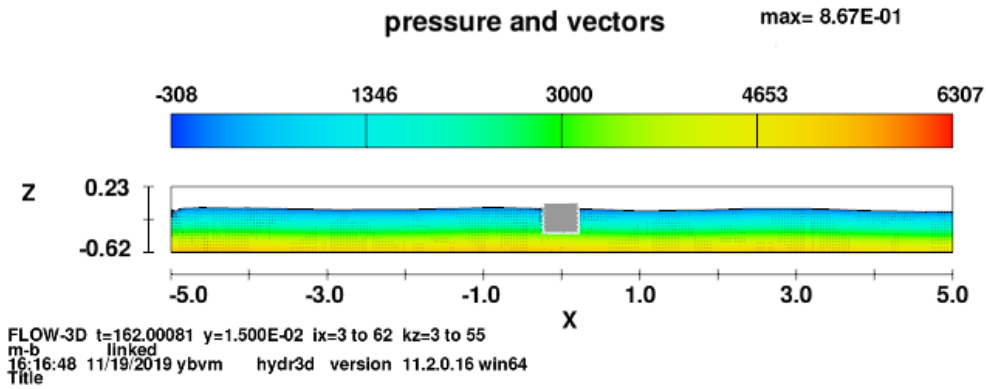
8

**Gambar B.8. Pergerakan Struktur Pada Detik 126**



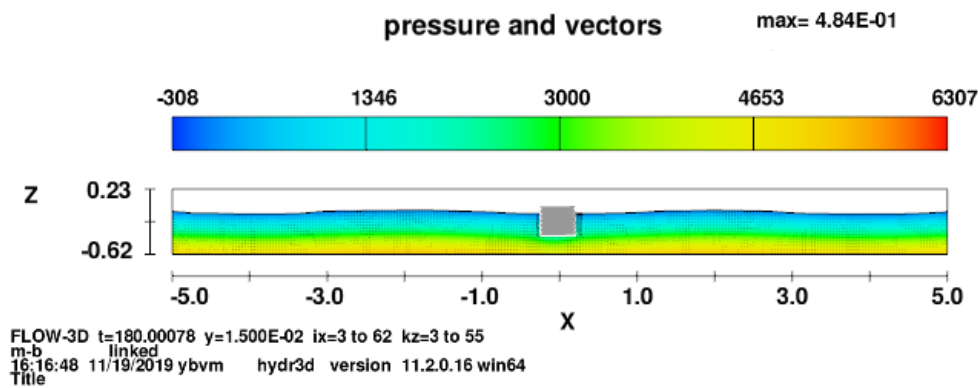
9

**Gambar B.9. Pergerakan Struktur Pada Detik 144**



10

**Gambar B.10. Pergerakan Struktur Pada Detik 162**



11

**Gambar B.11. Pergerakan Struktur Pada Detik 180**

## Lampiran C. Hasil Analisis Data Time Series Dengan WAVAN

### PROBE DEPAN STRUKTUR

```
>> run wavan
Program WAVAN
Wave Analysis
```

INPUT

```
enter input filename coball.txt
Enter Number of Columns in Input File: 2
Enter No. of Points (Multiple of 8): 2000
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 0
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
Enter Desired Resolution, M: 4
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 10
```

Basic Output

```
Mean Water Level          = -0.1340 centimetres
Water Level Trend         = 0.00051 cm/s
Sigma                     = 0.018 centimetres
```

Wave Statistics

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

```
Number of Waves          = 64
Average Wave Period      = 1.2820 seconds
Significant Wave Height  = 0.0578 centimetres
Maximum Wave Height     = 0.0647 centimetres
Average Wave Height     = 0.0491 centimetres
rms Wave Height         = 0.0498 centimetres
Average of Highest 1/10 = 0.0623 centimetres
Sigmaz                  = 0.0129 centimetres
```



## PROBE BELAKANG STRUKTUR

```
>> run wavan
Program WAVAN                               Wave Analysis
```

INPUT

```
enter input filename  cobal5.txt
Enter Number of Columns in Input File:  2
Enter No. of Points (Multiple of 8):    2000
Do you want plots? - Yes=1, No=0:      0
Remove Mean (1) or Trend (2)?:        2
Enter Desired Resolution, M:           4
```

```
Enter Number of Bins for Histogram: 10
```

Basic Output

```
Mean Water Level           = -0.1375 centimetres
Water Level Trend          =  0.00055 cm/s
Sigma                      =  0.013 centimetres
```

Wave Statistics

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

```
Number of Waves           =  64
Average Wave Period       =  1.2820 seconds
Significant Wave Height   =  0.0407 centimetres
Maximum Wave Height       =  0.0462 centimetres
Average Wave Height       =  0.0328 centimetres
rms Wave Height           =  0.0335 centimetres
Average of Highest 1/10   =  0.0433 centimetres
Sigmaz                    =  0.0077 centimetre
```

## Lampiran D. Script Code/Prepin Flow 3D

Title

```
This is a sample input file
```

```
&xput
```

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

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

```
twfin=180,
```

```
itb=1,
```

```
ifvisc=1,
```

```
ifvis=4,
```

```
imobs=1,
```

```
impmob=1,
```

```
imphtc=0,
```

```
ifdynconv=1,
```

```
ifrho=0,
```

```
gz=-9.81,
```

```
ipdis=1,
```

```
idpth=1,
```

```
tedit(1)=0,
```

```
thpltd(1)=0.04,
```

```
tapltd(1)=0.5,
```

```
/
```

```
&limits
```

```
/
```

```
&props
```

```
units='si',
```

```
tunits='c',
```

```
pcav=0,
```

```
mul=0.001,
```

```
cangle=-90,
```

```
fluid1='Water at 20 C',
```

```
muctst=0.001,
```

```
cv1=4182,
```

```
t11=0.1,
```

```
ts1=0,
```

```
clht1=3.35e+05,
```

```
cvsl=2100,
```

```
thcs1=2.215,
```

```
rhofs=917,
```

```
tsdrg=1,
```

```
fscr=1,
```

```
fsco=0,
```

```
rhof=1000,
```

```

    sigma=0.073,
    yieldt1=0,
    mus=0,
    thc1=0.597,
    yield1=-1,
/
&SCALAR
    asqr=0,
    pgasmp=0,
/
&PCAP
/
&BCDATA
    remark='!! Boundary condition X Min',
    ibct(1)=10,
    waveh(1)=0.615,
    inwave(1)=2,
    tnwave(1)=1.24,
    hnwave(1)=0.041,
    ubct(1, 1)=0,
    vbct(1, 1)=0,
    ihpbct(1)=1,
    flhtbct(1, 1)=0,
    ihtbct(1)=0,
    remark='!! Boundary condition X Max',
    ibct(2)=8,
    iobctp(2)=1,
    ihtbct(2)=0,
    ispngbc(2)=1,
    thspngbc(2)=0.3,
    ifvspngbc(2)=0,

    remark='!! Boundary condition Y Min',
    ihtbct(3)=0,

    remark='!! Boundary condition Y Max',
    ihtbct(4)=0,

    remark='!! Boundary condition Z Min',
    ihtbct(5)=0,

    remark='!! Boundary condition Z Max',
    ihtbct(6)=0,
/

&MESH
    MeshName='Block 1',
    ntotal=1000,
    size=0.04,

```

```

px(1)=-5,
px(2)=5,

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

pz(1)=-0.615,
pz(2)=0.225,
/

&BCDATA
  remark='!! Boundary condition X Min',
  ihtbct(1)=0,

  remark='!! Boundary condition X Max',
  ihtbct(2)=0,

  remark='!! Boundary condition Y Min',
  ihtbct(3)=0,

  remark='!! Boundary condition Y Max',
  ihtbct(4)=0,

  remark='!! Boundary condition Z Min',
  ihtbct(5)=0,

  remark='!! Boundary condition Z Max',
  ihtbct(6)=0,
/

&MESH
  MeshName='Block 2',
  ntotal=1000,
  size=0.01,

  px(1)=-0.3,
  px(2)=0.3,

  py(1)=-0.3,
  py(2)=0.3,

  pz(1)=-0.38,
  pz(2)=0.15,
/

&obs
  nobs=1,

```

```

remark='!! Component 1',
obsid(1)='Structure FB',

remark='!! Subcomponent 1',
iob(1)=1,
subcmpid(1)='Structure FB',
igen(1)=3,
fstl(1)='Gambar Dasar kotak tanpa kaki.stl',
trnx(1)=-0.23,
trny(1)=-0.29,
trnz(1)=-0.31,

remark='!! Component 1 properties',
imo(1)=4,
ilthobs(1)=0,
xaxs(1)=3,
zaxs(1)=0.09,
dymcmin(1)=0,
dymcmax(1)=0,
rhombv(1)=794.87,
imoaxs(1)=0,
tjmvb(1, 2, 1)=0,
tjmvb(1, 3, 1)=0,
tjmvb(1, 3, 2)=0,
omxtobs(1, 1)=0,
omytobs(1, 1)=0,
omztobs(1, 1)=0,
utobs(1, 1)=0,
vtobs(1, 1)=0,
wtobs(1, 1)=0,

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

remark='!! SpringsAndRopesList',
nsprp=4,

remark='!! SpringsAndRopes 1',
springName(1)='M1',
ifsp(1)=6,
iobsp1(1)=1,
xsp01(1)=-0.23,
ysp01(1)=-0.29,
zsp01(1)=-0.31,
xsp02(1)=-2.52,
ysp02(1)=-0.29,
zsp02(1)=-0.615,
asp(1)=2.43,
cspunit(1)=2.4e+07,

```

```

rhosp(1)=0.06,
rhosp_mat(1)=764.85,
diasp(1)=0.01,
zspmn(1)=-0.615,

remark='!! SpringsAndRopes 2',
springName(2)='M1',
ifsp(2)=6,
iobsp1(2)=1,
xsp01(2)=-0.23,
ysp01(2)=0.29,
zsp01(2)=-0.31,
xsp02(2)=-2.52,
ysp02(2)=0.29,
zsp02(2)=-0.615,
asp(2)=2.43,
cspunit(2)=2.4e+07,
rhosp(2)=0.06,
rhosp_mat(2)=764.85,
diasp(2)=0.01,
zspmn(2)=-0.615,

remark='!! SpringsAndRopes 3',
springName(3)='M1',
ifsp(3)=6,
iobsp1(3)=1,
xsp01(3)=0.23,
ysp01(3)=-0.29,
zsp01(3)=-0.31,
xsp02(3)=2.52,
ysp02(3)=-0.29,
zsp02(3)=-0.615,
asp(3)=2.43,
cspunit(3)=2.4e+07,
rhosp(3)=0.06,
rhosp_mat(3)=764.85,
diasp(3)=0.01,
zspmn(3)=-0.615,

remark='!! SpringsAndRopes 4',
springName(4)='M1',
ifsp(4)=6,
iobsp1(4)=1,
xsp01(4)=0.23,
ysp01(4)=0.29,
zsp01(4)=-0.31,
xsp02(4)=2.52,
ysp02(4)=0.29,
zsp02(4)=-0.615,

```

```

    asp(4)=2.43,
    cspunit(4)=2.4e+07,
    rhosp(4)=0.06,
    rhosp_mat(4)=764.85,
    diasp(4)=0.01,
    zspmn(4)=-0.615,
/

&fl
    remark='!! Region Pointer common parameters',
    tkei=0,
    flht=0,
    iflinittyp=1,
/

&bf
/

&motn
/

&grafic
    remark='!! HistoryProbe 1',
    wintl(1)='WG1',
    xloc(1)=-4.4,
    yloc(1)=0,
    zloc(1)=0,

    remark='!! HistoryProbe 2',
    wintl(2)='WG2',
    xloc(2)=-4.1,
    yloc(2)=0,
    zloc(2)=0,

    remark='!! HistoryProbe 3',
    wintl(3)='WG3',
    xloc(3)=-3.7,
    yloc(3)=0,
    zloc(3)=0,

    remark='!! HistoryProbe 4',
    wintl(4)='WG4',
    xloc(4)=-3.203,
    yloc(4)=0,
    zloc(4)=0,

    remark='!! HistoryProbe 5',
    wintl(5)='WG5',
    xloc(5)=3,

```

```

yloc(5)=0,
zloc(5)=0,

remark='!! HistoryProbe 6',
wintl(6)='WG6',
xloc(6)=3.6,
yloc(6)=0,
zloc(6)=0,

remark='!! HistoryProbe 7',
wintl(7)='WG7',
xloc(7)=4.4,
yloc(7)=0,
zloc(7)=0,
anmtyp(1)='dpth',
/

&RENDERSPACE
/

&HEADER
  project='4_28okt_H0.041_T1.240',
  version='double',
  nprocs=0,
/

&parts
/
  Documentation: general comments, background, expectations,
  etc.

#start tables:
#end start tables

```



*Halaman ini Sengaja dikosongkan*

### Lampiran E. Rekap Data Gelombang Hasil Pengujian

No	Model FB	Data Input			Probe Depan Struktur	Probe Belakang Struktur	Koefisien Transmisi (K <sub>T</sub> )	K <sub>T</sub> (Rata-Rata)
		H [m]	T [s]	H/gT <sup>2</sup>				
1	Regular Ponton (RG)	0,0230	0,8680	0,0031	0,0353	0,0197	0,5581	0,6749
		0,0360	1,1160	0,0029	0,0329	0,0248	0,7538	
		0,0410	1,2400	0,0027	0,0491	0,0328	0,6680	
		0,0490	1,4880	0,0023	0,0521	0,0235	0,4511	
		0,0520	1,6130	0,0020	0,0589	0,0408	0,6927	
		0,0550	1,8610	0,0016	0,0498	0,0461	0,9257	
2	Square Notch (SQ)	0,0230	0,8680	0,0031	0,0300	0,0120	0,4000	0,6248
		0,0360	1,1160	0,0029	0,0342	0,0247	0,7222	
		0,0410	1,2400	0,0027	0,0524	0,0299	0,5706	
		0,0490	1,4880	0,0023	0,0464	0,0290	0,6250	
		0,0520	1,6130	0,0020	0,0579	0,0376	0,6494	
		0,0550	1,8610	0,0016	0,0550	0,0430	0,7818	
3	Circular Notch (CN)	0,0230	0,8680	0,0031	0,0264	0,0134	0,5076	0,6886
		0,0360	1,1160	0,0029	0,0350	0,0272	0,7771	
		0,0410	1,2400	0,0027	0,0539	0,0341	0,6327	
		0,0490	1,4880	0,0023	0,0438	0,0316	0,7215	
		0,0520	1,6130	0,0020	0,0567	0,0412	0,7266	
		0,0550	1,8610	0,0016	0,0582	0,0446	0,7663	
4	Triangular Notch (VN)	0,0230	0,8680	0,0031	0,0272	0,0135	0,4963	0,6735
		0,0360	1,1160	0,0029	0,0342	0,0257	0,7515	
		0,0410	1,2400	0,0027	0,0533	0,0308	0,5779	
		0,0490	1,4880	0,0023	0,0446	0,0314	0,7040	
		0,0520	1,6130	0,0020	0,0553	0,0387	0,6998	
		0,0550	1,8610	0,0016	0,0546	0,0443	0,8114	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



**Asfarur Ridlwan** lahir di Rembang, 17 Mei 1995. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari SDN 5 Pamotan (*lulus tahun 2007*), kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Pamotan (*lulus tahun 2010*), kemudian lulus dari SMAN 1 Rembang pada tahun 2013, dan lulus dari sarjana Teknik Kelautan ITS Surabaya pada tahun 2017. Penulis juga bekerja pada instansi Badan Pertanahan Nasional Kabupaten Rembang sebagai surveyor kadaster sebelum menempuh perkuliahan program pascasarjana 2018 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Diluar kesibukanya sebagai seorang mahasiswa penulis juga memiliki hobby berolahraga tiap minggu yaitu jogging dan badminton. Dalam bidang research, penulis juga ikut andil dalam membantu dosen untuk mengerjakan penelitian. Penelitian yang pernah dikerjakan yaitu penelitian tentang *performance floating breakwater*. Sehingga penulis juga familiar pada software engineering Flow 3D, dan AutoCAD karena merupakan tool dalam membantu penelitian. Penulis juga berniat untuk menambah dan mendalami skill software yaitu Matlab.

Dalam kesempatan ini, syukur alhamdulillah penulis diberikan ketekunan dan semangat motivasi yang tinggi sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan thesis ini yang berjudul “**Optimalisasi Bentuk Pemecah Gelombang Apung Dengan Metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)***”. Semoga apa yang telah ditulis oleh penulis dalam thesis ini dapat memberikan kontribusi positif terhadap ilmu pengetahuan tentang dunia kelautan.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih telah meluangkan waktunya untuk membaca thesis ini. Apabila ada saran ataupun kritik dapat disampaikan ke email: asfarurridlwan@gmail.com