

**TUGAS AKHIR - MO 184804**

# **PEMODELAN NUMERIK HIDRODINAMIKA LAPIS PELINDUNG TIPE A-JACK PADA SEAWALL**

**ERSAL KUSUMA SYAHLAN**  
NRP. 0431184000011

Dosen Pembimbing  
**Sujantoko, S. T., M. T.**  
NIP 19700401 199803 1 005  
**Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19610805 198910 1 001

**Program Studi Teknik Kelautan**  
Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

**TUGAS AKHIR - MO 184804**

# **PEMODELAN NUMERIK HIDRODINAMIKA LAPIS PELINDUNG TIPE A-JACK PADA SEAWALL**

**ERSAL KUSUMA SYAHLAN**  
NRP. 0431184000011

Dosen Pembimbing  
**Sujantoko, S. T., M. T.**  
NIP 19700401 199803 1 005  
**Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19610805 198910 1 001

**Program Studi Teknik Kelautan**  
Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

**FINAL PROJECT - MO 184804**

# **NUMERICAL MODELLING OF HYDRODYNAMICS CONCRETE ARMOUR A-JACK TYPE ON SEAWALL**

**ERSAL KUSUMA SYAHLAN**

**NRP. 0431184000011**

Advisor

**Sujantoko, S. T., M. T.**

**NIP 19700401 199803 1 005**

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

**NIP 19610805 198910 1 001**

**Study Program Ocean Engineering**  
Department of Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2022

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMODELAN NUMERIK HIDRODINAMIKA LAPIS PELINDUNG TIPE A-JACK PADA SEAWALL

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik di  
Program Studi Teknik Kelautan  
Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **ERSAL KUSUMA SYAHLAN**  
NRP. 0431184000011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sujantoko, S. T., M. T. .... (Pembimbing I)
2. Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. .... (Pembimbing II)
3. Murdjito, M.Sc.Eng. .... (Penguji I)
4. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. .... (Penguji II)
5. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. .... (Penguji III)
6. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. .... (Penguji IV)



SURABAYA

JULI, 2022

# APPROVAL SHEET

## NUMERICAL MODELLING OF HYDRODYNAMICS CONCRETE ARMOUR A-JACK TYPE ON SEAWALL

### FINAL PROJECT

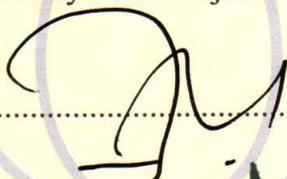
Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree in Ocean Engineering at  
Undergraduate Study Program of Ocean Engineering

Department of Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **ERSAL KUSUMA SYAHLAN**

NRP. 0431184000011

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Sujantoko, S.T., M.T ..... (Advisor I)  

2. Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D ..... (Advisor II)  

3. Murdjito, M.Sc.Eng ..... (Examiner I)  

4. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D ..... (Examiner II)  

5. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. .... (Examiner III)  

6. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc ..... (Examiner IV)  




**SURABAYA**

**JULY, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Ersal Kusuma Syahlan / 0431184000011

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen pembimbing / NIP : Sujantoko S.T., M.T. / 19700401 199803 1 005

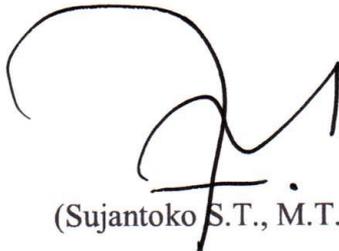
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Pemodelan Numerik Hidrodinamika Lapis Pelindung Tipe A-Jack Pada Seawall” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Sujantoko S.T., M.T. )

NIP. 19700401 199803 1 005

Mahasiswa,



(Ersal Kusuma Syahlan)

NRP. 0431184000011

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Ersal Kusuma Syahlan / 0431184000011  
Department : Ocean Engineering  
Advisor / NIP : Sujantoko S.T., M.T. / 19700401 199803 1 005

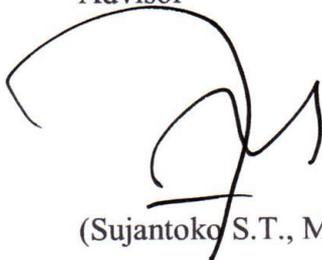
Hereby declare that the Final Project with the title of “Numerical Modelling Of Hydrodynamics Concrete Armour A-Jack Type On Seawall“ is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 2022

Acknowledged

Advisor



(Sujantoko S.T., M.T.)

NIP. 19700401 199803 1 005

Student,



(Ersal Kusuma Syahlan)

NRP. 0431184000011

# PEMODELAN NUMERIK HIDRODINAMIKA LAPIS PELINDUNG TIPE A-JACK PADA SEAWALL

Nama / NRP : Ersal Kusuma Syahlan / 0431184000011  
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS  
Dosen Pembimbing : Sujantoko, S.T., M.T.  
Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.

## ABSTRAK

Salah satu cara mengantisipasi ancaman wilayah pesisir adalah dengan pembuatan *seawall*. Sebelum dilakukan pembangunan *seawall*, harus dilakukan analisa struktur secara eksperimen maupun pemodelan secara numerik. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan numerik *seawall* dengan lapis lindung tipe A-Jack dengan membuat *Numerical Wave Tank* (NWT) 3D menggunakan *software* berbasis *SPH* (*Smoothed Particle Hydrodynamic*), *DualSPHysics* 5.0 untuk mendapatkan tinggi *runup*, volume *overtopping*, dan refleksi gelombang akibat pengaruh dari parameter gelombang dan sudut kemiringan struktur. Peletakan dari unit lapis lindung A-Jack sendiri dibuat acak dan hasilnya divalidasi dengan uji eksperimen yang dilakukan di *Laboratorium Flume Tank* Teknik Kelautan ITS dengan variasi kemiringan struktur 1:1, 1:1.5, dan 1:2. Dari penelitian ini didapat bahwa untuk koefisien refleksi, pengaruh kecuraman gelombang (*wave steepness*) dan tinggi gelombang adalah semakin meningkat kecuraman gelombang dan tinggi gelombang, maka nilai koefisien refleksi ( $K_R$ ) semakin berkurang, sedangkan pengaruh kemiringan struktur adalah semakin curam kemiringan struktur maka nilai koefisien refleksi semakin besar. Untuk *runup* gelombang, pengaruh tinggi gelombang adalah semakin tinggi gelombang maka akan semakin besar *runup* gelombang yang terjadi, sedangkan pengaruh kecuraman gelombang adalah semakin tinggi nilai kemiringan gelombang maka nilai *runup* semakin menurun, dan pengaruh kemiringan struktur adalah semakin curam kemiringan struktur maka *runup* gelombang yang terjadi semakin bertambah. Untuk volume *overtopping*, pengaruh ketinggian dan periode gelombang adalah semakin besar tinggi dan periode gelombang maka semakin besar juga volume *overtopping* yang terjadi, dan untuk pengaruh kemiringan struktur adalah semakin curam kemiringan struktur maka volume *overtopping* yang terjadi semakin kecil.

Kata kunci: *DualSPHysics*, *overtopping*, refleksi, *runup* gelombang, *seawall*

# NUMERICAL MODELLING OF HYDRODYNAMICS CONCRETE ARMOUR A-JACK TYPE ON SEAWALL

**Name / NRP** : Ersal Kusuma Syahlan / 0431184000011  
**Department** : Ocean Engineering MARTECH - ITS  
**Advisor** : Sujantoko, S.T., M.T.  
Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.

## ABSTRACT

One of the solution to anticipate the threat of coastal areas is build a seawall structure. Before the construction of seawall, experimental analysis and numerical modeling must be carried out. In this study, numerical modeling of seawall with A-Jack type armour unit was carried out by making a 3D Numerical Wave Tank (NWT) using SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) based software, DualSPHysics 5.0 to obtain runup height, overtopping volume, and wave reflection due to the impact of wave parameters and the angle of inclination of the structure. The placement of the A-Jack armour unit layer itself was randomly generated and the results were validated by experimental test at the Flume Tank Laboratory of Ocean Engineering, FTK, ITS with variations in structural slopes of 1: 1, 1.1.5, and 1: 2. From this study it was found that wave steepness affect the reflection coefficient, as the wave steepness increased, the wave coefficient value ( $K_R$ ) also increases, the impact of wave height is similar to the effect of wave steepness to reflection coefficients. And for the effect of the slope of the structure is the steeper the slope will make the reflection coefficient greater. For the wave runup, the effect of wave height is the higher the wave, the greater the wave runup that occurs, while for the effect of wave steepness is the higher the wave steepness value, will decrease the wave runup, and for the effect of the slope of the structure is the steeper the slope, the wave runup that occurs is increasing. And for the overtopping volume, the effect of the height and wave period is that the greater the wave period and height, the greater the volume of overtopping that occurs, and for the effect of the slope of the structure is the steeper the slope, will decrease the volume of overtopping that occurs.

Keywords: DualSPHysics, overtopping volume, reflection, seawall, wave runup

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Pemodelan Numerik Hidrodinamika Lapis Pelindung Tipe A-Jack Pada Seawall” dengan bersungguh-sungguh dan mendapatkan hasil yang baik. Tugas akhir ini merupakan bentuk pemenuhan syarat kelulusan akademik di Departemen Teknik Kelautan, FTK-ITS.

Dalam tugas akhir ini berisi tentang bagaimana pengaruh parameter hidrodinamika serta kemiringan struktur *seawall* dalam refleksi gelombang dan *runup* gelombang serta volume *overtopping* yang terjadi. Penelitian ini dilakukan secara numerik menggunakan *software* DualSPHysics. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat berguna dan dapat dijadikan referensi dalam studi literatur, pendalaman penelitian, pengambilan kebijakan, dan sebagainya. Penulis juga berharap pembaca untuk kedepannya dapat memberikan saran serta memperbaiki atau menambahkan isi agar tugas akhir ini dapat menjadi lebih baik lagi.

Karena keterbatasan pengetahuan maupun pengalaman penulis. Penulis mohon maaf atas kekurangan dan kesalahan dalam laporan ini baik disengaja ataupun tidak. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan tugas akhir ini kedepannya.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 Struktur Perlindungan Pantai.....	6
2.2.2 <i>Concrete Armour</i> berbentuk A-Jacks .....	7
2.2.3 Gelombang .....	8
2.2.4 Pemodelan Numerik .....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	15
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	16
3.2.1 Studi Literatur.....	16
3.2.2 Data dan Peralatan yang digunakan .....	16
3.2.3 Pembuatan Model 3D pada <i>Software FreeCAD 0.19</i> .....	18
3.2.4 <i>Running Model</i> Menggunakan <i>Software DualSPHysics 5.0</i> .....	22
3.2.5 Validasi Data dan Model .....	23
3.2.6 Input <i>Wave Probe</i> Menggunakan “MeasureTool” .....	24
3.2.7 Input BOX atau Domain untuk <i>Overtopping</i> Menggunakan “FlowTool” .....	25
3.2.8 Analisa dan Pembahasan .....	25
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Validasi Pemodelan Numerik.....	27
4.2 Refleksi Gelombang .....	33
4.2.1 Pengaruh Kecuraman Gelombang ( <i>Wave Steepness</i> ).....	34
4.2.2 Pengaruh Tinggi Gelombang.....	35
4.2.3 Perbandingan Dengan Peneliti Lain .....	36

4.3	<i>Runup</i> Gelombang .....	38
4.3.1	Hubungan Tinggi Gelombang dan <i>Runup</i> Gelombang .....	43
4.3.2	Hubungan <i>Runup</i> Relatif dengan kecuraman gelombang ( <i>Wave Steepness</i> ) .....	46
4.3.3	Hubungan <i>Runup</i> Relatif dengan Bilangan <i>Iribarren</i> .....	47
4.3.4	Perbandingan Dengan Peneliti Lain .....	48
4.4	Volume <i>Overtopping</i> .....	51
4.4.1	Hubungan Tinggi Gelombang Dan <i>Overtopping</i> Yang Terjadi .....	51
4.4.2	Hubungan Tinggi Puncak Struktur Dan <i>Overtopping</i> Yang Terjadi (non-dimensi) 52	
4.4.3	Perbandingan Dengan Peneliti Lain .....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN .....		59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi struktur seawall (a) contoh penempatan seawall pada pantai; (b) gambar rencana seawall yang akan dibangun (Pratikto et al., 2014) .....	7
Gambar 2.2 Ilustrasi peletakan dari beton a-jacks dengan interlocked system (Green, 2000)...	7
Gambar 2.3 Aplikasi beton a-jack dalam struktur pelindung pantai (Green, 2000).....	8
Gambar 2.4 Ilustrasi gelombang (Triatmodjo, 1999) .....	9
Gambar 2.5 Dampak gelombang dan refleksi gelombang saat terjadi badai .....	10
Gambar 2.6 Sketsa sederhana terjadinya runup gelombang (Pratikto, 2014) .....	11
Gambar 2.7 Overtopping gelombang yang mengenai kapal kecil Di Dermaga San Remo, Italy (Eurotop, 2016).....	12
Gambar 2.8 Gambaran tampilan “macro” DualSPHysics pada software FreeCAD 0.19 .....	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	16
Gambar 3.2 Dimensi model Flume Tank pada FreeCAD 0.19 .....	19
Gambar 3.3 Skema tampak samping pengujian kemiringan armour seawall 1:1 .....	20
Gambar 3.4 Skema tampak samping pengujian kemiringan armour seawall 1:1,5 .....	20
Gambar 3.5 Skema tampak samping pengujian kemiringan armour seawall 1:2 .....	20
Gambar 3.6 Model seawall untuk tiap kemiringan pada software FreeCAD 0.19.....	21
Gambar 3.7 Dimensi Concrete Armour A-Jacks Berikut Ilustrasi Nya Pada Software Freecad 0.19 .....	21
Gambar 3.8 Integrasi model flume tank dengan seawall dengan armour unit A-Jack.....	22
Gambar 3.9 Pengaturan tinggi dan periode gelombang pada piston motion configuration ....	22
Gambar 3.10 Pengaturan elevasi muka air pada water fillbox .....	23
Gambar 3.11 Proses running program pada DualSPHysics .....	23
Gambar 3.12 Peletakan wave probe pada uji fisik di Flume Tank.....	24
Gambar 3.13 Contoh tampilan input wave probe pada measure tools, grid of points .....	25
Gambar 3.14 Input BOX untuk analisis overtopping menggunakan “FlowTool” .....	26
Gambar 4.1 Visualisasi hasil penjalanan program DualSPHysics menggunakan software Paraview untuk jarak antar partikel: (a) 0.01 m, (b) 0.02 m, (c) 0.03 m .....	28
Gambar 4.2 Hasil RMSE dengan jarak antar partikel 0.01 m pada tiap <i>wave probe</i> (WP) .....	29
Gambar 4.3 Hasil RMSE dengan jarak antar partikel 0.02 m pada tiap <i>wave probe</i> (WP) .....	30
Gambar 4.4 Hasil RMSE dengan jarak antar partikel 0.03 m pada tiap <i>wave probe</i> (WP) .....	31
Gambar 4.5 Hubungan kecuraman gelombang (wave steepnees) terhadap $K_R$ .....	34
Gambar 4.6 Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap $K_R$ .....	35
Gambar 4.7 Perbandingan hasil pemodelan numerik dengan eksperimen di Flume Tank Teknik Kelautan ITS.....	37

Gambar 4.8 Struktur MAYA Unit (Pratola et al., 2021) dan Armour unit: (Zannutigh, 2008)	37
Gambar 4.9 Perbandingan hasil antara pemodelan numerik dengan hasil penelitian Pratola et al. (2021) dan Zannutigh (2008)	38
Gambar 4.10 Peletakan wave probe untuk mencatat elevasi runup serta penomorannya pada tiap kemiringan struktur (m)	39
Gambar 4.11 Tinggi elevasi muka air maksimum untuk tiap periode pada kemiringan 1:2	40
Gambar 4.12 Tinggi elevasi muka air maksimum untuk tiap periode pada kemiringan 1:1.5	41
Gambar 4.13 Tinggi elevasi muka air maksimum untuk tiap periode pada kemiringan 1:1	41
Gambar 4.14 Hubungan antara tinggi gelombang dengan tinggi runup yang terjadi untuk tiap kemiringan (m)	44
Gambar 4.15 Hubungan antara nilai <i>runup</i> dengan tinggi gelombang	45
Gambar 4.16 Hubungan nilai runup relatif dengan kecuraman gelombang (wave steepness)	46
Gambar 4.17 Perbandingan hubungan antara wave steepness dengan runup relatif dengan uji eksperimen dan penelitian lain (Mase et al., 2013)	47
Gambar 4.18 Hubungan antara runup relatif ( $R_u/H$ ) dengan bilangan iribarren ( $\xi$ )	48
Gambar 4.19 Perbandingan hasil runup gelombang antara analisa numerik dengan uji eksperimen di Flume Tank Teknik Kelautan ITS	49
Gambar 4.20 Ilustrasi armour impermeable (kiri) dan permeable (kanan) dalam penelitian yang dilakukan oleh Van der Meer dan Stam (1992)	50
Gambar 4.21 Perbandingan antara pemodelan numerik dengan uji eksperimen dan hasil penelitian Van der Meer & Stam (1992)	50
Gambar 4.22 Laju overtopping concrete armour A-Jack pada seawall terhadap tinggi gelombang untuk tiap kemiringan (m)	52
Gambar 4.23 Laju overtopping tak berdimensi terhadap tinggi puncak struktur (non-dimensi) pada tiap kemiringan	53
Gambar 4.24 Perbandingan antara hasil overtopping pemodelan numerik dengan uji eksperimen dan hasil penelitian Bruce (2006)	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa range koefisien refleksi untuk berbagai tipe struktur (Goda, 2000).....	10
Tabel 3.1 Variasi pengujian refleksi, runup, dan overtopping gelombang .....	17
Tabel 3.2 Perbandingan variasi pemodelan dengan ukuran riil.....	17
Tabel 3.3 Elevasi air, tinggi dan periode gelombang yang digunakan untuk validasi .....	24
Tabel 4.1 Hasil perhitungan RMSE antara model numerik dengan model fisik .....	32
Tabel 4.2 Interpretasi dari beberapa nilai MAPE (Lewis, 1982) .....	32
Tabel 4.3 Hasil error tinggi dan periode gelombang antara uji eksperimen dan simulasi pemodelan numerik menggunakan MAPE.....	33
Tabel 4.4 Hasil perhitungan iribarren dan wave steepness gelombang pada kemiringan struktur 1:2.....	42
Tabel 4.5 Hasil perhitungan iribarren dan wave steepness gelombang pada kemiringan struktur 1:1,5 .....	43
Tabel 4.6 Hasil perhitungan iribarren dan wave steepness gelombang pada kemiringan struktur 1:1 .....	43

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah pulau yang tertera pada Gasetir Nasional di tahun 2020 sejumlah 16.771 Pulau. Selain menjadi Negara dengan pulau terbanyak, Indonesia juga memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia (setelah Kanada), menurut Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2013 total panjang garis pantai Indonesia adalah 99.093 kilometer, 2 kali lebih panjang dibanding panjang khatulistiwa bumi. Dari data tersebut tidak dapat dipungkiri bahwa Indonesia juga memiliki wilayah pesisir yang cukup luas. Secara sosial, wilayah pesisir dihuni tidak kurang dari 132 juta jiwa atau 60% dari penduduk Indonesia yang bertempat tinggal dalam radius 50 km dari garis pantai sehingga dapat dikatakan bahwa wilayah ini merupakan cikal bakal perkembangan urbanisasi Indonesia pada masa yang akan datang. Oleh karena itu, banyak potensi dari wilayah pesisir yang dapat di maksimalkan untuk dapat dijadikan salah satu pilar ekonomi nasional.

Menurut GESAMP (2001) wilayah pesisir didefinisikan sebagai wilayah daratan dan perairan yang dipengaruhi oleh proses biologis dan fisik dari perairan laut maupun dari daratan, dan didefinisikan secara luas untuk kepentingan pengelolaan sumber daya alam. Dan menurut Yonvitner *et al.*, (2016) wilayah pesisir kaya akan beberapa sumber daya yang dapat dikembangkan lebih lanjut meliputi: (a) pertambangan dengan diketahuinya 60% cekungan minyak, (b) perikanan dengan potensi 9,3 juta ton/tahun yang tersebar pada 11 Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP), (c) pariwisata bahari yang diakui dunia dengan keberadaan 21 spot potensial, dan (d) keanekaragaman hayati yang sangat tinggi (marine biodiversity) sebagai daya tarik bagi pengembangan kegiatan “*ecotourism*”.

Terlepas dari potensi yang ada, kenaikan muka air laut atau *Sea Level Rise* dapat menyebabkan ancaman genangan banjir pada jangka waktu yang pendek dan juga ancaman erosi pesisir serta terkontaminasinya tanah akibat intrusi air laut (Bilskie *et al.*, 2014). Oleh karenanya, wilayah pesisir perlu perhatian lebih agar tidak terjadi erosi yang tidak terdistribusi secara merata dan sedimentasi sehingga akan berpengaruh terhadap perubahan garis pantai. Selain itu, Erosi pantai juga dapat menyebabkan kerugian yang cukup besar dengan kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut. Maka untuk menanggulangi hal tersebut langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi. Kemudian dapat ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai atau menambah suplai sedimen. Salah satu bangunan pantai yang dibuat untuk melindungi wilayah pesisir langsung dari serangan gelombang yaitu *seawall* (dinding pantai).

Menurut Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 07/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai dijelaskan bahwa *Seawall* atau dinding pantai adalah struktur pengaman pantai yang dibangun dalam arah sejajar pantai dengan tujuan untuk melindungi pantai terhadap hempasan gelombang dan mengurangi limpasan genangan (*overtopping*) areal pantai yang berada di belakangnya. Dan penggunaan seawall bertujuan untuk memperkuat daerah tepi pantai sehingga tidak terjadi pengikisan akibat gempuran gelombang. Permukaan bangunan *seawall* dapat berbentuk sisi tegak, miring, lengkung, atau bertangga, tergantung pada fungsi, permasalahan yang akan diselesaikan, dan kondisi lingkungan sekitar. Menurut Pratikto *et al.*, (2013), Struktur dengan bentuk menyudut, lebih efektif untuk menyerap energi gelombang, mengurangi *runup* dan *overtopping* gelombang, serta mengurangi terjadinya *scouring* pada bagian bawah struktur.

Menurut Battjes (1974) *runup* gelombang didefinisikan sebagai ketinggian vertikal dari SWL yang berhasil dicapai oleh gelombang datang, ketika menghantam suatu struktur dan air yang terbawa oleh momentumnya terdorong naik merayap ke atas permukaan struktur. Ketika tinggi gelombang *runup* mencapai ketinggian tertingginya dan melewati tinggi dari struktur pelindung pantai, maka *overtopping* akan terjadi, dimana hal tersebut dapat menyebabkan kegagalan struktur, kerusakan pada infrastruktur pelabuhan, properti, dan juga kehidupan masyarakat pesisir (Losada *et al.*, 2008). *Overtopping* gelombang bisa diijinkan atau dikehendaki terjadi pada struktur dan juga tidak diperkenankan terjadi tergantung pada tipe struktur pelindung pantai yang dikenai.

Di Indonesia sendiri, *seawall* sangat dibutuhkan. Contoh daerah yang perlu perhatian khusus adalah ibukota dari Negara Indonesia, yaitu DKI Jakarta. Seperti yang dikutip melalui laman [www.indonesia-investments.com](http://www.indonesia-investments.com), Jakarta tenggelam pada tingkat antara 7,5 dan 14 sentimeter per tahun karena ekstraksi air tanah yang dalam dikombinasikan dengan tekanan dari bangunan bertingkat tinggi di Jakarta, sehingga membahayakan kesejahteraan generasi mendatang, atau setidaknya mengharuskan migrasi lebih dari empat juta orang karena bagian utara kota akan secara bertahap terendam oleh laut jika tidak ada tindakan segera yang diambil (total populasi Jakarta berjumlah sekitar 10 juta orang). Dalam waktu lima puluh tahun, permukaan laut diperkirakan tiga hingga lima meter di atas permukaan jalan Jakarta.

Sebelum dilakukan pembangunan *seawall*, harus dilakukan beberapa pemodelan struktur tersebut baik secara eksperimen maupun secara numerik. Pemodelan dilakukan guna mendapatkan limpasan gelombang (*overtopping*) yang diijinkan. Elevasi puncak bangunan dihitung berdasarkan kenaikan (*runup*) gelombang, yang tergantung pada karakteristik gelombang, kemiringan bangunan, porositas, dan kekasaran lapis pelindung. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan numerik bangunan *seawall* menggunakan *concrete armour A-Jack*. Penelitian berbasis numerik pada tugas akhir ini dilakukan menggunakan *software SPH (Smoothed Particle Hydrodynamic)*, DualSPHysics 5.0 untuk mendapatkan tinggi *runup*, volume *overtopping*, dan refleksi gelombang dari struktur akibat pengaruh dari variasi peletakan dan sudut kemiringan struktur tersebut. Selain itu, hasil dari pemodelan numerik ini akan dibandingkan dengan hasil pemodelan fisik yang dilakukan Laboratorium Flume Tank, Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka dirumuskan permasalahan yang menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini, yaitu adalah:

1. Bagaimana pengaruh parameter gelombang dan variasi sudut kemiringan struktur *concrete armour A-Jack* pada *Seawall* terhadap koefisien refleksi gelombang?
2. Bagaimana pengaruh parameter gelombang dan variasi sudut kemiringan struktur *concrete armour A-Jack* pada *Seawall* terhadap *runup* gelombang?
3. Bagaimana pengaruh parameter gelombang dan variasi sudut kemiringan struktur *concrete armour A-Jack* pada *Seawall* terhadap volume *overtopping* yang terjadi?

## 1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah diatas, maka didapatkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk:

1. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang dan variasi sudut kemiringan struktur *concrete armour A-Jack* pada *Seawall* terhadap koefisien refleksi gelombang.

2. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang dan variasi sudut kemiringan struktur *concrete armour* A-Jack pada *Seawall* terhadap *runup* gelombang.
3. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang dan variasi sudut kemiringan struktur *concrete armour* A-Jack pada *Seawall* terhadap volume *overtopping* yang terjadi.

#### **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini, dengan besar harapan, mampu berguna bagi pembaca agar bisa mengetahui pengaruh periode dan tinggi gelombang serta kemiringan struktur pada *seawall* dengan menggunakan *concrete armour* A-Jack. Yang nantinya dapat menjadi referensi dan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan bangunan pelindung pantai terutama *seawall* agar dapat diterapkan oleh peneliti di bidang ilmu teknik kelautan secara luas kedepannya.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini untuk menyederhanakan perhitungan serta untuk mengetahui hal-hal yang menjadi kesulitan, Hal-hal tersebut merupakan batasan-batasan masalah yang dikemukakan dalam poin sebagai berikut :

1. Skala model ditentukan sesuai dengan uji eksperimen di Laboratorium Flume Tank, Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.
2. Variasi kemiringan struktur, tinggi gelombang, periode gelombang ditentukan.
3. Beban arus dan beban angin diabaikan
4. Data ukuran diolah menjadi model menggunakan open source software berbasis desain tiga dimensi, FreeCAD 0.19.
5. Data model diolah secara numerik menggunakan open source software berbasis hidrodinamika partikel yang dihaluskan, DualSPHysics 5.0.
6. Data visualisasi model hasil operasi DualSPHysics direpresentasikan melalui open source software Paraview 5.8 dan hasilnya diolah menggunakan Microsoft Excel.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam suatu penelitian diperlukan dukungan hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Pada sub-bab ini akan dikemukakan beberapa penelitian yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dibuat. Dalam penelitian ini secara garis besar yang akan dilakukan adalah meneliti tentang tinggi *runup*, volume *overtopping*, dan refleksi gelombang dari struktur *seawall* yang *concrete armour*-nya terbuat dari tumpukan beton berbentuk A-Jack dengan variasi tinggi, kemiringan, dan periode gelombang. Beton A-Jack sendiri dirancang untuk saling terkait menjadi sebuah kesatuan yang fleksibel dan sangat permeabel. Kemampuan sistem A-Jack untuk menghilangkan energi dan menahan kekuatan erosif dari air yang mengalir memungkinkannya untuk melindungi pesisir pantai dari *scour* dan erosi. Untuk instalasi A-Jack sendiri yang terakhir dilakukan pada tahun 2019 berada di Gann Road Kota Smyrna, Georgia. Pada penelitian ini akan menggunakan metode numerik dengan *software* berbasis *Smoothed Particles Hydrodynamic* (SPH), DualSPHysics dengan menggunakan *numerical flume tank* (NWT).

Untuk penelitian tentang pemodelan numerik tentang *runup* gelombang dan *overtopping* sebelumnya sudah dilakukan oleh Losada *et al.*, (2008) yang menggunakan COBRAS-UC (*Cornell Breaking Waves and Structures*) yang berdasarkan rumus VARANS (*Volume Averaged Reynolds Average Navier–Stokes*) dan menggunakan metode VOF (*Volume of Fluid Technique*) untuk mendapatkan *free surface* pada struktur *rubble mound breakwater*. Dimana didapatkan hasil *free surface*, *pressure time series*, dan spektra gelombang regular dan irregular yang dibandingkan dengan hasil uji eksperimen dan mendapatkan hasil yang hampir serupa. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan dalam menentukan posisi yang tepat dari *free surface* karena hanya melacak jumlah rata-rata fungsi fraksi di setiap sel. Maka dari itu, penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Dang *et al.* (2021) melakukan simulasi numerik tentang *runup* dan *overtopping* pada struktur *seawall* menggunakan *open-source software* yang menggunakan metode *Smoothed-Particle Hydrodynamics* (SPH) bernama DualSPHysics. Simulasi numerik dari gelombang yang dilakukan pada beberapa variasi *seawall* mendapatkan hasil yang baik untuk kemudian dibandingkan dengan hasil dari referensi. Dan menurutnya DualSPHysics terbukti dapat menjadi *tools* yang efisien untuk analisis desain struktur perlindungan pantai, terutama yang kompleks untuk aplikasi praktis.

Selain digunakan untuk menganalisis *runup* dan *overtopping*, DualSPHysics juga dapat digunakan untuk melakukan analisis refleksi gelombang seperti halnya yang dilakukan oleh Bromo, (2021). Dalam penelitiannya, Bromo (2021) melakukan penelitian menggunakan *Numerical Wave Tank* (NWT) untuk menghitung redaman gelombang regular yang dipengaruhi oleh parameter hidrodinamika dan struktur yang menghasilkan 75 studi kasus. Dimana struktur yang digunakan adalah struktur permeabel dari bambu guna melakukan redaman gelombang pada *breakwater* dan yang dianalisis berupa refleksi dan transmisi gelombang menggunakan beberapa *open-source software*. Seperti FreeCad 0.18 untuk melakukan tahap *preprocessing* berupa mendesain Flume Tank serta struktur tiang bambu, DualSPHysics untuk menjalankan analisa hasil desain sebelumnya dan juga tahap *postprocessing* untuk mendapatkan hasil perhitungan, selanjutnya ParaView untuk memvisualisasikan hasil dan menemukan tinggi gelombang menggunakan Matlab bermodulkan Wawan (Kamphuis, 2000).

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Struktur Perlindungan Pantai

Pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Sedangkan garis pantai sendiri adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Erosi pantai dapat menyebabkan kerugian sangat besar dengan rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut. Untuk menanggulangnya, langkah pertama adalah mencari penyebab terjadinya erosi kemudian ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai atau menambah suplai sedimen serta melakukan pengelolaan pantai secara terpadu (Pratikto *et al.*, 2013).

Bangunan pantai yang dibangun dapat digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus maupun untuk kepentingan lainnya seperti fasilitas untuk menarik wisatawan khususnya untuk daerah pantai wisata. Menurut Triatmodjo (1999), Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yaitu :

- a. Memperkuat/melindungi muka pantai agar mampu menahan serangan gelombang,
- b. Mengubah laju transportasi sedimen pantai,
- c. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai,
- d. *Beach nourishment* dengan menambah suplai sedimen ke pantai,
- e. Melakukan penghijauan (reboisasi) daerah pantai.

Berdasarkan fungsinya diatas, didapat tipe pengamanan pantai menurut Pedoman Perencanaan Pengamanan Pantai dari Kementerian Pekerjaan Umum dibedakan atas struktur pengamanan pantai dengan struktur keras dan struktur lunak, yaitu sebagai berikut:

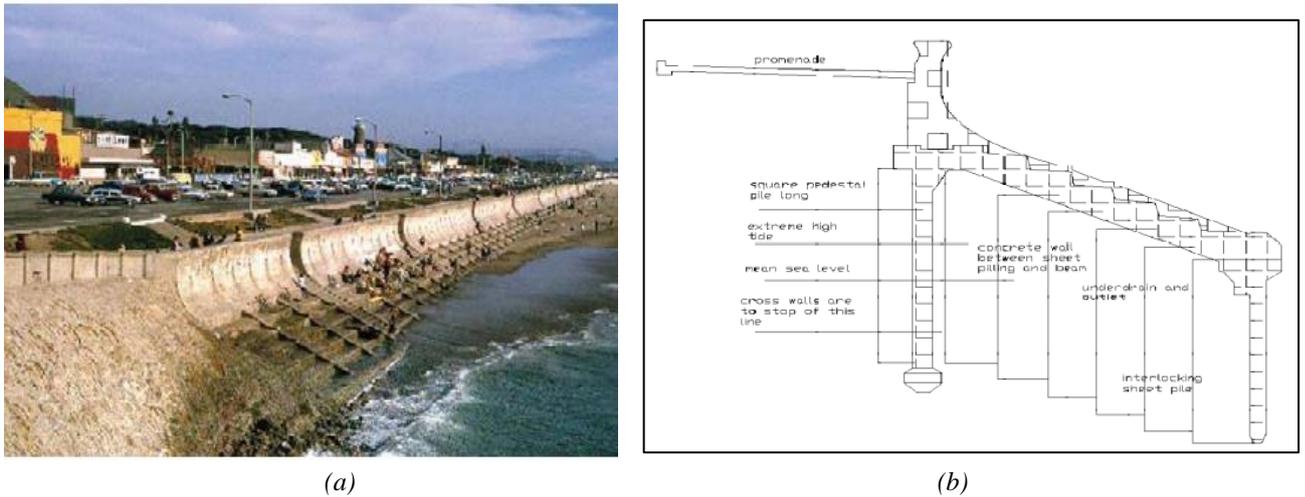
1. Pengamanan pantai dengan struktur keras, dapat berupa
  - Pengamanan garis pantai yang menyusur (sejajar) garis pantai, seperti tanggul laut, revetment, *seawall*, *bulkhead*, dan pemecah gelombang/*breakwater*
  - Pengamanan tegak lurus pantai dan sambung ke pantai, seperti groin dan *jetty* (*jetty* adalah groin di mulut muara)
2. Pengamanan pantai dengan struktur lunak, dapat berupa
  - Pengisian ulang pasir
  - Pendaurlangan pantai atau *Sand bypassing*
  - Drainase pantai
  - Penanaman pohon bakau disekitar pantai

*Seawall* atau dinding pantai menurut Triatmodjo (1999) merupakan bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang utamanya berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar garis pantai dan bisa terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan pipa (buis) beton, *bulkhead*, kayu, atau tumpukan batu.

Didalam perencanaan *seawall* perlu diperhatikan kemungkinan terjadinya erosi di kaki bangunan. Kedalaman erosi yang terjadi tergantung pada bentuk sisi bangunan, kondisi gelombang, dan sifat tanah dasar. Untuk melindungi erosi tersebut maka pada kaki bangunan ditempatkan batu pelindung. Kedalaman erosi maksimum terhadap tanah dasar asli adalah sama dengan tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi di depan bangunan (CERC, 1984).

Manfaat struktur *seawall* yang akan dibangun sangat mempengaruhi bentuk struktur yang akan dibuat. Menurut Pratikto *et al.* (2014) Struktur berbentuk vertikal (atau hampir

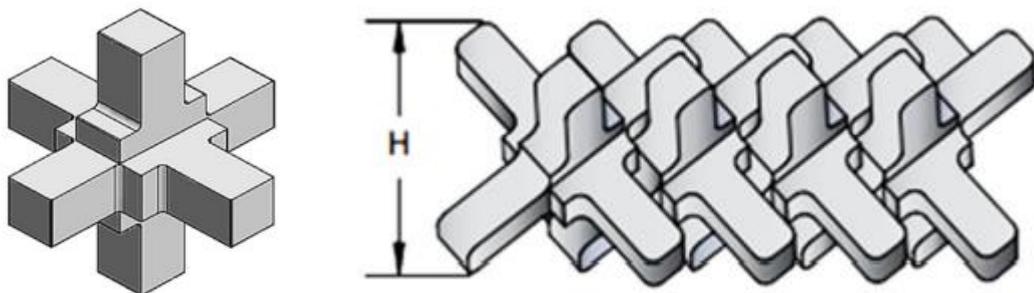
vertikal), didesain dengan pertimbangan dapat digunakan sebagai tempat tambatan dan bongkar muat kapal. Struktur dengan bentuk menyudut, efektif untuk menyerap energi gelombang, mengurangi *runup* dan *overtopping* gelombang, serta mengurangi terjadinya *scouring* pada bagian bawah struktur. Struktur dengan tipe berundak (dengan anak tangga), dipilih dengan pertimbangan mendapatkan kemudahan jalan menuju lokasi pantai. Struktur *seawall* sendiri dapat dibangun setinggi mungkin, sehingga daerah di belakang struktur nantinya aman dari ancaman gelombang, karena gelombang tidak dapat melewati struktur tersebut. Tetapi, hal ini sangat tidak efektif dari segi pembiayaan. Oleh karena itu perlu diadakan kajian menyeluruh mengenai perkiraan *runup* dan *overtopping* gelombang yang akan terjadi.



**Gambar 2.1** Ilustrasi struktur *seawall* (a) contoh penempatan seawall pada pantai; (b) gambar rencana seawall yang akan dibangun (Pratikto *et al.*, 2014)

### 2.2.2 Concrete Armour berbentuk A-Jacks

Beton A-Jacks merupakan jenis beton pelindung yang memiliki bentuk enam kaki, yang terintegrasi dengan mengunci basis masing-masing. Beton A-Jacks dapat dipasang dengan peletakan yang bebas maupun seragam. Dalam beberapa tahun terakhir, Beton A-Jacks telah digunakan dalam infrastruktur pantai, seperti breakwater dan struktur pelindung pantai lainnya. Seperti yang sudah pernah dilakukan oleh Bejestan *et al.* (2017) yang menunjukkan bahwa menggunakan *concrete armors* tipe A-Jacks dapat mengurangi *scour* pada *trapezoidal crest* sampai dengan 100%. Dan juga Thornton *et al.* (2001) melakukan penelitian tentang penerapan jenis struktur yang digunakan untuk mengontrol kedalaman *scour* di sekitar dermaga jembatan yang berpasir. Hasilnya menunjukkan penurunan kedalaman *scour* sebesar 70 hingga 95 persen untuk struktur berkaki enam atau A-Jacks. Kemudian disarankan untuk menggunakan struktur tersebut dengan filter geotekstil atau menempatkannya di batu.



**Gambar 2.2** Ilustrasi peletakan dari beton a-jacks dengan *interlocked system* (Green, 2000)

Menurut Khalifehei *et al.* (2020), struktur A-Jacks sendiri memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan concrete armour lainnya, yaitu antara lain :

- a. Fitur *Interlocked* atau dipatenkan yang memungkinkan untuk transportasi yang ekonomis serta perakitan *on-site*,
- b. Berat yang sesuai (tidak terlalu berat),
- c. Fleksibel, efisien, dan tidak mudah terkikis,
- d. Penerapan yang mudah untuk daerah yang tidak memiliki sumber daya batuan yang cukup,
- e. Kemungkinan untuk pertumbuhan vegetasi,
- f. Memberikan solusi hemat biaya dibandingkan dengan metode *hard armor* konvensional.



**Gambar 2.3** Aplikasi beton a-jack dalam struktur pelindung pantai (Green, 2000)

### 2.2.3 Gelombang

Gelombang dibedakan menjadi beberapa macam tergantung gaya pembangkitnya. Gelombang angin (yang selanjutnya disebut gelombang) adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami yang terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya. Dari beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik kelautan (khususnya bidang pantai) adalah gelombang angin dan pasang surut. Gelombang akan menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus, dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

#### 2.2.3.1 Karakteristik Gelombang

Gelombang laut biasanya dihasilkan oleh angin yang mengenai permukaan air laut. Gelombang awalnya dibentuk oleh proses resonansi dan aksi geser yang kompleks, di mana gelombang dengan ketinggian gelombang, panjang dan periode yang berbeda diproduksi dan melakukan perjalanan dalam berbagai arah (*random*). Setelah terbentuk, gelombang laut dapat melakukan perjalanan jarak yang jauh, menyebar di daerah dan mengurangi tinggi, tetapi mempertahankan panjang gelombang dan periode, proses ini disebut dispersi (Reeve, 2004).

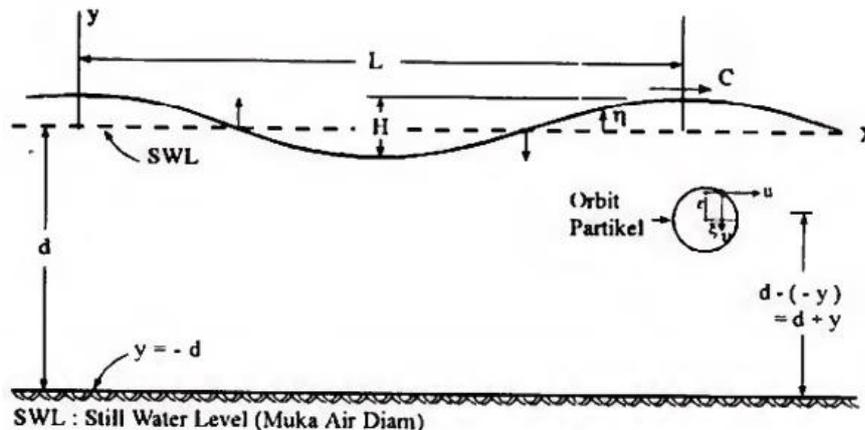
Gelombang merupakan faktor utama dalam penentuan tata letak (*layout*) pelabuhan, alur pelayaran, perancangan struktur pelindung pantai, dan sebagainya. Dan telah ada dua teori klasik tentang gelombang, pertama dikembangkan oleh Airy (1845) dan lainnya dikembangkan oleh Stokes (1880) yang menjelaskan gelombang sederhana. Teori Airy dan Stokes umumnya

untuk memprediksi perilaku gelombang secara lebih baik dimana kedalaman air relatif terhadap panjang gelombang tidak terlalu kecil.

Berikut merupakan parameter-parameter penting untuk menjelaskan teori gelombang, antara lain:

- Tinggi gelombang ( $H$ ), yaitu jarak antara puncak dan lembang gelombang dalam satu periode gelombang,
- Panjang gelombang ( $L$ ), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan,
- Jarak antara muka air rerata dan dasar laut ( $d$ ) atau kedalaman laut,
- Kemiringan gelombang (*wave steepness*) =  $H/L$ ,
- Ketinggian relatif (*relative height*) =  $H/d$ ,
- Kedalaman relative (*relative depth*) =  $d/L$ ,
- Amplitudo gelombang ( $A$ ), biasanya diambil setengah tinggi gelombang ( $H/2$ ) yang diukur dari permukaan air tenang ke puncak gelombang,
- Periode gelombang ( $T$ ), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu panjang gelombang,
- Frekuensi ( $f$ ), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per 1 detik. Rumus frekuensi sendiri berbanding terbalik dengan periode,
- Kecepatan rambat gelombang ( $C$ ), merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang ( $L/T$ ).

Untuk lebih jelasnya, definisi gelombang diatas dapat digambarkan dalam ilustrasi pada gambar 2.4 dibawah.



Gambar 2.4 Ilustrasi gelombang (Triatmodjo, 1999)

### 2.2.3.2 Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang terjadi ketika gelombang datang yang mengenai atau membentur suatu rintangan didepannya kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Refleksi gelombang penting untuk ditinjau dalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pelabuhan. Karena di dalam pelabuhan refleksi gelombang akan menyebabkan ketidak-tenangan di dalam perairan pelabuhan yang menyebabkan tegangan yang besar pada tali penambat kapal-kapal pada pelabuhan tersebut. Selain itu, ketika terjadi badai di laut, refleksi gelombang dapat berakibat ke daerah pesisir sehingga untuk mendapatkan ketenangan di kolam pelabuhan maka bangunan-bangunan yang ada disekitarnya harus bisa menyerap atau menghancurkan energi gelombang yang datang. Suatu bangunan yang memiliki sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang yang lebih banyak

dibandingkan dengan bangunan tegak. Pada bangunan vertikal, halus, dan dinding tidak permeable, gelombang akan dipantulkan seluruhnya (Triatmodjo, 1999).



**Gambar 2.5** Dampak gelombang dan refleksi gelombang saat terjadi badai (Reeves *et al.*, 2004)

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi. Menurut Goda (2000) dalam bukunya yang berjudul “Random Seas and Design of Maritime Structures (2<sup>nd</sup> Edititon)”, koefisien refleksi ( $K_R$ ) merupakan rasio antara tinggi gelombang yang dipantulkan ( $H_R$ ) dengan tinggi gelombang insiden ( $H_I$ ), sehingga dapat dirumuskan :

$$K_R = \frac{H_R}{H_I} \quad (2.1)$$

Y. Goda (2000) dalam bukunya juga menyebut beberapa perkiraan range koefisien refleksi pada struktur yang disimpulkan dari berbagai sumber yang dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah. Kisaran koefisien refleksi untuk dinding vertikal tergantung pada tingkat gelombang *overtopping*, dan meningkat seiring dengan meningkatnya ketinggian puncak struktur.

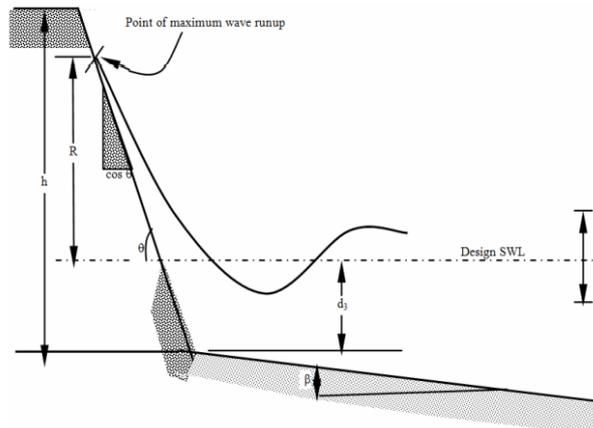
**Tabel 2.1** Beberapa range koefisien refleksi untuk berbagai tipe struktur (Goda, 2000)

Tipe Struktur	Koefisien Refleksi
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0.7 ~ 1.0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0.5 ~ 0.7
Tumpukan batu sisi miring	0.3 ~ 0.6
Tumpukan blok beton	0.3 ~ 0.5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang)	0.3 ~ 0.8
Pantai natural	0.05 ~ 0.2

### 2.2.3.3 Runup Gelombang

Menurut Battjes (1974) *runup* gelombang didefinisikan sebagai ketinggian vertikal dari SWL (*Sea Water Level*) yang berhasil dicapai oleh gelombang datang, ketika menghantam suatu struktur dan air yang terbawa oleh momentumnya terdorong naik merayap ke atas permukaan struktur. *Runup* gelombang sendiri tergantung dari beberapa faktor, seperti bentuk struktur, kekasaran permukaan struktur, kedalaman perairan pada dasar struktur, kemiringan

struktur dan karakteristik gelombang yang terjadi. Beberapa studi dan penelitian mengenai *runup* gelombang telah dilakukan, terutama pada permukaan struktur yang halus. Gambar 2.4 dibawah merupakan sketsa sederhana terjadinya *runup* gelombang (Pratikto, 2014).



**Gambar 2.6** Sketsa sederhana terjadinya *runup* gelombang (Pratikto, 2014)

Ada dua jenis nilai *runup* gelombang, *runup* gelombang rerata dan gelombang 2%. *Runup* gelombang rerata adalah tinggi *runup* rerata ( $R_u$ ) untuk semua gelombang hasil pengamatan, sedangkan  $R_{u2\%}$  adalah tinggi *runup* gelombang yang hanya 2% dari semua gelombang hasil pengamatan. Dengan kata lain, dari 100 gelombang yang datang, hanya diambil rata-rata dari 2 gelombang yang tertinggi. Hasil penelitian *runup* gelombang berupa grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi *runup*. *Runup* gelombang sangat bergantung pada kondisi gelombang pecah dimana dapat diidentifikasi dengan *surf similarity parameter* atau yang sering disebut dengan *irribaren number* untuk berbagai jenis lapis lindung, dengan fungsi sebagai berikut (Battjes, 1974).

$$\frac{R_u}{H} = \xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2 \pi H_s}{g T^2}}} \quad (2.2)$$

dengan,

- $R_u$  = Tinggi *runup* gelombang rerata (m)
- $H$  = Tinggi gelombang (m)
- $\xi$  = *Runup* relative (*Irribarren number*)
- $\alpha$  = Sudut kemiringan tanggul (deg)
- $H_s$  = Tinggi gelombang signifikan (m)
- $T$  = Periode Gelombang (s)

#### 2.2.3.4 Overtopping Gelombang

Gelombang *overtopping* terjadi karena tinggi run up yang terjadi lebih tinggi dari puncak struktur. *Overtopping* di definisikan sebagai aliran air laut yang melewati puncak struktur pantai akibat run up, gelombang pecah dan pengaruh angin (EuroTop, 2016). Dalam pembuatan bangunan pelindung pantai, banyaknya jumlah gelombang *overtopping* yang melewati elevasi permukaan struktur perlu dilakukan perhitungan. Karena *overtopping* merupakan salah satu parameter yang memiliki potensi terbesar yang berdampak akan menyebabkan erosi pada sistem bangunan yang mengakibatkan kerusakan atau kegagalan struktur. Karena bangunan pelindung pantai bertujuan untuk melindungi daerah pesisir dibelakangnya, maka perlu dilakukan analisis *overtopping* gelombang untuk alasan keamanan

atau untuk mencegah kerusakan properti daripada yang diperlukan untuk perlindungan struktur saja (Reeves, 2004).



**Gambar 2.7** *Overtopping* gelombang yang mengenai kapal kecil Di Dermaga San Remo, Italy (Eurotop, 2016)

Menurut panduan dalam Eurotop (2016), untuk mengurangi *overtopping* gelombang dapat dengan membuat konfigurasi ketinggian struktur pelindung pantai berdasarkan kondisi ekstrim atau kondisi tertentu (seperti ketinggian air dan gelombang) yang dapat diterima. Untuk menetapkan tingkat *overtopping* yang dapat diterima tergantung pada:

- a. Fungsi dari struktur itu sendiri, termasuk untuk melindungi masyarakat sekitar,
- b. Penggunaan tanah (atau air) di belakangnya,
- c. Peraturan local dan/atau local dan juga administrasinya,
- d. Segi ekonomis dan sosial untuk yang mendanai struktur pelindung pantai tersebut.

Untuk analisis *overtopping* dengan menghitung debit rata-rata limpasan per satuan panjang struktur,  $q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$  per m].

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} \quad (2.2)$$

dimana  $Q_{ov}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] merupakan debit limpasan,  $d$  adalah lebar struktur [m].

Sedangkan menurut panduan pada Eurotop (2016), Perhitungan secara teoritis untuk menghitung *overtopping* adalah sebagai berikut:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = a \exp \left[ - \left( b \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^c \right] \quad \text{untuk } R_c \geq 0 \quad (2.3)$$

Rumus tersebut merupakan bentuk Weibull dengan debit *overtopping* tanpa dimensi  $q/(gH_{m0})^{1/2}$  dan *freeboard* relatif  $R_c/H_{m0}$ . Fungsi Eurotop (2007) untuk struktur pantai sendiri dapat digunakan untuk nilai eksponen  $c = 1$ , yang kemudian menjadi fungsi eksponensial. Formula Eurotop (2007) diberikan sebagai berikut:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1.0} \cdot \exp \left( -4.75 \frac{R_c}{\xi_{m-1.0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \right) \quad (2.4)$$

Dengan nilai maksimum :

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-2,6 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad (2.5)$$

Dimana persamaan 2.4 dan 2.5 diatas akan menjadi tidak valid untuk perhitungan dengan syarat  $\frac{R_c}{H_{m0}} < 0,5$  sehingga dilakukan penyempurnaan formula pada Eurotop (2016) adalah menjadi sebagai berikut.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,023}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left[-\left(2,7 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)^{1,3}\right] \quad (2.6)$$

Dengan nilai maksimum :

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,09 \cdot \exp\left[-\left(1,5 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)^{1,3}\right] \quad (2.7)$$

dimana,

$H_{m0}$  = Tinggi gelombang laut dalam. [m]

$\tan \alpha$  = Slope struktur. [-]

$\xi_0$  = *Iribaren number* [-]

$\gamma_b$  = Faktor pengurangan akibat tanggul. [-]

$\gamma_f$  = Faktor kekasaran dan permeabelitas struktur. [-]

$\gamma_\beta$  = Faktor sudut gelombang. [-]

$\gamma_v$  = Faktor dinding vertikal di atas struktur. [-]

$R_c$  = *freeboard*. [m]

## 2.2.4 Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik dapat mensimulasikan *runup* serta *overtopping* gelombang sebagai bagian dari interaksi gelombang dengan struktur pelindung pantai. Ketika pemodelan numerik sudah tervalidasi, tidak akan membatasi dalam konfigurasi struktur dan memberikan informasi yang jauh lebih rinci tentang aliran *overtopping* (kedua-duanya antara parameter instan seperti kecepatan, tekanan, dan konfigurasi permukaan bebas dan parameter terintegrasi seperti gaya dan volume *overtopping* rata-rata), tetapi pada upaya komputasi dan biaya yang jauh lebih tinggi (Eurotop, 2016). Selain itu dapat pula digunakan untuk menganalisis refleksi gelombang struktur yang akan di modelkan.

Dalam penelitian tugas akhir ini, metode yang dilakukan adalah metode numerik melalui *numerical flume tank* (NWT). *Software* utama yang digunakan dalam pengujian model ini adalah menggunakan *software* berbasis SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*) bernama DualSPHysics.

### 2.2.4.1 Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)

*Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH) adalah metode Lagrangian tanpa *meshing* yang penggunaannya semakin banyak untuk berbagai aplikasi dalam bidang *Computational Fluid Dynamics* (CFD) di mana partikel mewakili aliran, berinteraksi dengan struktur dan dapat menunjukkan deformasi besar dengan batas-batas yang bergerak. Metode ini umum digunakan untuk simulasi mekanika pada media *continuum* seperti dinamika fluida. Ketika masuk untuk simulasi dinamika fluida, diskretisasi dari persamaan Navier-Stokes secara lokal diterapkan pada lokasi tiap partikel tersebut, menurut properti fisik dari partikel di sekitarnya (Crespo *et al.*, 2014). Penjelasan terperinci tentang teori dan formulasi SPH dapat ditemukan di Monaghan

(1992), meskipun metode ini pertama kali diterapkan pada teknik pantai oleh Dalrymple et al. (2001). Literatur terbaru menunjukkan kemajuan besar pada definisi kondisi batas dan peningkatan pemodelan Numerik.

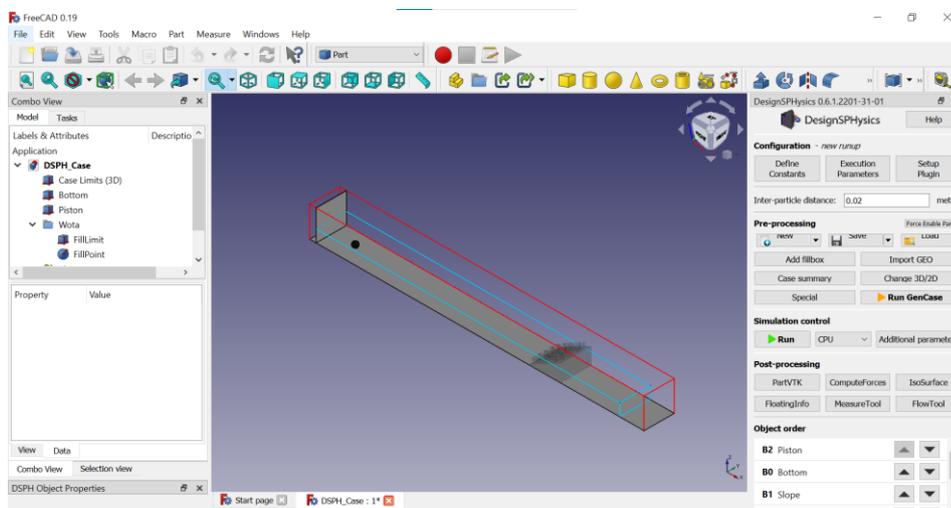
Crespo *et al.* (2014) menambahkan, bentuk konservasi dinamika fluida *Continuum* diubah dari bentuk diferensial parsial mereka menjadi bentuk yang cocok untuk simulasi berbasis partikel menggunakan persamaan integral berdasarkan fungsi interpolasi, yang memberikan perkiraan nilai pada titik tertentu. Biasanya fungsi ini disebut sebagai fungsi kernel ( $W$ ) dan dapat mengambil bentuk yang berbeda, dengan yang paling umum adalah kubik atau *quintic*. Persamaan mendasar pada metode SPH direpresentasikan melalui fungsi  $F(r)$  didefinisikan dalam  $r'$  oleh perkiraan integral sebagai berikut:

$$F(r) = \int F(r')W(r - r', h) dr' \quad (2.8)$$

### 2.2.4.2 DualSPHysics

DualSPHysics adalah *open-source software* berbasis model SPH yang dikembangkan oleh peneliti dari Universitas Johns Hopkins (USA), Universitas Vigo (Spanyol), Universitas Manchester (Inggris) dan University Roma, La Sapienza, Italia. *Software* ini sendiri tersedia dan dapat di unduh dari laman [www.sphysics.org](http://www.sphysics.org). DualSPHysics sendiri sudah tervalidasi untuk permasalahan-permasalahan seperti pemecah gelombang, perilaku *dam-break*, interaksi dengan struktur pelindung pantai, atau dengan pemecah gelombang terapung. Meskipun DualSPHysics memungkinkan masalah pemodelan dengan resolusi tinggi, masalah utamanya dalam aplikasi untuk masalah rekayasa nyata adalah biaya komputasi yang tinggi, oleh karena itu SPHysics jarang diterapkan pada domain besar (Crespo *et al.*, 2014).

Bagian GPU (*Graphics Processing Units*) dari DualSPHysics mengimplementasikan paralelisasi yang paling tepat untuk memaksimalkan kecepatan selama perhitungan interaksi partikel. Validasi pertama dualSPHysics pada GPU disajikan dan diterapkan untuk menghitung kekuatan yang diberikan oleh gelombang besar pada furnitur perkotaan dari *realistic promenade*, untuk mempelajari *runup armour block* pada *breakwater* dan untuk mensimulasikan gelombang besar yang dihasilkan oleh peristiwa tanah longsor. Pada saat ini, *Software* DualSPHysics belum memiliki *Graphic User Interface* (GUI) sendiri, namun pengguna dapat menggunakan fasilitas “Macro” pada software FreeCAD untuk mempermudah pembuatan model yang terintegrasi dengan penjalanan program DualSPHysics. Tampilan DualSPHysics menggunakan fasilitas “Macro” dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah.

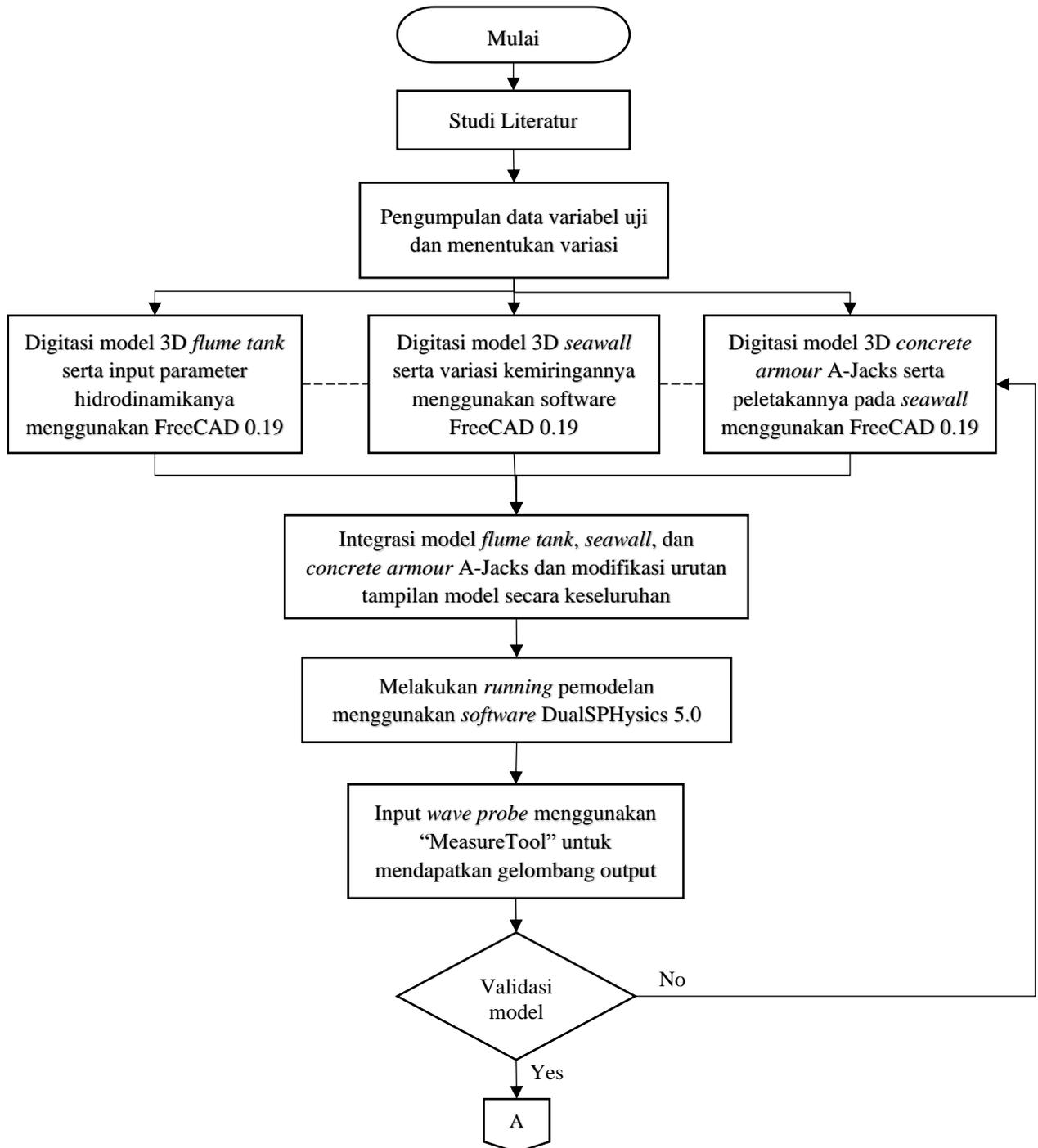


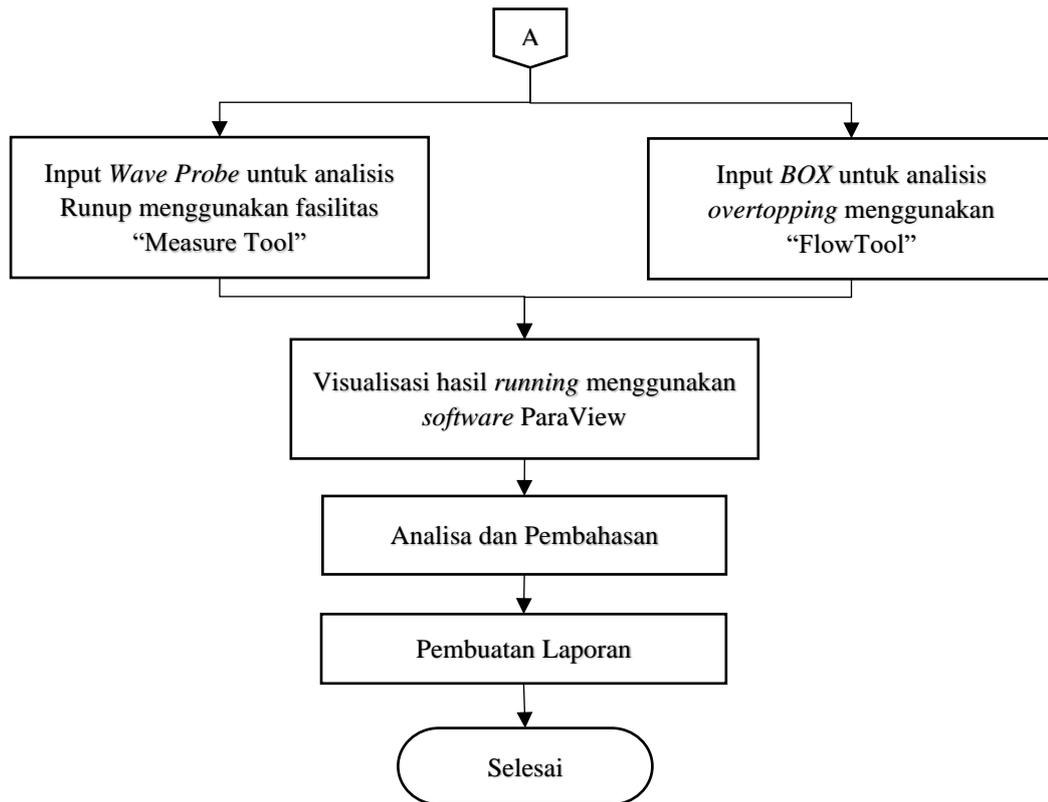
**Gambar 2.8** Gambaran tampilan “macro” DualSPHysics pada *software* FreeCAD 0.19

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini akan menganalisis *runup*, *overtopping*, dan refleksi gelombang unit lapis lindung tipe A-Jack pada seawall. Terdapat beberapa tahapan penelitian yang perlu dilakukan, tahapan tersebut digambarkan pada diagram alir penelitian berikut ini :





**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Dari diagram alir diatas, penjelasan langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk tahap persiapan pada penelitian ini guna membantu untuk menemukan rumusan masalah yang ada, selain itu akan diperoleh langkah-langkah dan sistematis pengerjaan melalui studi literatur. Variabel yang diperoleh dalam pengujian eksperimen ini berangkat dari penemuan dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, dimana dapat berupa tugas akhir terdahulu, jurnal, buku, dan materi perkuliahan.

Dalam penelitian ini akan berfokus pada analisis numerik hidrodinamika struktur *concrete armour* tipe A-Jacks pada *seawall* dengan beberapa kata kunci yang digunakan untuk mencari jurnal, buku, dan prosiding terkait adalah sebagai berikut:

1. *Numerical analysis on coastal structure*
2. *Runup and Wave Overtopping*
3. *SPH method*
4. *A-Jacks Block*

#### 3.2.2 Data dan Peralatan yang digunakan

Dalam penelitian numerik ini diperlukan perangkat penunjang seperti data-data serta peralatan-peralatan yang digunakan. Berikut adalah hal-hal yang diperlukan dalam penelitian ini.

A. Data Variabel Penelitian serta variasinya

Penentuan variabel penelitian digunakan dalam melihat pengaruhnya terhadap hal yang kita amati. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa numerik menggunakan *software* DualSPHysics, setelah dilakukan studi literatur pada penelitian sebelumnya, maka ditinjau lebih lanjut dampak parameter hidrodinamika pada struktur. Rincian untuk setiap variasi pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Variasi pengujian refleksi, runup, dan overtopping gelombang

No. Percobaan	Jenis Susunan	Kemiringan	Ti (s)	Hi (cm)
1	<i>2 Layer Random Placement</i>	1:1	1,52	10
2				12.5
3				15
4				17.5
5			1,72	10
6				12.5
7				15
8				17.5
9		1:1,5	1,52	10
10				12.5
11				15
12				17.5
13			1,72	10
14				12.5
15				15
16				17.5
17		1:2	1,52	10
18				12.5
19				15
20				17.5
21			1,72	10
22				12.5
23				15
24				17.5

Sedangkan untuk perbandingan bentuk riil dengan model yang akan diuji dengan skala 1:20 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 3.2** Perbandingan variasi pemodelan dengan ukuran riil

No.	Variasi	Ti (detik)		Hi (meter)		Jenis Susunan
		Riil	Model	Riil	Model	
1	Model 1 (1:1)	8 ; 10 ; 12	1,8 ; 2,2 ; 2.7	2 ; 3 ; 4	10 ; 15 ; 20	<i>2 Layer Random Placement</i>
2	Model 2 (1:1,5)					
3	Model 3 (1:2)					
Skala		$\sqrt{20}$		20		

## B. Peralatan yang digunakan

Secara garis besar penelitian ini dilakukan secara numerik, sehingga segala perangkat yang digunakan cenderung untuk menunjang pembuatan model, pemrograman, serta analisa hasil dan data, baik perangkat keras (*Hardware*) maupun perangkat lunak (*Software*). Karena software yang digunakan dalam penelitian ini cenderung berat untuk dijalankan, maka perangkat keras yang digunakan juga memiliki spesifikasi yang cukup tinggi (*high-end*). Berikut ditampilkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:

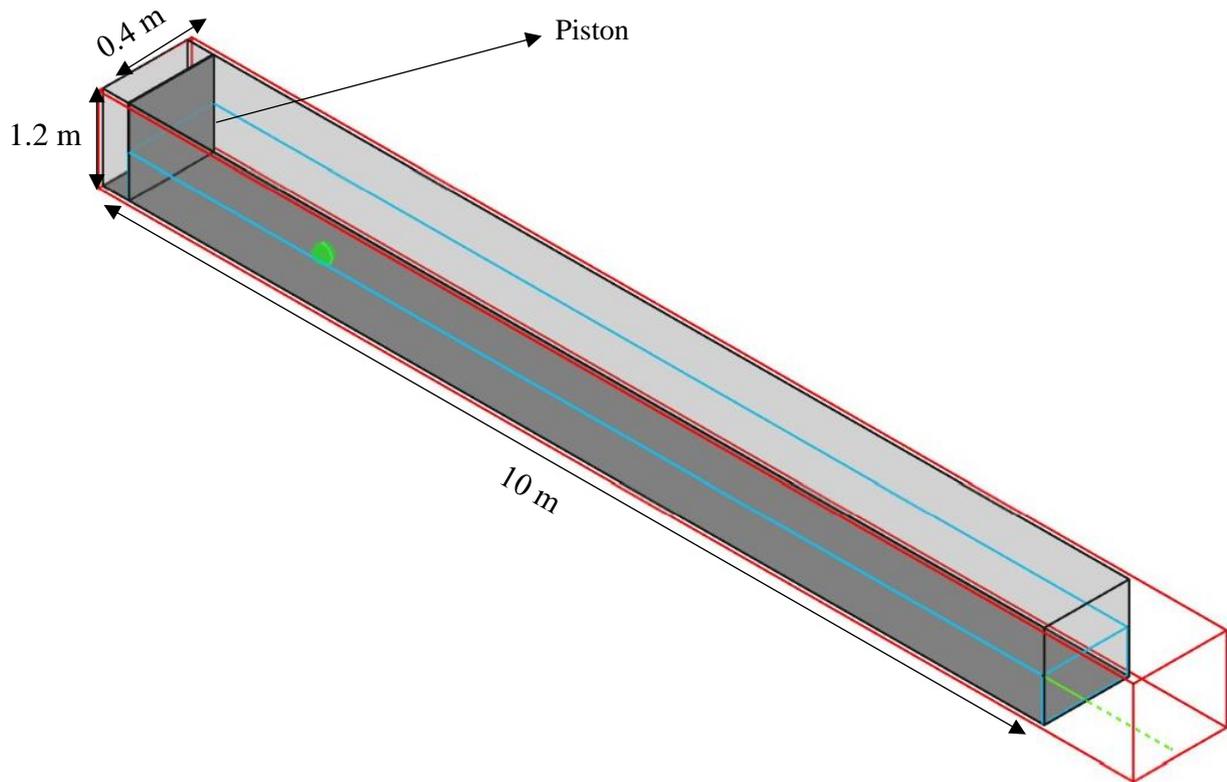
- a) Perangkat Keras (*Hardware*)
  1. Laptop ASUS Vivobook A442U Intel Core i5-8250U 8<sup>th</sup>
  2. 1 Set PC yang terdapat pada Laboratorium Rekayasa Hidro-Informatika Kelautan, Intel Core i7-8700k GeForce GTX 1050 Ti
  3. 1 Set PC yang terdapat pada Ruang Pascasarjana Teknik Kelautan, Intel Core i7-8700 GeForce GTX 1060 3GB
- b) Perangkat Lunak (*Software*)
  1. FreeCAD 0.18, digunakan untuk memodelkan *seawall* dan *concrete armour A-Jacks* sesuai dengan ukuran pemodelan fisik, serta Numerical Flume Tank sesuai dengan ukuran asli yang ada pada laboratorium *Flume Tank* Teknik Kelautan FTK-ITS. Selain itu, digunakan fasilitas “Macro” untuk menjalankan user interface DualSPHysics dalam menentukan nilai properti gelombang
  2. DualSPHysics 5.0, digunakan untuk menjalankan program yang sebelumnya telah dimodelkan. Pada software ini berisi perhitungan numerik untuk menghitung partikel yang terjadi pada model serta mensimulasikan gelombang
  3. Paraview 5.8, digunakan untuk memvisualisasi hasil dari penjalanan program DualSPHysics 5.0. Dalam software ini dapat dilihat partikel yang disimulasikan bergerak sesuai dengan input parameter gelombang sebelumnya.
  4. MATLAB, merupakan mathematical packages yang mampu menghitung perhitungan matematika melalui bahasa pemrograman yang telah diprogram. Pada penelitian ini MATLAB digunakan dengan menjalankan modul Wavan yang dikembangkan oleh (Kamphuis, 2000) untuk menghitung tinggi gelombang rata-rata berdasarkan data *timeseries* yang dihasilkan oleh simulasi DualSPHysics, selain itu MATLAB juga digunakan untuk menjalankan modul goda yang dapat menghitung koefisien refleksi yang dihasilkan berdasarkan output elevasi gelombang yang terjadi di wave probe refleksi dan wave probe gelombang insiden
  5. Microsoft Office (Ms. Word, Ms. Excel, dan Ms. Powerpoint) Digunakan untuk menyusun tugas akhir, mengolah data, dan menampilkan serta mempresentasikan hasil analisa data.

### 3.2.3 Pembuatan Model 3D pada *Software* FreeCAD 0.19

Pada penelitian ini, model 3D yang akan dibuat antara lain adalah *flume tank*, struktur *seawall*, dan juga *Concrete armour A-Jack* itu sendiri. Pembuatan model 3D didesain menggunakan *open-source software* FreeCAD 0.19, karena DualSPHysics belum memiliki interface sendiri. *Software* FreeCAD 0.19 memiliki fasilitas untuk menambahkan *user interface* dari *software* lain melalui fasilitas “macro”. Fasilitas “macro” yang digunakan kali ini berasal dari *software* DualSPHysics 5.0. Untuk melihat bagaimana tampilan macro DualSPHysics pada FreeCAD 0.19 dapat dilihat pada Gambar 2.7.

### A. Pembuatan Model *Flume Tank*

Pada penelitian ini, spesifikasi *flume tank* yang akan digunakan berdimensi panjang 9 meter, lebar 0.4 meter, dan tinggi 1.2 meter. Penentuan spesifikasi *flume tank* ini berdasarkan model *flume tank* untuk eksperimen fisik *concrete armour A-Jacks* pada *seawall* yang dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Departemen Teknik Kelautan, ITS. Ilustrasi model *flume tank* menggunakan software FreeCAD 0.19 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

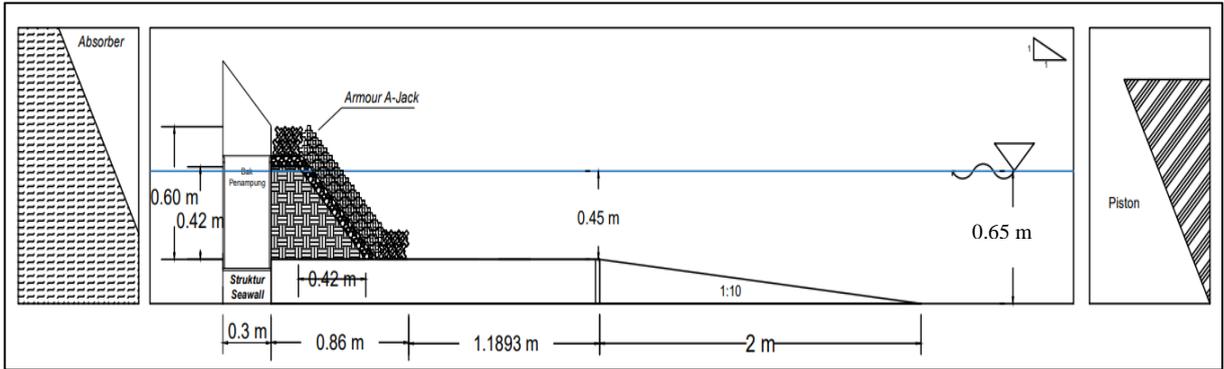


**Gambar 3.2** Dimensi model *Flume Tank* pada FreeCAD 0.19

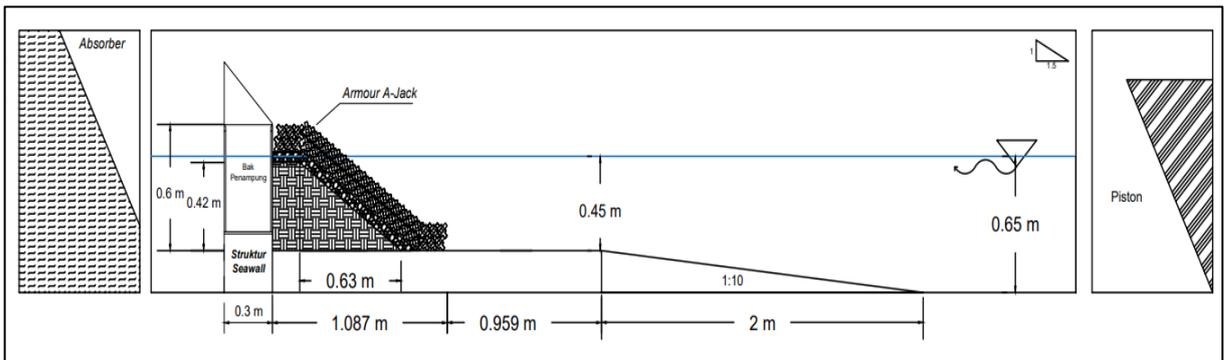
Dengan menggunakan *user interface* DualSPHysics 5.0, FreeCAD 0.19 dapat digunakan untuk mengatur gerak piston pada model *flume tank* yang nantinya piston ini digunakan untuk membangkitkan gelombang. Selain itu, kita dapat mengubah properti gelombang sesuai dengan data yang akan diuji diantaranya gelombang reguler dan gelombang irreguler, tinggi gelombang, periode gelombang, viskositas, massa jenis air, dan lain sebagainya.

### B. Pembuatan Model *Seawall*

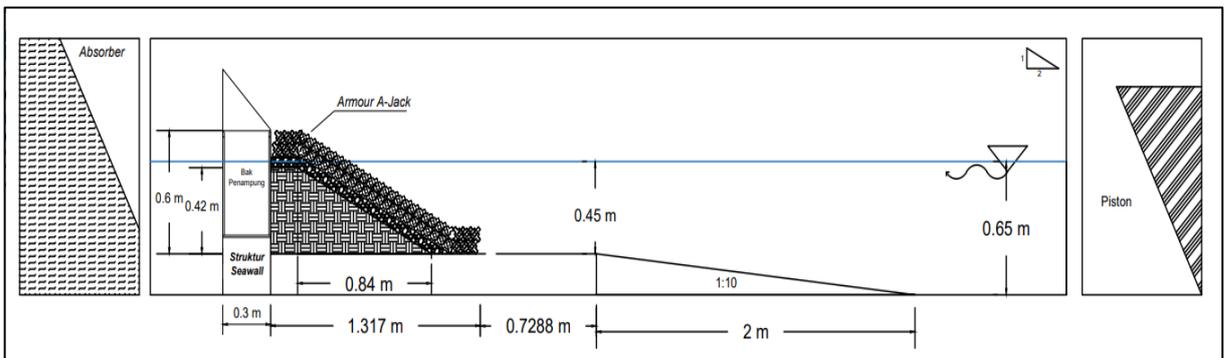
Untuk pembuatan model *seawall* pada penelitian ini dibuat dengan skala vertikal dan horizontal dibuat sama atau biasa disebut *undisorted model*. Dengan menggunakan tipe unit lapis lindung A-Jack, dan untuk menjawab pengaruh kemiringan struktur terhadap *runup*, *overtopping*, dan refleksi gelombang lapis lindung A-Jack, terdapat 3 variasi kemiringan yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu 1:1 ; 1:1,5 ; dan 1:2. Untuk menggambarkan kondisi *seabed*, pada bagian depan dari *seawall* diberi *slope* setinggi 0,2 m dari dasar flume tank sepanjang 2,3 m serta dibagian depan dibuat kemiringan 1:10 sebagai model dari kemiringan pantai. Untuk dimensi dari *Seawall* itu sendiri dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3.3** Skema tampak samping pengujian kemiringan *armour seawall* 1:1

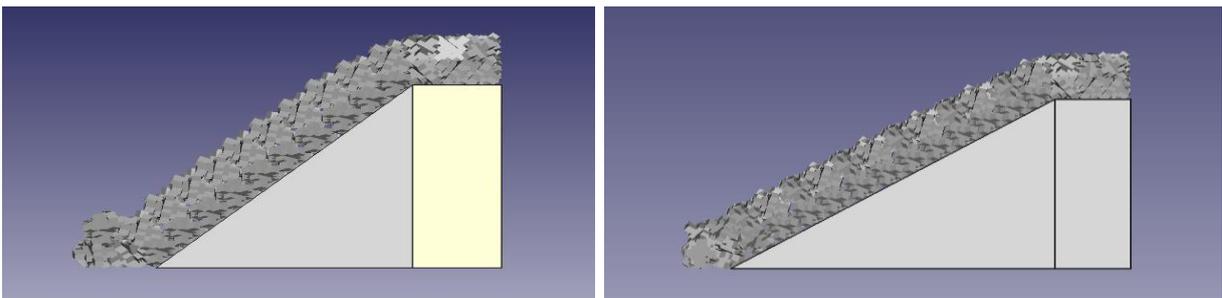


**Gambar 3.4** Skema tampak samping pengujian kemiringan *armour seawall* 1:1,5



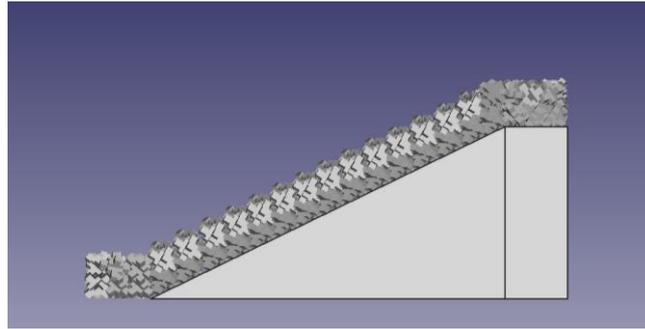
**Gambar 3.5** Skema tampak samping pengujian kemiringan *armour seawall* 1:2

Untuk pemodelan *seawall* dengan kemiringan 1:1, 1:1.5, dan 1:2 menggunakan *software* FreeCAD 0.19. Dilakukan dengan memodelkan *seawall* dengan *armour units* A-Jack yang diletakkan secara acak dengan jumlahnya disesuaikan dengan eksperimen fisik di Flume Tank Teknik Kelautan ITS. Untuk hasil pemodelan itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 3.6.



(a) Slope 1:1

(b) Slope 1:1.5

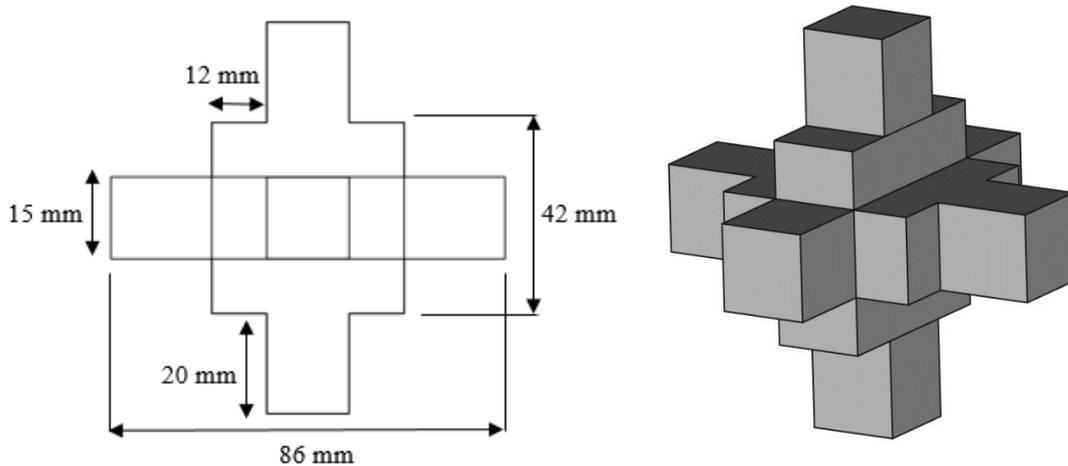


c) Slope 1:2

**Gambar 3.6** Model *seawall* untuk tiap kemiringan pada *software* FreeCAD 0.19

### C. Pembuatan Model *concrete armour* A-Jacks

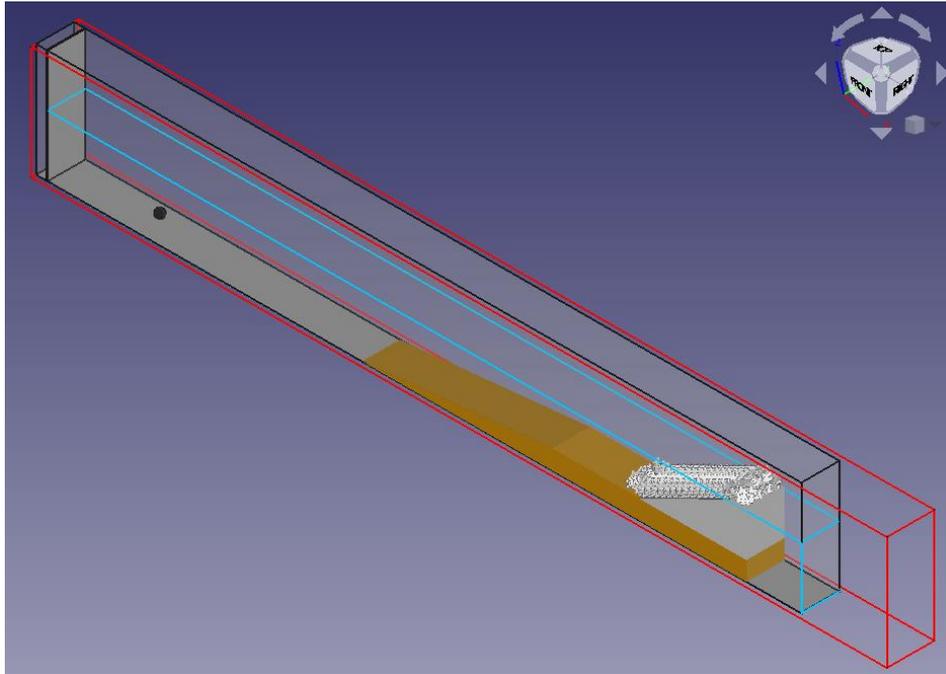
*Concrete Armour* berbentuk A-Jacks sendiri berbentuk seperti 2 beton berbentuk “T” yang disatukan menjadi berbentuk 6 kaki. Pada penelitian ini akan dibuat *concrete armour* A-Jacks dengan skala 1:20 dengan ukuran aslinya. Ilustrasi dimensi *concrete armour* A-Jacks yang akan dimodelkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.



**Gambar 3.7** Dimensi *Concrete Armour* A-Jacks Berikut Ilustrasi Nya Pada *Software* Freecad 0.19

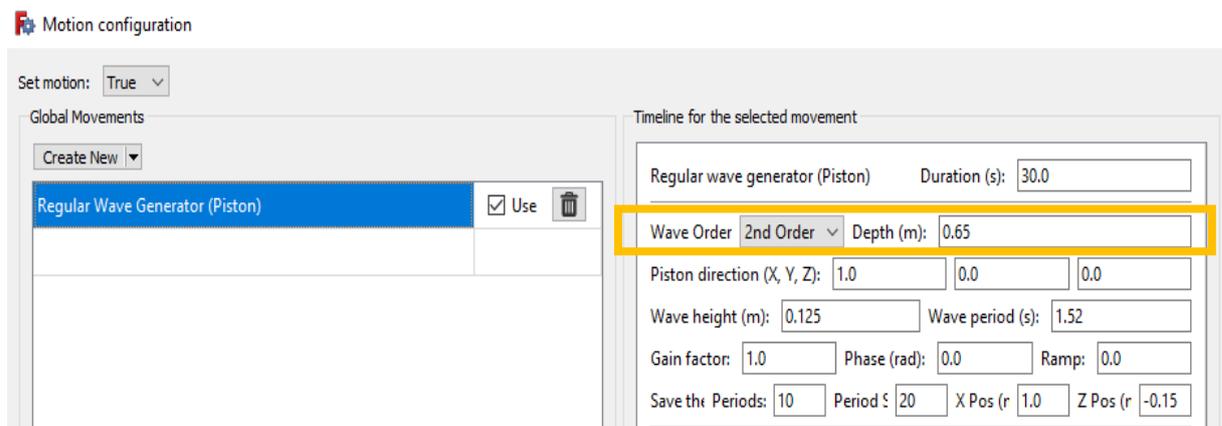
### D. Integrasi Model *flume tank*, *seawall*, dan *concrete armour* A-Jack serta Input Parameter Gelombang

Setelah *seawall* dan peletakan *concrete armour* A-Jack selesai dimodelkan menggunakan *software* FreeCAD 0.19, selanjutnya adalah meng-*export* semuanya kedalam bentuk format STL mesh (.stl). Kemudian hasil .stl tersebut digunakan untuk meng-*import* struktur kedalam model *flume tank* yang sudah di desain sebelumnya untuk nantinya akan dijadikan satu kesatuan variasi *case*. Setelah disatukan kemudian diatur kembali konstanta serta parameter eksekusi yang sesuai seperti time out data dan lamanya waktu simulasi, dalam penelitian ini waktu simulasi adalah 300 detik.



**Gambar 3.8** Integrasi model flume tank dengan seawall dengan armour unit A-Jack

Proses input data hidrodinamika akan memodifikasi penggunaan tinggi *fillbox* untuk mengatur elevasi ketinggian air (*water level*) dan mengatur properti gelombang pada pergerakan piston. Dalam penelitian ini elevasi yang digunakan adalah 0.65 meter dengan variasi periode dan tinggi gelombang. Untuk lebih jelasnya dalam memasukkan ketinggian elevasi muka air dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10.



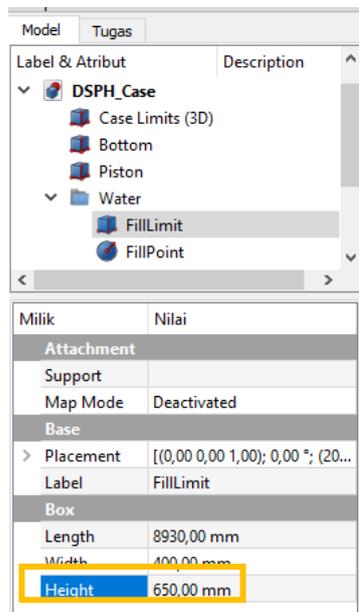
**Gambar 3.9** Pengaturan tinggi dan periode gelombang pada piston *motion configuration*

### 3.2.4 *Running Model Menggunakan Software DualSPHysics 5.0*

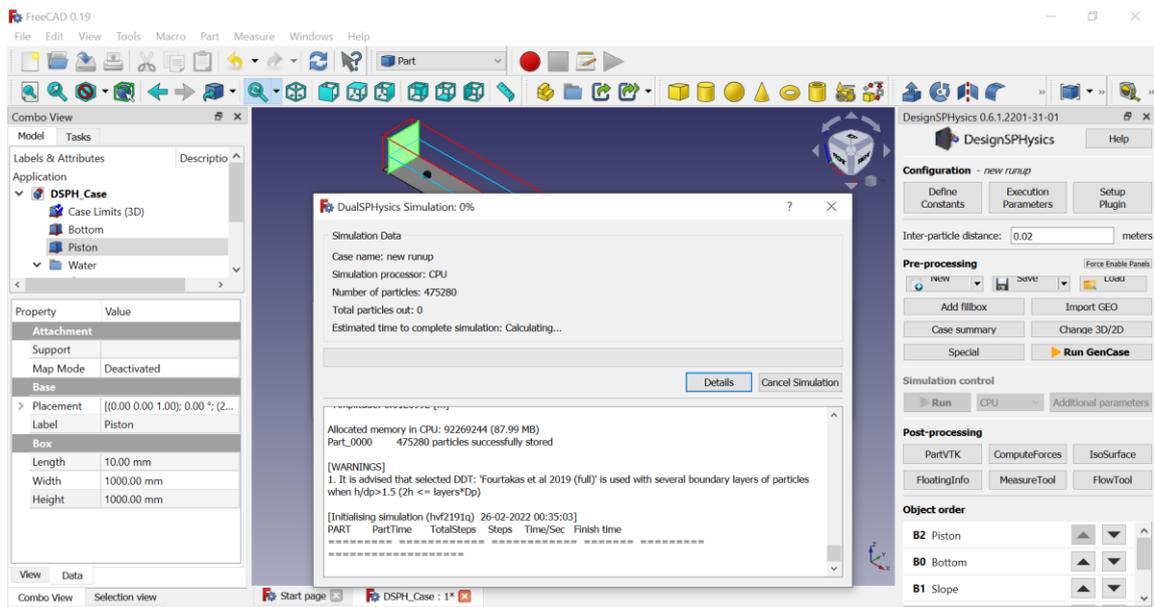
Langkah selanjutnya setelah memodelkan satu case variasi secara utuh adalah dengan menjalankan program DualSPHysics. Tools yang digunakan terlebih dahulu adalah “Run Gencase” yang bertujuan untuk mendapatkan jumlah partikel yang akan dianalisa oleh DualSPHysics 5.0.

Setelah dilakukan “Run Gencase” dilanjutkan dengan menjalankan analisa secara keseluruhan lalu menunggu hingga proses *running* selesai dilakukan. DualSPHysics sendiri memang membutuhkan spesifikasi perangkat yang lumayan berat untuk menjalankan proses

analisa dengan cepat, maka dari itu proses *running* biasanya memakan waktu yang cukup lama. Proses *running* dapat dilihat pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.10** Pengaturan elevasi muka air pada *water fillbox*



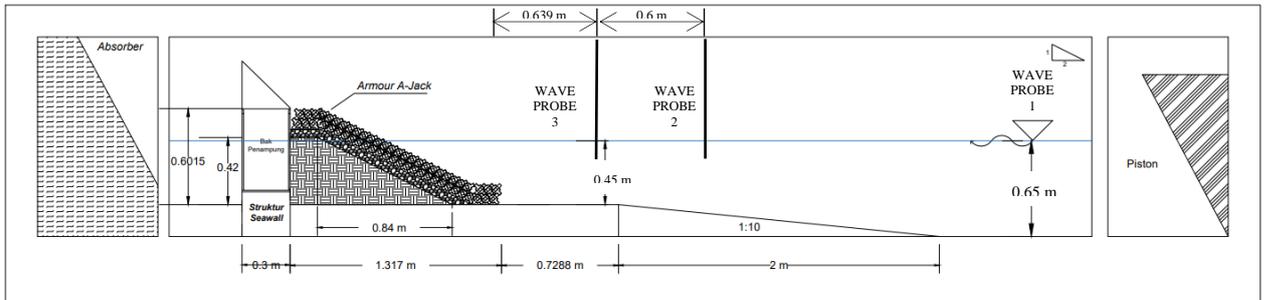
**Gambar 3.11** Proses *running* program pada DualSPHysics

Setelah program selesai berjalan, maka akan didapat hasil data-data output dari pengujian ini di folder output. Dari data-data ini, kita dapat menyusun pengukuran gelombang pada titik-titik tertentu menggunakan “Measure tool”. Data-data tersebut, nantinya akan dianalisis untuk menemukan tujuan dari penelitian ini sendiri.

### 3.2.5 Validasi Data dan Model

Proses validasi pada penelitian ini digunakan untuk menentukan dimensi *numerical flume tank* (NWT), sebelum akhirnya dapat dilanjutkan proses uji secara garis besar. Kalibrasi

atau validasi ini digunakan untuk memastikan bahwa dimensi model dari *numerical flume tank* yang nantinya digunakan telah sesuai dengan kondisi fisik maupun teoritis dan layak untuk digunakan pada penelitian yang dilakukan. Pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan membandingkan hasil numerik menggunakan DualSPHysics dengan hasil pemodelan fisik yang gambarnya dapat dilihat pada Gambar 3.12. Hasil pengujian fisik ini diperoleh dari eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Flume Tank Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS untuk *seawall* dengan *concrete armour* berbentuk A-Jack yang diletakkan secara acak.



**Gambar 3.12** Peletakan wave probe pada uji fisik di Flume Tank

*Wave probe* (WP) diletakkan sesuai dengan lokasi yang sudah ditentukan pada pengujian fisik, *wave probe* 1 diletakkan sejauh 5 meter dari struktur terluar yang digunakan sebagai input gelombang. Kemudian WP 3 diletakkan sejauh  $0.2L$  dari struktur terluar, dimana  $L$  adalah panjang gelombang dan WP 2 diletakkan sejauh 0.6 m sebelum WP 3. Pada kolam gelombang juga terdapat *slope* sebagai gambaran pantai dengan kemiringan 1:10 dengan tinggi dan panjang struktur masing-masing adalah 0.2 m dan 4.046 m. Ilustrasi peletakan *wave probe* dan *slope* dapat dilihat pada Gambar 3.12. Elevasi air, tinggi gelombang dan periode gelombang yang ditentukan untuk melakukan kalibrasi masing masing dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Elevasi air, tinggi dan periode gelombang yang digunakan untuk validasi

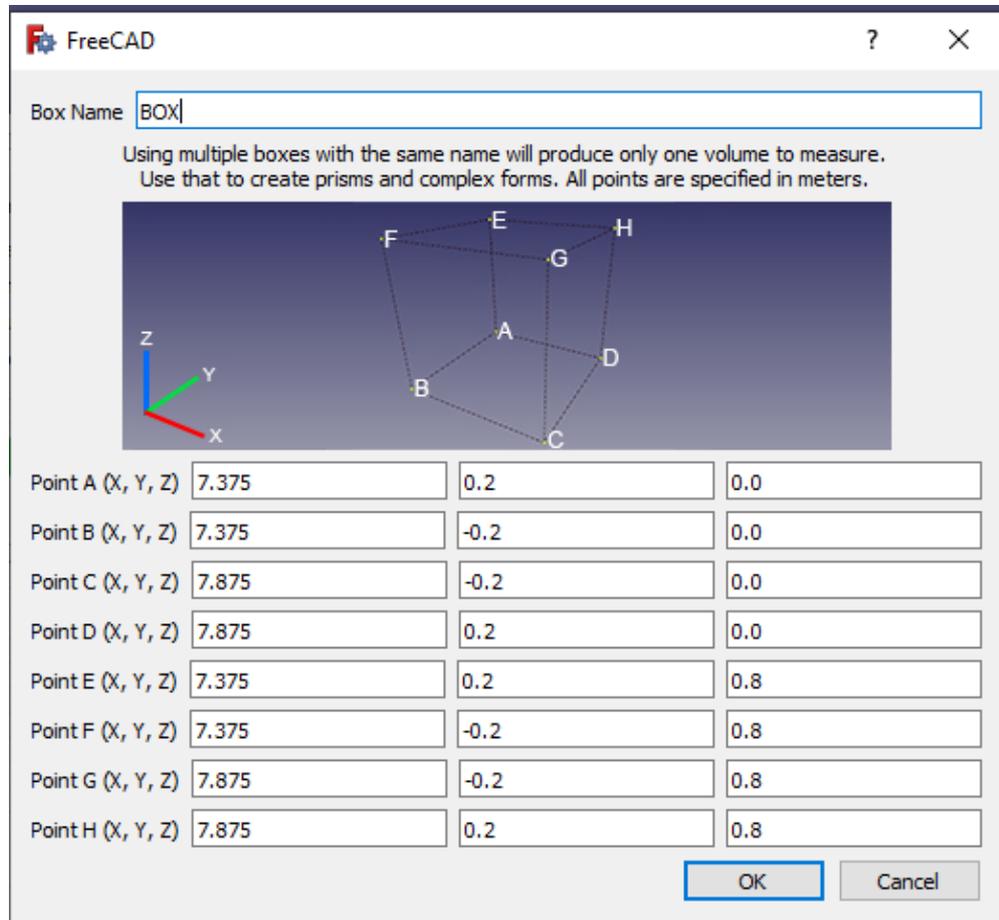
Keterangan	Nilai	Satuan
Elevasi air	0.65	m
Tinggi Gelombang	0.125	m
Periode	1.52	s
Kemiringan Struktur	1:2	

### 3.2.6 Input *Wave Probe* Menggunakan “MeasureTool”

Pengukuran ketinggian gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan *tools* “measure tool” setelah program selesai dijalankan. Prinsip kerja pengukur gelombang ini adalah mengukur partikel yang melewati titik yang ditentukan. Hal mendasar yang perlu diperhatikan dalam peletakan *wave probe* ini adalah perhitungan jarak vertikal ke atas yang diteliti semakin kecil jarak vertikalnya maka akan semakin baik hasil pembacaan gelombangnya. Contoh pendefinisian letak *wave probe* dapat dilihat pada gambar dibawah ini, dimana terlihat bahwa pada koordinat  $z$  (vertikal ke atas) diberikan 1000 partikel untuk membuat pengukuran lebih presisi.



gelombang rata-rata, serta gelombang signifikan berdasar data ketinggian air yang diperoleh, dan juga menjalankan modul Goda untuk mendapatkan nilai koefisien refleksi yang terjadi.



**Gambar 3.14** Input BOX untuk analisis *overtopping* menggunakan “FlowTool”

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas bagaimana parameter-parameter dalam penyusunan model-model tersebut mempengaruhi hasil dari penjalanan program. Hasil yang dilihat dalam penjalanan program tersebut adalah nilai dari koefisien refleksi, tinggi *runup* serta volume *overtopping* yang terjadi pada *concrete armour* berbentuk A-Jack pada *Seawall*. Setelah melakukan penjalanan program menggunakan fitur “macro” DualSPHysics menggunakan *software* FreeCAD 0.19, didapat beberapa hasil simulasi yang dapat dilihat dengan menggunakan *software* ParaView.

### 4.1 Validasi Pemodelan Numerik

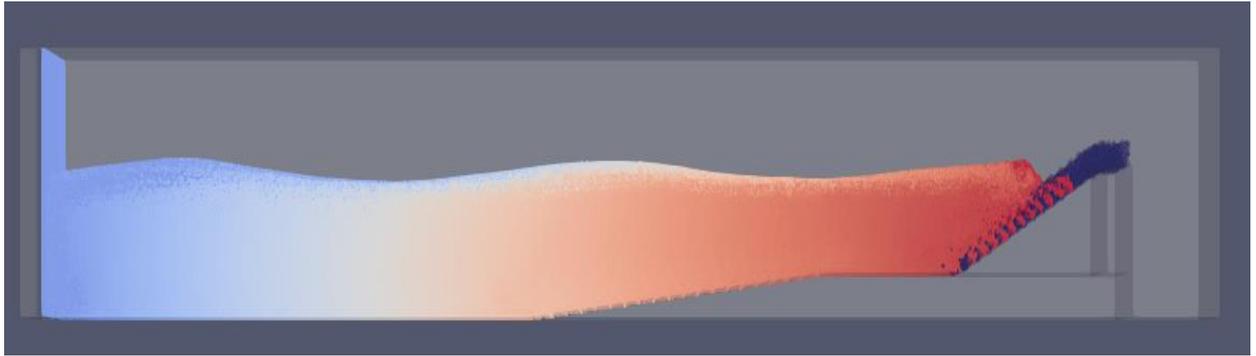
Validasi pemodelan numerik ini dilakukan dengan analisis sensitifitas sebanyak tiga kali menggunakan jarak antar partikel yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan jarak antar partikel yang optimum dalam melakukan penelitian ini. Jarak antar partikel yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Jarak antar partikel 0.03 m
2. Jarak antar partikel 0.02 m
3. Jarak antar partikel 0.01 m

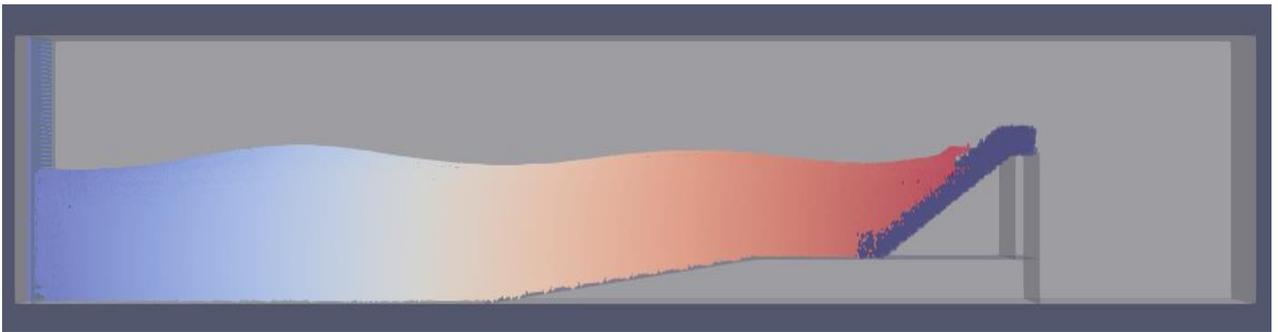
Setelah melakukan *running* program dengan 3 variasi jarak antar partikel tersebut, hasil simulasi dapat dilihat dengan menggunakan *software* ParaView. Berdasarkan hasil simulasi dengan 3 jarak antar partikel yang ditunjukkan, terlihat hasil yang cukup berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin kecil jarak antar partikel maka semakin baik dan jelas resolusi yang didapatkan. Seperti pada jarak antar partikel sebesar 0.01 m menunjukkan resolusi yang jauh lebih baik dan terlihat lebih jelas dibandingkan dengan jarak antar partikel sebesar 0.02 m dan 0.03 m. Untuk melihat visualisasi hasil simulasi pada tiap jarak antar partikel yang telah ditentukan sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Estimasi waktu yang digunakan untuk melakukan *running* simulasi program itu sendiri membutuhkan waktu lebih lama jika jarak antar partikel nya semakin kecil karena jumlah partikel yang dihasilkan semakin banyak. Dimana untuk jarak antar partikel 0.01 m dengan waktu simulasi 300 detik, dibutuhkan waktu sekitar 72-96 jam (3-4 hari) sampai program selesai dijalankan. Sedangkan untuk jarak antar partikel 0.02 m dan 0.03 m dengan waktu simulasi 300 detik, membutuhkan waktu sekitar 18-25 jam dan 4-5 jam untuk masing-masing jarak antar partikel sampai program selesai dijalankan. Perbedaan rentang waktu ini tergantung pada spesifikasi *device* yang digunakan, semakin tinggi spesifikasi PC yang digunakan maka semakin cepat pula waktu untuk menyelesaikan simulasi DualSPHysics ini. Terlihat perbedaan yang cukup signifikan dalam waktu penyelesaian penjalanan program, maka dari itu waktu penjalanan program dimasukkan sebagai kriteria dalam menentukan jarak antar partikel yang optimum untuk digunakan karena menimbang waktu yang dapat digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini.

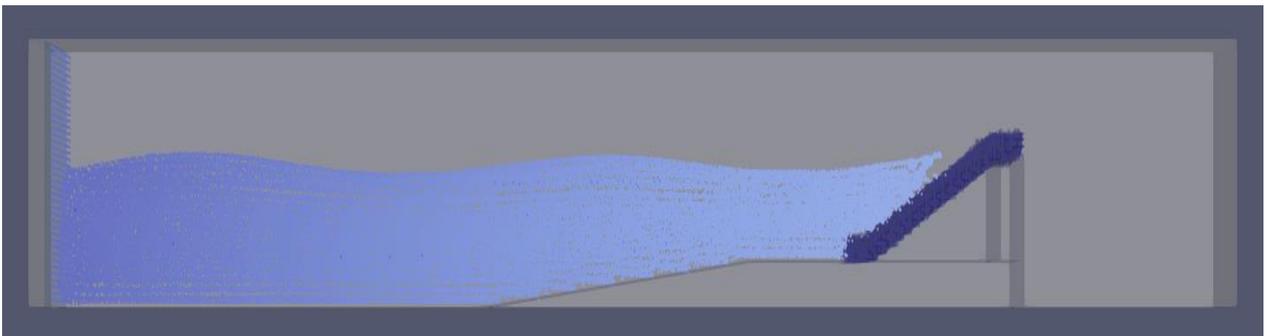
Hasil output *timeseries* dari *software* DualSPHysics ini nantinya akan dibandingkan dengan uji eksperimen (observasi) yang dilakukan di Laboratorium Flume Tank Teknik Kelautan ITS. Metode yang digunakan untuk menghitung penyimpangan yang terjadi adalah dengan menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE sendiri digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan atau jumlah kuadrat dari nilai perkiraan dan observasi. RMSE juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai obeservasinya.



(a)



(b)

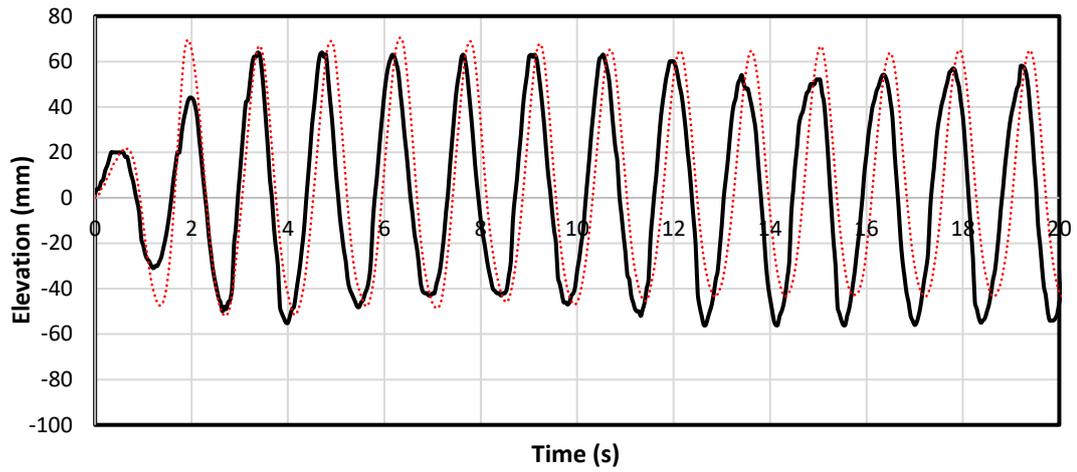


(c)

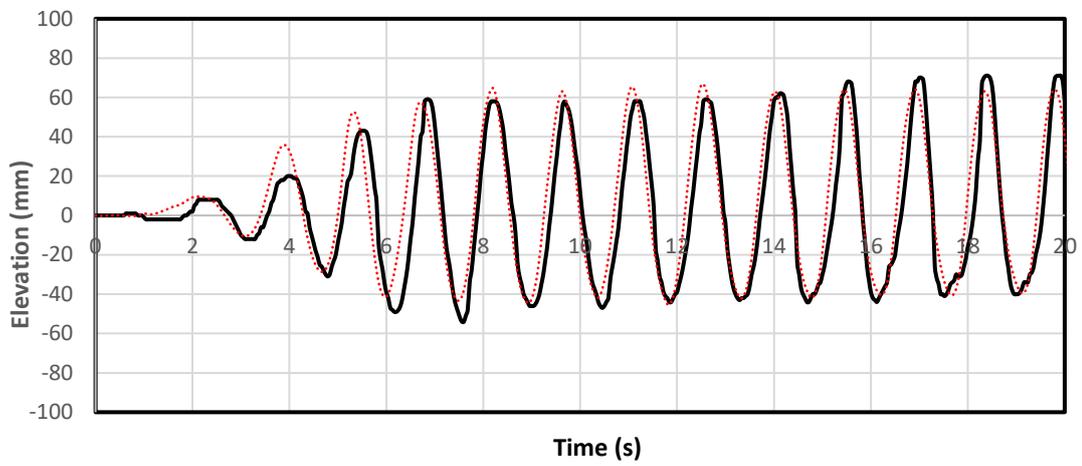
**Gambar 4.1** Visualisasi hasil penjalanan program DualSPHysics menggunakan *software* Paraview untuk jarak antar partikel: (a) 0.01 m, (b) 0.02 m, (c) 0.03 m

Kemudian dengan menggunakan fasilitas “MeasureTools” akan didapatkan pencatatan tinggi gelombang sesuai dengan titik lokasi *waveprobe* (WP) yang sudah ditentukan pada rencana perancangan validasi sebelumnya. Untuk kemudian hasil simulasi numerik ini dihitung persen kesalahannya menggunakan rumus RMSE untuk dibandingkan dengan hasil dari eksperimen fisik yang dilakukan di Laboratorium Flume Tank Teknik Kelautan ITS, dan hasilnya disajikan dalam tabel perbandingan untuk tiap WP.

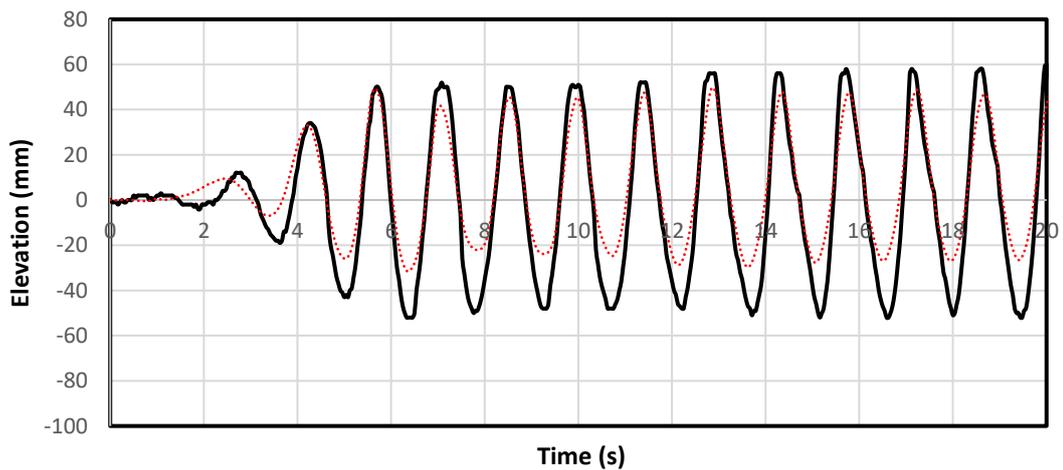
Hasil validasi yang baik memperlihatkan bahwa elevasi gelombang antara model numerik dan model fisik yang tidak jauh berbeda seperti yang terangkum pada Gambar 4.2 sampai 4.4 dibawah ini.



(a) Validasi WP 1



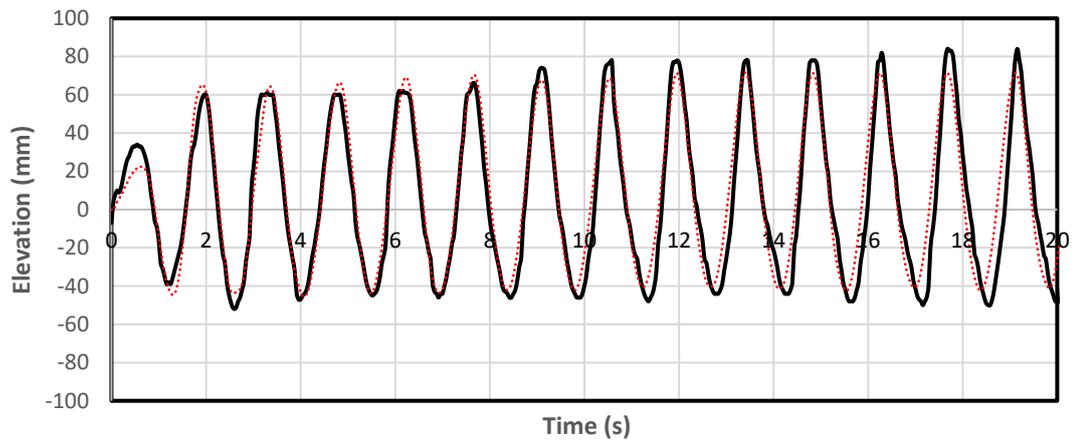
(b) Validasi WP 2



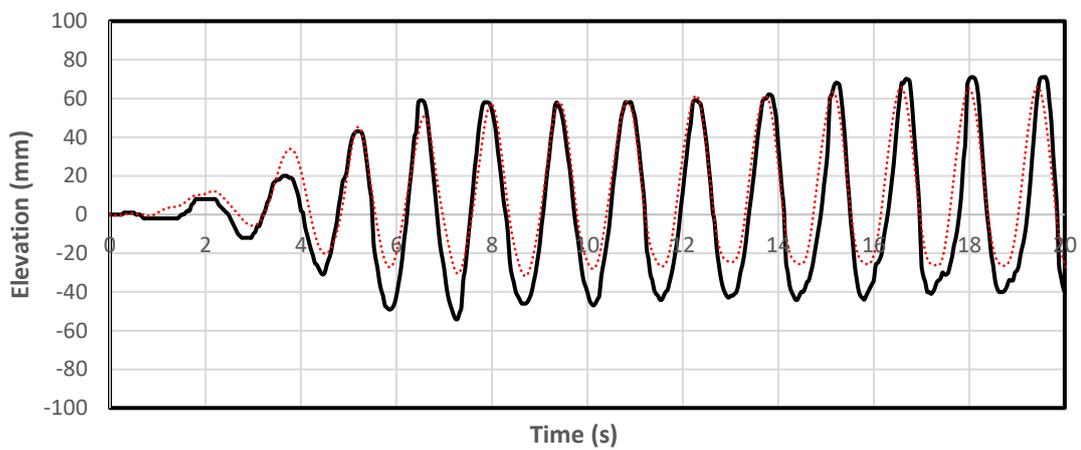
(c) Validasi WP 3



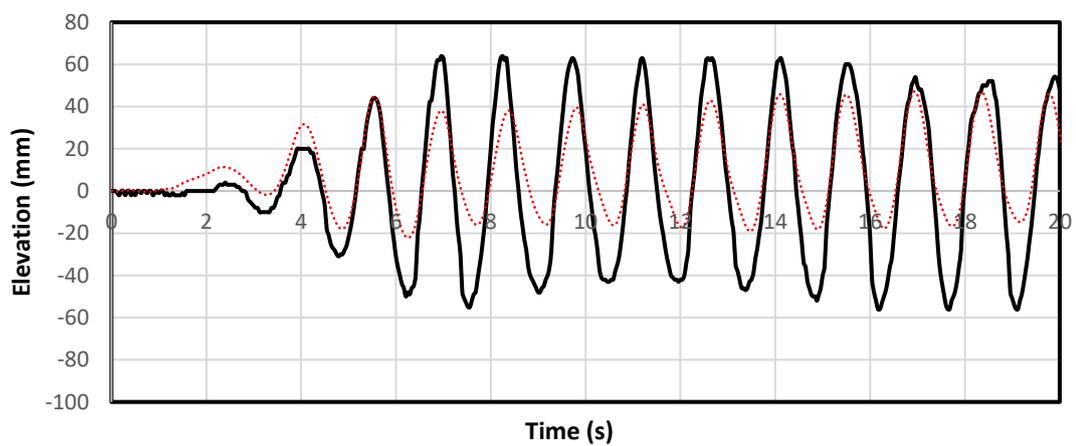
**Gambar 4.2** Hasil RMSE dengan jarak antar partikel 0.01 m pada tiap *wave probe* (WP)



(a) Validasi WP 1



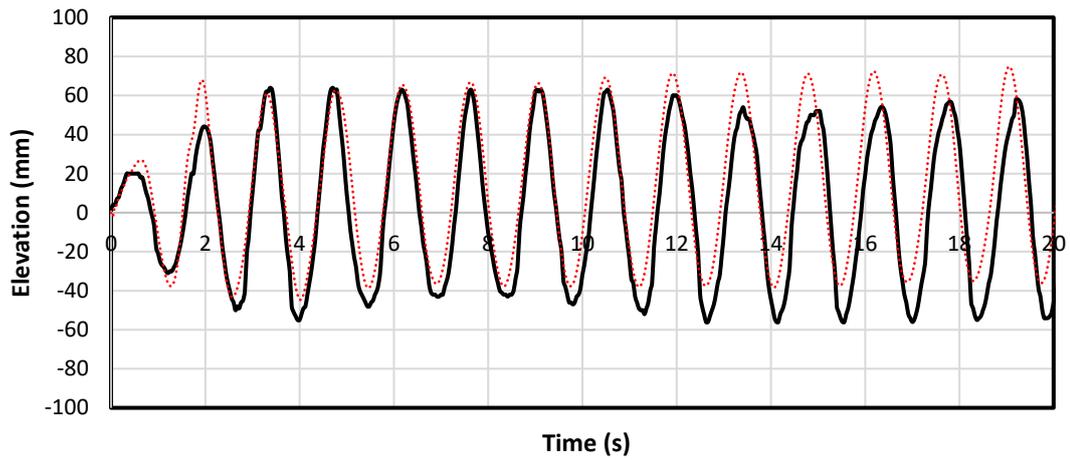
(b) Validasi WP 2



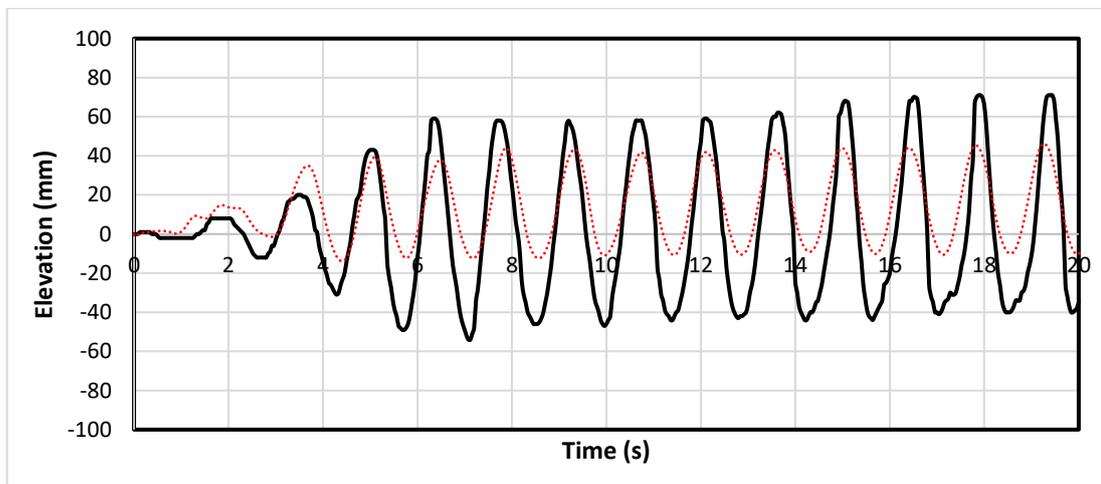
(c) Validasi WP 3



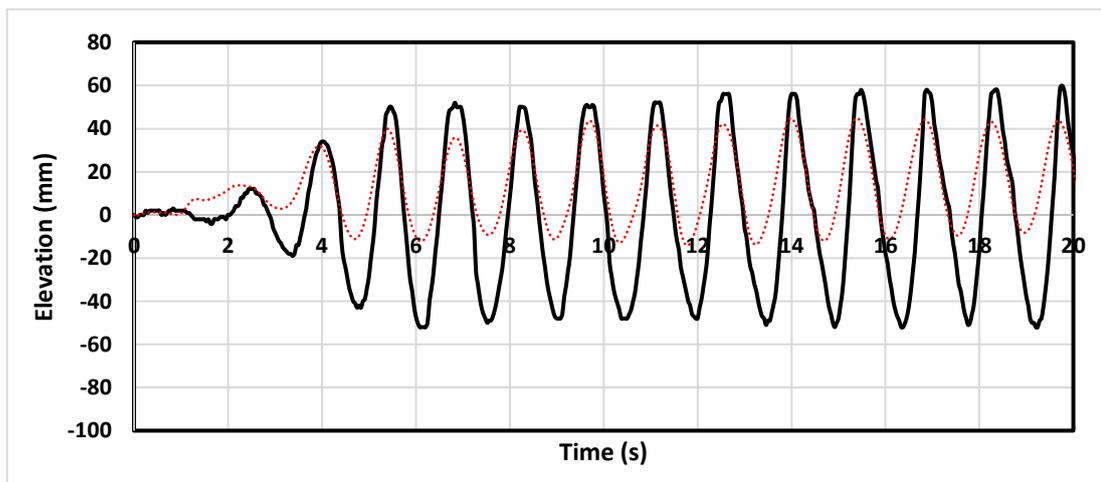
**Gambar 4.3** Hasil RMSE dengan jarak antar partikel 0.02 m pada tiap wave probe (WP)



(a) Validasi WP 1



(b) Validasi WP 2



(c) Validasi WP 3



**Gambar 4.4** Hasil RMSE dengan jarak antar partikel 0.03 m pada tiap wave probe (WP)

Untuk melihat seberapa besar error yang terjadi antara simulasi numerik dan uji eksperimen dilakukan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil perhitungan RMSE serta waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan program dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil perhitungan RMSE antara model numerik dengan model fisik

Jarak antar partikel (m)	Estimasi Waktu <i>Running</i> (jam)	Hasil Perhitungan RMSE			
		WP 1	WP 2	WP 3	Avg
0.01	72-96	0.110	0.141	0.174	0.142
0.02	18-25	0.120	0.147	0.182	0.150
0.03	4-5	0.176	0.229	0.246	0.217

Berdasarkan hasil perhitungan RMSE tersebut, didapat bahwa semakin nilai error rata-rata terkecil untuk tinggi gelombang yang dihasilkan antara simulasi numerik dan eksperimen fisik berada pada jarak antar partikel 0.01 m. Namun, terdapat perbedaan yang cukup signifikan dalam waktu penjalanan program yang mana jarak antar partikel 0.01 m membutuhkan waktu penjalanan program agar simulasi selesai dilakukan sekitar 72-96 jam. Waktu tersebut berbanding 4 kali lipat dengan waktu penjalanan program yang dibutuhkan oleh jarak antar partikel 0.02 m. Nilai error yang didapat untuk jarak antar partikel 0.02 m tidak terlalu jauh hasilnya jika dibandingkan dengan jarak antar partikel 0.01 m. Sehingga pada penelitian ini, akan digunakan jarak antar partikel sebesar 0.02 m. Pemilihan ini dengan mempertimbangkan hasil perhitungan RMSE yang tidak jauh berbeda dan juga waktu penjalanan program yang lebih cepat dibandingkan dengan jarak antar partikel 0.01 m. Sedangkan untuk jarak antar partikel 0.03 m tidak digunakan karena hasil rata-rata error RMSE-nya yang cukup jauh dibandingkan dengan kedua jarak antar partikel lainnya.

Selain menentukan jarak antar partikel yang optimal untuk digunakan dalam penelitian ini, validasi output tinggi dan periode gelombang yang dihasilkan antara simulasi pemodelan numerik menggunakan *software* berbasis SPH (*Smoothed Particles Hydrodynamics*), DualSPHysics 5.0 dan eksperimen uji fisik tentang *concrete armour* A-Jack pada *seawall* yang dilakukan di Laboratorium Flume Tank Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Perhitungan penyimpangan yang terjadi ini dilakukan dengan menggunakan rumus penyimpangan sederhana, *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yaitu :

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|\hat{y}-y|}{y} \times 100\% \quad (4.1)$$

Tingkat persen kesalahan yang diijinkan dalam menggunakan MAPE menurut Lewis (1982) dalam bukunya yang berjudul “Industrial and business forecasting methods” adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.2** Interpretasi dari beberapa nilai MAPE (Lewis, 1982)

MAPE	Interpretation
<10	Highly accurate forecasting
10-20	Good forecasting
20-50	Reasonable forecasting
>50	Inaccurate forecasting

Source: Lewis (1982, p. 40)

Kemudian dengan menggunakan *software* Microsoft Excel, didapatkan rangkuman hasil penyimpangan dari tinggi dan periode gelombang yang dihasilkan antara output hasil uji eksperimen dan simulasi pemodelan numerik yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil error tinggi dan periode gelombang antara uji eksperimen dan simulasi pemodelan numerik menggunakan MAPE

Slope	Periode (s)				Tinggi Gelombang (m)			
	Input	Eksperimen	Numerik	ERROR	Input	Eksperimen	Numerik	ERROR
1:2	1.52	1.436	1.527	6.32%	0.100	0.097	0.090	7.35%
		1.436	1.527	6.32%	0.125	0.120	0.115	3.69%
		1.428	1.527	6.91%	0.150	0.156	0.148	4.93%
		1.427	1.527	6.99%	0.175	0.173	0.174	0.89%
	1.72	1.626	1.729	6.34%	0.100	0.097	0.097	0.36%
		1.626	1.729	6.34%	0.125	0.121	0.124	2.22%
		1.621	1.729	6.67%	0.150	0.143	0.151	5.70%
		1.621	1.729	6.67%	0.175	0.170	0.174	2.63%
1:1.5	1.52	1.429	1.527	6.84%	0.100	0.106	0.099	6.64%
		1.437	1.527	6.24%	0.125	0.118	0.123	3.58%
		1.437	1.527	6.24%	0.150	0.151	0.142	6.20%
		1.420	1.527	7.51%	0.175	0.172	0.170	1.16%
	1.72	1.579	1.729	9.51%	0.100	0.102	0.095	6.61%
		1.622	1.729	6.60%	0.125	0.120	0.120	0.58%
		1.622	1.729	6.60%	0.150	0.149	0.144	3.68%
		1.579	1.729	9.51%	0.175	0.161	0.163	0.98%
1:1	1.52	1.420	1.527	7.51%	0.100	0.103	0.094	8.62%
		1.420	1.527	7.51%	0.125	0.121	0.120	0.83%
		1.488	1.527	2.60%	0.150	0.133	0.143	7.21%
		1.458	1.527	4.71%	0.175	0.176	0.169	3.91%
	1.72	1.622	1.729	6.60%	0.100	0.098	0.091	6.79%
		1.648	1.729	4.92%	0.125	0.124	0.126	1.10%
		1.614	1.729	7.13%	0.150	0.154	0.147	4.88%
		1.707	1.729	1.29%	0.175	0.169	0.173	2.15%
Rata-rata				6.41%	Rata-rata			3.86%

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil persen kesalahan dari output tinggi gelombang dan periode gelombang yang dihasilkan antara uji eksperimen dan simulasi pemodelan numerik tidak terlalu signifikan perbedaannya. Dimana persen penyimpangan yang terjadi antara eksperimen dan numerik berada di bawah 10% dan hasil tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan yang terjadi berdasarkan perhitungan MAPE menurut Lewis (1982) adalah *highly accurate forecasting* atau perkiraan yang sangat akurat.

## 4.2 Refleksi Gelombang

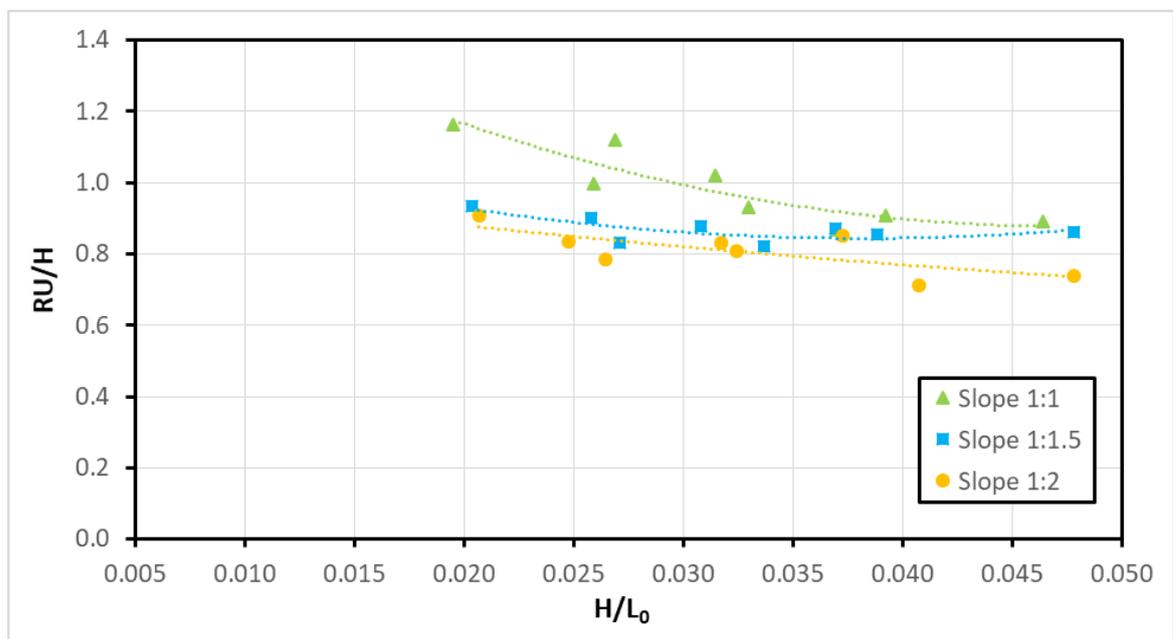
Data untuk menganalisis refleksi gelombang yang terjadi didapat dengan meletakkan 2 *wave probe* (WP) refleksi. WP tersebut diletakkan sejauh 0.2L dari *concrete armour* terluar yang diberi nama WP3 dan satunya lagi diletakkan sejauh 0.6 m sebelum WP3 yang diberi nama WP2, dan ilustrasi peletakan WP2 dan WP3 dapat dilihat pada Gambar 3.12. Dari proses perjalanan simulasi diketahui bahwa panjang gelombang (L) yang didapat bernilai 3.61 meter untuk variasi periode 1.52 detik dan 4.61 m untuk periode 1.72 s, sehingga didapat jarak dari

*wave probe* refleksi adalah 0.72 m untuk variasi periode 1.52 s dan 0.924 meter untuk periode 1.72 s.

Setelah didapat data elevasi gelombang refleksi dari kedua WP tersebut, untuk membantu perhitungan koefisien refleksi digunakan *software* Matlab menggunakan modul Goda dengan mengganti jarak antar WP nya, elevasi muka air, serta periode gelombang. Setelah ditemukan nilai koefisien refleksi yang terjadi, hasil tersebut diplotkan menggunakan *software* pengolah data Excel untuk didapatkan grafik untuk setiap variasi periode gelombang, tinggi gelombang, dan kemiringan struktur.

#### 4.2.1 Pengaruh Kecuraman Gelombang (*Wave Steepness*)

Kecuraman gelombang (*wave steepness*) merupakan variabel non-dimensional yang dipengaruhi oleh nilai gelombang dan periode gelombang. Kemiringan gelombang yang digunakan pada penelitian ini didapat dari perhitungan  $H/gT^2$ . Untuk penyusunan grafik hubungan kecuraman gelombang terhadap koefisien refleksi ( $K_R$ ) dibedakan oleh kemiringan struktur (*slope*) yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah.



**Gambar 4.5** Hubungan kecuraman gelombang (*wave steepness*) terhadap  $K_R$

Pada Gambar 4.5 tren yang terjadi adalah bahwa semakin meningkat kecuraman gelombang, maka yang nilai koefisien refleksi ( $K_R$ ) semakin berkurang dan begitu pula sebaliknya. Atau dapat pula dikatakan bahwa hubungan antara kecuraman gelombang dengan koefisien refleksi adalah berbanding terbalik. Selain itu, nilai koefisien refleksi ( $K_R$ ) juga dibedakan oleh kemiringan (*slope*) struktur, yakni 1:1, 1:1.5, dan 1:2. Pada grafik menunjukkan bahwa semakin curam kemiringan struktur, maka nilai koefisien refleksi semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Semakin landai kemiringan struktur maka nilai koefisien refleksi semakin kecil. Dimana terlihat bahwa koefisien refleksi rata-rata pada kemiringan struktur 1:1 lebih tinggi dengan nilai antara 0.5 ~ 0.8, dibandingkan dengan kemiringan lainnya yaitu 1:1.5 dan 1:2 dengan masing masing nilai koefisien refleksi berada di rentang 0.4 ~ 0.7 dan 0.3 ~ 0.7.

Dari grafik tersebut juga didapat formulasi untuk tiap *trendline* yang mana terangkum sebagai berikut:

$$y = -436.02x^2 + 16.38x + 0.64 \quad (4.2)$$

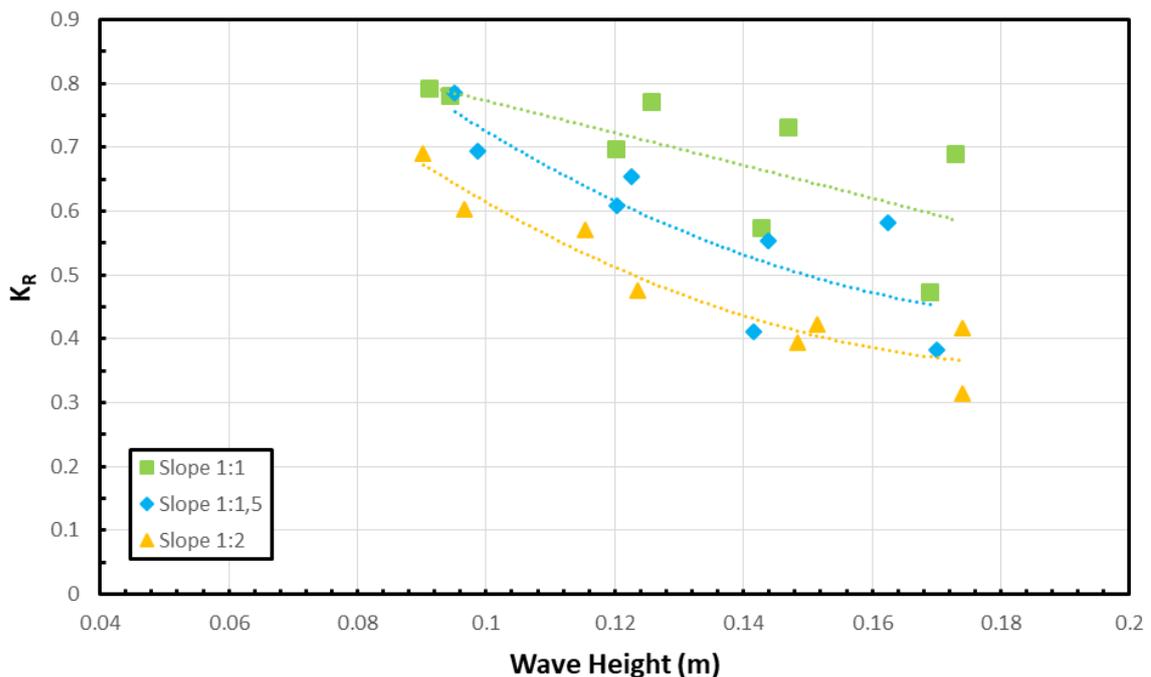
$$y = 31.59x^2 + 17.02x + 1.1 \quad (4.3)$$

$$y = 38.18x^2 + 14.48x + 0.92 \quad (4.4)$$

Dimana untuk kemiringan struktur 1:1 formula *trendline* nya adalah rumus (4.2) dengan regresi  $R^2=0.96$ , untuk kemiringan 1:1.5 formula *trendline* nya adalah rumus (4.3) dengan regresi  $R^2=0.81$ , dan untuk kemiringan 1:2 formula *trendline* nya adalah rumus (4.4) dengan regresi  $R^2=0.73$ .

#### 4.2.2 Pengaruh Tinggi Gelombang

Untuk melihat pengaruh tinggi gelombang terhadap Koefisien Refleksi ( $K_R$ ), tinggi gelombang ( $H_i$ ) dibedakan oleh kemiringan struktur, dimana nilai  $H_i$  yang digunakan yakni gelombang output rata-rata. Tinggi gelombang merupakan elemen dari perhitungan kemiringan gelombang, dan dari hasil pengaruh kemiringan gelombang sebelumnya didapatkan bahwa kemiringan gelombang memiliki pengaruh terhadap nilai koefisien refleksi ( $K_R$ ). Pengaruh tinggi gelombang terhadap koefisien refleksi ( $K_R$ ) diplotkan kedalam grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut ini.



**Gambar 4.6** Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap  $K_R$

Dari grafik perbandingan antara koefisien refleksi dan tinggi gelombang, baik pada kemiringan struktur 1:1, 1:1,5, dan 1:2, didapatkan bahwa semakin besar tinggi gelombang maka semakin kecil koefisien refleksi gelombang. Hal ini dapat diartikan bahwa tinggi gelombang sebagai salah satu parameter hidrodinamika gelombang memiliki peran dalam mempengaruhi besarnya nilai  $K_R$ . Tentunya ketika melihat grafik yang ditunjukkan pada 4.6 dapat diketahui nilai  $K_R$  akan menemukan hasil yang lebih baik di tinggi gelombang yang lebih kecil atau dapat juga dikatakan bahwa hubungan antara koefisien refleksi dan tinggi gelombang adalah berbanding terbalik, sama seperti kecuraman gelombang.

Dari grafik tersebut juga didapat formulasi untuk tiap *trendline*, yaitu:

$$y = -1.16x^2 + 2.24x + 1.01 \quad (4.5)$$

$$y = 31.34x^2 - 12.36x + 1.65 \quad (4.6)$$

$$y = 31.86x^2 + 12.08x + 1.5 \quad (4.7)$$

Dimana untuk kemiringan struktur 1:1 formula *trendline* nya adalah rumus (4.5) dengan regresi  $R^2=0.49$ , untuk kemiringan 1:1.5 formula *trendline* nya adalah rumus (4.6) dengan regresi  $R^2=0.71$ , dan untuk kemiringan 1:2 formula *trendline* nya adalah rumus (4.7) dengan regresi  $R^2=0.92$ .

#### 4.2.3 Perbandingan Dengan Peneliti Lain

Beberapa Penelitian telah dilakukan mengenai refleksi gelombang yang terjadi pada seawall dengan armour unit yang berbeda baik secara numerik maupun eksperimen. Untuk mendapatkan grafik perbandingan hasil penelitian secara numerik dengan uji eksperimen dilakukan perhitungan parameter gelombang tanpa dimensi yaitu parameter persamaan gelombang (*surf similarity parameter*) atau biasa disebut bilangan irribarren ( $\xi$ ). Yang dirumuskan dengan persamaan :

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}} \quad (4.8)$$

Dan untuk contoh perhitungan pada salah satu kemiringan struktur, yakni kemiringan 1:2 adalah sebagai berikut.

$$H = 0.1168$$

$$T_p = 1.5267$$

$$\tan \theta = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{gT^2}}}$$

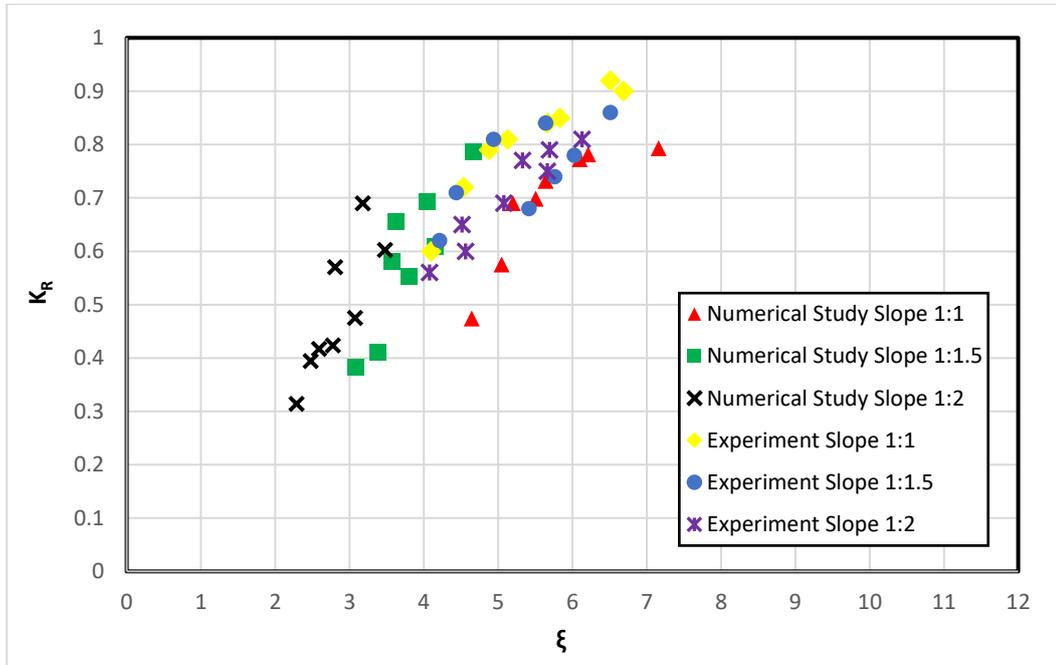
$$\xi = \frac{0.5}{\sqrt{\frac{2(3.14)(0.1168)}{9.8(1.5267)^2}}}$$

$$\xi = 2.79$$

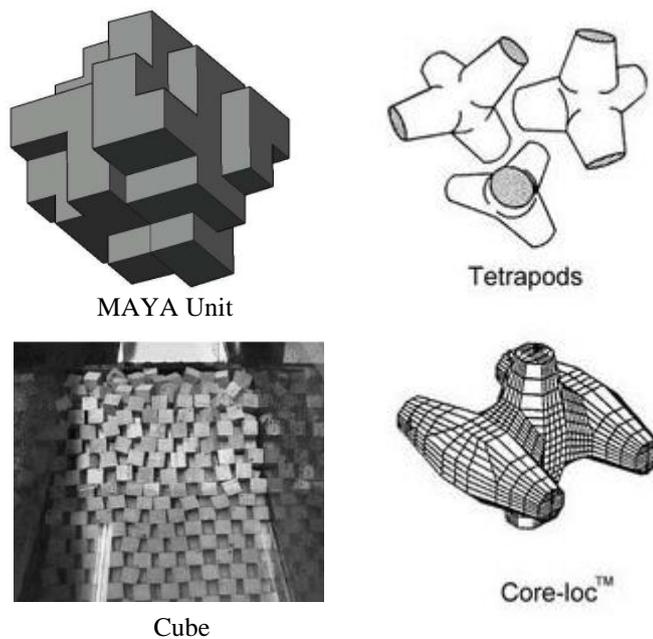
Untuk tiap kemiringan struktur dibandingkan hasil yang didapat dari pemodelan numerik ini dengan uji eksperimen tentang *concrete armour A-Jack* pada seawall yang dilakukan di *Flume Tank* Teknik Kelautan ITS. Untuk grafik hasil perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Pada grafik 4.7 tersebut merupakan hubungan koefisien refleksi dan parameter bilangan irribarren atau parameter persamaan gelombang. Didapat bahwa hasil numerik dan eksperimen memiliki kesamaan yaitu semakin besar bilangan irribarren yang diperoleh maka semakin besar juga koefisien refleksi yang didapatkan. Sedangkan untuk perbedaannya terletak pada koefisien refleksi yang dihasilkan, pada uji eksperimen rentang koefisien refleksi pada kemiringan 1:1 adalah 0.6 sampai 1.0 dan pada pemodelan numerik berada di 0.4 sampai 0.8, pada kemiringan 1:1.5 rentang koefisien refleksi untuk uji eksperimen adalah 0.6 sampai 0.9 dan pada pemodelan numerik berada di 0.3 sampai 0.8, dan pada kemiringan 1:2 rentang koefisien refleksi untuk uji eksperimen adalah 0.5 sampai 0.9 dan pada pemodelan numerik berada di 0.3 sampai 0.7. Perbedaan rentang nilai koefisien refleksi ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti

wave generator yang berada di Flume Tank Teknik Kelautan ITS yang sudah tidak bisa bekerja secara optimal. Pada tabel 2.1 yang sudah dibahas sebelumnya, koefisien refleksi untuk tumpukan blok beton nilai nya berada pada rentang 0.3~0.5 sedangkan pada pemodelan numerik ini berada pada rentang nilai 0.3~0.8. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang didapat dari pemodelan numerik ini sudah hampir sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Yoshimi Goda melalui bukunya berjudul *Random Seas and Design of Maritime Structures* yang diterbitkan tahun 2000.

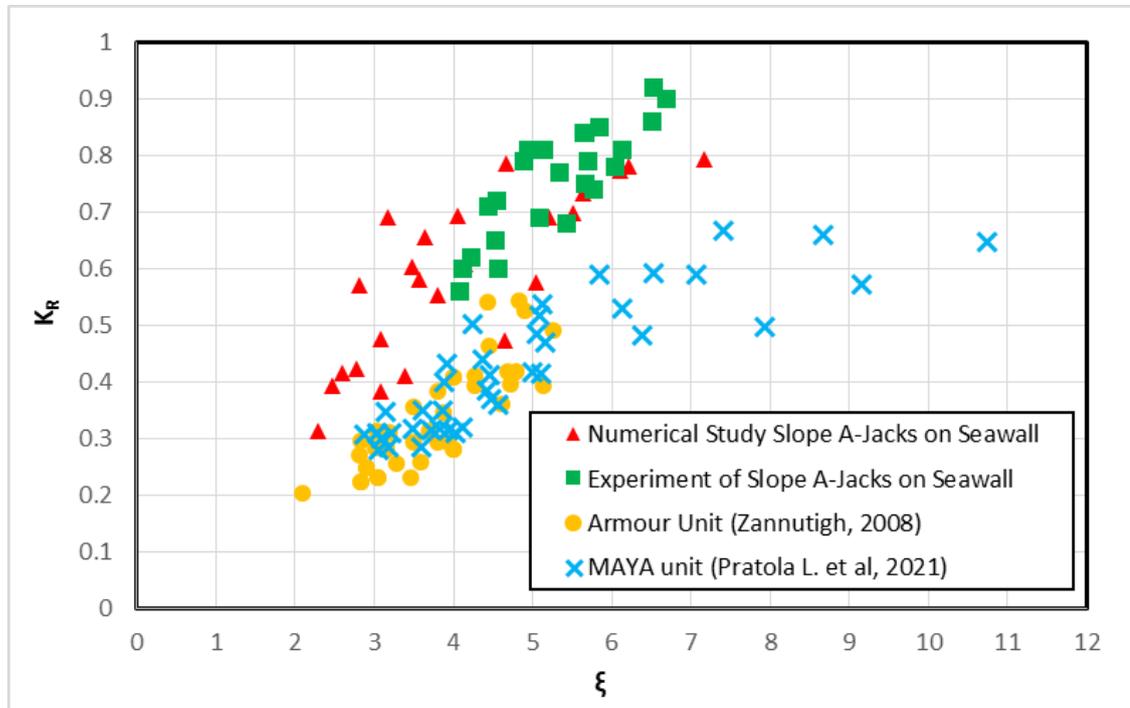


**Gambar 4.7** Perbandingan hasil pemodelan numerik dengan eksperimen di *Flume Tank* Teknik Kelautan ITS



**Gambar 4.8** Struktur MAYA Unit (Pratola *et al.*, 2021) dan Armour unit: (Zannutigh, 2008) Selanjutnya hasil keseluruhan dari penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil dari penelitian lain tentang koefisien refleksi pada *seawall* yang dilindungi oleh *concrete armour*

dengan single layer, bernama MAYA, yang dilakukan oleh (Pratiola et al., 2021). Selain itu juga dibandingkan dengan armour unit seperti Tetrapod, Cube, Core-Loc, Xbloc dan lainnya untuk seawall yang dilakukan oleh (Zanutigh & Van der Meer, 2008). Sama seperti sebelumnya, dilakukan perbandingan dengan menggunakan bilangan irribaren dan didapat grafik hasil perbandingan dengan penelitian lain pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



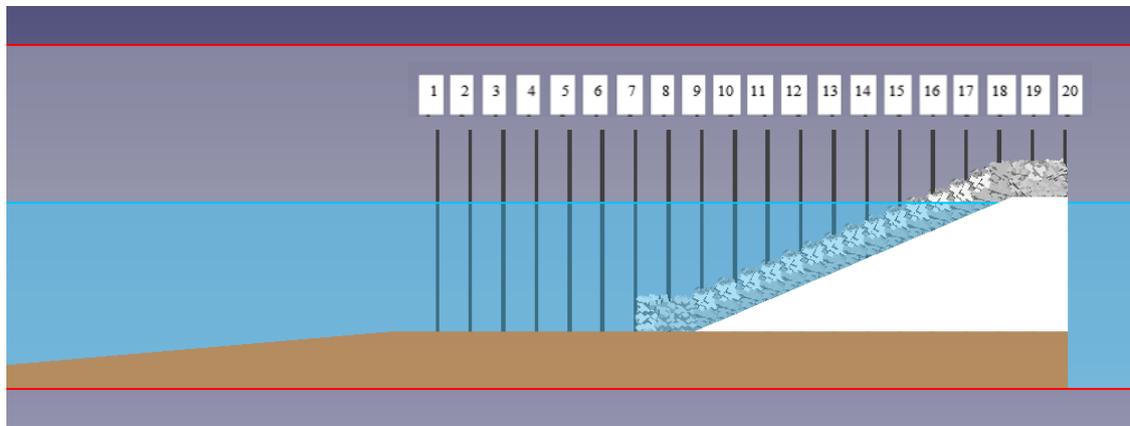
**Gambar 4.9** Perbandingan hasil antara pemodelan numerik dengan hasil penelitian Pratola *et al.* (2021) dan Zanutigh (2008)

Gambar 4.9 tersebut merupakan hubungan koefisien refleksi dan parameter bilangan irribarren. Didapat bahwa hasil numerik ini dan penelitian lain memiliki kesamaan yaitu semakin besar bilangan irribarren yang diperoleh maka semakin besar juga koefisien refleksi yang didapatkan. Dan jika dibandingkan dengan teori yang dikemukakan oleh Goda (2000) pada tabel 2.1 sebelumnya, koefisien refleksi untuk tumpukan blok beton nilai nya berada pada rentang 0.3~0.5. Sedangkan nilai koefisien refleksi untuk penelitian yang dilakukan oleh Zanutigh (2008) dan Pratola (2021) berada pada rentang 0.2~0.6 dan 0.3~0.7, sedangkan untuk pemodelan numerik dan eksperimen untuk slope dengan lapis lindung tipe A-Jack berada pada rentang nilai 0.3~0.8 dan 0.5~1.0. Maka dapat dikatakan bahwa hasil yang didapat mendekati teori yang dikemukakan oleh Goda (2000) dan juga mendekati rentang nilai dari penelitian lain yang mana perbedaannya tidak terlalu signifikan. Perbedaan tersebut berada pada nilai koefisien refleksi yang didapat dimana untuk pemodelan numerik dan eksperimen *slope seawall* dengan lapis lindung tipe A-Jack ini nilai koefisien refleksinya cenderung lebih besar dibandingkan dengan penelitian lainnya, perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, jenis batu pelindung yang digunakan, tinggi dan periode gelombang serta kemiringan struktur yang berbeda.

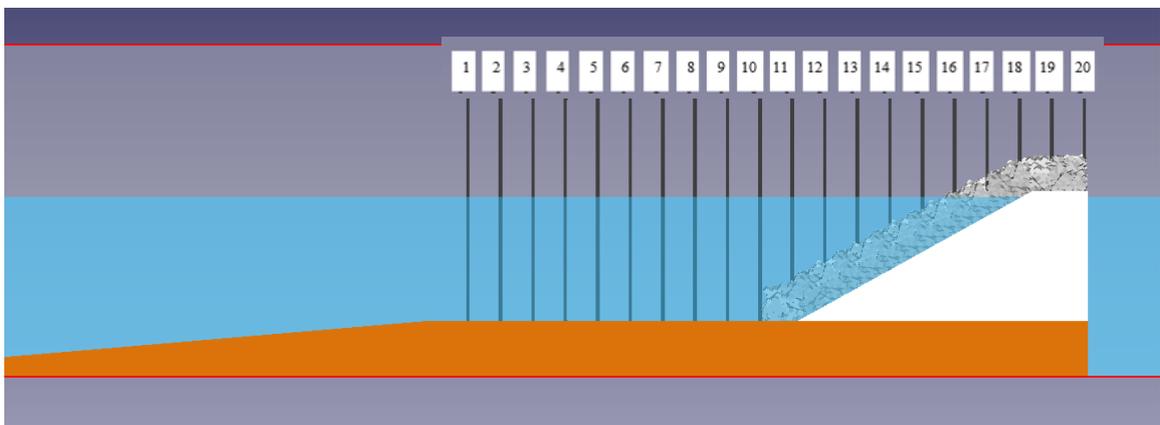
### 4.3 Runup Gelombang

Sama seperti sebelumnya, untuk mendapatkan data analisis nilai run up dengan metode numerik menggunakan software DualSPHysics diambil menggunakan fitur “MeasureTool”. Dimana data diambil pada beberapa titik di atas slope sampai struktur *concrete armour*, mulai

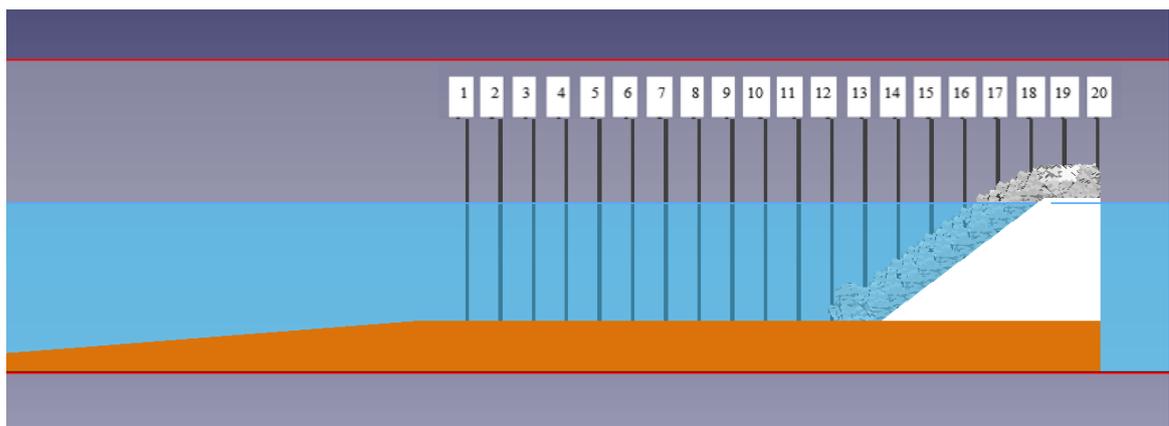
dari paling bawah sampai titik teratas dengan jarak antar titik adalah 10 cm. Gambar 4.10 merupakan ilustrasi peletakan *wave probe* menggunakan “measure tool” pada *software* FreeCAD 0.19 untuk masing-masing kemiringan struktur.



(a)  $m = 1:2$



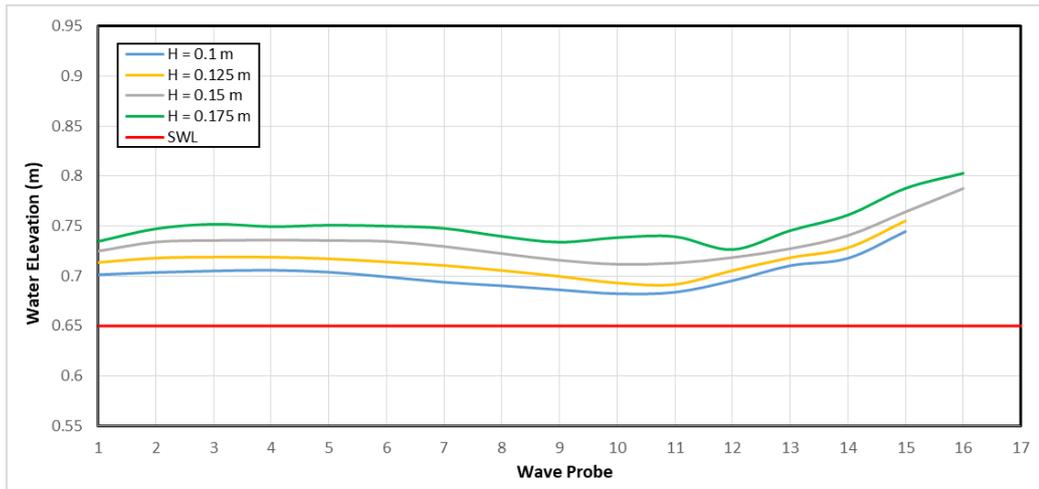
(b)  $m = 1:1.5$



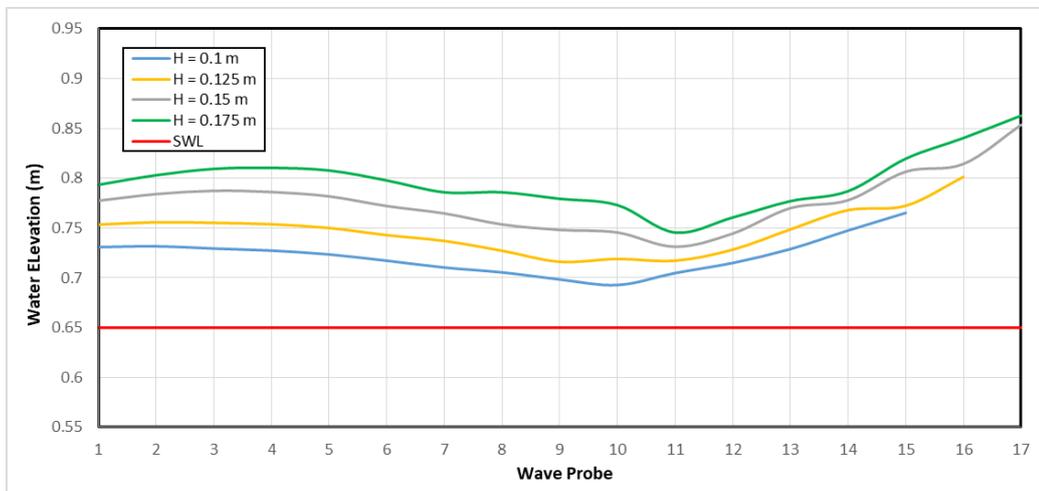
(c)  $m = 1: 1$

**Gambar 4.10** Peletakan wave probe untuk mencatat elevasi *runup* serta penomorannya pada tiap kemiringan struktur (m)

Selanjutnya hasil tinggi elevasi maksimum yang terjadi pada tiap titik tersebut di plotkan dalam grafik guna mendapatkan kenaikan elevasi air untuk tiap variasi tinggi dan periode gelombang pada kemiringan struktur 1:2, 1:1.5, dan 1:1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di gambar 4.11 sampai 4.13 sebagai berikut.

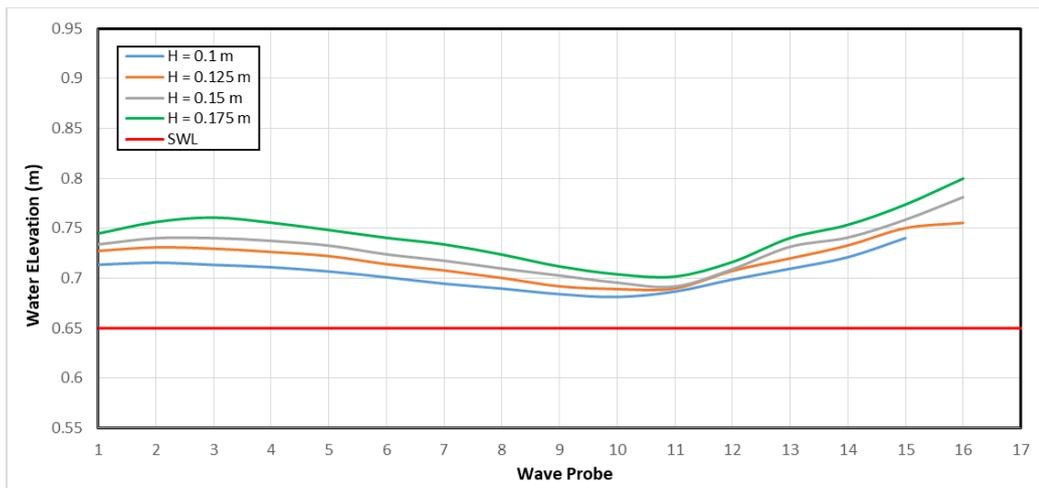


(a). Periode Gelombang,  $T = 1.52$  s

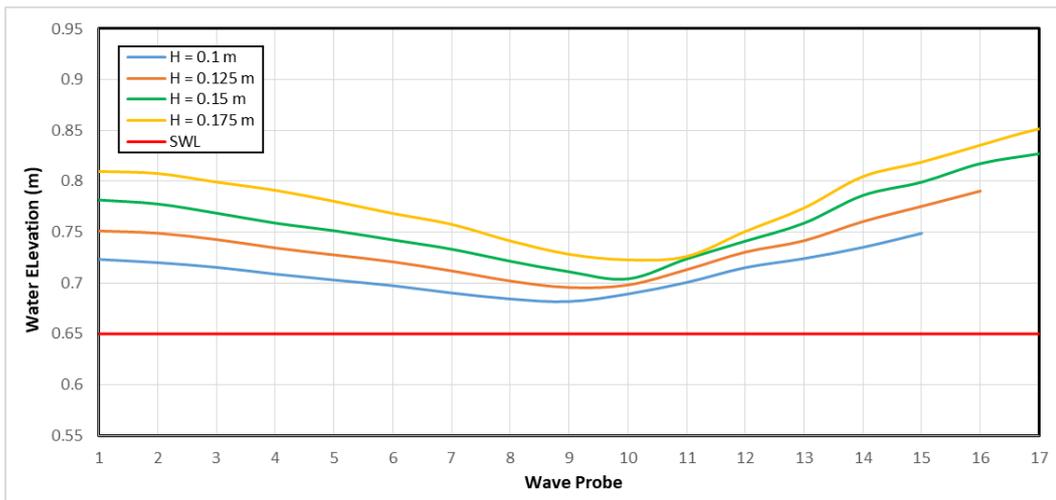


(b) Periode Gelombang,  $T = 1.72$  s

**Gambar 4.11** Tinggi elevasi muka air maksimum untuk tiap periode pada kemiringan 1:2

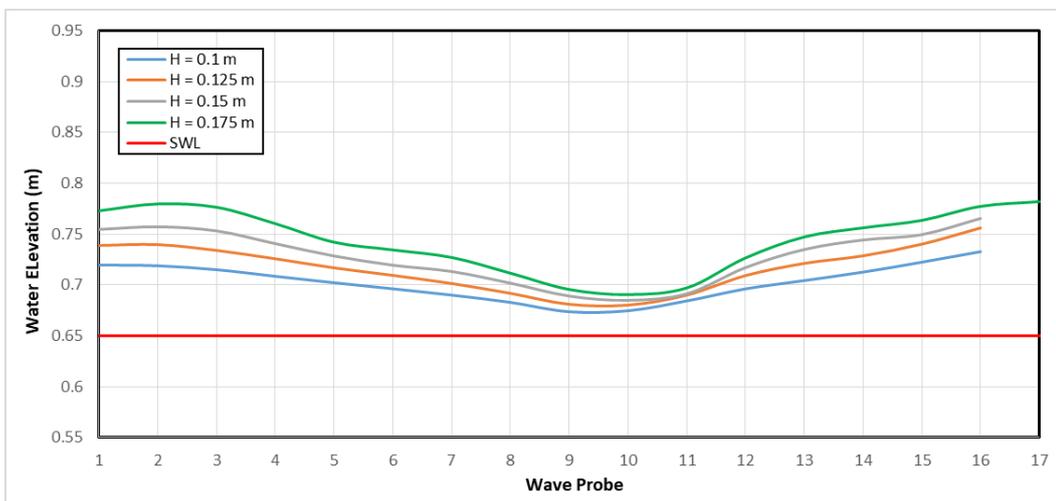


(a) Periode Gelombang,  $T = 1.52$  s

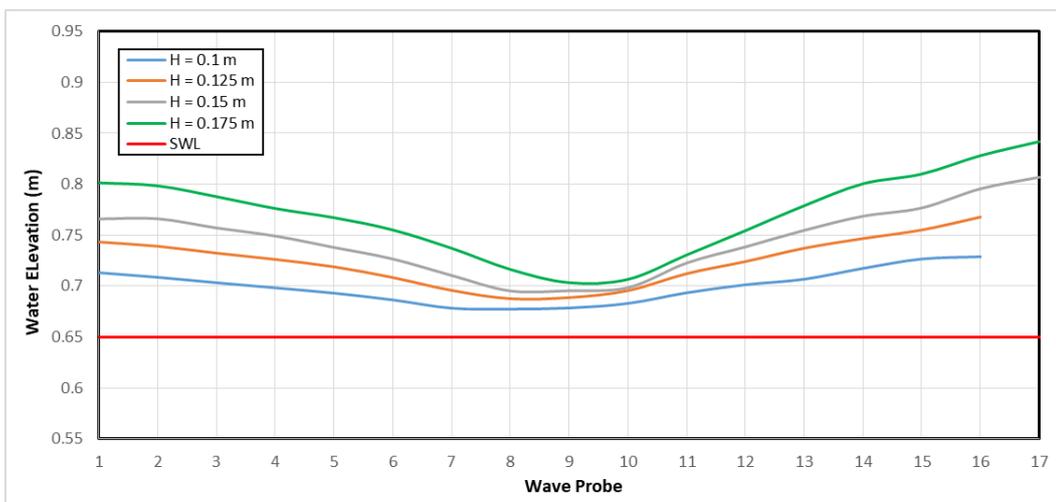


(b) Periode Gelombang,  $T= 1.72$  s

**Gambar 4.12** Tinggi elevasi muka air maksimum untuk tiap periode pada kemiringan 1:1.5



(a) Periode Gelombang,  $T= 1.52$  s



(b) Periode Gelombang,  $T= 1.72$  s

**Gambar 4.13** Tinggi elevasi muka air maksimum untuk tiap periode pada kemiringan 1:1

Dari Gambar 4.11 sampai 4.13 diatas, terlihat bahwa WP terakhir yang menyentuh air untuk struktur untuk tiap kemiringan adalah WP 14. Untuk mendapatkan ketelitian dalam membuat grafik *runup* pada tiap ketinggian gelombang tersebut, dibuat wave probe lain berjarak tiap 1 cm dari WP yang menyentuh air terakhir (WP 14) sampai ketinggian puncak struktur (WP 18). Dan berlaku juga untuk kemiringan struktur lainnya yaitu kemiringan 1:1.5 dan 1:1. Hal ini dilakukan guna mengetahui detail *runup* tertinggi yang terjadi pada struktur, karena DualSPHysics akan otomatis menghitung ketinggian struktur itu sendiri jika tidak ada elevasi air yang menyentuh *wave probe*. Jika tidak ada partikel air yang mengenai struktur pada WP tersebut maka hasil perhitungan dari WP tersebut akan konstan. Kemudian dilakukan pencarian elevasi muka air tertinggi yang terjadi dari tiap WP yang sudah dibuat tersebut untuk selanjutnya di olah menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai *runup* yang terjadi pada tiap variasi.

Nilai *runup* gelombang yang terjadi tergantung pada parameter gelombang dan kemiringan sisi bangunan yang ada. Menurut Schüttrumpf et al., (2017) dalam banyak rumus *runup*, tinggi *runup* gelombang dengan  $R_{U_{2\%}}$  digunakan sebagai parameter karakteristik untuk menggambarkan *runup* gelombang. Ini merupakan ketinggian *runup* gelombang sebanyak 2% dari jumlah gelombang yang masuk di ujung struktur. Hal ini digunakan didasari dengan jika hanya 2% dari gelombang yang mencapai puncak struktur pantai, maka puncak dan lereng bagian dalam tidak memerlukan langkah-langkah perlindungan khusus. Karena alasan inilah banyak penelitian sebelumnya telah difokuskan pada ketinggian *runup* 2% gelombang dan begitu juga pada penelitian ini, akan digunakan  $R_{U_{2\%}}$  dari jumlah gelombang untuk mendapatkan tinggi runup yang terjadi pada tiap variasi.

Kemudian untuk membandingkan hasil dari pemodelan numerik ini dengan penelitian lain digunakan parameter bilangan irribarren atau *surf similarity parameter* sebagai parameter tak berdimensi. Hal ini dilakukan untuk memvalidasi hasil yang didapatkan pada penelitian ini apakah tren yang dihasilkan sudah sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan. Untuk perhitungannya menggunakan rumus 4.2 dan contoh perhitungannya dapat dilihat pada subbab 4.2.3 sebelumnya. Berikut ini adalah tabel lengkap hasil perhitungan *runup* gelombang dan bilangan irribarren serta kecuraman gelombang tiap kemiringan *seawall* ( $\tan \theta$ ).

**Tabel 4.4** Hasil perhitungan irribarren dan wave steepness gelombang pada kemiringan struktur 1:2

<i>Slope</i>	T	Havg	$R_{U_{2\%}}$	RU/H	g	H/L <sub>0</sub>	Irribaren Number
1:2	1.5267	0.090	0.075	0.8349	9.81	0.0248	3.1751
	1.5267	0.115	0.096	0.8316	9.81	0.0317	2.8071
	1.5267	0.148	0.106	0.7138	9.81	0.0408	2.4754
	1.5267	0.174	0.129	0.7394	9.81	0.0478	2.2854
	1.7291	0.097	0.088	0.9074	9.81	0.0207	3.4748
	1.7291	0.124	0.097	0.7860	9.81	0.0265	3.0719
	1.7291	0.151	0.122	0.8085	9.81	0.0324	2.7756
	1.7291	0.174	0.148	0.8509	9.81	0.0373	2.5884

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan irribaren dan wave steepness gelombang pada kemiringan struktur 1:1,5

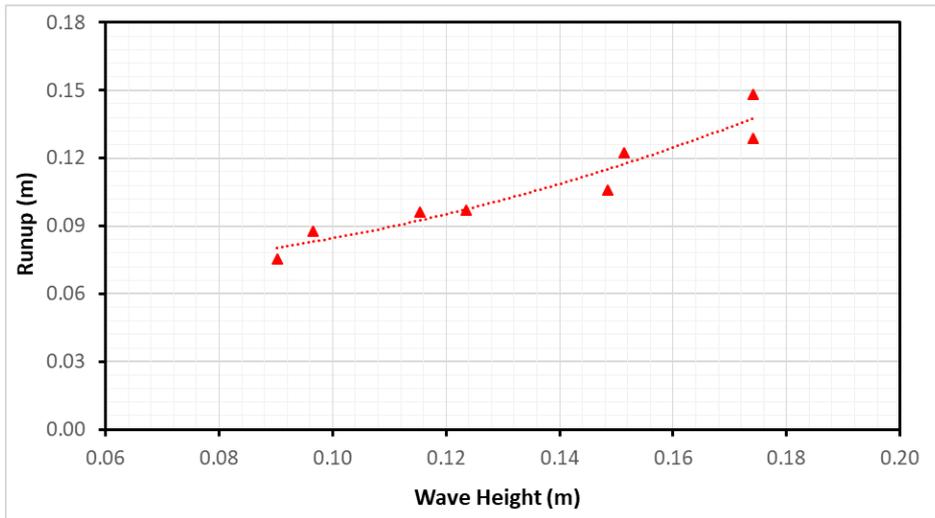
<i>Slope</i>	T	Havg	RU	RU/H	g	H/L <sub>0</sub>	Irribaren Number
1:1.5	1.5267	0.099	0.082	0.8331	9.81	0.0271	4.0470
	1.5267	0.123	0.101	0.8201	9.81	0.0337	3.6312
	1.5267	0.142	0.121	0.8536	9.81	0.0389	3.3800
	1.5267	0.170	0.150	0.8811	9.81	0.0478	3.0837
	1.7291	0.095	0.083	0.8736	9.81	0.0204	4.6695
	1.7291	0.120	0.126	1.0447	9.81	0.0258	4.1500
	1.7291	0.144	0.150	1.0420	9.81	0.0308	3.7960
	1.7291	0.173	0.150	0.8697	9.81	0.0369	3.4671

**Tabel 4.6** Hasil perhitungan irribaren dan wave steepness gelombang pada kemiringan struktur 1:1

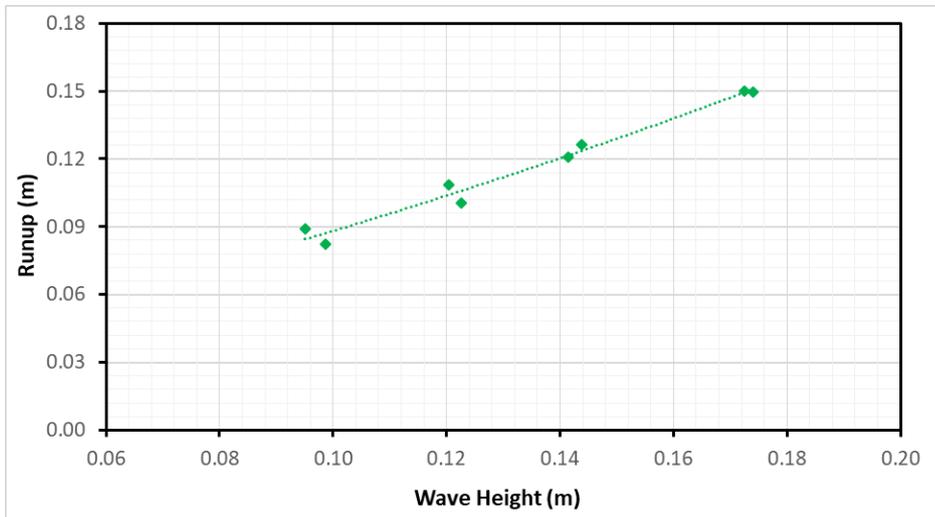
<i>Slope</i>	T	Havg	RU	RU/H	g	H/L <sub>0</sub>	Irribaren Number
1:1	1.5267	0.0944	0.094	0.9985	9.81	0.0259	6.2073
	1.5267	0.120	0.112	0.9308	9.81	0.0330	5.5032
	1.5267	0.143	0.130	0.9088	9.81	0.0392	5.0469
	1.5267	0.169	0.151	0.8916	9.81	0.0464	4.6406
	1.7291	0.091	0.106	1.1644	9.81	0.0195	7.1564
	1.7291	0.126	0.141	1.1207	9.81	0.0269	6.0948
	1.7291	0.147	0.150	1.0212	9.81	0.0314	5.6375
	1.7291	0.173	0.150	0.8683	9.81	0.0370	5.1961

#### 4.3.1 Hubungan Tinggi Gelombang dan *Runup* Gelombang

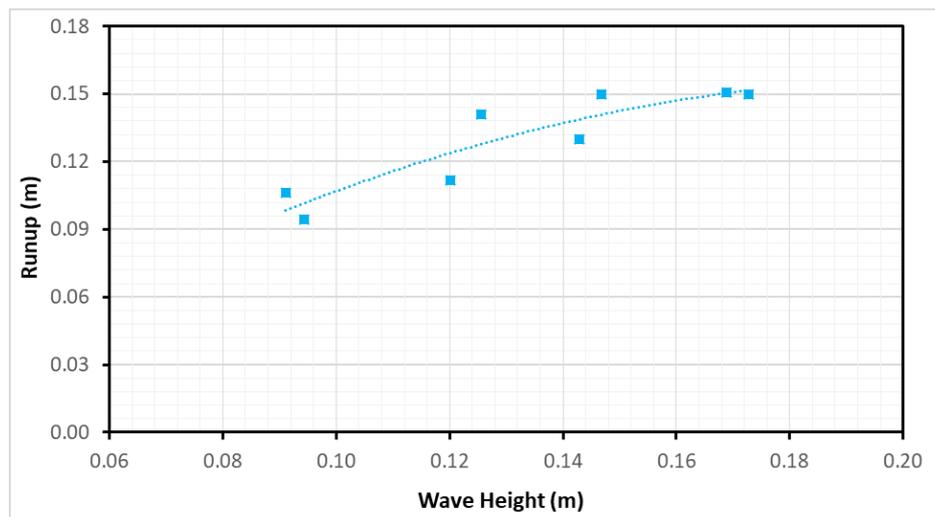
Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran *runup* gelombang untuk mengetahui besarnya *runup* yang terjadi terhadap parameter-parameter yang mempengaruhinya. Salah satu parameter penting dalam penelitian ini adalah tinggi gelombang. Variasi yang digunakan dalam pengujian adalah empat tinggi gelombang dan dua periode yang berbeda. Setiap tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan menghasilkan besar *runup* gelombang yang berbeda.



(a)  $m = 1 : 2$



(b)  $m = 1 : 1.5$

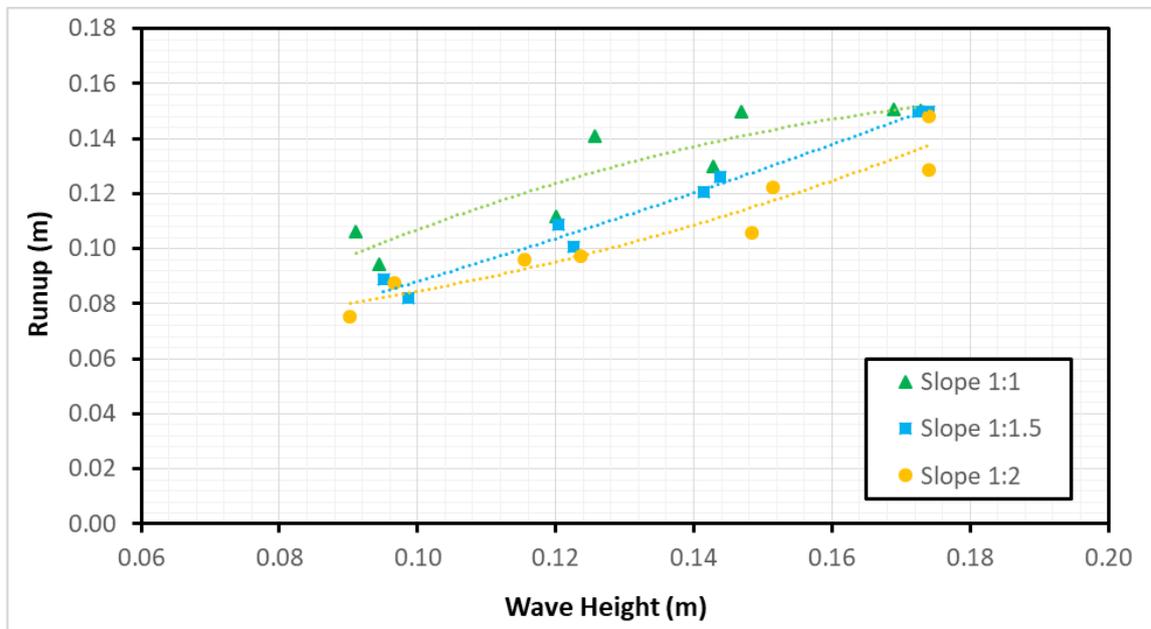


(c)  $m = 1 : 1$

**Gambar 4.14** Hubungan antara tinggi gelombang dengan tinggi *runup* yang terjadi untuk tiap kemiringan (m)

Dari ketiga grafik diatas menunjukkan tren yang sama dimana semakin tinggi gelombang yang mengenai armor *seawall* maka akan semakin besar *runup* gelombang yang terjadi, dimana pada kemiringan 1:1 dengan tinggi gelombang (H) 0.175 m menghasilkan *runup* paling besar yaitu 0,15 meter dan pada tinggi gelombang 0.1 m menghasilkan *runup* paling kecil yaitu 0,094 meter. Hal ini juga terjadi pada kemiringan 1:1,5 dan 1:2 dimana terjadi kenaikan *runup* pada kenaikan tinggi gelombang. Dimana untuk *runup* tertinggi pada kemiringan 1:1,5 dan 1:1 berada pada tinggi gelombang yang sama yakni 0.175 m dengan ketinggian *runup* yang sama juga, yaitu sebesar 0.15 m. Dan *runup* terendah pada kemiringan 1:1,5 dan 1:1 berada pada tinggi gelombang yang sama yakni 0.1 m dengan tinggi *runup* sebesar 0.082 m dan 0.075 m. Regresi dari *trendline* yang dihasilkan dari tiap grafik hubungan antara tinggi gelombang dengan tinggi *runup* untuk kemiringan struktur 1:1, 1:1.5, dan 1:2 masing-masing nilainya sebesar 0.832, 0.978, dan 0.911.

Jika tinggi gelombang yang dibangkitkan dan *runup* gelombang yang dihasilkan diplot dalam sebuah grafik dengan mengambil *runup* sebagai variabel sumbu Y dan tinggi gelombang sebagai sumbu X untuk semua variasi kemiringan, maka akan dihasilkan grafik seperti pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Hubungan antara nilai *runup* dengan tinggi gelombang

Dari gambar 4.15 diatas menunjukkan bahwa semakin landai kemiringan struktur maka semakin rendah pula *runup* gelombang yang terjadi. Dimana terlihat variasi kemiringan 1:1 memiliki nilai *runup* lebih tinggi dibandingkan variasi kemiringan struktur 1:1,5 dan 1:2. Dapat disimpulkan bahwa *seawall* dengan kemiringan batu pelindung A-Jack 1:2 merupakan desain yang paling baik diantara tiga kemiringan yang diuji karena semakin kecil nilai *runup* yang terjadi maka nantinya tingkat terjadinya *overtopping* juga semakin kecil.

Dari grafik tersebut juga didapat formulasi untuk tiap *trendline*, yaitu:

$$y = -4.3x^2 + 1.79x + 0.03 \quad (4.9)$$

$$y = 1.27x^2 - 0.5x + 0.03 \quad (4.10)$$

$$y = 3.38x^2 + 0.21x + 0.07 \quad (4.11)$$

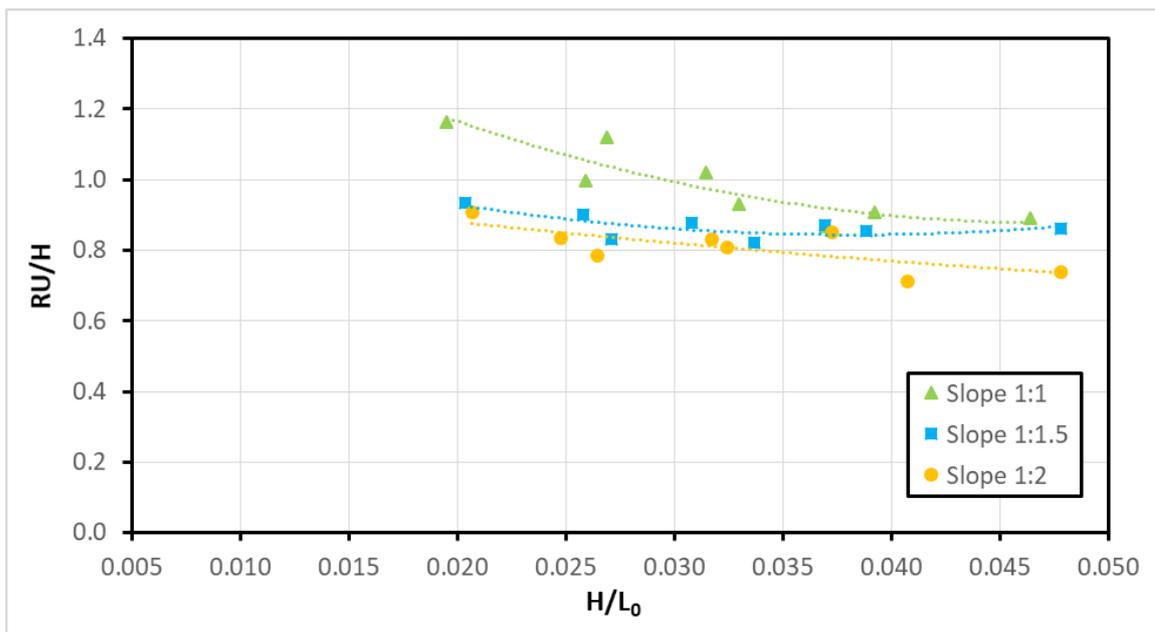
Dimana untuk kemiringan struktur 1:1 formula *trendline* nya adalah rumus (4.9) dengan regresi  $R^2 = 0.83$ , untuk kemiringan 1:1.5 formula *trendline* nya adalah rumus (4.10) dengan regresi

$R^2 = 0.98$ , dan untuk kemiringan 1:2 formula *trendline* nya adalah rumus (4.11) dengan regresi  $R^2 = 0.91$ .

### 4.3.2 Hubungan *Runup* Relatif dengan kecuraman gelombang (*Wave Steepness*)

Kecuraman gelombang didapat dengan menggunakan rumus  $H/L_0$ . Pada sub-bab sebelumnya telah dilakukan perhitungan kemiringan gelombang ( $H/L_0$ ) dan *runup* relatif ( $Ru/H$ ) dengan menggunakan data hasil pengukuran. Maka nilai *runup* relatif ( $Ru/H$ ) diplotkan sebagai sumbu Y dan kecuraman gelombang ( $H/L_0$ ) sebagai sumbu X maka akan didapatkan grafik seperti Gambar 4.16.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi nilai kecuraman gelombang ( $H/gT^2$ ) maka nilai *runup* relatif ( $Ru/H$ ) semakin menurun. Selain itu, dari grafik tersebut didapatkan bahwa semakin besar sudut kemiringan dari struktur (semakin curam) maka semakin besar pula *runup* gelombang yang dihasilkan. Seperti terjadi pada kemiringan 1:1 yang mempunyai nilai *runup* relatif lebih besar dibandingkan dengan kemiringan yang lebih landai lainnya, yakni 1:1.5 dan 1:2. Dari grafik diatas *runup* relatif terkecil terjadi pada kemiringan 1:2 dengan tinggi gelombang 0.15 m dan periode 1.52s yang nilai *runup* relatifnya sebesar 0.714 dengan kecuraman gelombang sebesar 0.0065 dan *runup* relatif terbesar terjadi pada kemiringan paling curam yaitu 1:1 dengan tinggi gelombang 0.1 dan periode 1.72 yang nilai *runup* relatif sebesar 1.164 dengan kecuraman gelombang sebesar 0.0031.



**Gambar 4.16** Hubungan nilai *runup* relatif dengan kecuraman gelombang (*wave steepness*)

Kemudian dilakukan pembahasan lebih lanjut tentang hubungan antara kecuraman gelombang dengan *runup* relatif yang terjadi dengan penelitian lain. Digunakan penelitian yang dilakukan oleh Mase *et al.* (2013) yang melakukan penelitian tentang perbandingan dari 3 formula untuk mendapatkan data *runup*, yakni  $Ru_{2\%}$ ,  $Ru_{1/10}$ , dan  $Ru_{1/3}$  dengan 14 jumlah *case* yang masing-masing *case*-nya terdapat 5-7 variasi. Dari ketiga formula tersebut yang digunakan  $Ru_{2\%}$  untuk dibahas lebih lanjut karena pada penelitian ini yang digunakan untuk mendapatkan data *runup* adalah  $Ru_{2\%}$ , yaitu tinggi *runup* sebanyak 2% dari jumlah total tinggi *runup* semua gelombang.

Dari grafik tersebut juga didapat formulasi untuk tiap *trendline*, yaitu:

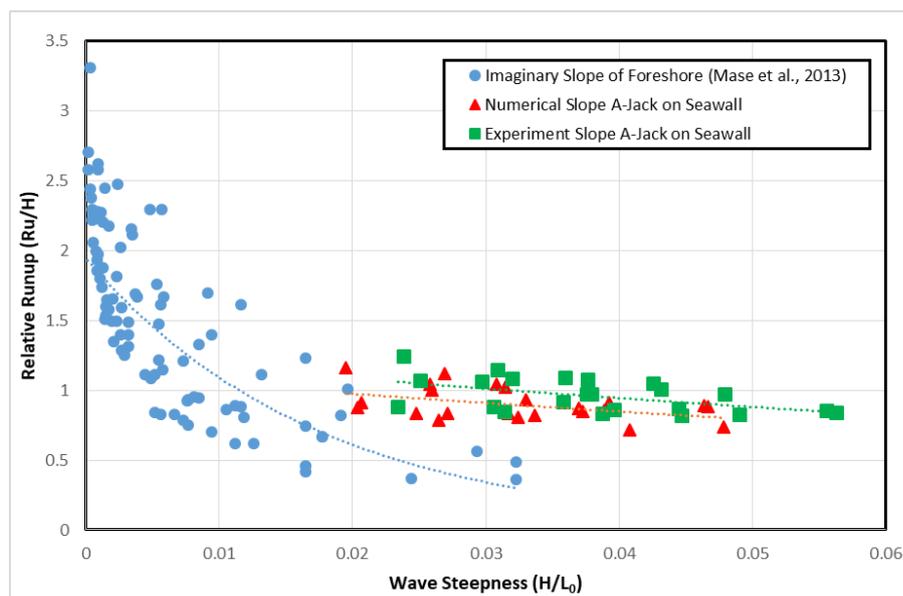
$$y = 382.6x^2 - 36.3x + 1.74 \quad (4.12)$$

$$y = 257.56x^2 - 19.67x + 1.22 \quad (4.13)$$

$$y = 47.13x^2 - 8.37x + 1.03 \quad (4.14)$$

Dimana untuk kemiringan struktur 1:1 formula *trendline* nya adalah rumus (4.12) dengan regresi  $R^2= 0.82$ , untuk kemiringan 1:1.5 formula *trendline* nya adalah rumus (4.13) dengan regresi  $R^2= 0.55$ , dan untuk kemiringan 1:2 formula *trendline* nya adalah rumus (4.14) dengan regresi  $R^2= 0.55$ .

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pemodelan numerik lapis lindung tipe A-Jacks memiliki tren yang sama dengan uji eksperimen dan juga penelitian lain yang dilakukan oleh Mase *et al.* (2013) dimana didapat bahwa semakin besar nilai kecuraman gelombang maka nilai *runup* relatif yang terjadi semakin kecil. Namun terdapat perbedaan dimana hasil pemodelan numerik dan uji eksperimen nilai kecuraman gelombangnya cenderung lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mase *et al.* (2013). Hal ini disebabkan karena perbedaan dari variasi kemiringan struktur yang digunakan. Selain itu, *slope* yang digunakan pun berbeda dimana pada penelitian ini digunakan *slope* dengan lapis lindung tipe A-Jack yang diletakkan secara acak. Karena peletakan secara acak ini menyebabkan adanya gap atau pori, jika dibandingkan dengan *imaginary slope* yang mana permukaan dari *slope*-nya itu sendiri rata. Ketika *slope* memiliki gap, maka akan menyebabkan adanya ruang bagi gelombang untuk menghilangkan energi gelombang sehingga mengurangi besarnya *runup*.



**Gambar 4.17** Perbandingan hubungan antara *wave steepness* dengan runup relatif dengan uji eksperimen dan penelitian lain (Mase *et al.*, 2013)

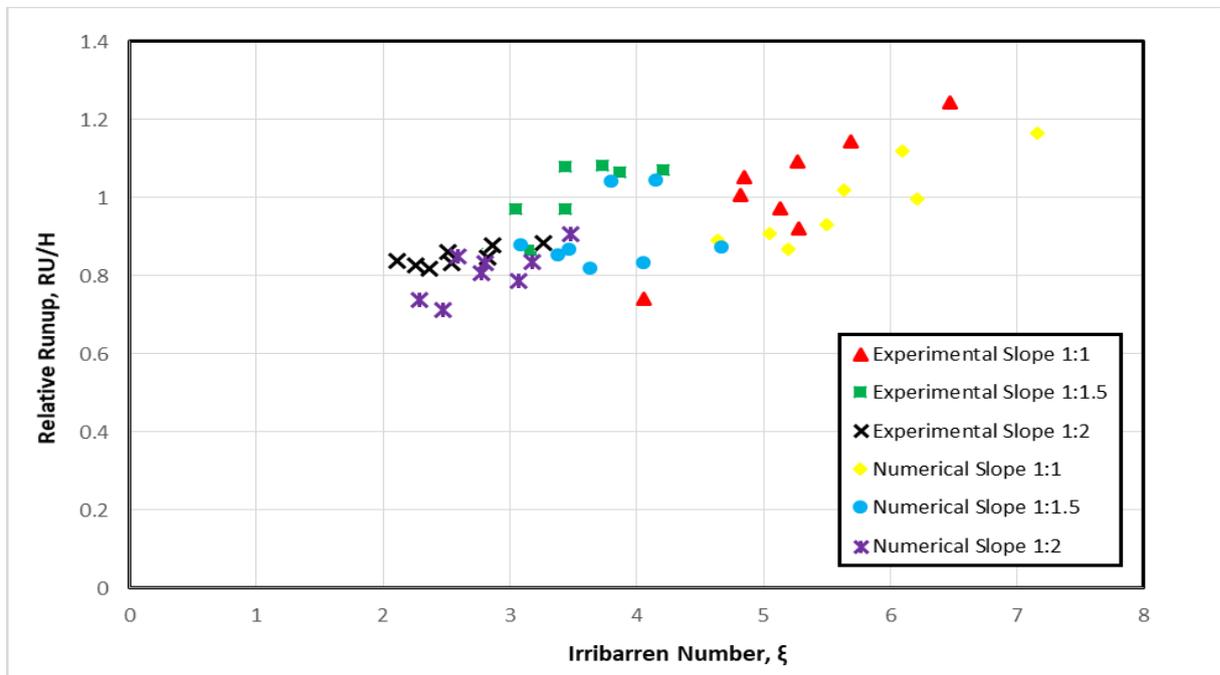
### 4.3.3 Hubungan *Runup* Relatif dengan Bilangan *Iribarren*

*Runup* gelombang diukur dalam penelitian ini untuk menentukan perbandingan besarnya *runup* gelombang tiap parameter uji sehingga dapat digunakan untuk menentukan ketinggian struktur yang akan dibangun. Untuk menunjukkan hubungan antara besar *runup* pada tiap parameter uji digunakan bentuk tak berdimensi yaitu *runup* relatif ( $Ru/H$ ) sebagai fungsi dari bilangan *Iribarren* ( $\xi$ ), dimana  $Ru$  dan  $H$  adalah *runup* dan tinggi gelombang yang terjadi. Jika nilai  $Ru/H$  digunakan sebagai variabel sumbu Y dan bilangan *Iribarren* sebagai



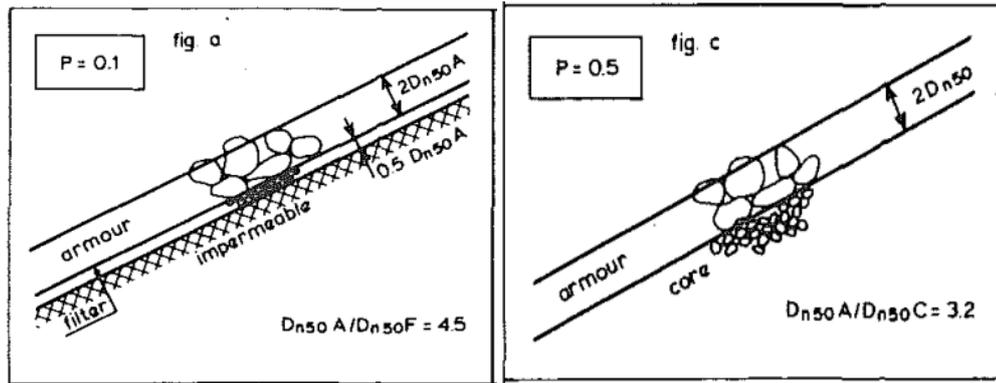
Teknik Kelautan ITS. Untuk grafik hasil perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 4.19 dibawah ini.

Pada grafik 4.19 merupakan hubungan *runup* relatif dan parameter bilangan irribarren dimana didapatkan bahwa hasil numerik dan eksperimen memiliki kesamaan yaitu semakin besar bilangan irribarren yang diperoleh maka semakin besar juga *runup* relatif yang didapatkan. Sedangkan untuk perbedaannya terletak pada nilai yang dihasilkan, pada uji eksperimen rentang *runup* relatif pada kemiringan 1:1 adalah 0.7 sampai 1.3 dan pada pemodelan numerik berada di 0.8 sampai 1.2, pada kemiringan 1:1.5 memiliki nilai *runup* relatif yang hampir sama untuk uji eksperimen dan pemodelan numerik yang mana berada di rentang 0.8 sampai 1.2, dan pada kemiringan 1:2 rentang *runup* relatif untuk uji eksperimen adalah 0.8 sampai 1.0 dan pada pemodelan numerik berada di 0.7 sampai 0.9. Perbedaan rentang nilai *runup* relatif ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti output gelombang yang dihasilkan antara uji eksperimen dengan pemodelan numerik berbeda.

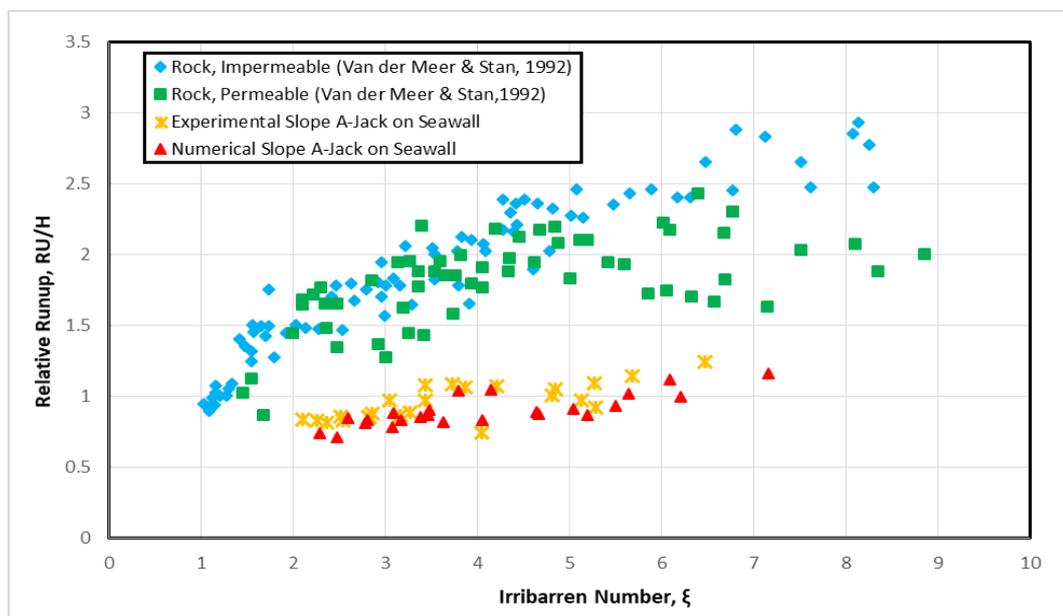


**Gambar 4.19** Perbandingan hasil *runup* gelombang antara analisa numerik dengan uji eksperimen di *Flume Tank* Teknik Kelautan ITS

Selanjutnya hasil keseluruhan dari penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil dari penelitian lain tentang *runup* gelombang. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan hasil penelitian dari (Van der Meer dan Stam, 1992) mengenai *runup* gelombang pada tiap kemiringan dengan menggunakan armor batu. Studi ini dilakukan pada laboratorium Delft Hydraulics dengan dimensi flume (50 m x 1 m x 1,2 m), dengan model dipasang sejauh 44 m dari pembangkit gelombang. Van der Meer dan Stam melakukan pengujian terhadap kemiringan armor batu pecah yang bersifat *permeable* dan *impermeable* yang ilustrasi nya disajikan pada gambar 4.20. Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat variasi periode gelombang, lima tinggi gelombang yang berbeda dan elevasi muka air yang digunakan adalah 80 cm. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan bilangan irribarren dan nilai *runup* relatif dan didapat grafik hasil perbandingan dengan penelitian lain pada Gambar 4.21 sebagai berikut.



**Gambar 4.20** Ilustrasi armor *impermeable* (kiri) dan *permeable* (kanan) dalam penelitian yang dilakukan oleh Van der Meer dan Stam (1992)



**Gambar 4.21** Perbandingan antara pemodelan numerik dengan uji eksperimen dan hasil penelitian Van der Meer & Stam (1992)

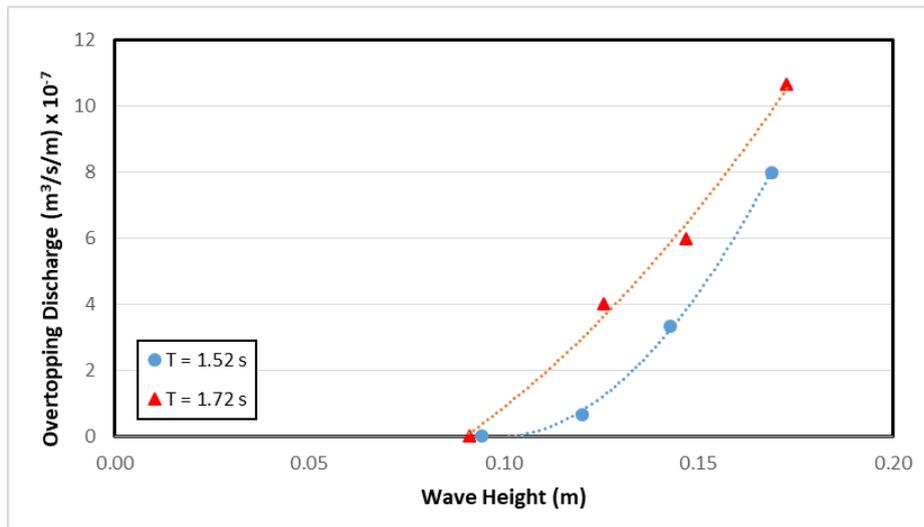
Penyebaran data *runup* relatif terhadap bilangan irribarren pada grafik diatas memiliki tren peningkatan yang sama, dimana semakin besar bilangan irribarren maka *runup* relatif cenderung semakin besar. Sedangkan perbedaan dari penelitian ini dengan penelitian Van der Meer dan Stan adalah nilai *runup* relatif cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Van der Meer dan Stam (1992) untuk nilai bilangan irribarren yang hampir sama. Yang menyebabkan perbedaan ini salah satu faktornya adalah perbedaan dari struktur dan armor unit yang digunakan. Dimana dari A-Jack sendiri peletakannya secara acak sehingga ketidakpresisian ini menyebabkan rayapan gelombang juga memiliki rute yang lebih berliku dan gelombang lebih banyak kehilangan energi. Sehingga nilai run-up gelombang menjadi lebih kecil. Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah permeabilitas dari lapisan armor. Karena peletakan secara acak menyebabkan banyaknya gap yang lebih besar. Ketika ukuran gap lebih besar, maka akan lebih banyak ruang bagi gelombang untuk menghilangkan energi gelombang sehingga mengurangi besarnya *runup* gelombang.

#### 4.4 Volume Overtopping

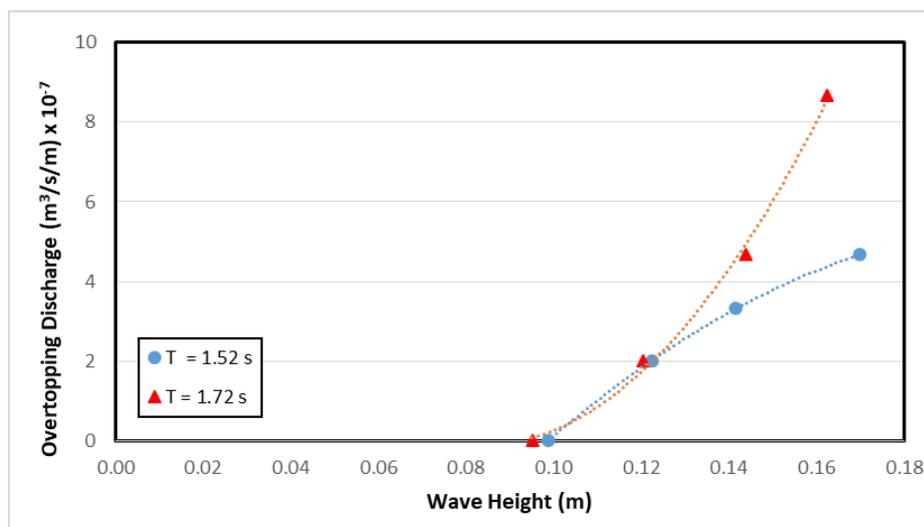
Data untuk mendapatkan hasil volume *overtopping* yang terjadi didapat menggunakan fitur “FlowTool” yang ada *software* DualSPHysics. Fasilitas *post-processing* ini memungkinkan untuk menghitung jumlah partikel fluida yang melewati batas atas struktur kemudian masuk atau meninggalkan domain yang ditentukan oleh pengguna. Dengan jumlah partikel dalam domain, volume dapat dengan mudah dihitung dengan mengalikan volume satu partikel dengan jumlah partikel. Oleh karena itu, volume fluida di beberapa domain yang ditentukan dapat digunakan untuk menentukan arus masuk dan keluar dengan membaginya dengan waktu interval (waktu output).

##### 4.4.1 Hubungan Tinggi Gelombang Dan Overtopping Yang Terjadi

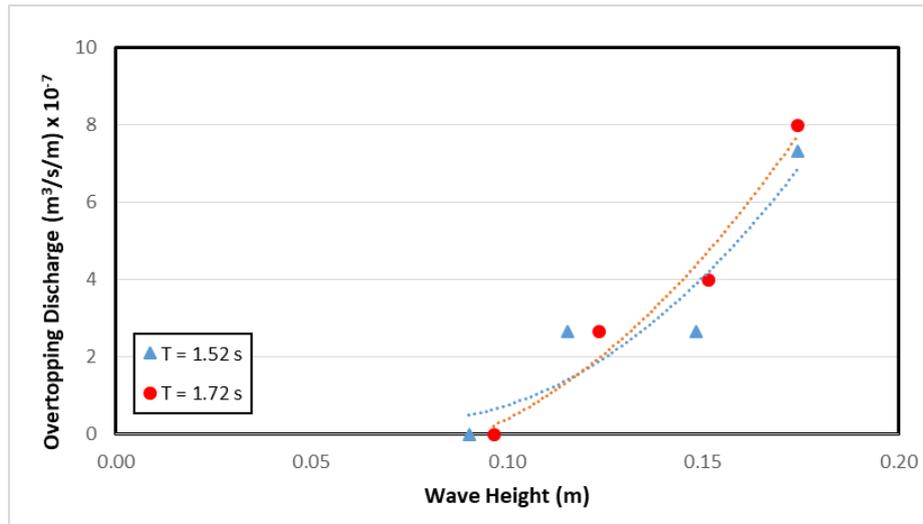
Setelah dilakukan penjalanan program untuk variasi kemiringan *seawall* 1:2, 1:1.5, dan 1:1, didapat grafik hubungan antara laju *overtopping* dengan tinggi gelombang dengan perbedaan periode gelombang untuk tiap kemiringan struktur. Dibawah ini merupakan grafik hubungan antar tinggi gelombang sebagai sumbu X dan laju *overtopping* sebagai sumbu Y yang dibedakan untuk tiap variasi periode dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.22.



(a)  $m = 1:1$



(b)  $m = 1:1.5$



(c)  $m = 1:2$

**Gambar 4.22** Laju *overtopping* concrete armour A-Jack pada *seawall* terhadap tinggi gelombang untuk tiap kemiringan (m)

Dari ketiga grafik diatas terlihat tren yang sama untuk semua kemiringan struktur, yakni semakin tinggi periode gelombang (T) dan tinggi gelombang (H) maka semakin tinggi juga *overtopping* yang terjadi. Selain itu, grafik diatas menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan struktur (semakin curam) maka volume *overtopping* yang terjadi juga semakin besar. Ini terjadi sama seperti hal nya *runup* gelombang sebelumnya, dimana ketika gelombang melewati kemiringan yang lebih panjang, ketidak presisian *concrete armour* tipe A-Jack dengan peletakan acak ini menyebabkan rayapan gelombang akan memiliki rute yang lebih panjang sehingga *overtopping* yang terjadi akan semakin sedikit. Volume *overtopping* pada kemiringan paling landai yaitu kemiringan 1:2 cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan kemiringan paling curam yaitu kemiringan 1:1.

Dari grafik tersebut juga didapat formulasi untuk tiap *trendline*, yaitu:

$$y = 539.32x^2 - 14.4x - 3.08 \quad (4.18)$$

$$y = 1571.1x^2 - 305.38x + 14.793 \quad (4.19)$$

$$y = 1399.9x^2 - 234.73x + 9.73 \quad (4.20)$$

$$y = -413.52x^2 + 176.78x - 13.43 \quad (4.21)$$

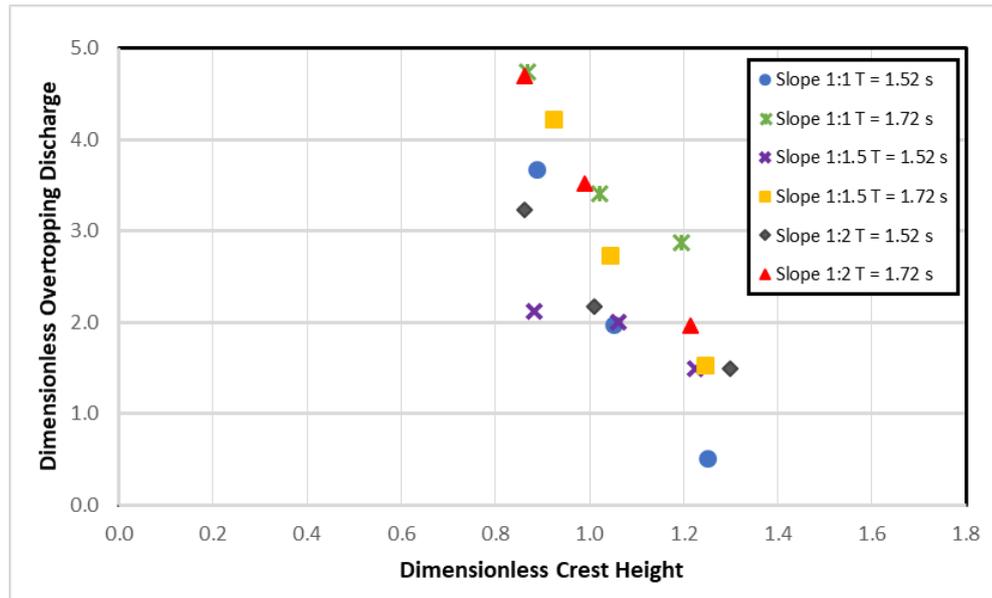
$$y = 620.49x^2 - 71.39x + 1.33 \quad (4.22)$$

$$y = 666.82x^2 - 101.03x + 4.17 \quad (4.23)$$

Dimana kemiringan struktur 1:1 formula *trendline* nya adalah rumus (4.18) untuk periode 1.52s dan rumus (4.19) untuk periode 1.72s, untuk kemiringan 1:1.5 formula *trendline* nya adalah rumus (4.20) untuk periode 1.52s dan rumus (4.21) untuk periode 1.72s, dan untuk kemiringan 1:2 formula *trendline* nya adalah rumus (4.22) untuk periode 1.52s dan rumus (4.23) untuk periode 1.72s.

#### 4.4.2 Hubungan Tinggi Puncak Struktur Dan *Overtopping* Yang Terjadi (non-dimensi)

Setelah dilakukan penjalanan program untuk tiap variasi kemiringan *seawall*, didapat grafik hubungan antara laju *overtopping* dan tinggi puncak struktur dengan perbedaan periode gelombang untuk tiap kemiringan struktur yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.



**Gambar 4.23** Laju *overtopping* tak berdimensi terhadap tinggi puncak struktur (non-dimensi) pada tiap kemiringan

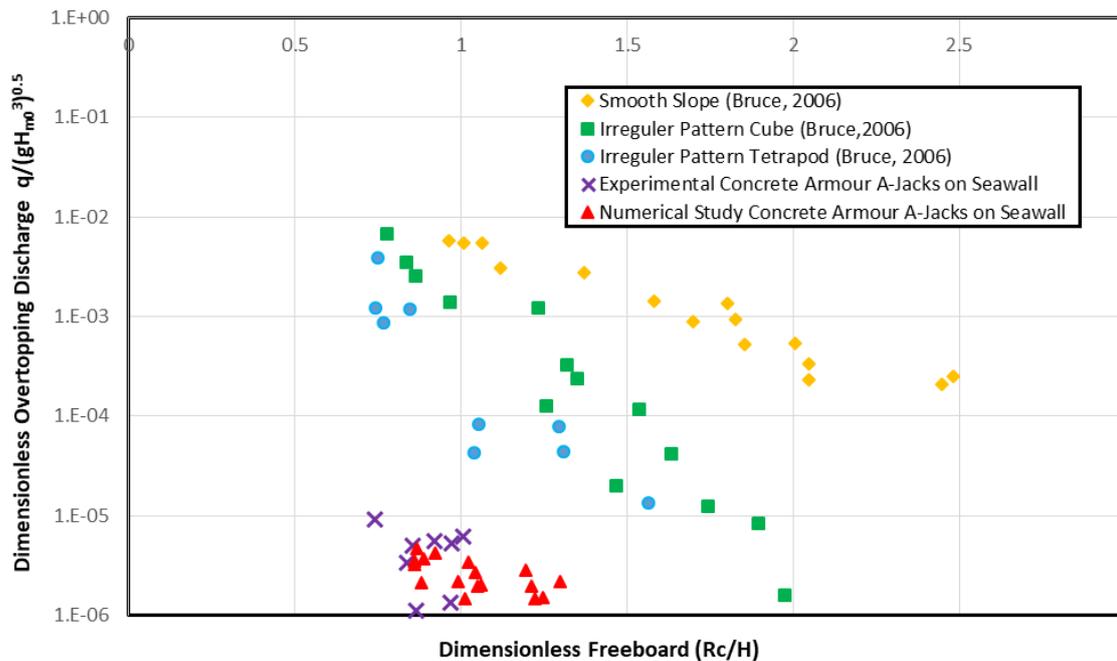
Dari Gambar 4.23, sama seperti hubungan antara volume *overtopping* dengan tinggi gelombang sebelumnya. Terlihat tren yang hampir sama untuk ketiga kemiringan, yakni semakin kecil sudut kemiringan struktur (semakin landai) maka laju *overtopping* tak berdimensi yang terjadi juga semakin kecil. Laju *overtopping* pada kemiringan paling curam yaitu kemiringan 1:1 cenderung lebih besar dibandingkan dengan kemiringan paling landai yaitu kemiringan 1:2. Namun terdapat perbedaan dalam tren untuk *dimensionless crest height*, dimana terlihat bahwa semakin besar *dimensionless crest height*, maka semakin kecil laju *overtopping* tak berdimensi yang terjadi.

#### 4.4.3 Perbandingan Dengan Peneliti Lain

Beberapa Penelitian telah dilakukan mengenai *overtopping* yang terjadi pada seawall dengan armour unit yang berbeda baik secara numerik maupun eksperimen. Untuk mendapatkan grafik perbandingan hasil penelitian secara numerik dengan uji eksperimen dilakukan perhitungan ketinggian puncak tak berdimensi ( $R_c/H$ ) sebagai sumbu X dimana *freeboard* ( $R_c$ ) yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0.15 m dan *dimensionless overtopping discharge* sebagai sumbu Y yang didapat dengan menggunakan rumus:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} \quad (4.24)$$

Untuk kemudian dibandingkan hasil yang didapat dari pemodelan numerik ini dengan uji eksperimen tentang *concrete armour* A-Jack pada *seawall* yang dilakukan di *Flume Tank* Teknik Kelautan ITS. Selain itu perbandingan juga dilakukan dengan penelitian *overtopping* yang dilakukan oleh Bruce (2006) di Sekolah Teknik dan Elektro, Universitas Edinburgh, UK. Bruce melakukan pengujian terhadap kemiringan struktur dengan armor unit yang bersifat *permeable* dan *impermeable* seperti *Smooth Slope*, *Cube*, dan *Tetrapod*. Untuk grafik hasil perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 4.24 dibawah ini.



**Gambar 4.24** Perbandingan antara hasil *overtopping* pemodelan numerik dengan uji eksperimen dan hasil penelitian Bruce (2006)

Dari grafik diatas didapat hasil yang hampir sama untuk perbandingan antara hasil pemodelan numerik dengan uji eksperimen yang dilakukan, dimana rentang nilai nya berada di  $10^{-5}$  sampai  $10^{-6}$ . Terdapat perbedaan antara hasil penelitian ini dengan penelitian lain dimana *dimensionless overtopping discharge*-nya cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan Bruce (2006). Namun dari hasil sebaran *overtopping* penelitian lain sebaran yang terbentuk memiliki tren yang sama, yaitu laju *overtopping* semakin turun terhadap pertambahan nilai *dimensionless freeboard* ( $R_c/H$ ). Yang mana hal ini sejalan dengan persamaan *dimensionless freeboard* yaitu  $R_c/H$ . Dimana semakin kecil tinggi gelombang maka nilai *dimensionless freeboard* akan semakin besar, dan disaat tinggi gelombang semakin kecil maka volume *overtopping* yang terjadi juga sedikit.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pembahasan pada penelitian ini maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan berdasarkan hasil pengujian sebagai berikut.

1. Parameter gelombang memiliki pengaruh terhadap koefisien refleksi yang dihasilkan. Pengaruh kecuraman gelombang (*wave steepness*) dan tinggi gelombang terhadap koefisien refleksi adalah semakin besar nilai kecuraman dan tinggi gelombang, maka nilai koefisien refleksi ( $K_R$ ) semakin kecil. Sedangkan pengaruh kemiringan struktur adalah semakin curam kemiringan struktur, maka nilai koefisien refleksi semakin besar
2. Pengaruh parameter gelombang serta kemiringan struktur terhadap ketinggian *runup* adalah semakin tinggi gelombang dan semakin curam struktur maka nilai *runup* gelombang yang terjadi semakin besar
3. Pengaruh parameter gelombang serta kemiringan struktur terhadap volume *overtopping* adalah semakin besar tinggi dan periode gelombang serta semakin curam kemiringan struktur maka volume *overtopping* yang terjadi akan semakin besar.

#### **5.2 Saran**

Penggunaan *Software DualSPHysics* ini terbilang masih baru dalam penelitian ini maupun Departemen Teknik Kelautan, oleh karena itu pengkajian lebih lanjut tentang *DualSPHysics* sangat dianjurkan untuk dilakukan. Selain itu, beberapa hal yang dapat disarankan penulis untuk penelitian di masa yang akan datang adalah sebagai berikut:

1. Untuk melakukan *running Software DualSPHysics* sangat memerlukan spesifikasi komputer yang tinggi karena cenderung berat, maka perlu diperhatikan untuk dapat menggunakan komputer dengan spesifikasi yang mumpuni (*high-end specification*).
2. Karena keterbatasan dalam penelitian ini, maka dapat ditambahkan variasi pasang-surut dengan menambah variasi *freeboard* dari struktur.
3. Untuk menghitung koefisien refleksi dapat menggunakan metode lain selain metode *2-point method* yang dikemukakan oleh Suzuki-Goda, yaitu dengan menggunakan metode *least squares method* atau dengan menggunakan tiga *wave probe* untuk mendapatkan hasil koefisien refleksi yang lebih optimal.
4. Menambah waktu simulasi agar mendapatkan volume *overtopping* yang lebih maksimal

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

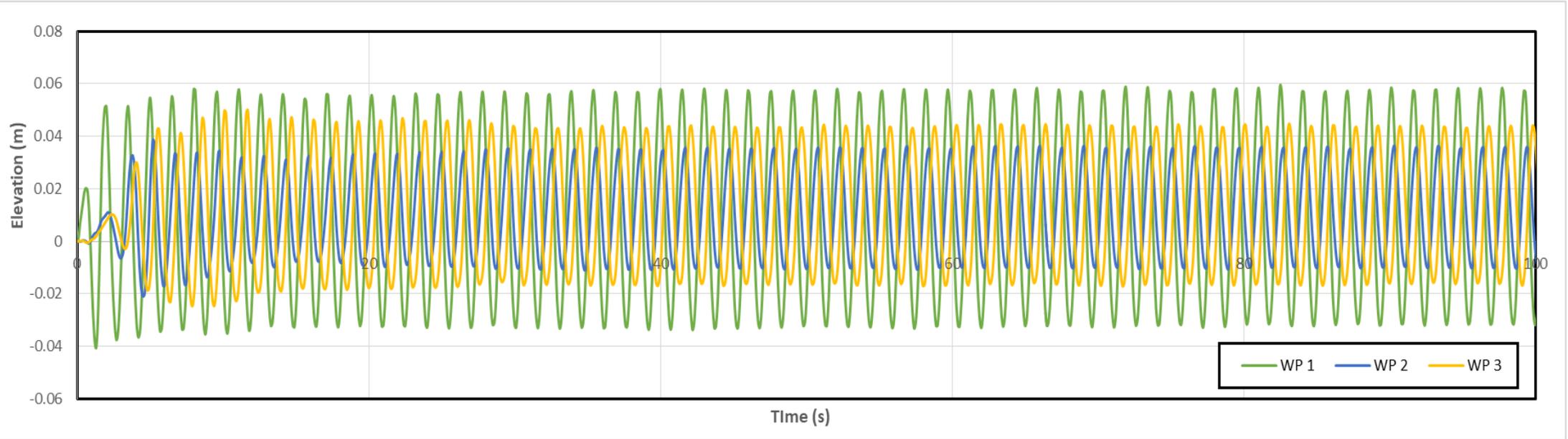
## DAFTAR PUSTAKA

- Armono, H. D., & Manurung, A. (2022). *Model Gelombang di Sekitar Hexagonal Artificial Reef sebagai Submerged Breakwater Menggunakan DualSPHysics*. 15(1), 36–45.
- Battjes, J.A. (1974). “Surf Similarity.” Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference. ASCE. Vol. 1.
- Bejestan M.S., Khajavi M, G.havamifar A. (2017). The effect of six-legged concrete elements on hydraulic jump characteristics. *J Water Sci Res*; 9(1):13–21.
- Bilskie, M. V., Hagen, S. C., Medeiros, S. C., & Passeri, D. L. (2014). Dynamics of sea level rise and coastal flooding. *Geophys. Res. Lett*, 41(3), 927–934. <https://doi.org/10.1002/2013GL058759>.Standard
- Bromo, B. H. (2021). Model Redaman Gelombang Reguler Pada Breakwater Tiang Bambu Menggunakan DualSPHysics. *Teknik Kelautan FTK ITS, Surabaya*.
- Bruce, T., van der Meer, J. W., Franco, L., & Pearson, J. M. (2006). *Overtopping* performance of different armour units for rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, 56(2), 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.03.015>
- Crespo, A. J. C., Domínguez, J. M., Rogers, B. D., Gómez-Gesteira, M., Longshaw, S., Canelas, R., Vacondio, R., Barreiro, A., & García-Feal, O. (2014). DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). *Computer Physics Communications*, 187, 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.10.004>
- Dang, B. L., Nguyen-Xuan, H., & Abdel Wahab, M. (2021). Numerical study on wave forces and *overtopping* over various seawall structures using advanced SPH-based method. *Engineering Structures*, 226 (August 2020), 111349. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111349>
- Dalrymple, R.A., Knio, O., Cox, D.T., Gomez-Gesteira, M. and Zou, S. (2001). Using a Lagrangian particle method for deck *overtopping*. *Proc. Waves, ASCE*, pp. 1082–1091.
- EuroTop II Edition. 2016. Manual on Wave *Overtopping* of Sea Defences and Related Structures.
- Giant Sea Wall Jakarta; National Capital Integrated Coastal Development (NCICD) | Indonesia Investments ([indonesia-investments.com](http://indonesia-investments.com))
- Goda, Y., Suzuki, Y., & Division, M. H. (1976). Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments. *Proceeding of the 15th Costal Eng. Conference*, 828–845.
- Goda, Y. (2000). *RANDOM SEAS AND DESIGN OF MARITIME STRUCTURES (2nd Edition)* (Vol. 28, Issue 5). <https://doi.org/10.2307/1776038>
- Green, Bowling. (2000). Channel lining and pier scour design manual – A-Jacks armor units. Kentucky: Armortec Inc.
- Hudson, Robert Y. (1961). Laboratory Investigation of Rubble-Mound Breakwaters. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 126(4): 492–520.
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management (2nd ed.)*. World Scinetific.
- Lewis, C.D. (1982). *Industrial and business forecasting methods*. London: Butterworths.

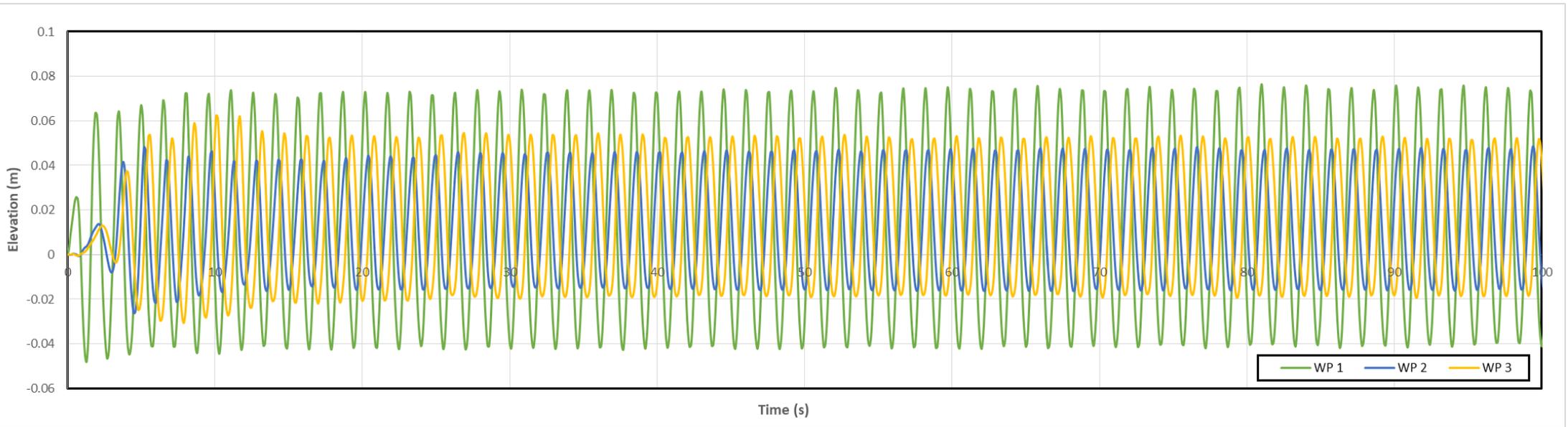
- Losada, I. J., Lara, J. L., Guanche, R., & Gonzalez-Ondina, J. M. (2008). Numerical analysis of wave *overtopping* of rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, 55(1), 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2007.06.003>
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S., & Reis, M. T. (2013). Wave Runup and Overtopping at Seawalls Built on Land and in Very Shallow Water. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139(5), 346–357. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ww.1943-5460.0000199](https://doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000199)
- Monaghan, J.J. (1992). Smoothed particle hydrodynamics. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 30, pp. 543–574.
- Pratikto, W. A., Suntoyo, Solikhin, & Sambodho, K. (2013). *Struktur Pelindung Pantai*. 53(9), 1689–1699.
- Pratola, L., Rinaldi, A., Molfetta, M. G., Bruno, M. F., Pasquali, D., Dentale, F., & Mossa, M. (2021). Investigation on the reflection coefficient for seawalls protected by a rubble mound structure. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/jmse9090937>
- Reeve, D., Chadwick, A., & Fleming, C. (2004). Coastal engineering: Processes, theory and design practice, second edition. In *Coastal Engineering: Processes, Theory and Design Practice*. <https://doi.org/10.1201/b11804>
- Schüttrumpf, H., van der Meer, J., Kortenhaus, A., Bruce, T., & Franco, L. (2017). Wave run-up and wave overtopping at armored rubble slopes and mounds. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering: Expanded Edition*, 1–2, 605–631. [https://doi.org/10.1142/9789813204027\\_0022](https://doi.org/10.1142/9789813204027_0022)
- Syafrudin, A. (2017). Studi Eksperimen *Runup* Gelombang Pada Armor Seawall Unit Batu Pecah. *Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS*.
- Thornton C.I., Abt S.R., Watson C.C. (2001). Field Assessment of A-Jacks Installation, A Case Study of Brush Creek, Kansas City, Missouri, and Powell Creek, Waukegan, Illinois. In *Wetlands Engineering & River Restoration*:1–8.
- Triatmodjo, B. (1999) *Teknik Pantai*. 5th edn. Edited by B. Offset. Yogyakarta.
- Van Der Meer, B. J. W., & Stam, C. M. (1993). WAVE RUNUP ON SMOOTH AND ROCK SLOPES OF DIFFERENT RUBBLE MOUND BREAKWATER ARMOUR. 118(5), 534–550.
- Wicaksono, P. A. (2017). Pemodelan Numerik Run Up Dan *Overtopping* Struktur Seawall Buis Beton. *Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan FTK-ITS*.
- Wijetunge, J. J. (2008). Wave *runup* and *overtopping* over smooth and rock slopes of coastal structures without crown walls. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 36(2), 157–164. <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v36i2.148>
- Yonvitner, Susanto, H. A., & Yuliana, E. (2016). Pengertian, Potensi, dan Karakteristik Wilayah Pesisir. *Pengelolaan Wilayah Pesisir Dan Laut*, 1–39.
- Zanutigh, B., & van der Meer, J. W. (2008). Wave reflection from coastal structures in design conditions. *Coastal Engineering*, 55(10), 771–779. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.02.009>

**LAMPIRAN A**  
**ELEVASI OUTPUT TIAP VARIASI**

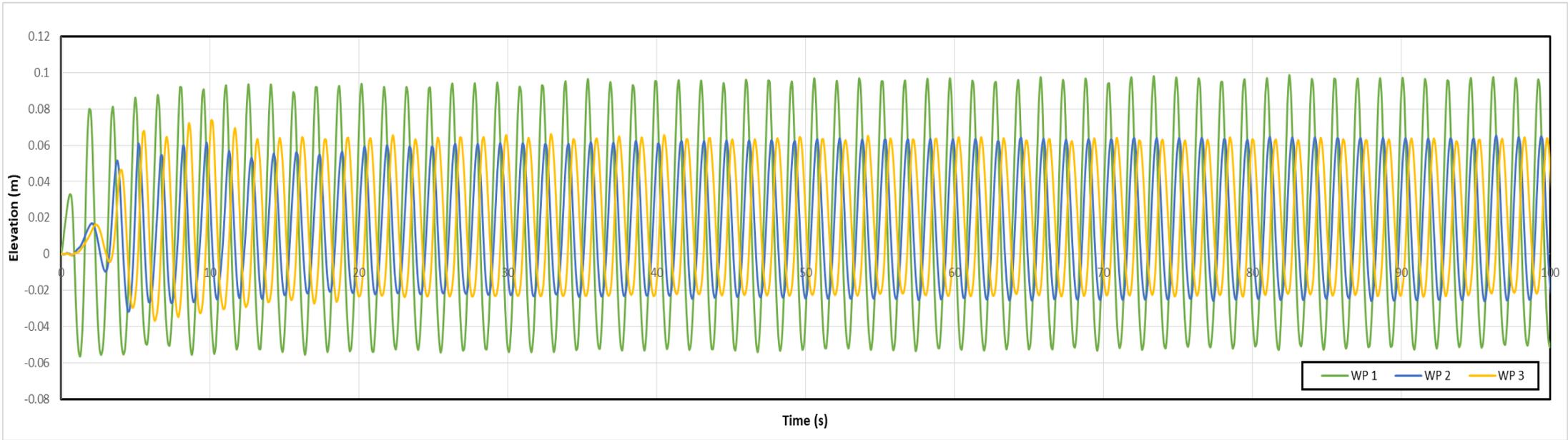
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.1 m & T = 1.52 s



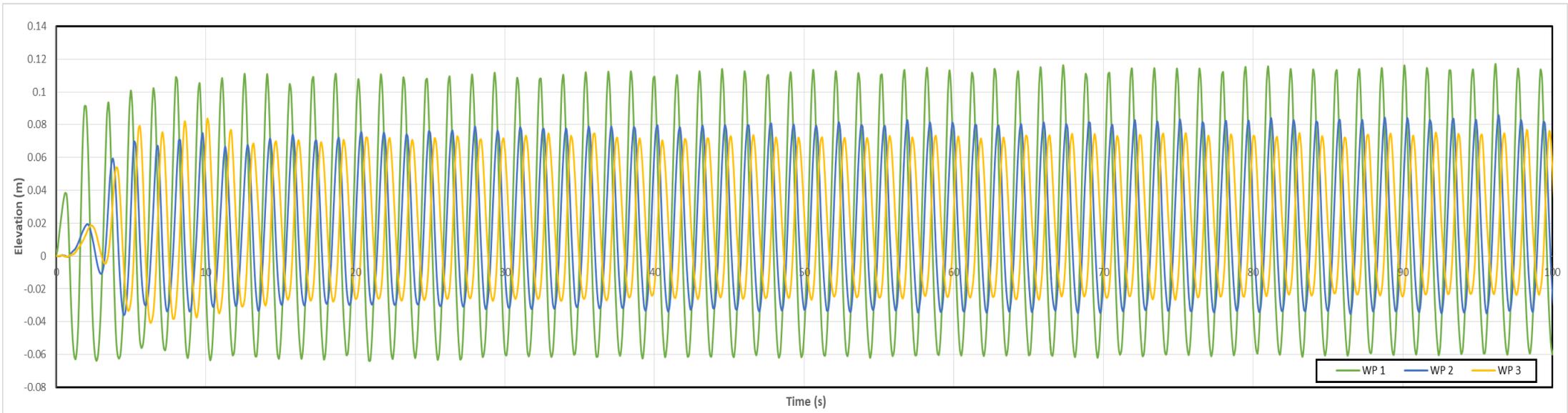
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.125 m & T = 1.52 s



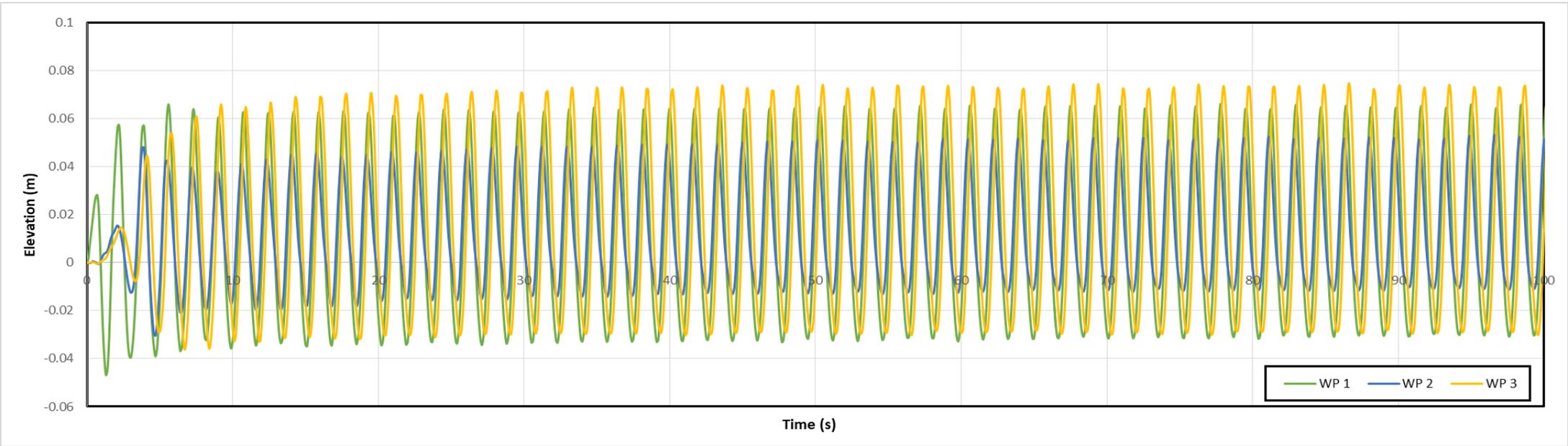
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.150 m & T = 1.52 s



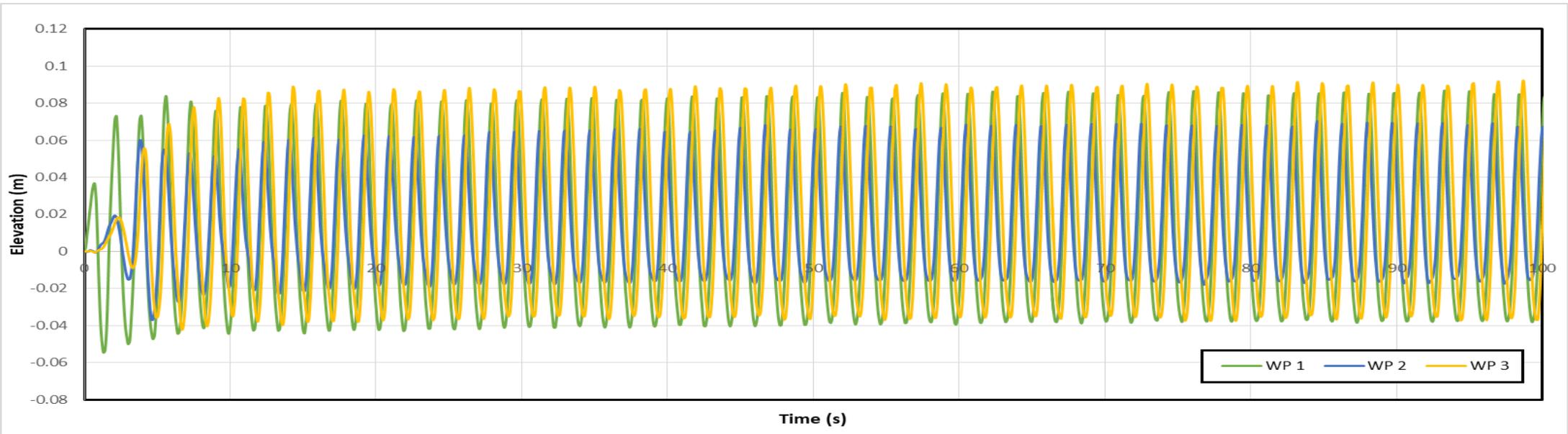
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.175 m & T = 1.52 s



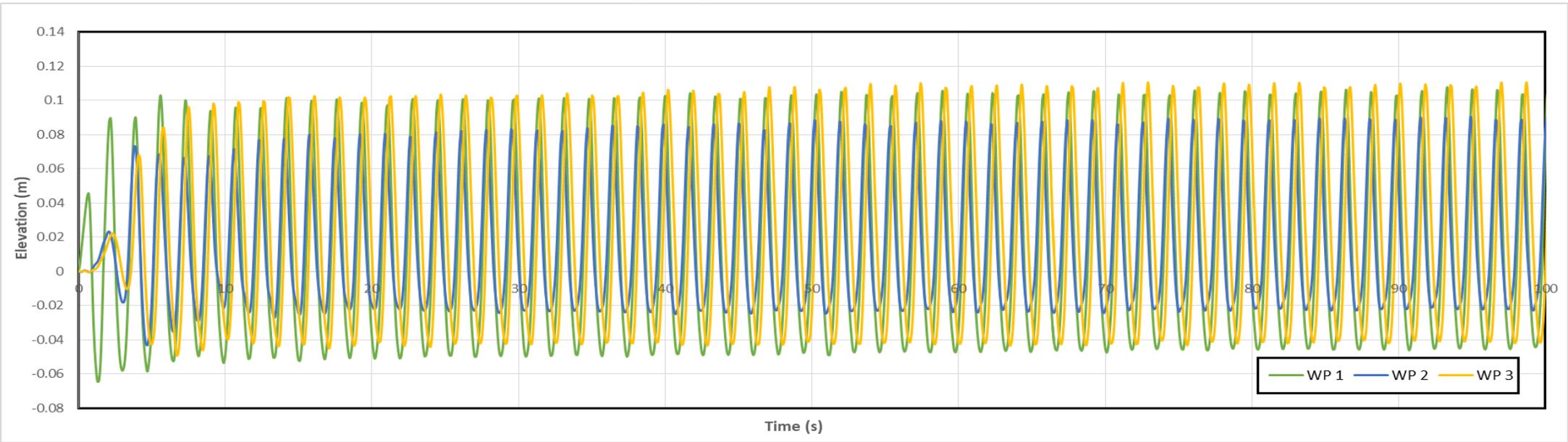
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.1 m & T = 1.72 s



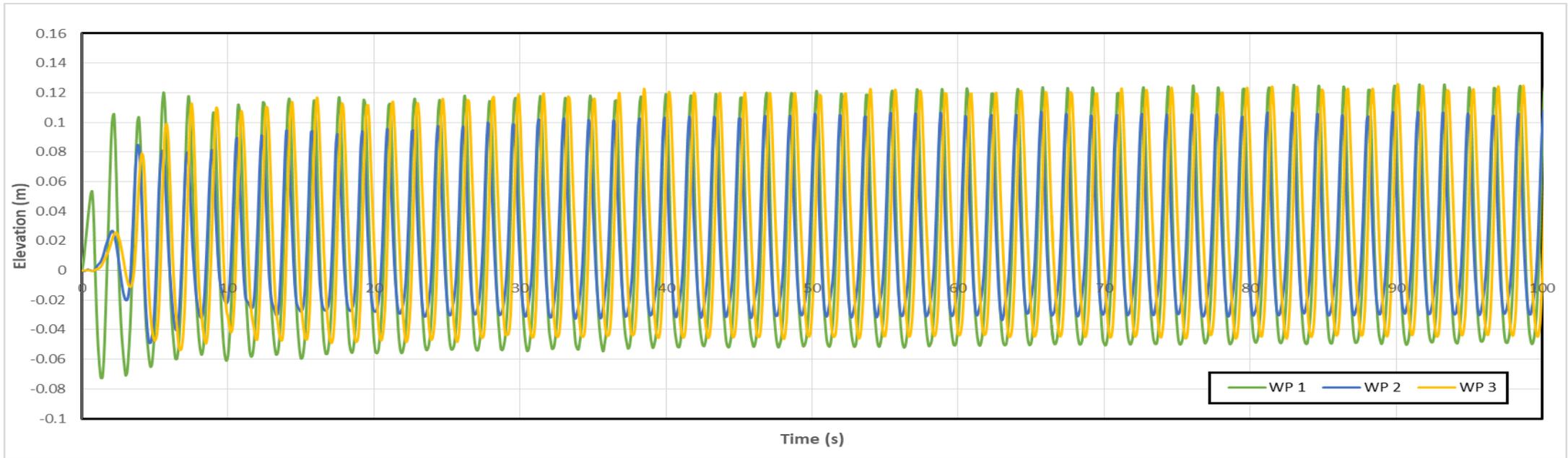
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.125 m & T = 1.72 s



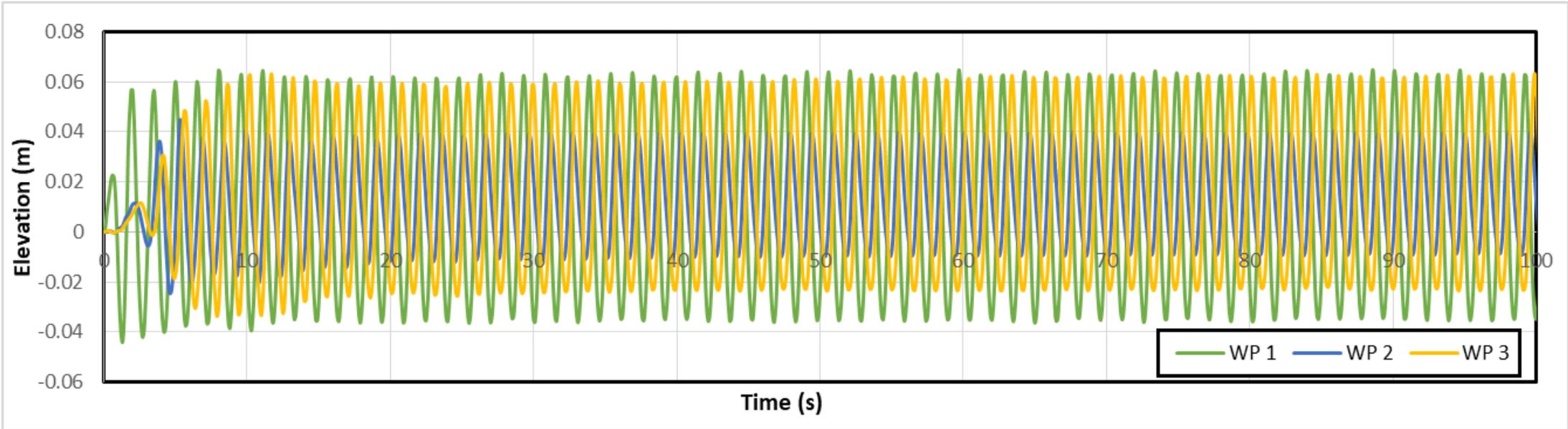
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.150 m & T = 1.72 s



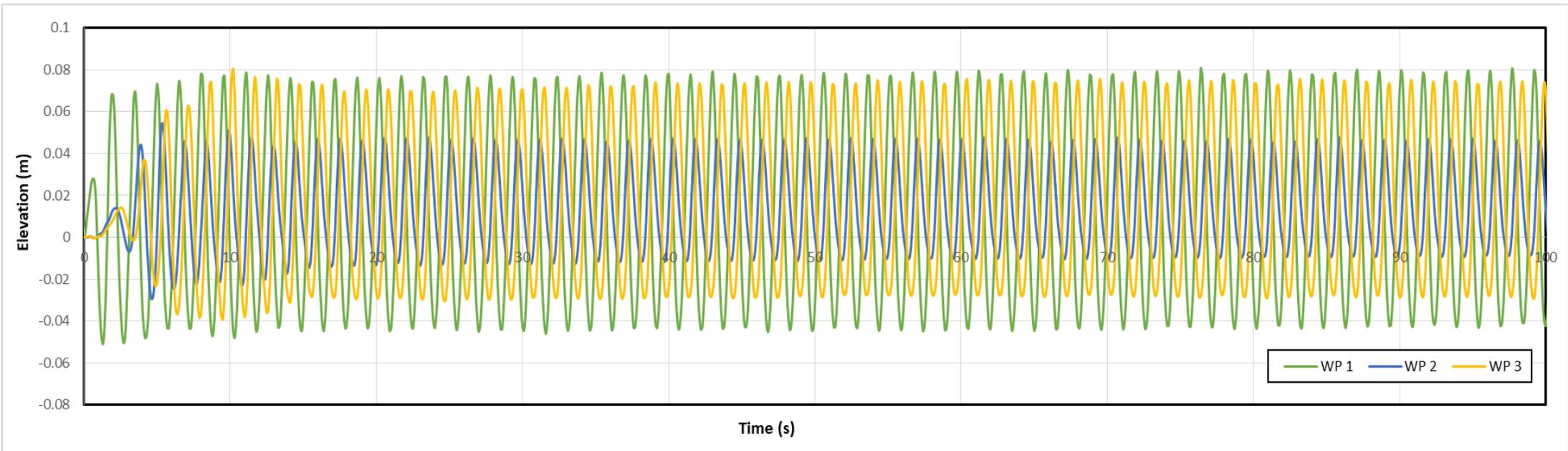
Elevasi Output Slope 1:2 H = 0.175 m & T = 1.72 s



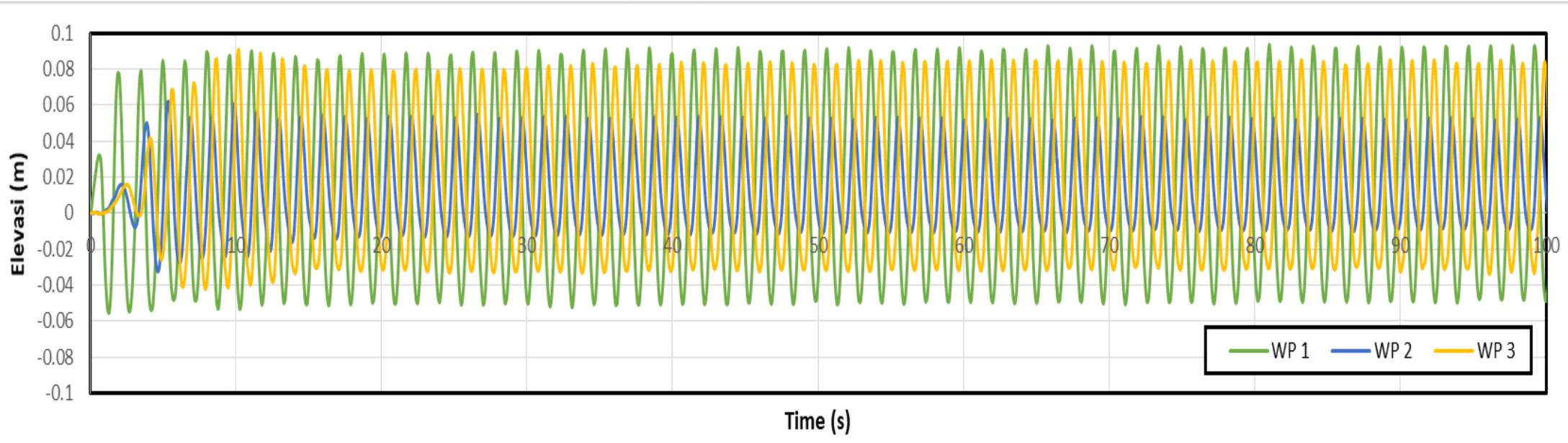
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.1 m & T = 1.52 s



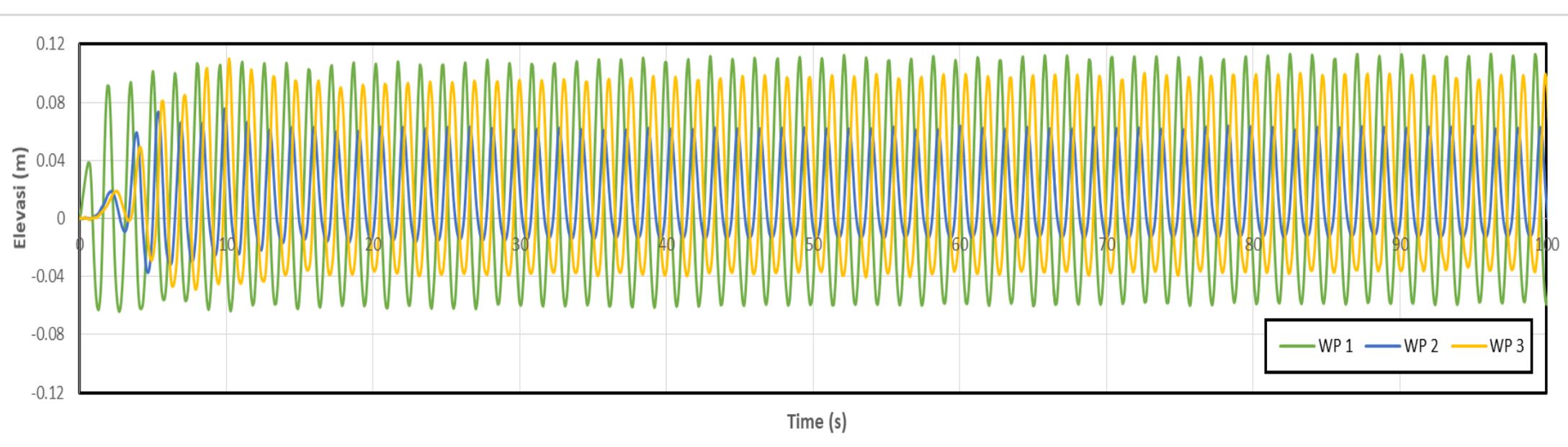
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.125 m & T = 1.52 s



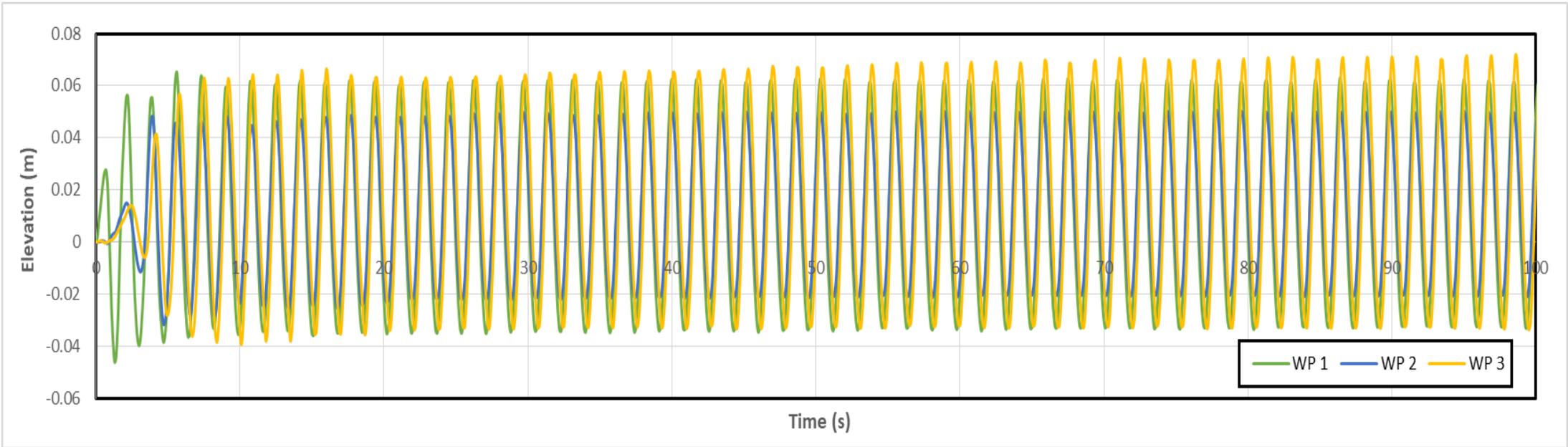
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.150 m & T = 1.52 s



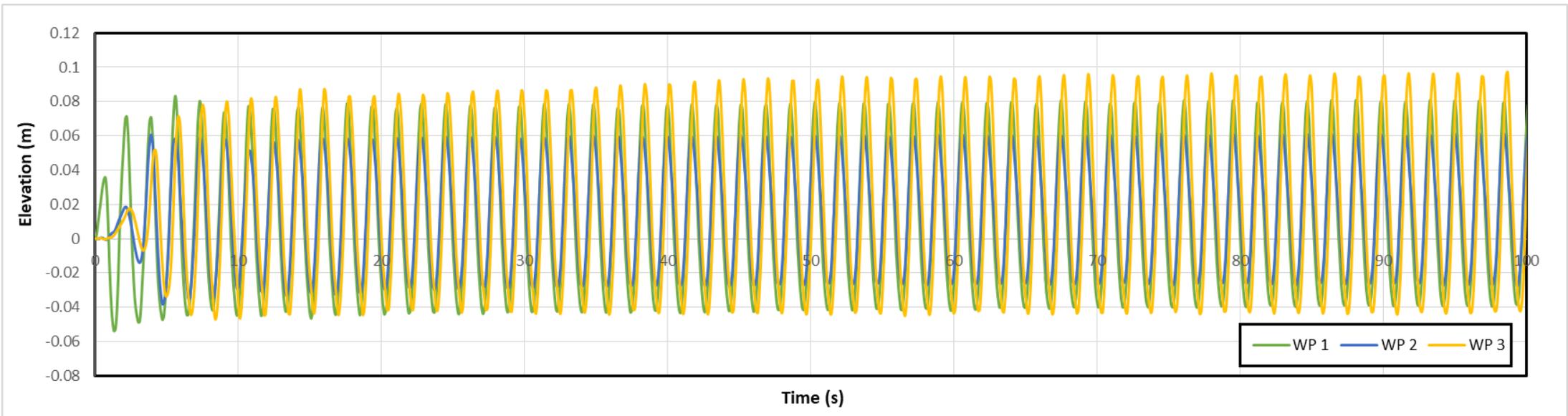
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.175 m & T = 1.52 s



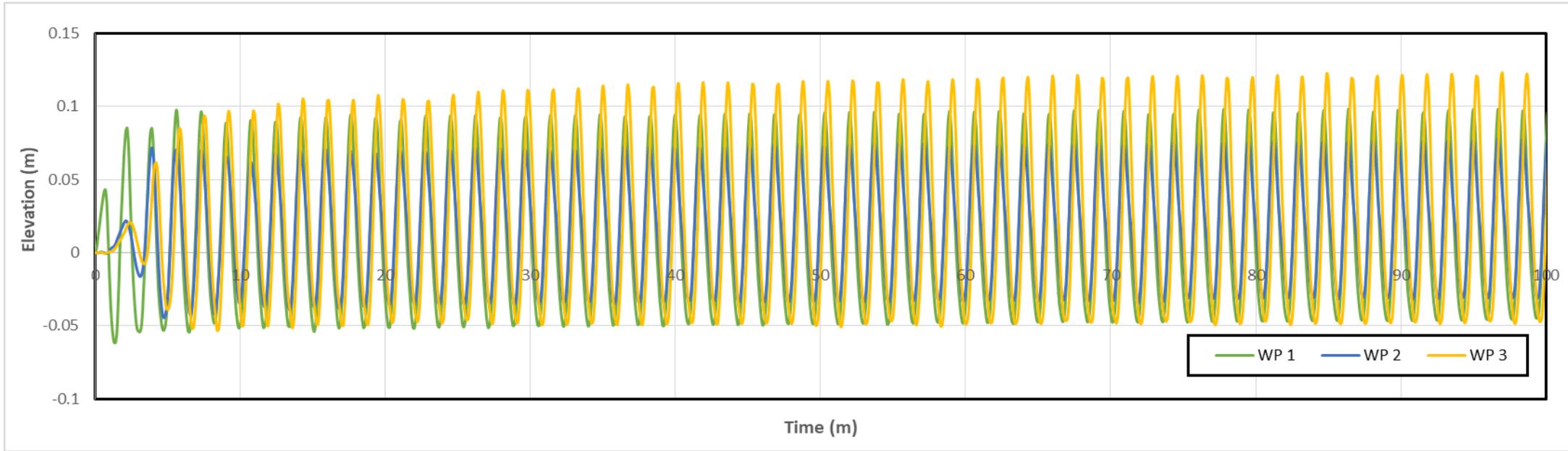
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.1 m & T = 1.72 s



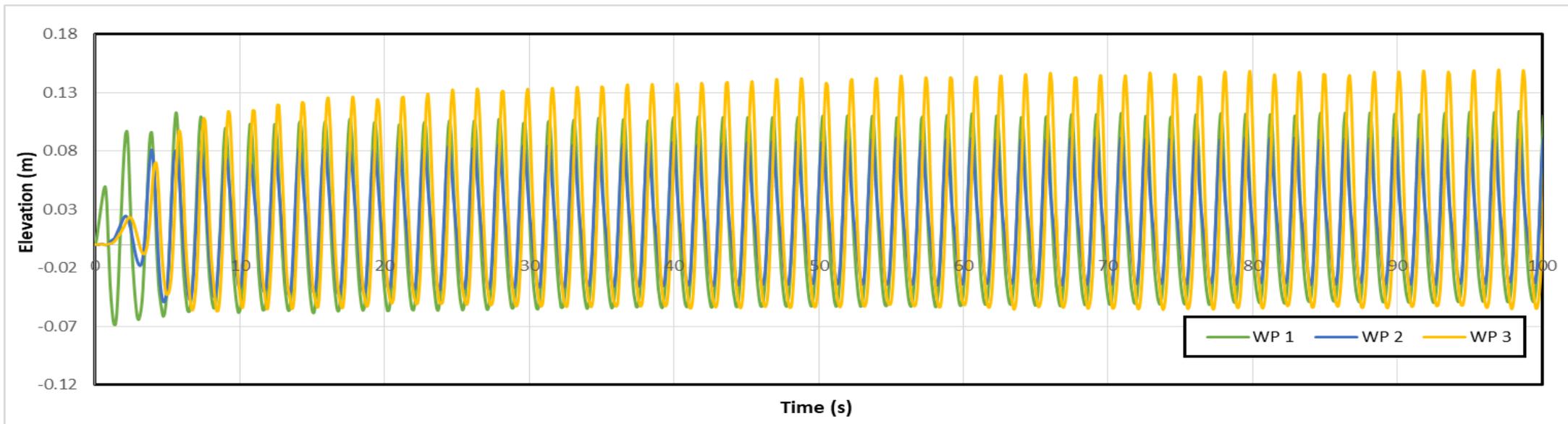
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.125 m & T = 1.72 s



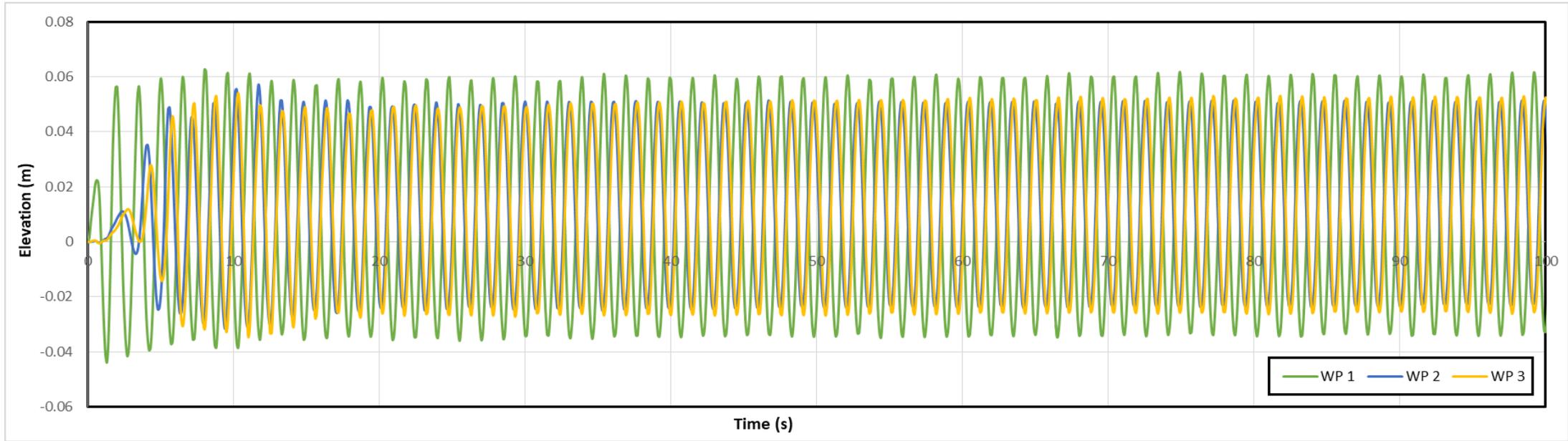
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.150 m & T = 1.72 s



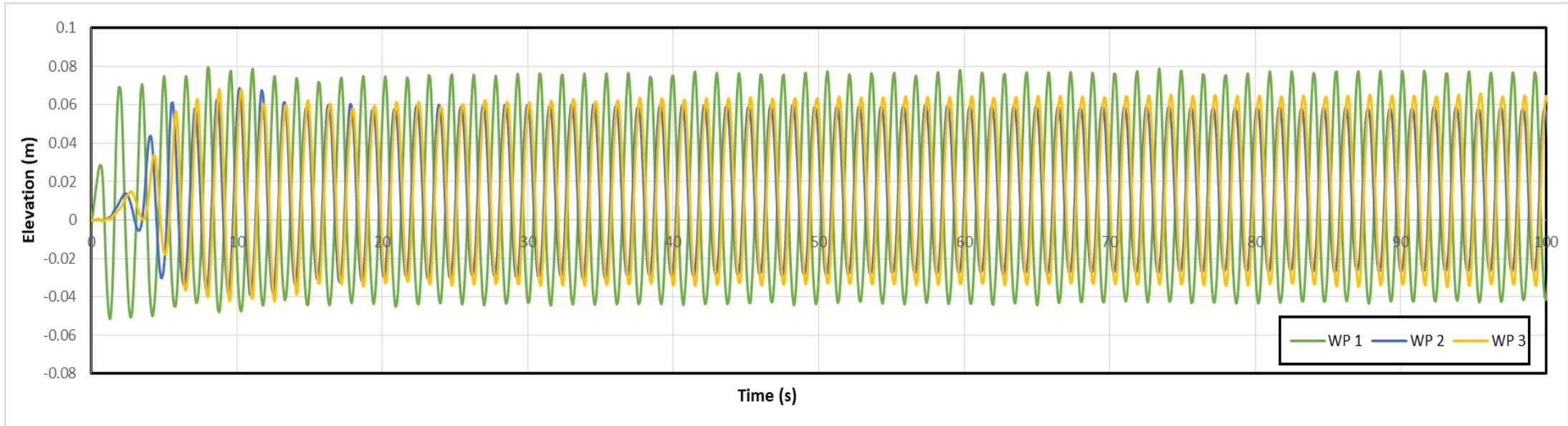
Elevasi Output Slope 1:1.5 H = 0.175 m & T = 1.72 s



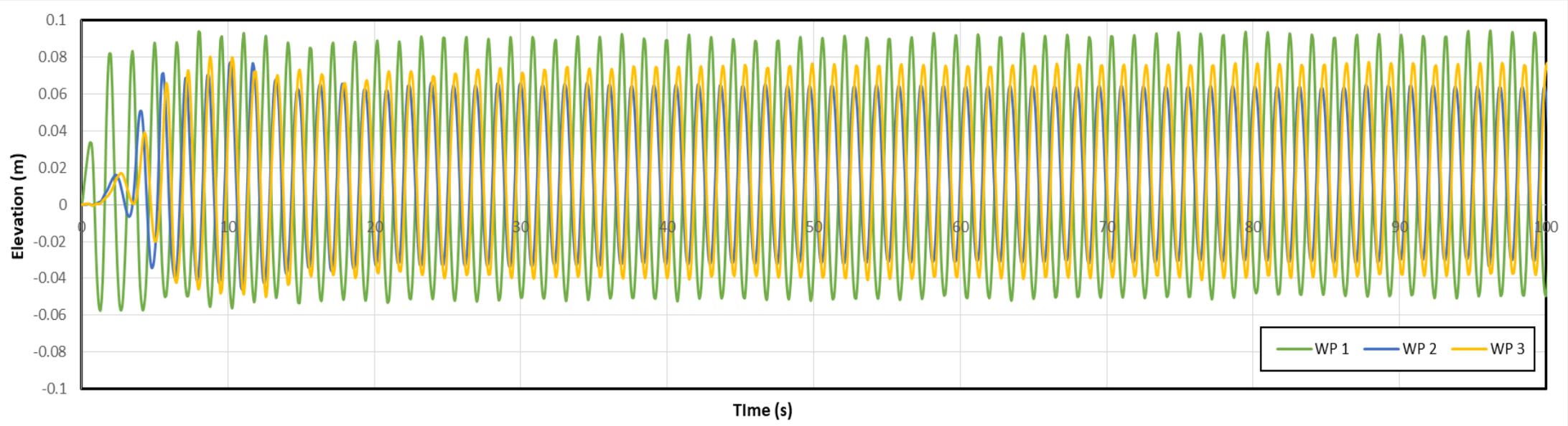
Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.1 m & T = 1.52 s



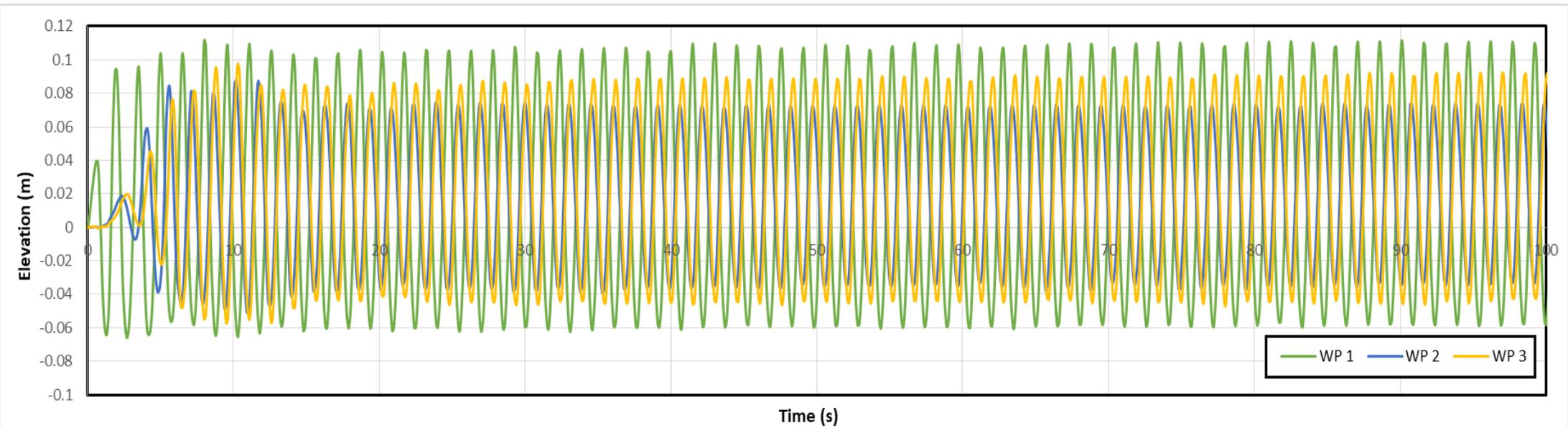
Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.125 m & T = 1.52 s



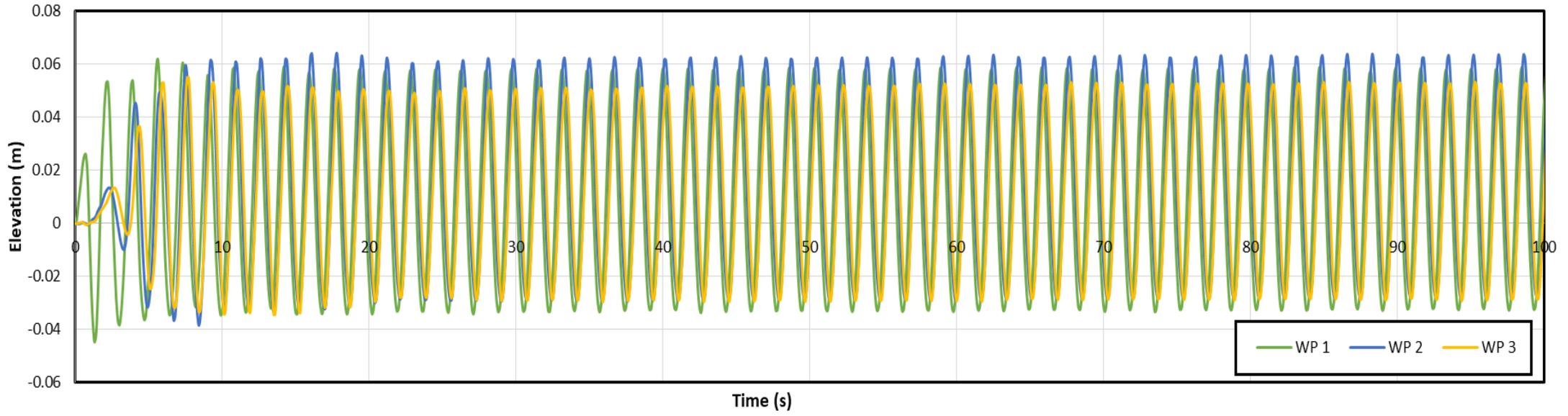
Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.150 m & T = 1.52 s



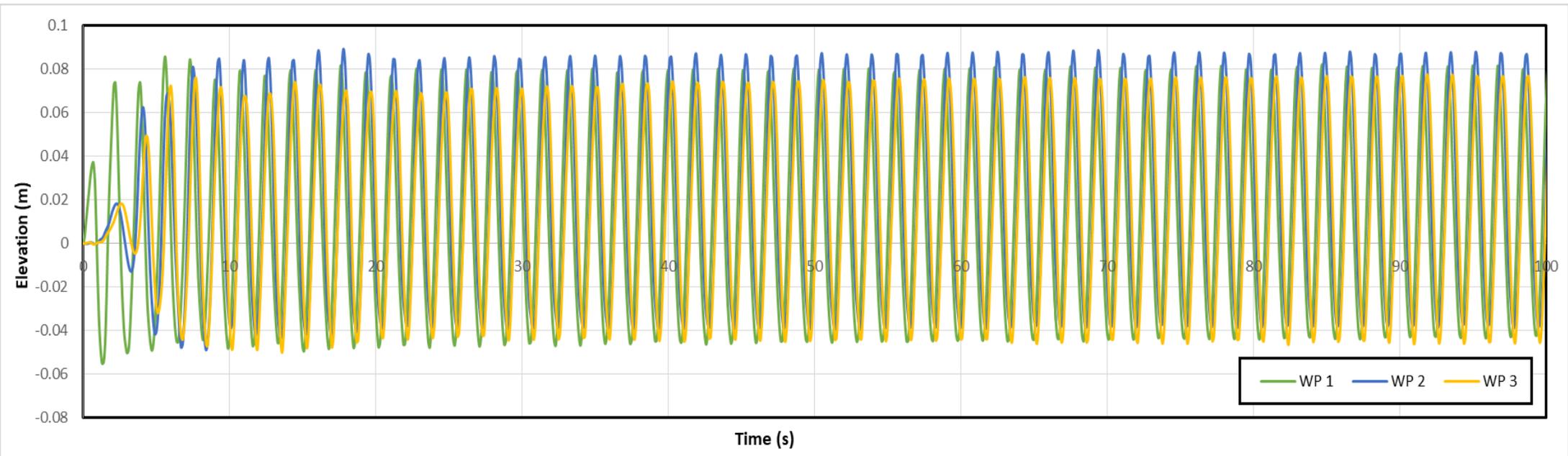
Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.175 m & T = 1.52 s



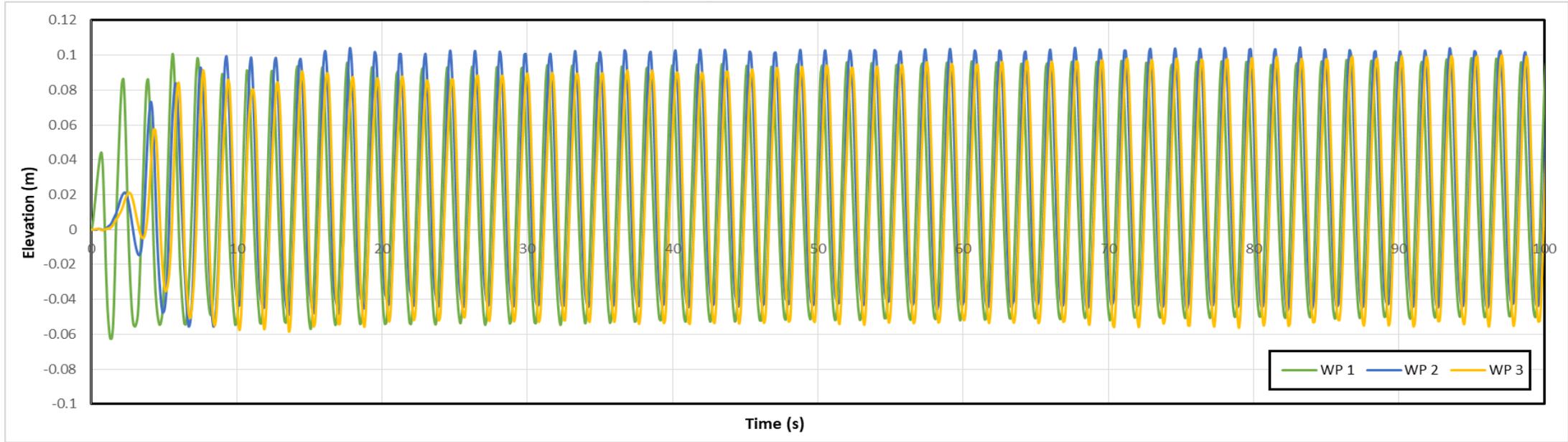
Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.1 m & T = 1.72 s



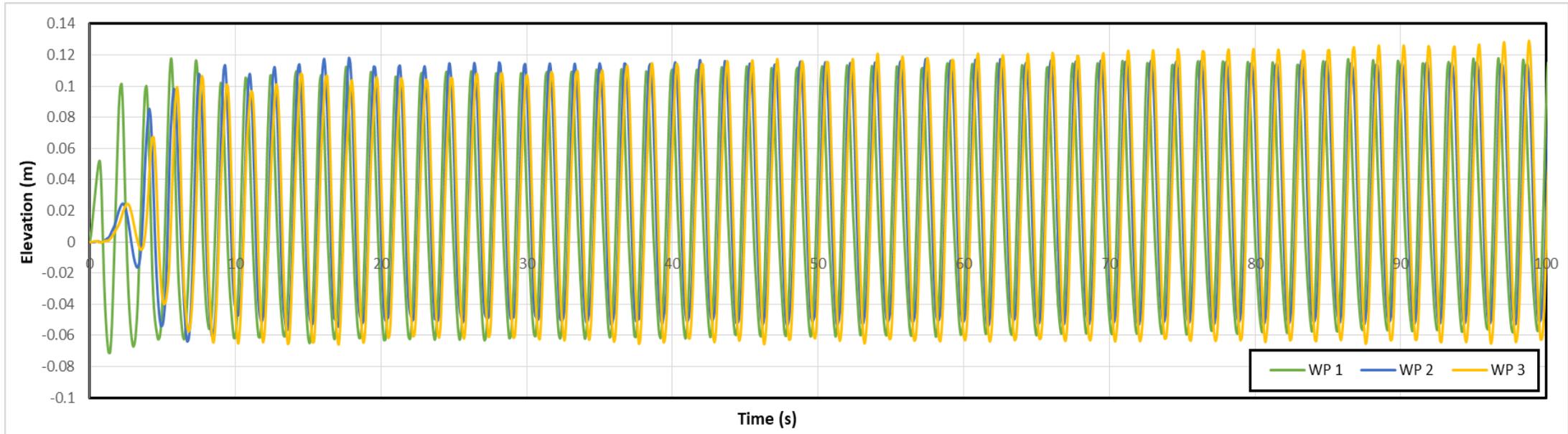
Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.125 m & T = 1.72 s



Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.150 m & T = 1.72 s



Elevasi Output Slope 1:1 H = 0.175 m & T = 1.72 s



**LAMPIRAN B**  
**REKAPITULASI PERHITUNGAN**

## Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Refleksi

				g =	9.81
No.	Variasi			H/L <sub>0</sub>	Kr
	Slope	T	H		
1	1:2	1.5267	0.090	0.0248	0.68995
2		1.5267	0.115	0.0317	0.56983
3		1.5267	0.148	0.0408	0.39421
4		1.5267	0.174	0.0478	0.31427
5		1.7291	0.097	0.0207	0.60253
6		1.7291	0.124	0.0265	0.47516
7		1.7291	0.151	0.0324	0.42324
8		1.7291	0.174	0.0373	0.41694
9	1:1.5	1.5267	0.099	0.0271	0.69337
10		1.5267	0.123	0.0337	0.65472
11		1.5267	0.142	0.0389	0.41047
12		1.5267	0.170	0.0467	0.38237
13		1.7291	0.095	0.0204	0.78558
14		1.7291	0.120	0.0258	0.60912
15		1.7291	0.144	0.0308	0.55393
16		1.7291	0.163	0.0348	0.58183
17	1:1	1.5267	0.0944	0.0259	0.78178
18		1.5267	0.120	0.0330	0.69847
19		1.5267	0.143	0.0392	0.5751
20		1.5267	0.169	0.0464	0.474
21		1.7291	0.091	0.0195	0.79315
22		1.7291	0.126	0.0269	0.7726
23		1.7291	0.147	0.0314	0.73203
24		1.7291	0.173	0.0370	0.69034

## Rekapitulasi Perhitungan *Overtopping*

Slope	T (s)	H (m)	Volume Overtopping (m <sup>3</sup> )	Lebar Struktur	Waktu Uji (s)	Hasil Berdimensi	Hasil Tak Berdimensi	Dimensionless Cress Height
						OT Discharge (m <sup>3</sup> /s/m)	Dimensionless OT Discharge (q/(gH <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> )	
1 : 2	1.52	0.0902	0	0.4	3600	0	0	1.6630
		0.1154	0.000384		3600	2.667E-07	2.173E-06	1.2998
		0.1484	0.000384		3600	2.667E-07	1.490E-06	1.0108
		0.1741	0.001056		3600	7.333E-07	3.225E-06	0.8616
	1.72	0.0966	0		3600	0	0	1.5528
		0.1236	0.000384		3600	2.667E-07	1.960E-06	1.2136
		0.1514	0.000576		3600	4.000E-07	2.169E-06	0.9908
		0.1741	0.001152		3600	8.000E-07	3.518E-06	0.8616
1 : 1.5	1.52	0.0987	0	0.4	3600	0	0.000E+00	1.5198
		0.1226	0.000288		3600	0.0000002	1.488E-06	1.2235
		0.1415	0.00048		3600	3.333E-07	2.000E-06	1.0601
		0.1700	0.000672		3600	4.667E-07	2.127E-06	0.8824
	1.72	0.0951	0		3600	0	0.000E+00	1.5773
		0.1204	0.000288		3600	2.00E-07	1.529E-06	1.2458
		0.1439	0.000672		3600	4.67E-07	2.731E-06	1.0424
		0.1625	0.001248		3600	8.667E-07	4.226E-06	0.9231
1 : 1	1.52	0.0944	0	0.4	3600	0	0.000E+00	1.5890
		0.1201	0.000096		3600	6.667E-08	5.117E-07	1.2490
		0.1428	0.00048		3600	3.333E-07	1.973E-06	1.0504
		0.1689	0.001152		3600	8.000E-07	3.682E-06	0.8881
	1.72	0.0911	0		3600	0	0.000E+00	1.6465
		0.1256	0.000576		3600	0.0000004	2.871E-06	1.1943
		0.1468	0.000864		3600	6.000E-07	3.408E-06	1.0218
		0.1728	0.001536		3600	1.067E-06	4.744E-06	0.8681

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam hal ini penulis tidak akan dapat menyelesaikan tugas akhir ini tanpa doa, dukungan, dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu dan Ayah penulis yang secara tulus dan ikhlas memberikan doa dan dukungan moral maupun material. Serta seluruh keluarga penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Semoga mereka diberikan kesehatan dan kebahagiaan.
2. Bapak Sujantoko S.T., M.T. dan Prof. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 yang selalu memberi saran, dukungan dan motivasi kepada penulis selama pengerjaan
3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. selaku dosen wali penulis selama berkuliah di Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberi dukungan.
4. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku kepala Laboratorium Rekayasa Hidro-Informatika Kelautan dan Pak Zuhud Ubadilah selaku staf lab yang memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian menggunakan komputer yang ada di lab.
5. Dony Saputra dan Pramudya Adhi yang menjadi teman seperjuangan dalam tim A-Jack dengan mengerjakan pemodelan fisik dari *concrete armour* berbentuk A-Jacks untuk *seawall* yang setiap hari berada di *Flume Tank* serta Rendi Alif yang menjadi partner numerik dan juga tempat bertukar pikiran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Hakim M. Bafadhal yang sudah membantu untuk meminjamkan komputer yang ada di ruang pascasarjana, Mas Wahyu Krisna yang sudah menemani dan menjadi bapak kontener, dan juga teman-teman segenap anggota KK kontener santuy yang hampir setiap hari selalu berada di jurusan yang sudah membantu dan menemani penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Nisa Rosna S. A. yang telah memberikan dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu
8. Teman-teman "Revastra" yang sudah menemani dari awal masuk perkuliahan serta semua pihak yang telah mensupport penulis selama pengerjaan tugas akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

## BIODATA PENULIS



Ersal Kusuma Syahlan dilahirkan di Jakarta pada tanggal 10 Juli 2001. Pria yang kerap disapa Ersal ini memulai pendidikan sarjananya pada tahun 2018 di Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selain berfokus pada kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan non-akademik. Pada tahun pertama penulis aktif dalam berorganisasi di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Merpati Putih ITS dan di tahun kedua mendapatkan amanah untuk menjadi ketua umum UKM Merpati Putih ITS. Dan di tahun yang sama penulis berkesempatan untuk menjadi staff kepengurusan hubungan luar di HIMATEKLA FTK-ITS. Kemudian di tahun ketiga penulis mendapatkan amanah untuk menjadi ketua departemen hubungan luar di HIMATEKLA FTK-ITS. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan baik di dalam maupun diluar kampus hingga berkesempatan untuk mengadakan Gathering of Ocean Engineering Student (GOES) yang merupakan acara silaturahmi antara mahasiswa teknik kelautan se-Indonesia mulai dari ITB, ITERA, dan UNHAS. Selain acara gathering tersebut juga mengadakan berbagai lomba seperti fotografi dan esai guna memperingati hari kelautan nasional yang bertepatan pada tanggal 2 Juli.

Penulis juga berkesempatan untuk melakukan kerja praktik di PT. GUNANUSA UTAMA FABRICATOR (PTG) yang terletak di serang, banten selama dua bulan pada akhir tahun 2021. Selama melakukan kerja praktik di PTG penulis mendapatkan berbagai macam banyak ilmu tentang fabrikasi offshore seperti *rigging equipment*, *lifting procedure*, sampai manajemen proyek.

Kontak Penulis :

[ersalkusuma45@gmail.com](mailto:ersalkusuma45@gmail.com)