



TUGAS AKHIR (MO 141326)

**ANALISA KINERJA DESAIN PEMBANGKIT ENERGI  
LISTRIK TENAGA GELOMBANG TIPE *FLAP FLOAT  
HORIZONTAL* (FFH) – UJI LABORATORIUM**

GUNTAR RAMADHAN  
NRP. 04311240000067

Dosen Pembimbing :

1. Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
2. Dr.Eng. Rudi W. Prastianto, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



FINAL PROJECT (MO 141326)

**PERFORMANCE ANALYSIS OF THE OCEAN WAVE  
ELECTRICAL ENERGY CONVERTER DESIGN TYPE  
FLAP FLOAT HORIZONTAL (FFH) – LABORATORY  
TEST**

GUNTAR RAMADHAN  
NRP. 04311240000067

Supervisors :

1. Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
2. Dr.Eng. Rudi W. Prastianto, S.T., M.T.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA KINERJA DESAIN PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG TIPE *FLAP FLOAT HORIZONTAL* (FFH) – UJI  
LABORATORIUM**

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

Oleh :

**GUNTAR RAMADHAN**

**NRP. 0431124000067**

Disetujui Oleh :

1. Prof. Ir. Mukhtasor , M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. (Penguji 1)

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

5. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2019

**ANALISIS KINERJA DESAIN PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK  
TENAGA GELOMBANG TIPE *FLAP FLOAT HORIZONTAL* (FFH) – UJI  
LABORATORIUM**

Nama : Guntar Ramadhan  
NRP : 04311240000067  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Pengembangan teknologi untuk memanfaatkan potensi energi gelombang sangatlah menentukan semakin besarnya potensi praktis diperolehnya energi listrik. *Oscillation Water Column/Chamber* (OWC) merupakan salah satu tipe teknologi konversi gelombang laut yang memanfaatkan gerakan putaran turbin akibat tekanan udara. Tipe lain dari teknologi konversi gelombang laut adalah *Bottom Fixed Oscillating Flap* (BFOP) yang menggunakan sistem engkol. Pada penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan analisis kinerja dari desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) hasil dari modifikasi struktur dan prinsip kerja OWC dan BFOP yang dinamakan tipe *Flap-Float Horizontal* (FFH). Modifikasi dilakukan pada bentuk desain pelampung yaitu bentuk setengah bola, bentuk kotak, dan bentuk concave. Analisis dilakukan dengan menggunakan uji model dengan skala 1 : 20 laboratorium pada fasilitas laboratorium Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Analisis menggunakan variasi gelombang dengan parameter  $H/gT^2$  sebagaimana survei yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa model pelampung setengah bola memiliki performa yang paling baik dengan ditunjukkan oleh tegangan listrik dan torsi yang dihasilkan, sedangkan terhadap nilai daya, model setengah bola lebih stabil.

**Kata kunci** : *Gelombang Reguler, PLTGL, Pelampung, Torsi, Tegangan Listrik*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PERFORMANCE ANALYSIS OF THE OCEAN WAVE ELECTRICAL  
ENERGY CONVERTER DESIGN TYPE FLAP FLOAT HORIZONTAL  
(FFH) – LABORATORY TEST**

Name : Guntar Ramadhan  
NRP : 04311240000067  
Supervisors : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

The technological development for harnessing the potential of wave energy is crucial in determining the greater practical potential for obtaining electrical energy. Oscillation Water Column / Chamber (OWC) is one type of ocean wave conversion technology that utilizes turbine rotation due to air pressure. Another type of ocean wave conversion technology is the Bottom Fixed Oscillating Flap (BFOP) which uses a crank system. In this final project, an analysis of the performance of the design of a sea wave power plant (PLTGL) will result from the modification of the structure and the working principle of OWC and BFOP called the Flap-Float Horizontal (FFH) type. Modifications were made to the buoy design form, which is a half ball shape, box shape, and concave form. The analysis was performed using a 1: 20 scale model test in the laboratory facilities of the Department of Marine Engineering, Faculty of Marine Technology, Sepuluh November Institute of Technology. The analysis uses wave variations with the parameter  $H/gT^2$  from the previous survey. The final results of this study indicate that the half-ball float model has the best performance shown by the electric voltage and torque produced, while the power value, the half-ball model is more stable.

**Keywords** : *Regular Wave, Ocean Wave Energy, Buoy, Torque, Voltage*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Segala puji kami ucapkan hanya bagi Allah yang telah memberikan rahmatnya tak terkira kepada penulis. Tanpa rahmat-Nya tidaklah mungkin penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Kinerja Desain Pembangkit Energi Listrik Tenaga Gelombang Tipe *Flap Float Horizontal* (FFH) – Uji Laboratorium**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana.

Dalam perjalanannya, sangat mungkin ada beberapa hal yang penulis tidak mampu untuk uraikan keseluruhannya di laporan tugas akhir ini dikarenakan kekurangan dari penulis sendiri. Namun, laporan tugas akhir ini telah ditulis sebagaimana garis besar pengalaman dan kerja penulis dalam melakukan langkah-langkah penelitian yang telah diajarkan selama perkuliahan beserta improvisasi lapangan yang tentunya harus dilakukan mengingat keterbatasan sarana dan prasarana. Harapan besar bahwa kedepan penelitian serupa, terutama dalam pengembangan energy terbarukan berbasis sumber daya kelautan akan tetap mendapatkan minatnya di kalangan masyarakat peneliti, dan mahasiswa.

Tentunya, sebagai manusia tidak ada yang dilahirkan sempurna, karena dengan pengalaman dan pembelajaran manusia akan semakin bijaksana. Segala kesalahan yang terdapat di dalam laporan ini merupakan tanggungjawab sepenuhnya penulis. Apabila pembaca sekalian menemukannya, koreksi dari pembaca akan sangat penulis apresiasi.

Surabaya, Juli 2019  
Penulis

Guntar Ramadhan

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tentunya semua hasil dari penulisan Tugas Akhir ini tidaklah lepas dari sumbangsih orang banyak. Untuk tidak dapat mengecilkan peran dan sumbangsih berharganya, tentu ucapan terima kasih tidaklah seberapa berharga dibandingkan hal itu semua. Namun dalam Islam, penulis diberikan pengajaran bahwa tidaklah seseorang dikatakan telah bersyukur kepada Allah jikalau dia belum berterimakasih kepada manusia. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang berpartisipasi atau turut andil terwujudnya laporan ini dan terutama ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang telah dan selalu memberikan dukungan moral dan materiil.
2. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama atas segala bimbingan, motivasi dan fasilitas yang dimudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Serta telah bersedia untuk membimbing penulis dan berkenan untuk memberikan ilmu-ilmunya.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan waktunya dan fasilitas yang dimudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani M.Sc. selaku dosen pembimbing penulis, dan telah memberikan bimbingan serta kemudahan dalam bimbingan bimbingannya.
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., MT.,Ph.D. selaku dosen coordinator Tugas Akhir yang memberikan fasilitas dan bimbingannya untuk pengerjaan dan pendaftaran siding.
6. Bapak Drs. M. Musta'in, M.Sc.,Ph.D. selaku Ketua Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut yang telah memberikan ijin guna untuk penggunaan fasilitas kolam *flumetank*.
7. Alm. Mas Arief selaku Teknisi Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut yang membantu selama dan setelah pengerjaan percobaan.

Surabaya, Juli 2019

Guntar Ramadhan

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	7
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	7
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	7
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	8
<b>1.6 Sistematika Penulisan</b> .....	8
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	11
<b>2.1 Tinjauan Pustaka</b> .....	11
<b>2.2 Dasar Teori</b> .....	13
<b>2.2.1 Teori Gelombang Laut Reguler</b> .....	13
<b>2.2.2 Gerakan Struktur Di Atas Air</b> .....	16
<b>2.2.3 Struktur Bangunan Pembangkit Energi Gelombang Laut</b> .....	17
<b>2.2.4 Permodelan Fisik</b> .....	20
<b>2.2.5 Gaya Yang Bekerja</b> .....	21
<b>2.2.6 Momen Gaya (Torsi)</b> .....	24
<b>2.2.7 Motor Listrik</b> .....	24
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	25
<b>3.1 Diagram Alir</b> .....	25
<b>3.2 Penjelasan Diagram Alir</b> .....	26
<b>3.2.1 Studi Literatur</b> .....	26

3.2.2	Persiapan Material Uji.....	26
3.2.3	Kalibrasi Alat Uji .....	30
3.2.4	Proses Pengujian.....	31
3.2.5	Pengukuran dan Pencatatan .....	33
3.2.6	Analisis dan Pembahasan .....	34
3.2.7	Penulisan Laporan.....	34
<b>BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>35</b>
4.1	Pengukuran Tegangan .....	35
4.2.	Analisis Hasil Uji Coba terhadap Tegangan Listrik .....	43
4.3	Analisis Hasil Uji Coba terhadap Arus Listrik.....	44
4.4	Analisis Hasil Uji Coba terhadap Torsi.....	45
4.5	Analisis Hasil Uji Coba terhadap Daya .....	47
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>51</b>
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran .....	51
<b>BAB VI. DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>53</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Peta Potensi Sumber Daya Energi Gelombang Laut di Indonesia.....	3
<b>Gambar 1.2.</b> Peta Potensi Sumber Daya Energi Gelombang Laut dengan OWC di Indonesia .....	4
<b>Gambar 1.3.</b> Penampakan pembangkit energi tenaga gelombang laut tipe BFOP Oyster 2 yang diinstal di Irlandia .....	5
<b>Gambar 1.4.</b> Ilustrasi sistem kerja dari OWC dan BFOP. Gambar a. BFOP, b. OWC tipe Overtopping, dan c. OWC biasa.....	6
<b>Gambar 2.1.</b> Struktur Pembangkit <i>Wave Star Energy</i> .....	13
<b>Gambar 2.2.</b> Struktur Pembangkit <i>Eco Wave Power</i> .....	13
<b>Gambar 2.3.</b> Parameter gelombang laut reguler .....	14
<b>Gambar 2.4.</b> Area Penerapan Teori Gelombang Laut.....	16
<b>Gambar 2.5.</b> Ilustrasi Gerakan Bebas Dari Struktur Di Atas Air.....	17
<b>Gambar 2.6.</b> Skema karakter penangkapan energy gelombang laut.....	18
<b>Gambar 2.7.</b> Ilustrasi cara kerja operasi teknologi konversi energi gelombang laut (a) <i>Oscillating Water Column</i> , (b) <i>Overtopping</i> , (c) <i>Oscillating Bodies</i> .....	19
<b>Gambar 2.8.</b> Bangunan OWC Wavegen LIMPET Skotlandia tahun 2006 beserta ilustrasi cara kerjanya .....	19
<b>Gambar 2.9.</b> Bangunan Wave Dragon Denmark tahun 2010 .....	20
<b>Gambar 2.10.</b> Skenario Kerja Struktur .....	23
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram Alir Penelitian .....	25
<b>Gambar 3.1.</b> Bentuk Setengah Bola.....	27
<b>Gambar 3.2.</b> Bentuk Kotak .....	27
<b>Gambar 3.3.</b> Bentuk <i>Concave</i> .....	28
<b>Gambar 3.4.</b> Lengan Putar .....	29
<b>Gambar 3.5.</b> Grafik Hasil Kalibrasi Probe.....	31
<b>Gambar 3.6.</b> Penempatan Model di dalam Kolam <i>Flumetank</i> .....	32
<b>Gambar 3.7.</b> Penempatan Model di dalam Kolam <i>Flumetank</i> .....	33
<b>Gambar 4.1.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 9.05$ cm dan $T = 0.88$ s.....	35
<b>Gambar 4.2.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 8.55$ cm dan $T = 0.90$ s.....	36
<b>Gambar 4.3.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 8.40$ cm dan $T = 0.89$ s.....	36

<b>Gambar 4.4.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 7.70$ cm dan $T = 0.89$ s.....	37
<b>Gambar 4.5.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 7.10$ cm dan $T = 0.97$ s.....	38
<b>Gambar 4.6.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 6.80$ cm dan $T = 0.82$ s.....	38
<b>Gambar 4.7.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 4.25$ cm dan $T = 0.83$ s.....	39
<b>Gambar 4.8.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 4.10$ cm dan $T = 0.59$ s.....	40
<b>Gambar 4.9.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 1.45$ cm dan $T = 0.64$ s.....	40
<b>Gambar 4.10.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 1.35$ cm dan $T = 0.66$ s.....	41
<b>Gambar 4.11.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 0.65$ cm dan $T = 0.78$ s.....	41
<b>Gambar 4.12.</b> Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada $H = 0.45$ cm dan $T = 0.88$ s.....	42
<b>Gambar 4.13.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan $V$ pada ketiga jenis pelampung.....	44
<b>Gambar 4.14.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan Torsi pada ketiga jenis pelampung .....	47
<b>Gambar 4.15.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan Daya pada ketiga jenis pelampung .....	49

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1.</b> Perhitungan Potensi Energi Laut .....	2
<b>Tabel 2.1.</b> Faktor Skala pada Aturan Froude .....	21
<b>Tabel 3.1.</b> Properti Pelampung .....	27
<b>Tabel 3.2.</b> Spesifikasi Struktur WaveStar .....	28
<b>Tabel 3.2.</b> Perbandingan Nilai Gelombang.....	30
<b>Tabel 3.3.</b> Spesifikasi Dinamo DC .....	30
<b>Tabel 3.4.</b> Tabel hasil kalibrasi probe.....	31
<b>Tabel 3.5.</b> Tabel jumlah variasi .....	33
<b>Tabel 4.1.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan V pada ketiga jenis pelampung.....	43
<b>Tabel 4.2.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan Arus I pada ketiga jenis pelampung .....	45
<b>Tabel 4.3.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan Torsi pada ketiga jenis pelampung .....	46
<b>Tabel 4.4.</b> Perbandingan $H/gT^2$ dengan Daya pada ketiga jenis pelampung .....	48

## DAFTAR NOTASI

L	: Panjang Gelombang (m)
H	: Tinggi Gelombang (m)
T	: Periode Gelombang (s)
f	: Frekuensi Gelombang (Hz)
$\omega$	: Frekuensi Angular (rad)
d	: Kedalaman Perairan (m)
c	: Kecepatan fase (m/s)
S	: <i>Wave steepness parameter</i> besaran non-dimensional ( $2\pi H/gT^2$ )
a	: Amplitudo Gelombang
$\Delta x$	: perpindahan arah horizontal dari puncak gelombang
y	: ketinggian gelombang dari muka air tenang
h(t)	: profil permukaan gelombang pada saat diatas muka air tenang
lp	: dimensi (panjang, lebar, tinggi) ketika di alam
lm	: dimensi (panjang, lebar, tinggi) model
$\lambda$	: faktor skala Froude
$F_A$	: Gaya Angkat (N)
$\rho$	: Massa jenis zat cair ( kg/m <sup>3</sup> )
g	: Gaya gravitasi bumi (m/s <sup>2</sup> )
$V_c$	: Volume benda yang tercelup (m <sup>3</sup> )
P	: Daya listrik pada motor (w)
$\tau$	: Torsi (N.m)
$\omega$	: Kecepatan sudut dinamo (rpm).
V	: Tegangan listrik (Volt)
I	: Arus (Ampere)
R	: Hambatan atau Resistensi



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

# **BAB I.**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penyediaan energi terbarukan untuk pemenuhan kebutuhan energi nasional di masa mendatang sangatlah penting. Energi merupakan salah satu unsur penopang kegiatan ekonomi di sektor industri. Sehingga perkembangan perekonomian yang semakin baik di Indonesia menjadikan permintaan akan penyediaan terhadap kebutuhan energi semakin tinggi. Di sisi lain, telah dibukanya Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) dan dengan diadakan kerjasama antara negara Asia dan Afrika untuk membentuk kerjasama ekonomi semakin menjadikan peluang terhadap pertumbuhan ekonomi di negara ini. Isu tersebut tentu akan sangat berpengaruh terhadap ketersediaan energi. Di lain pihak ketersediaan cadangan bahan bakar yang bersumber dari fosil semakin menipis dan munculnya isu perubahan iklim membuat penyediaan kebutuhan energi mulai beralih ke sumber yang terbarukan.

Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan yang berasal dari sektor kelautan yang besar dan sangat potensial mengingat semakin menipisnya simpanan minyak dan gas bumi Indonesia. Indonesia memiliki panjang garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada dengan panjang 80.000 kilometer dan luas lautannya yaitu 52 juta kilometer persegi. Hal ini juga didukung dengan perkembangan pengelolaan energi terbarukan di dunia yang memanfaatkan laut sebagai sumber memperoleh energi terbarukan semakin hari semakin meningkat. Terkait hal tersebut, Faltinsen (2014) menyebutkan bahwa energi terbarukan yang berasal dari gelombang, arus, dan angin akan terus berkembang.

Dalam upaya untuk mengembangkan energi baru terbarukan berbasis sumber daya laut untuk pengadaan energi listrik, dibutuhkan pengetahuan yang baik terhadap sumber daya energi berbasis laut. Secara garis besar, sumber daya energi berbasis laut terbagi menjadi beberapa jenis yaitu gelombang laut, arus laut, arus pasang surut air laut, panas laut, dan angin laut. Dalam hal ini, Asosiasi Energi Laut Indonesia

(ASELI) telah mengeluarkan data sumber daya energi laut baru terbarukan sebagaimana pada Tabel 1.1. sebagai berikut.

**Tabel 1.1.** Perhitungan Potensi Energi Laut

*(Sumber: Mukhtasor, 2014)*

<b>Jenis Sumber Energi</b>	<b>Potensi Teoritis (MW)</b>	<b>Potensi Teknis (MW)</b>	<b>Potensi Praktis (MW)</b>
Panas Laut	4.247.389	136.669	41.001
Arus Laut	287.822	71.955	17.989
Gelombang Laut	141.472	7.985	1.995
<b>Total</b>	<b>4.676.683</b>	<b>216.609</b>	<b>60.985</b>

Dengan kemudahan instalasi dan pembangunan teknologi konversi, energy yang berasal dari konversi energy gelombang laut merupakan potensi yang menjanjikan. Secara teoritis perhitungan potensi sumber daya energy gelombang laut memang cukup besar. Namun, teoritis disini yang dimaksudkan adalah perhitungan secara asumsi data lapangan. Tetapi ketika perhitungan dilakukan secara baik teknis maupun praktis, potensi yang didapatkan menurun cukup drastis. Hal ini dikarenakan dalam perhitungan teknis maupun praktis, faktor teknologi konversi energi beserta faktor lingkungan yang ada telah diperhitungkan. Meskipun demikian tidaklah menutup kemungkinan bahwa pengembangan teknologi yang lebih baik dari teknologi konversi energi dapat meningkatkan potensi teknis dan praktis dari sumber daya energi ini. Menindaklanjuti perhitungan potensi energy tersebut, Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) bekerja sama dengan Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (Kemen ESDM) merilis peta persebaran potensi gelombang laut yang dapat dikonversi menjadi energy listrik sebagaimana dalam Gambar 1.1 berikut. Hal ini mengingat bahwa persebaran potensi energi laut yang cukup luas di Indonesia menjadikan keharusan untuk mengembangkan teknologi konversi yang semakin baik.



**Gambar 1.1.** Peta Potensi Sumber Daya Energi Gelombang Laut di Indonesia

(Sumber: Mukhtasor., 2014)

Dari Gambar 1.1. dapat diketahui persebaran potensi sumber daya energi laut di Indonesia relative berada pada perairan yang menuju laut lepas. Hal tersebut diakibatkan karena memang potensi pembentukan gelombang yang lebih besar daripada perairan dalam pulau. Namun peta tersebut hanya menunjukkan persebaran potensi gelombang yang dapat dikonversi menjadi energy tanpa menunjukkan kemungkinan jenis teknologi apa yang bisa digunakan terkait dengan potensi yang ada. Anggraini dkk. (2015) memberikan analisis lebih lanjut terkait dengan peta persebaran potensi energy yang dapat dikonversikan untuk satu jenis teknologi konversi energy gelombang laut sebagaimana terlihat di Gambar 1.2. Peta tersebut menunjukkan persebaran potensi sumber daya energi gelombang dengan menggunakan model struktur *Oscillation Water Column* (OWC) yang memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan gerakan turbin akibat perubahan tekanan udara. Tekanan udara tersebut berasal dari tekanan gelombang pada suatu ruang atau kolom. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa hampir di setiap pantai yang menjorok ke laut lepas memiliki potensi, meskipun potensi tersebut bervariasi.



**Gambar 1.2.** Peta potensi sumber daya energi gelombang laut di Indonesia  
(Sumber: Anggraini dkk., 2015)

Pengembangan teknologi untuk memanfaatkan potensi energi gelombang sangatlah menentukan potensi praktis dari energi listrik yang diperoleh. Meskipun demikian, pada kenyataannya pengembangan energi yang berasal dari gelombang laut sangatlah lambat jika dibandingkan dengan pengembangan energi terbarukan lain sebagai contoh energi angin laut. Pengembangan energi dari angin laut ini telah mendapatkan standar desain dari Det Norsk Veritas (DNV-OS-J103 tentang Desain Struktur Kincir Angin Terapung), bahkan beberapa negara di Eropa telah berhasil menggunakan energi laut secara konvensional. Peluang untuk pengembangan teknologi konversi energi gelombang laut khususnya di Indonesia yaitu kemudahan untuk instalasi di lokasi yang di Indonesia, serta memiliki efisiensi yang baik.

*Oscillation Water Column/Chamber* (OWC) merupakan salah satu tipe teknologi konversi gelombang laut. Tipe ini memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan gerakan putaran turbin akibat tekanan udara di atas gelombang yang bergerak. Gerakan turbin ini yang disebut sebagai *Power Take Off* atau PTO merupakan salah satu metode untuk mendapatkan energi listrik. Tipe OWC ini pernah diinstal di Indonesia oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi (BPPT) Laboratorium Rekayasa Pantai Yogyakarta. Untuk mendapatkan tekanan udara yang nantinya

digunakan untuk memutar turbin, OWC menggunakan gerakan gelombang secara horizontal yang masuk kedalam ruangan atau kolom sehingga gelombang tersebut menekan udara yang berada didalam kolom tersebut. Cara kerja yang lain yaitu dengan memanfaatkan *overtopping* dari gelombang laut pada saat gelombang pecah sehingga air laut masuk kedalam ruangan yang terdapat turbin sehingga turbin berputar akibat gerakan air laut tersebut.

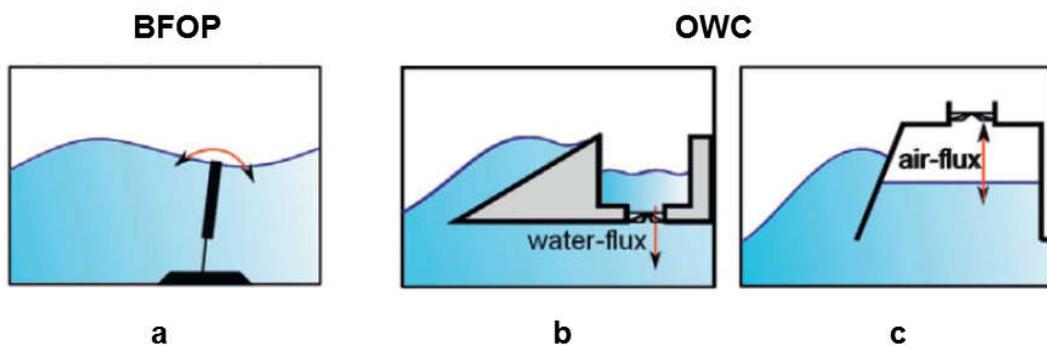
Tipe lain dari teknologi konversi gelombang laut adalah *Bottom Fixed Oscillating Flap* (BFOP). Adapun sistem kerja dari PTO pada pembangkit ini menggunakan sistem hidrolik. Gerakan surge pada pembangkit ini akan menekan pompa hidrolik yang terdapat di atas pivot atau titik putar pada dasar struktur pembangkit. Kemudian, gerakan dari pompa hidrolik tersebut menggerakkan oli hidrolik yang terdapat di darat. Fungsi gerakan oli ini untuk menggerakkan turbin hidrolik yang akan diubah menjadi energi listrik.



**Gambar 1.3.** Penampakan pembangkit energi tenaga gelombang laut tipe BFOP Oyster 2 yang diinstal di Irlandia  
(Sumber: *Babarit,dkk., 2015*)

Kelebihan dari struktur BFOP adalah mampu menangkap energi dari gelombang laut secara optimal dengan mempergunakan gerakan surge struktur, sedangkan kelebihan

dari OWC adalah sederhananya sistem kerja yaitu dengan tekanan akibat gerakan gelombang. Namun masing-masing struktur tersebut juga memiliki kekurangan antara lain untuk struktur BFOP yaitu sulitnya instalasi terutama instalasi jaringan hidrolis didasar laut, sedangkan kekurangan dari OWC yaitu apabila struktur ini diinstal secara fix di pinggir pantai maka gerakan gelombang akan banyak tereduksi sebelum sampai ke bibir kolom OWC sehingga struktur OWC harus diinstal di breakwater atau dikembangkan teknologi OWC sistem terapung, sedangkan untuk sistem terapung ini akan mempersulit proses instalasi. Ilustrasi dari perbandingan sistem kerja OWC dan BFOP dapat dilihat dari Gambar 1.4.



**Gambar 1.4.** Ilustrasi sistem kerja dari OWC dan BFOP. Gambar a. BFOP, b. OWC tipe Overtopping, dan c. OWC biasa

(Sumber: Benbouzid, 2015)

Dari pertimbangan potensi pengembangan teknologi konversi energi laut dan pertimbangan kelebihan dan kekurangan teknologi yang ada, maka penulis mengajukan model modifikasi teknologi konversi energi laut gabungan antara *oscillating wave column* dengan tipe gerak surge pada struktur *bottom fixed oscillating flap*. Maksud dari struktur yang digunakan adalah dengan meminjam teknis instalasi pada OWC dan mengambil cara mendapatkan energi secara teknis BFOP. Pada penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan analisis kinerja dari desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut hasil dari modifikasi struktur dan prinsip kerja OWC dan BFOP yang dinamakan tipe Flap-Float Horizontal (FFH). Pada tipe ini gerakan yang berpengaruh pada struktur flap adalah gerakan pitch. Analisis dilakukan dengan menggunakan uji laboratorium pada fasilitas laboratorium Jurusan

Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah

1. Berapa besar pengaruh bentuk geometris dari struktur flap pengapung pada teknologi konversi energi terhadap tegangan listrik dan torsi yang dihasilkan pada Power Take Off pada variasi gelombang yang diberikan?
2. Berapa besar daya yang dapat dihasilkan dari variasi bentuk geometris pelampung dengan variasi gelombang yang diberikan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh bentuk geometris dari struktur flap pengapung pada teknologi konversi energi terhadap tegangan listrik dan torsi yang dihasilkan pada Power Take Off pada variasi gelombang yang diberikan.
2. Mengetahui besar daya yang dapat dihasilkan dari variasi bentuk geometris pelampung dengan variasi gelombang yang diberikan.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah

1. Bagi Mahasiswa dan Perguruan Tinggi  
Sebagai bahan referensi untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan pengembangan dalam hal pembangkit listrik energi terbarukan yang bersumberkan gelombang laut.
2. Bagi Masyarakat  
Sebagai wujud daripada penerapan teknologi yang mudah, efisien, dan ramah lingkungan yang dapat dikembangkan secara mandiri.
3. Bagi Pemerintah  
Sebagai bahan referensi untuk membuat kebijakan dan pengembangan terhadap infrastruktur penyediaan listrik untuk daerah yang terpencil dan terluar yang berbatasan langsung dengan laut lepas.

## **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Gerakan struktur absorber gelombang laut adalah pitch.
2. Desain struktur teknologi konversi adalah modifikasi baru.
3. Tipe struktur adalah fixed. Analisis menggunakan permodelan fisik laboratorium.
4. Laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.
5. Variasi dilakukan pada bentuk flap atau pelampung dan panjang lengan flap.
6. Variasi bentuk pelampung adalah setengah bola, bentuk lambung kapal, dan bentuk pontoon dengan ukuran ditentukan.
7. Variasi panjang lengan adalah ditentukan Desain PTO menggunakan jenis generator putar.
8. Gelombang yang diujikan adalah gelombang reguler dengan variasi gelombang ditentukan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan yang digunakan yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilakukan, perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian ini untuk mahasiswa, perguruan tinggi, masyarakat, dan pemerintah., batasan masalah agar dalam pembahasan lebih fokus, dan tidak meluas, dan sistematika penulisan laporan penelitian tugas akhir.

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

Bab ini menjelaskan dasar-dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan perumusan masalah yang ada dalam analisis dan pembahasan penelitian PLTGL FFH.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam mengerjakan dan menyelesaikan penelitian PLTGL FFH.

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

Bab ini menjelaskan mengenai hasil analisis dari pengujian yang dilakukan. Hasil pengolahan data yang didapatkan digunakan untuk menjawab tujuan dari dilakukan penelitian ini.

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

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengolahan dan analisis data terhadap perumusan masalah yang ada beserta saran untuk penelitian tugas akhir ini beserta pengembangan selanjutnya.

### **BAB VI. DAFTAR PUSTAKA**

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





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

## **BAB II.**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Energi gelombang laut adalah salah satu energi baru terbarukan yang memiliki potensi pengembangan di Indonesia dengan potensi teoritis sebesar 510.000 MW (ASELI, 2011). Gelombang laut sebagai sumber daya utama untuk pembangkit energi listrik pada umumnya dapat dikembangkan menjadi beberapa jenis teknologi konversi. Teknologi tersebut tergantung kepada sifat daripada gelombang laut dimana akan mengakibatkan gerakan bebas pada struktur teknologi konversi. Gerakan bebas diatas gelombang laut terdiri dari 6 derajat kebebasan yaitu 3 gerakan translasi surge, sway, dan heave, dan 3 gerakan rotasi roll, yaw, dan pitch.

Teknologi konversi energi gelombang laut dapat dibagi menjadi beberapa tipe tergantung dengan cara memperoleh gaya mekanik yang akan ditransferkan menjadi energi listrik. *Oscillation Water Column/Chamber* (OWC) merupakan salah satu tipe teknologi konversi gelombang laut. Tipe ini memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan gerakan putaran turbin akibat tekanan udara. Gerakan turbin ini merupakan salah satu metode untuk mendapatkan energi listrik yang disebut sebagai Power Take Off atau PTO. Untuk mendapatkan tekanan udara yang nantinya digunakan untuk memutar turbin, OWC menggunakan gerakan gelombang secara horizontal yang masuk kedalam ruangan atau kolom sehingga gelombang tersebut menekan udara yang berada didalam kolom tersebut. Cara kerja yang lain yaitu dengan memanfaatkan overtopping dari gelombang laut pada saat gelombang pecah sehingga air laut masuk kedalam ruangan yang terdapat turbin sehingga turbin berputar akibat gerakan air laut tersebut.

Tipe lain dari teknologi konversi gelombang laut adalah *Bottom Fixed Oscillating Flap* (BFOP). Babarit dkk. (2012) membuat perbandingan terhadap 8 jenis dengan prinsip kerja yang berbeda terhadap performanya pada 5 lokasi yang telah ditentukan. Perbandingan tersebut bertujuan untuk membandingkan performa dari masing-masing teknologi dalam menghasilkan energi terhadap waktu, besaran dan

karakteristik permukaan gelombang, dan karakteristik masing-masing PTO. Dari hasil tersebut didapatkan untuk beberapa karakteristik yang ditinjau, teknologi BFOP memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik. Adapun sistem kerja dari PTO pada BFOP ini menggunakan sistem hidrolik. Gerakan surge pada BFOP ini akan menekan pompa hidrolik yang terdapat diatas pivot pada dasar struktur, dari pompa tersebut menggerakkan oli hidrolis didarat untuk menggerakkan turbin hidrolik yang akan diubah menjadi energi listrik.

Lynn (2014) menyebutkan ada 3 prinsip kerja yang harus diketahui untuk teknologi konversi energi gelombang laut yaitu kondisi alat yang terapung yang memiliki gerakan bebas, tuning dan damping akibat gerakan gelombang yang mengenai alat, dan gerakan alat setelah mendapat gaya gelombang. OWC pada prinsipnya menggunakan gerakan gelombang pada permukaannya saja, sedangkan BFOP menggunakan gerakan gelombang yang mengakibatkan gerakan surge pada struktur BFOP. Dari struktur tersebut, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

Desain dari teknologi konversi jenis baru harus memiliki kemampuan yang optimum untuk menghasilkan energi listrik. Optimasi tersebut harus memperhatikan hubungan yang terjadi ketika struktur berinteraksi dengan gelombang datang. Sehingga diperlukan analisis untuk melakukan optimasi tersebut dengan analisis simulasi (Amir dkk., 2014). Simulasi dapat dilakukan menggunakan 2 cara yaitu simulasi dengan menggunakan aplikasi software dan atau simulasi pada laboratorium dengan data-data yang telah divalidasi sebelumnya.

Pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan prinsip OWC dan BFOP telah dilakukan dan dikembangkan oleh *Wave Star Energy*, Denmark sebagaimana dapat dilihat dari Gambar 2.1, dan *Eco Wave Power*, Israel sebagaimana dapat dilihat dari Gambar 2.2. Dengan prinsip yang hampir sama, perbedaan dari kedua jenis struktur pembangkit tersebut dapat dilihat dari penggunaan jenis pelampung yang berbeda.



**Gambar 2.1.** Struktur Pembangkit *Wave Star Energy*  
(Sumber: Gron, 2013)



**Gambar 2.2.** Struktur Pembangkit *Eco Wave Power*  
(Sumber: EcoWavePower, 2019)

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Teori Gelombang Laut Reguler

Gelombang laut terjadi akibat gaya-gaya luar yang mengenai fluida. Gaya-gaya luar tersebut dapat berupa gangguan akibat angin, pergerakan tanah, dan gempa bumi. Ketika gelombang terbentuk, gaya gravitasi dan tegangan permukaan akan

bereaksi untuk menimbulkan rambatan gelombang. Bentuk ideal gelombang beramplitudo kecil di perairan dalam adalah sinusoidal.

Menurut Triatmodjo (1999), terdapat parameter - parameter yang menggambarkan karakteristik gelombang yaitu :

1. Panjang gelombang  $L$ , yaitu jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah gelombang yang saling berurutan.
2. Tinggi gelombang  $H$ , yaitu jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang.
3. Periode gelombang  $T$ , yaitu waktu yang ditempuh untuk mencapai satu lintasan gelombang dengan satuan detik (s).

4. Frekuensi gelombang  $f$ , yaitu  $1/T$  dengan satuan Hz. (2.1)

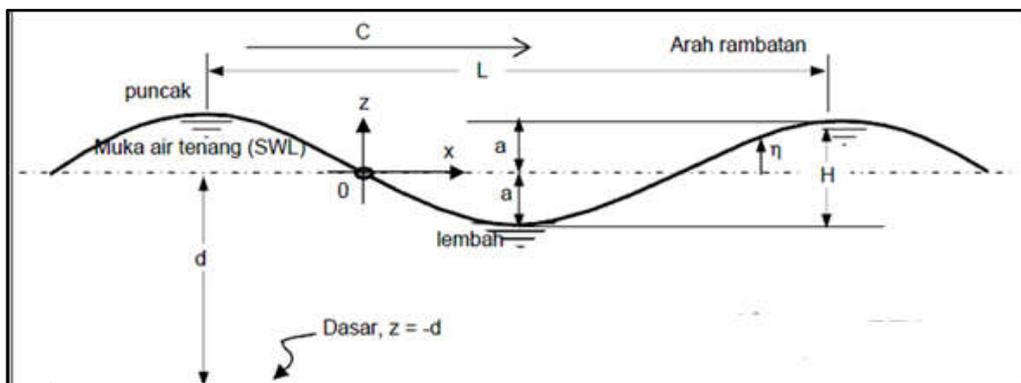
5. Frekuensi angular  $\omega$ , yaitu  $2\pi/T$  dengan satuan rad. (2.2)

6. Kedalaman perairan  $d$ , dimana gelombang tersebut dirambatkan.

7. Kecepatan fase  $c$ , dimana merupakan hasil panjang gelombang per periodenya atau  $c = L/T$ . (2.3)

8. *Wave steepness parameter*  $S$ , dimana merupakan parameter non-dimensional untuk gelombang yang didapatkan dari  $2\pi H/gT^2$ . (2.4)

Untuk lebih mengetahui parameter-parameter yang terdapat dalam gelombang, dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.3.



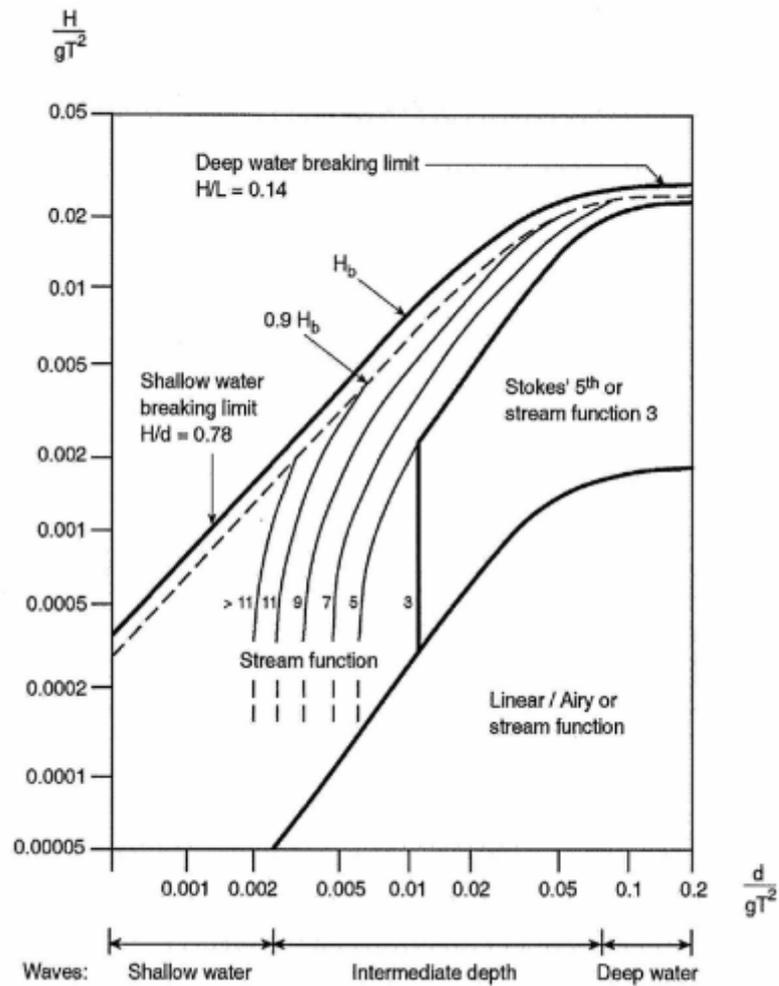
**Gambar 2.3.** Parameter gelombang laut reguler

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Dimana :

- a = amplitudo gelombang
- c = kecepatan gelombang
- d = kedalaman permukaan air rata-rata dari dasar tanah
- H = tinggi gelombang dari lembah ke puncak
- L = panjang gelombang
- $\eta$  = perpindahan arah horizontal dari puncak gelombang
- y = ketinggian gelombang dari muka air tenang
- h(t) = profil permukaan gelombang pada saat diatas muka air tenang

Parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan karakteristik gelombang dan penentuan persamaan teori gelombang yang digunakan untuk menentukan parameter tambahan gelombang, seperti kecepatan, percepatan, dan kecepatan partikel gelombang. Dengan menggunakan Gambar 2.4 dimana parameter-parameter diatas sudah diketahui maka teori gelombang yang akan digunakan dapat diketahui.



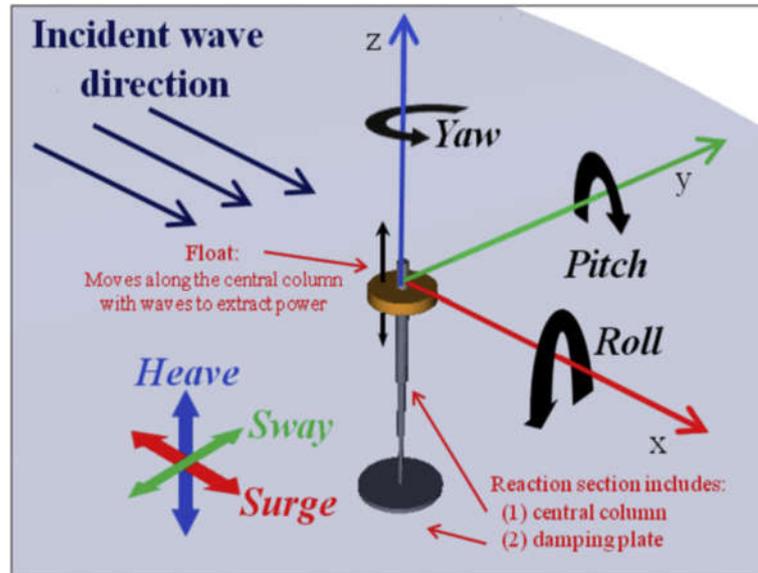
**Gambar 2.4.** Area Penerapan Teori Gelombang Laut

(Sumber: DNV RP-C205, 2014)

### 2.2.2 Gerakan Struktur Di Atas Air

Struktur yang berada di atas laut memiliki gerakan yang dinamis. Gerakan tersebut terjadi karena beban daripada gelombang laut yang mengenai struktur sehingga struktur bergerak pada frekuensi tertentu dan terhadap arah tertentu. Gerakan dinamis yang terjadi pada struktur dapat dibagi menjadi gerak translasi dan gerak rotasi. Gerak translasi adalah gerakan dari struktur yang mengacu kepada gerakan horizontal atau vertical terhadap sumbu x yang dinamakan gerak surge, y yang dinamakan gerak sway, dan z yang dinamakan gerak heave. Sedangkan gerak rotasi adalah gerakan berputar terhadap masing-masing sumbu x yang dinamakan gerak roll, y yang dinamakan gerak pitch, dan z yang

dinamakan gerak yaw.. Ilustrasi gerakan struktur di atas permukaan tersebut dapat dilihat di ilustrasi Gambar 2.5. berikut.



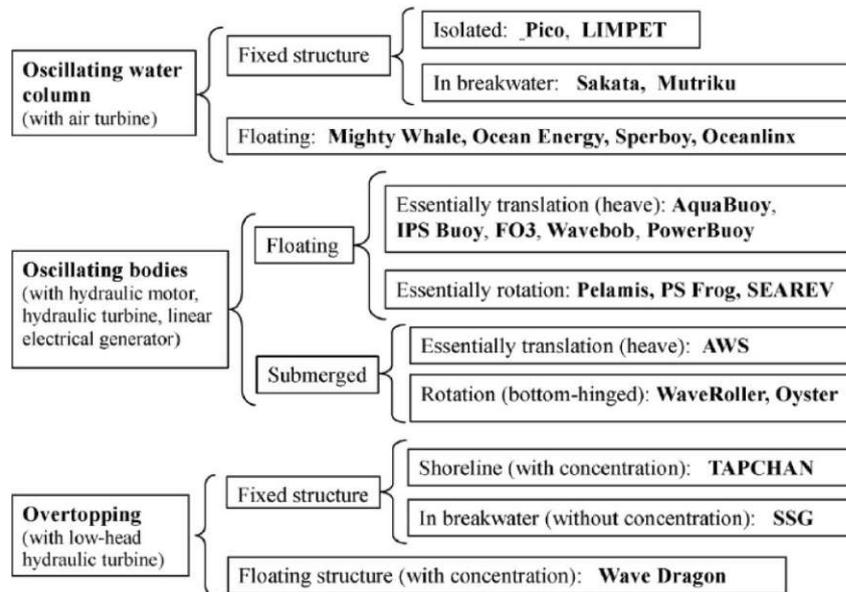
**Gambar 2.5.** Ilustrasi Gerakan Bebas Dari Struktur Di Atas Air

(Sumber: Li dan Yu, 2012)

### 2.2.3 Struktur Bangunan Pembangkit Energi Gelombang Laut

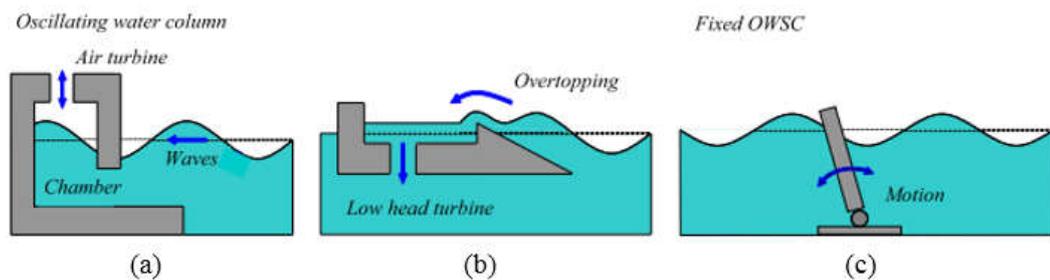
Menurut Babarit (2017) mengutip *European Marine Energy Centre* (EMEC) bahwa untuk tahun 2017 telah ada lebih dari 200 macam struktur konversi energi tenaga gelombang laut yang sedang dikembangkan. Permasalahan yang timbul dalam pengembangan struktur konversi selama ini bukanlah terdapat pada faktor teknis, atau yang bersifat teknologi penyediaannya, akan tetapi lebih kepada faktor ekonomis yang dihasilkan. Prinsip dan skema kerja dari struktur konversi energi menjadi ciri utama bentuk dari struktur konversi energi itu sendiri.

Babarit (2017) membuat skema teknologi konversi energy gelombang laut yang didasarkan pada skema yang dibuat Falcao. Skema tersebut dapat dijadikan sebagai acuan atau pedoman untuk memperoleh energy dari gelombang laut. Skema dapat dilihat dari Gambar 2.6 berikut.



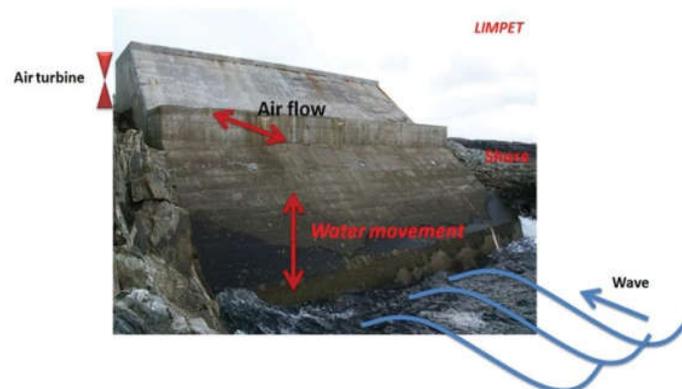
**Gambar 2.6.** Skema karakter penangkapan energy gelombang laut  
(Sumber: Babarit, 2017)

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa paling tidak terdapat 3 cara utama suatu teknologi mendapatkan energy dari gelombang laut. Ketiga cara tersebut memiliki prinsip untuk *Oscillating Water Column* (OWC) yaitu dengan memanfaatkan tekanan gelombang laut, *Oscillating Bodies* yaitu dengan memanfaatkan pergerakan dari struktur bangunan terhadap gelombang laut, dan *Overtopping* yaitu memanfaatkan gerakan *overtopping* gelombang laut. Sebagai ilustrasi perbedaan dari ketiga jenis cara kerja teknologi konversi energy gelombang laut, dapat dilihat dari Gambar 2.7. Dari ketiga prinsip tersebut dapat menghasilkan beberapa jenis bangunan yang dapat dijadikan struktur teknologi konversi. Sehingga paling tidak terdapat 10 jenis struktur teknologi konversi energy gelombang laut.



**Gambar 2.7.** Ilustrasi cara kerja operasi teknologi konversi energi gelombang laut (a) *Oscillating Water Column*, (b) *Overtopping*, (c) *Oscillating Bodies*  
(Sumber: Babarit, 2017)

Dari ilustrasi yang didapatkan di Gambar 2.7, beberapa implementasi dan prototype telah diinstal di beberapa wilayah oleh beberapa lembaga, baik pemerintah maupun swasta. Antara lain bangunan OWC dapat dilihat dari bangunannya yang dibangun relative menempel dengan bangunan pantai, karena sedapat mungkin bangunan penopang dari struktur ini haruslah *fixed* tetap, sebagai contoh atas bangunan ini adalah Wavegen LIMPET di Skotlandia pada 2006 yang dapat dilihat di Gambar 2.8. Adapun untuk bangunan *Overtopping* bisa dibangun baik secara *fixed* pada bangunan pantai atau dapat dibangun secara terpisah yaitu di lepas pantai, begitu pula untuk bangunan *Oscillating bodies*. Sebagai contoh bangunan *Overtopping* dan *Oscillating bodies* berturut-turut adalah Wave Dragon di Denmark pada 2010 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.9, dan Wavestar di Denmark pada 2011 sebagaimana Gambar 2.1.



**Gambar 2.8.** Bangunan OWC Wavegen LIMPET Skotlandia tahun 2006 beserta ilustrasi cara kerjanya  
(Sumber: Karimirad, 2014)



**Gambar 2.9.** Bangunan Wave Dragon Denmark tahun 2010  
(Sumber: Karimirad, 2014)

Babarit dkk. (2012) membuat perbandingan terhadap 8 jenis struktur teknologi konversi energi dengan prinsip-prinsip kerja yang berbeda. Perbandingan tersebut bertujuan untuk membandingkan performa dari masing-masing teknologi dalam menghasilkan energi terhadap waktu, besaran dan karakteristik permukaan gelombang, dan karakteristik masing-masing PTO. Antara lain dari hasil perbandingan tersebut didapatkan bahwa teknologi BFOP memiliki tingkat efisiensi yang paling baik.

#### **2.2.4 Permodelan Fisik**

Pemodelan fisik merupakan percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similaritas yang cukup memadai. Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sama dengan yang ada di prototipe.

Untuk melakukan permodelan fisik membutuhkan hukum permodelan dan skala. Dalam permodelan fisik pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan hukum permodelan Froude dimana bilangan Froude mempertimbangkan efek gravitasi dari fluida. Bilangan Froude sendiri didefinisikan sebagai rasio dari gaya inersia dengan gaya gravitasi dari fluida di medium (Chakrabarti, 1994).

Skala digunakan untuk menentukan kesebangunan antara struktur di alam dengan yang akan di modelkan di laboratorium. Semakin besar skala yang digunakan akan memberikan nilai hasil uji coba yang lebih mendekati kondisi ketika struktur tersebut di alam. Melalui aturan kesebangunan (similarity) dapat dijelaskan pada persamaan di bawah ini:

$$l_p = \lambda \cdot l_m ; \quad (2.5)$$

dimana  $l_p$  adalah dimensi (panjang, lebar, tinggi) ketika di alam,  $l_m$  dimensi (panjang, lebar, tinggi) model dan  $\lambda$  adalah faktor skala yang digunakan. Dengan menggunakan aturan Froude, untuk faktor skala yang diberikan pada variabel-variabel yang terdapat di dalam model adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1.** Faktor Skala pada Aturan Froude

(Sumber: Chakrabarti, 1994)

Variabel	Faktor Skala
H, L, d	$\lambda$
T, c	$\sqrt{\lambda}$

### 2.2.5 Gaya Yang Bekerja

Pada umumnya suatu benda yang tercelup kedalam air pasti memiliki gaya angkat hidrostatis atau disebut *buoyancy*. Gaya tersebut berasal dari volume benda yang tercelup dengan massa jenis zat cair dan gravitasi bumi. Persamaan dari gaya tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V_C ; \quad (2.6)$$

Dimana  $F_A$  adalah gaya angkat dengan satuan newton (N),  $r$  adalah massa jenis zat cair dengan satuan  $\text{kg/m}^3$ ,  $g$  adalah gaya gravitasi bumi dengan satuan  $\text{m/s}^2$ , dan  $V_c$  adalah volume benda yang tercelup dengan satuan  $\text{m}^3$ .

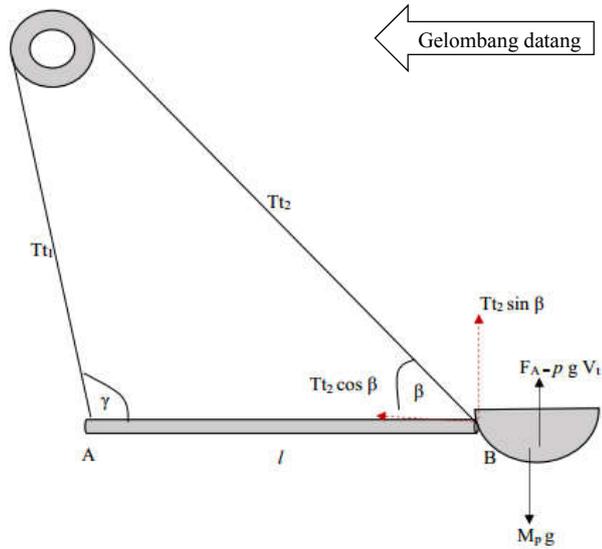
Dalam penelitian berikut, dengan menderivasi persamaan dari gaya-gaya yang bekerja dengan skenario cara kerja pembangkit energi dalam menerima pengaruh gaya gelombang pada struktur pelampung didapatkan persamaan sebagai berikut. Untuk skenario cara kerja struktur dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Pada kondisi pelampung dalam keadaan diam yaitu belum terkena gelombang datang, maka sebagaimana hukum umum Newton I yaitu

$$\begin{aligned} \sum F &= 0, \text{keadaan diam} \\ -M_p g + F_A + T_{t2} \sin \beta &= 0 \\ T_{t2} &= \frac{M_p g - F_A}{\sin \beta}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \sum \tau &= 0, \text{keadaan diam} \\ T_{t1} R - T_{t2} R &= 0 \\ T_{t1} &= T_{t2}; \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dalam persamaan tersebut, nilai  $\tau$  adalah nilai dari gaya yang diterima oleh gear yang terhubung kepada generator. Gear tersebut digunakan untuk memutar generator sehingga dari property gear tersebut akan digunakan untuk menghitung nilai frekuensi putaran gear.



Gambar 2.10. Skenario Kerja Struktur

Pada saat struktur pelampung berosilasi karena menerima gaya dari gelombang yang datang seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 diatas, maka tali penghubung antara lengan dan gear akan bergerak dan memberikan tegangan untuk memutar gear. Pada keadaan struktur berosilasi maka kondisi tali yang terpaut pada gear akan bereaksi untuk struktur yang naik turun maka  $T_{t1}$  memberikan tegangan pada gear sehingga menarik gear untuk bergerak dan  $T_{t2}$  kendur sehingga tidak memberikan tegangan sehingga bernilai 0. Sehingga didapatkan persamaan untuk keadaan struktur yang berosilasi adalah,

$$\sum \tau = I\alpha$$

$$T_{t1}R - T_{t2}R = I\alpha$$

$$\left(\frac{M_p g - F_A}{\sin \beta}\right)R - 0 = I\alpha$$

$$\alpha = \frac{(M_p g - F_A)R}{I \sin \beta}$$

dimana,

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

sehingga,

$$\omega = \frac{(M_p g - F_A) R t}{I \sin \beta}; \quad (2.9)$$

### 2.2.6 Momen Gaya (Torsi)

Momen gaya atau torsi merupakan kemampuan suatu gaya untuk memutar benda supaya benda tersebut dapat berputar atau berotasi. Prinsip kerja torsi secara umum adalah semakin besar terhadap gaya yang didapat, maka momen gaya akan semakin besar. Jumini dan Muhliah (2013) menyatakan apabila semakin panjang lengan putar, semakin besar pula momen gaya yang ada. Rotasi pada umumnya dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tau = I \cdot \frac{\omega}{t}; \quad (2.10)$$

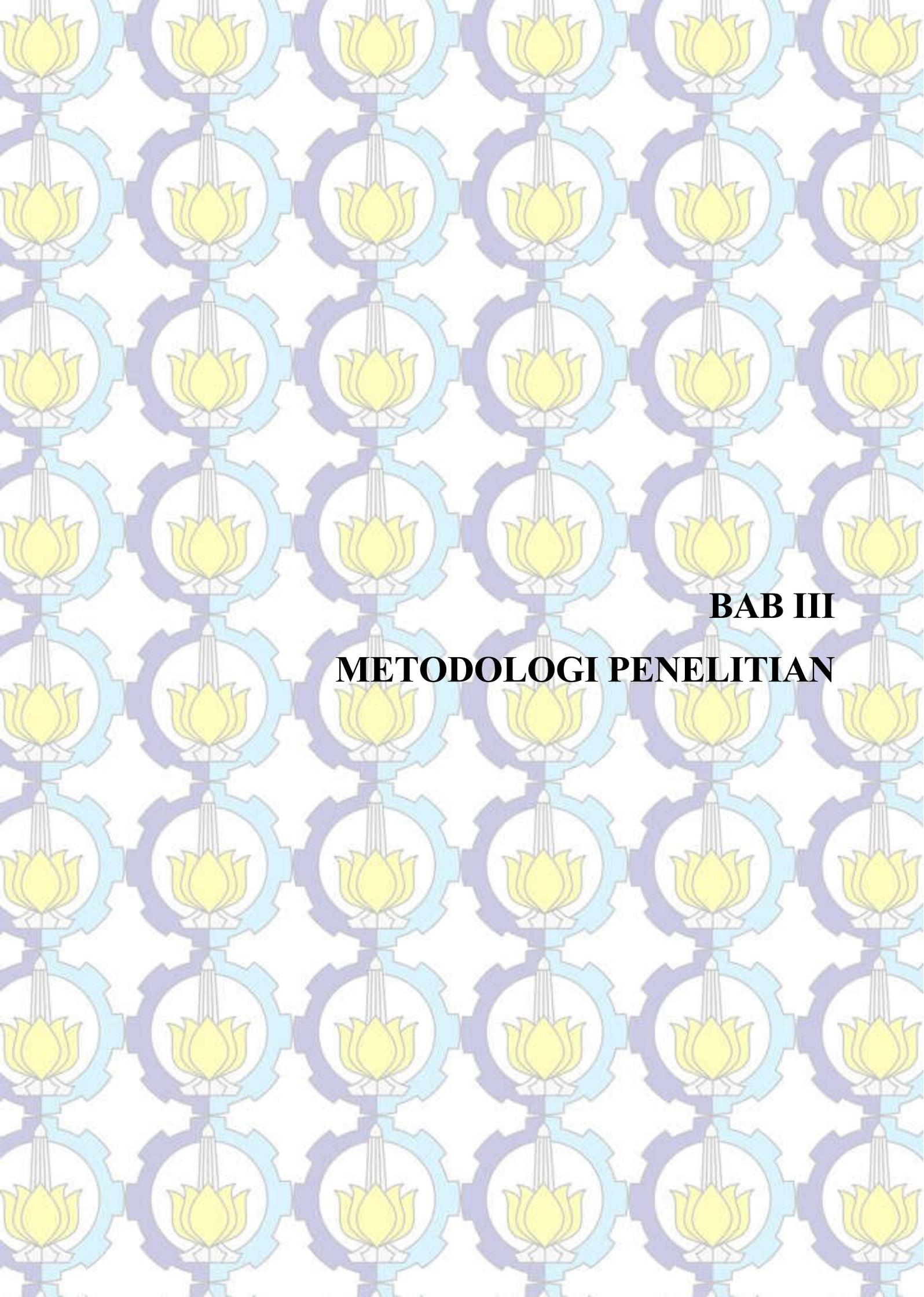
Dimana  $\tau$  adalah torsi (Nm),  $I$  adalah momen inersia ( $\text{Kg.m}^2$ ),  $\omega$  adalah kecepatan sudut (rpm), dan  $t$  adalah waktu (s)

### 2.2.7 Motor Listrik

Motor listrik merupakan instrument yang digunakan untuk mengubah atau mengkonversikan gerak menjadi energi listrik atau sebaliknya. Didalam menentukan motor listrik sangat penting untuk mengetahui parameter elektrik dan mekanik. Parameter yang berhubungan antara torsi dengan daya listrik dalam motor listrik tersebut dapat dinyatakan dalam formula yang diberikan Lynn (2014) berikut:

$$P = \tau \cdot \omega \quad (2.11)$$

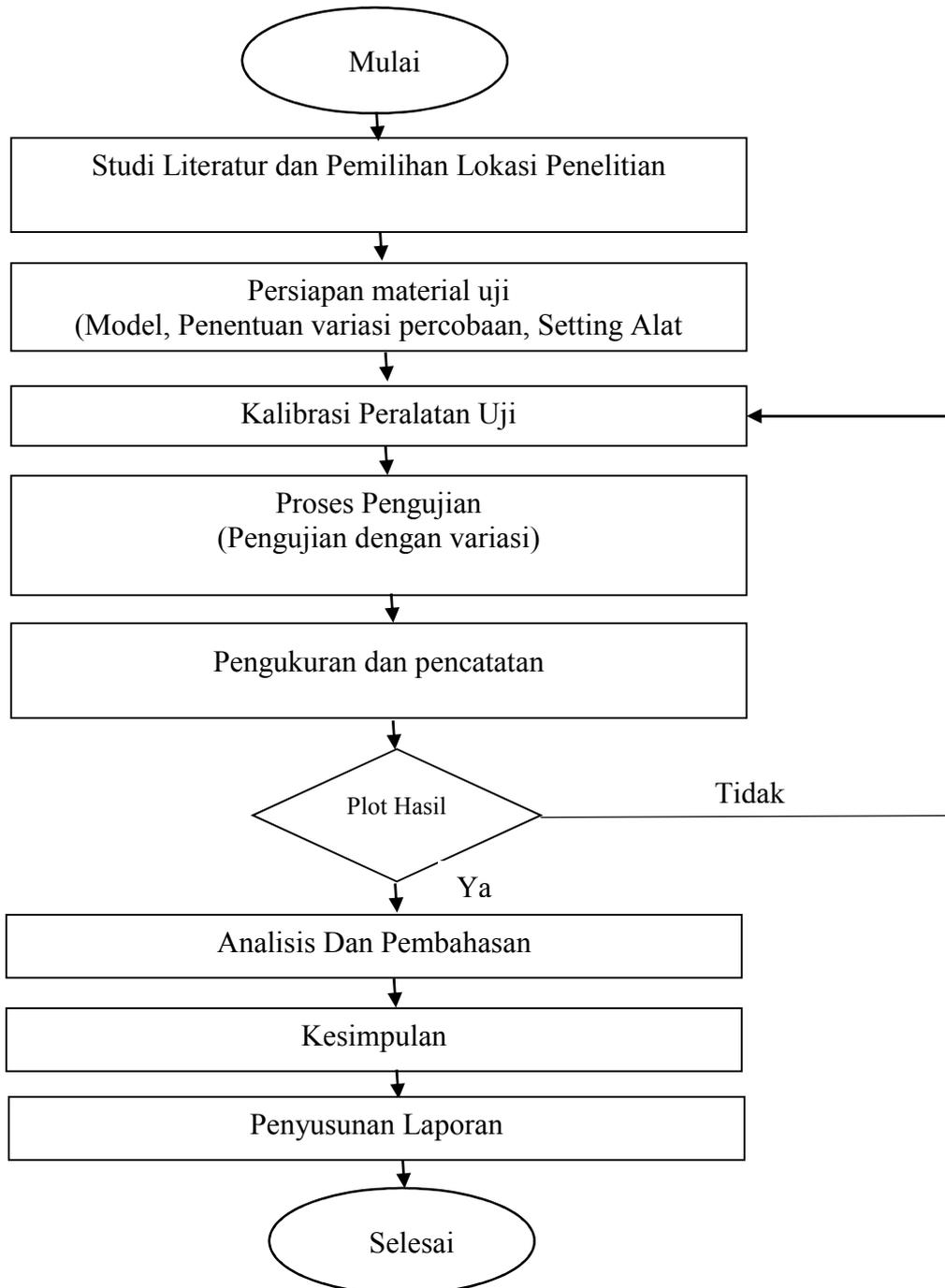
Dimana  $P$  adalah daya listrik pada motor dengan satuan watt (w),  $\tau$  adalah torsi dalam satuan newton kali meter (N.m), dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut dalam rotasi per menit (rpm).



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

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

**3.1 Diagram Alir**



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Penjelasan langkah-langkah penelitian dalam diagram alir diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literature dimaksudkan untuk mengumpulkan bahan sebelum dimulai penelitian. Studi literatur ini mengumpulkan dan menggunakan sebaik mungkin referensi yang berkaitan, yang membahas tentang gerakan struktur surge sebagai jenis teknologi konversi. Literatur terdiri dari jurnal/paper baik tingkat internasional, nasional, maupun universitas, proceeding baik tingkat internasional maupun nasional, penelitian mahasiswa baik doktoral, master, atau sarjana S1, dan buku terkait, maupun surat kabar yang relevan.

#### 3.2.2 Persiapan Material Uji

Persiapan material uji dilakukan untuk mempersiapkan model dan alat alat yang akan digunakan selama proses pengujian di laboratorium. Proses ini meliputi persiapan model, penentuan variasi percobaan sebagai variabel bebas dalam penelitan, dan melakukan setting pada lokasi percobaan yaitu pada flume tank.

- a. Variasi yang digunakan adalah,
  - i. Bentuk flap atau pelampung yang terdiri dari bentuk setengah bola, bentuk kotak, dan bentuk *concave*.
  - ii. Untuk semua bentuk memiliki dimensi umum dalam model sebagai berikut;
    1. Panjang = 25 cm
    2. Lebar = 25 cm
    3. Tinggi = 12.5 cm
    4. Tinggi tercelup = 12 cm
  - iii. Sedangkan untuk properti pelampung,

**Tabel 3.1.** Properti Pelampung

No	Berat (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Volume Tercelup (cm <sup>3</sup> )
Setengah Bola	2000	2044,3	1963,5
Kotak	7000	7812,5	7500
Concave	4000	4277,7	3965,2

Berikut adalah gambar 3.1. – 3.3. untuk memperjelas pelampung yang akan digunakan dalam uji coba.



**Gambar 3.1.** Bentuk Setengah Bola



**Gambar 3.2.** Bentuk Kotak



**Gambar 3.3.** Bentuk *Concave*

- iv. Untuk model yang akan diujikan di dalam kolam flume tank merupakan model yang telah diskala 1 : 20 daripada struktur asli yang mengacu pada dimensi pelampung struktur *WaveStar* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2.** Spesifikasi Struktur *WaveStar*

(Sumber: Marquis, dkk., 2011)

No	Parameter	<i>Commercial Wave Star Energy</i>
1	Diameter Pelampung	5 m
2	Ketinggian Pelampung	2 m di bawah MWL 0.5 m di atas MWL
3	Panjang Lengan	10 m dan 12 m
4	Berat	1000 ton
5	Energi yang dihasilkan	110 kW

- v. Sedangkan untuk panjang lengan adalah sebagai berikut:
1. Panjang lengan putar 50 cm

- vi. Berikut adalah gambar 3.4. untuk memperjelas bentuk serta dimensi lengan putar yang akan digunakan dalam uji coba.



**Gambar 3.4.** Lengan Putar

- b. Tinggi dan periode gelombang reguler didapatkan dari Akhwady (2012) untuk nilai gelombang di alam. Dari besaran tersebut, penulis menggunakan aturan skala Froude untuk menyesuaikan dengan lingkungan pengujian di dalam laboratorium. Adapun besaran skala yang digunakan yaitu skala 1 : 20 yang digunakan untuk *input* gelombang di dalam laboratorium. Secara lebih lanjut perbandingan antara besaran property gelombang di alam dengan di laboratorium dapat dilihat di tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3.** Perbandingan Nilai Gelombang

(Sumber: Akhwady, 2012)

Alam			Laboratorium		
Hs (cm)	T (s)	H/gT <sup>2</sup>	Hlab (cm)	Tlab (s)	H/gT <sup>2</sup>
18.1	3.93	0.1172	0.91	0.88	0.1172
17.1	4.04	0.1048	0.86	0.90	0.1048
16.8	3.99	0.1055	0.84	0.89	0.1055
15.4	3.98	0.0972	0.77	0.89	0.0972
14.2	4.32	0.0761	0.71	0.97	0.0761
13.6	3.67	0.1010	0.68	0.82	0.1010
8.5	3.71	0.0618	0.43	0.83	0.0618
8.2	2.62	0.1195	0.41	0.59	0.1195
2.9	2.87	0.0352	0.15	0.64	0.0352
2.7	2.92	0.0317	0.14	0.65	0.0317
1.3	3.49	0.0107	0.07	0.78	0.0107
0.9	3.95	0.0058	0.05	0.88	0.0058

- c. Dinamo yang digunakan sebagai generator dalam ujicoba ini adalah dinamo tipe searah (DC) dengan spesifikasi sebagai berikut.

**Tabel 3.4.** Spesifikasi Dinamo DC

No	Spesifikasi	Harga
1	Tegangan Listrik	12 – 24 Volt
2	Arus Listrik	0.14 – 0.20 A
3	Torsi	0.2 N.m
4	Diameter	4 cm
5	Panjang	9 cm
6	Berat	150 g

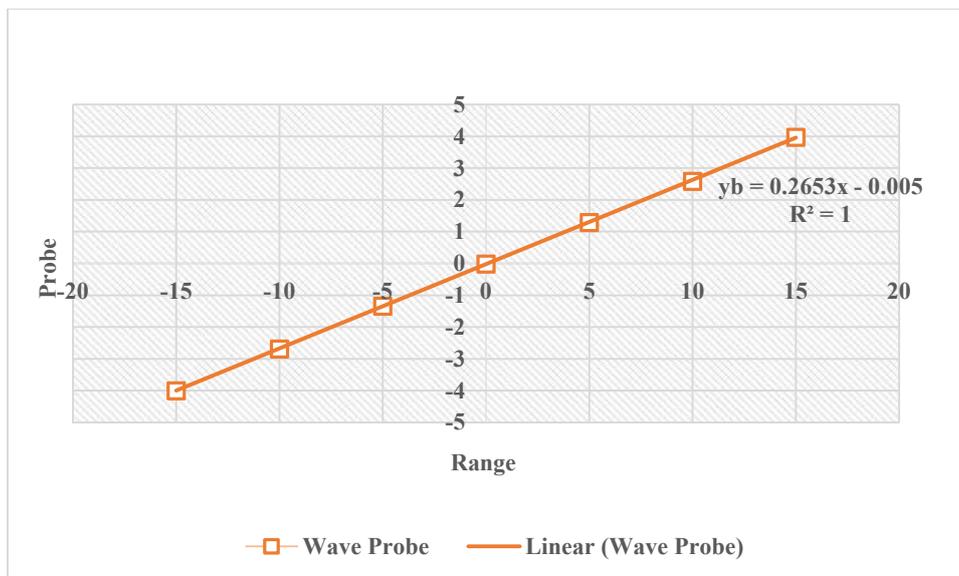
### 3.2.3 Kalibrasi Alat Uji

Kalibrasi dimaksudkan untuk mencari hubungan antar perubahan tinggi elektroda yang tercelup air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam recorder. Kalibrasi ini dilakukan pada saat akan melakukan pengujian didalam laboratorium. Kalibrasi dilakukan khususnya pada wave probe dengan memasukkan probe pada kedalaman air tertentu dan mencatat berapa nilai voltase

yang didapat. Demikian dengan kedalaman jarak ukur yang konsisten sehingga dapat diketahui pola persamaan dari pencatatan data melalui wave probe. Nilai regresi yang paling baik yaitu mendekati 1.

**Tabel 3.5.** Tabel hasil kalibrasi probe

Kalibrasi Probe	
Jarak Ukur (cm)	Probe (volt)
15	3,983
10	2,595
5	1,3
0	-0,011
-5	-1,336
-10	-2,683
-15	-4,002



**Gambar 3.5.** Grafik kalibrasi probe

### 3.2.4 Proses Pengujian

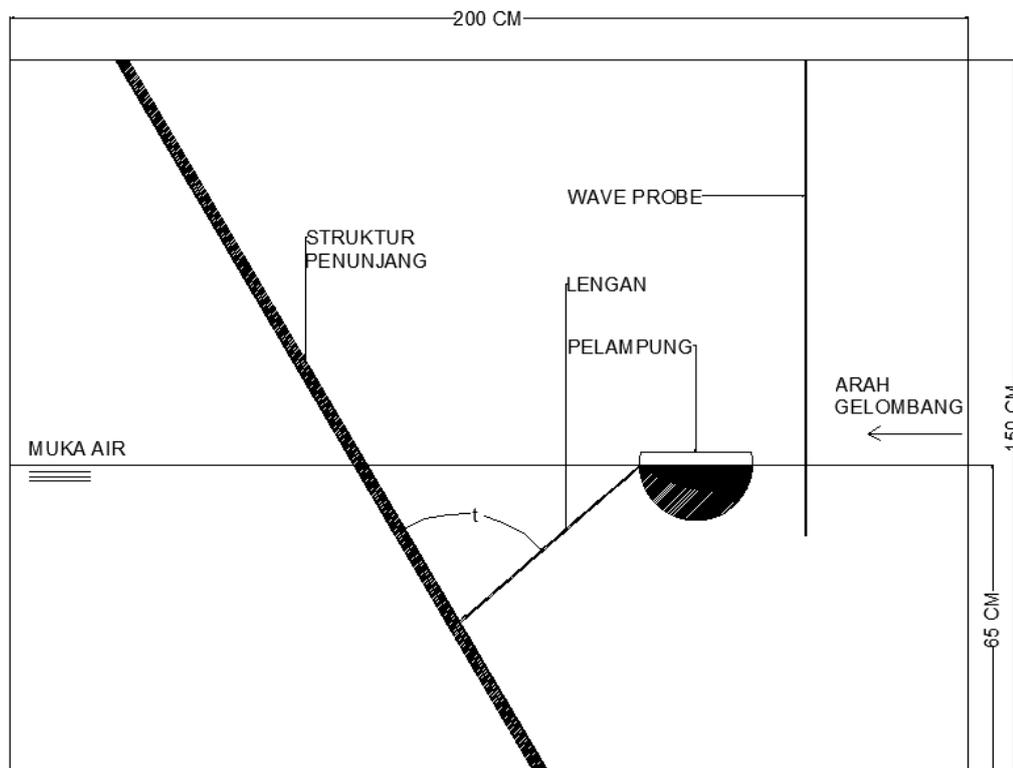
Pengujian model fisik dilakukan di kolam gelombang (flume tank) pada Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS. Berikut merupakan profil kolam,

- a. Panjang = 20 m.
- b. Lebar = 2.3 m.
- c. Tinggi = 2.5 m.

Adapun kapasitas pembangkit gelombang yang dimiliki oleh kolam ini adalah,

- d.  $H_{max} = 30$  cm untuk gelombang reguler.
- e.  $H_{max} = 7$  cm untuk gelombang irregular.
- f.  $T_{max} = 3$  s untuk gelombang reguler dan irregular.

Pengujian dilakukan untuk masing-masing model dengan variasi gelombang yang telah diketahui dari tabel 3.1. di atas sehingga total uji coba adalah 12 variasi gelombang dikalikan dengan 3 variasi bentuk pelampung yaitu 36 kali variasi uji coba yang dilakukan selama penelitian tugas akhir. Pengujian untuk satu variasi dilakukan selama 60 detik dengan pencatatan daya listrik yang dihasilkan pada Voltmeter setiap 1 detik sekali. Gambar 3.5. adalah penempatan struktur saat pengujian dilakukan. Dari penempatan model tersebut sudut perletakan lengan putar  $t$  adalah  $70^\circ$ .



**Gambar 3.6.** Penempatan Model di dalam Kolam *Flumetank*

Secara nyata enempatan struktur model dapat dilihat melalui Gambar 3.7 berikut. Posisi dari struktur dapat dilihat dari sisi atas dan dari sisi samping untuk

memudahkan bagaimana pengujian diilustrasikan. Pergerakan terjadi pada pelampung yang terhubung dengan tali pengikat ke generator yang berada di atasnya. Generator berupa dynamo DC yang digunakan untuk menghasilkan tegangan listrik.



**Gambar 3.7.** Penempatan Model di dalam Kolam *Flumetank*

### 3.2.5 Pengukuran dan Pencatatan

Pengukuran dilakukan selama selang waktu 60 detik dengan interval pencatatan dilakukan pada setiap 1 detik sekali. Pengukuran dan pencatatan dilakukan untuk mengetahui daya berupa voltase yang didapatkan daripada gerak gear dan torsi yang didapat daripada gerak lengan dan gerak gear. Nilai voltase tersebut didapatkan dengan menggunakan Voltameter.

**Tabel 3.6.** Tabel variasi percobaan

No.	Jumlah Variasi Percobaan			
	$H/gT^2$	Setengah bola	Kotak	Concave
1	0.1172	x	x	x
2	0.1048	x	x	x
3	0.1055	x	x	x
4	0.0972	x	x	x
5	0.0761	x	x	x
6	0.1010	x	x	x
7	0.0618	x	x	x
8	0.1195	x	x	x
9	0.0352	x	x	x
10	0.0317	x	x	x
11	0.0107	x	x	x
12	0.0058	x	x	x

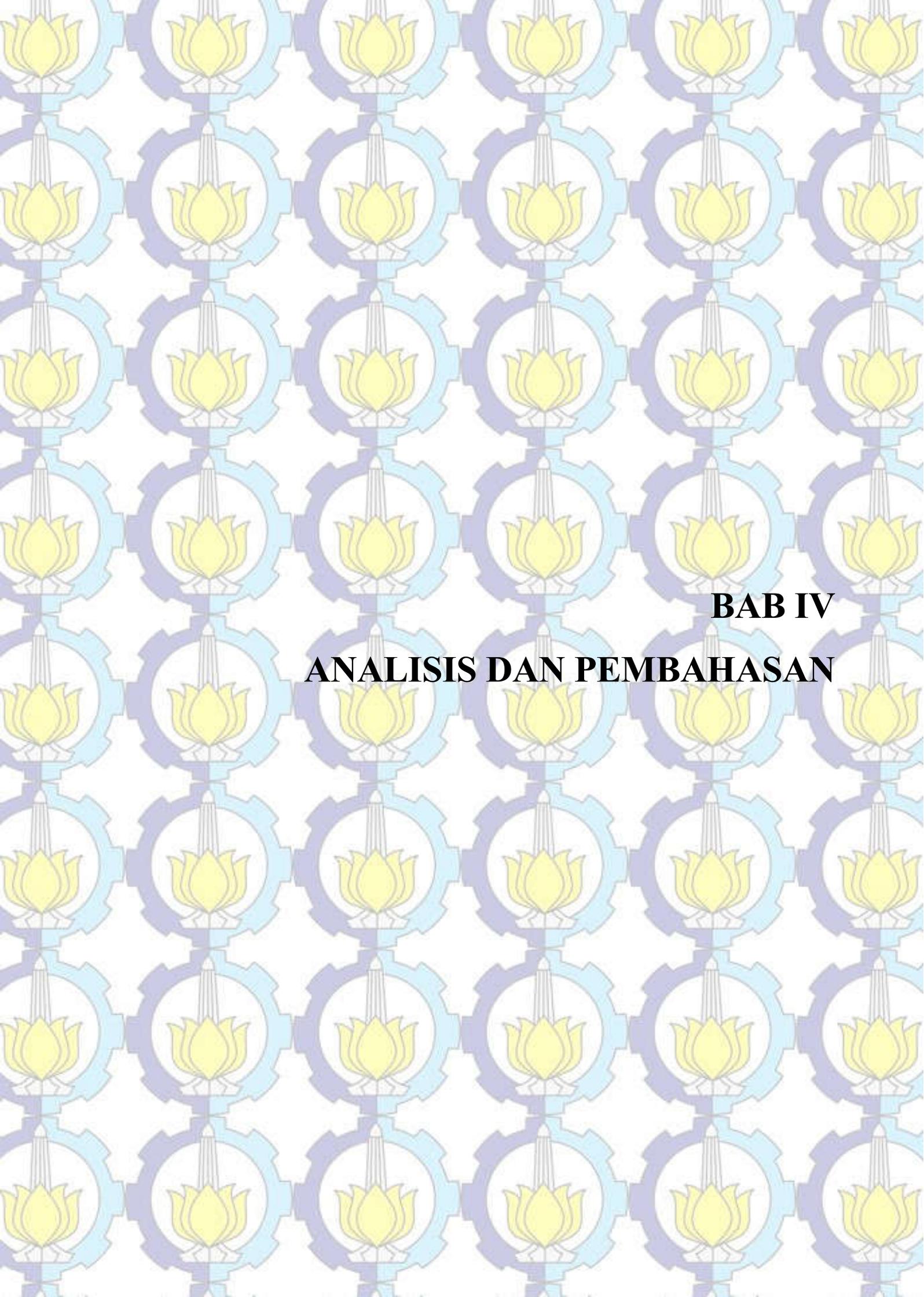
### **3.2.6 Analisis dan Pembahasan**

Analisis dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dan hubungan dari jenis variasi-variasi yang telah dibuat pada percobaan. Analisis ini dilakukan dengan pertama-tama mengumpulkan hasil dari pengukuran dan pencatatan pada seluruh variasi yang telah dibuat. Dari hasil tersebut kita sebut sebagai data mentah sebelum diolah untuk mengetahui pola hubungan antara masing-masing parameter, yaitu bentuk pelampung dengan voltase dan torsi.

Pembahasan dan pengolahan data dilakukan dengan menggambar grafik dari data mentah terhadap pengaruh parameter-parameter yang divariasikan dengan efisiensi struktur terhadap daya listrik yang didapatkan. Hasil dari grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan keseluruhan parameter yang telah dibuat, maka akan ditemukan pola hubungan dan besar hubungan yang didapatkan selama percobaan.

### **3.2.7 Penulisan Laporan**

Tahap ini merupakan tahap penyusunan laporan tugas akhir dari hasil penelitian model PLTGL FFH. Penulisan ini diharapkan mampu menjawab persoalan dengan sistematis dan jelas.



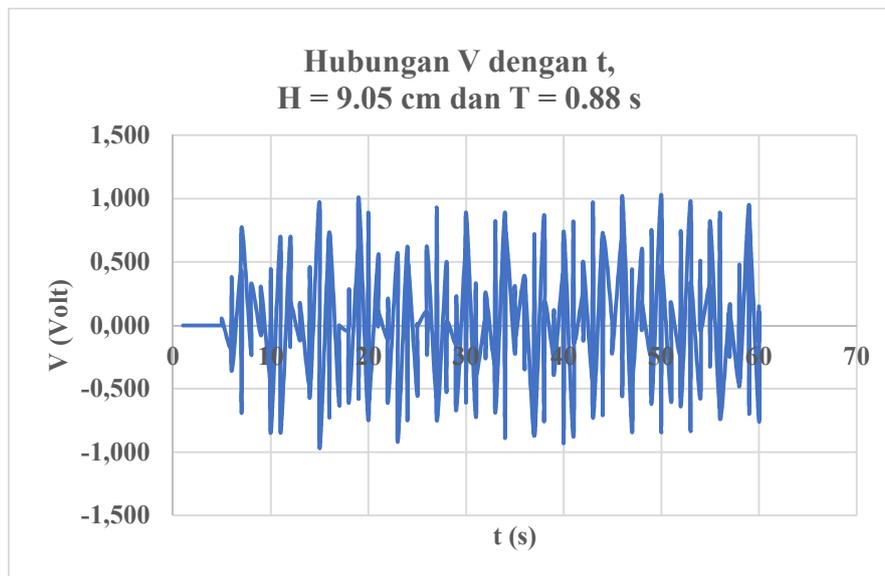
**BAB IV**  
**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV. PEMBAHASAN

### 4.1 Pengukuran Tegangan

Uji coba model fisik PLTGL FFH yang telah dilakukan pada kolam gelombang (*flume tank*) di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS untuk satu tipe pelampung yaitu setengah bola (*hemisphere*). Uji coba dilakukan selama kurun waktu 60 detik untuk setiap variasi yang dibuat. Hasil (*output*) yang didapatkan dari setiap perekaman ujicoba berupa tegangan listrik (V) yang dicatat dari pengukuran voltmeter.

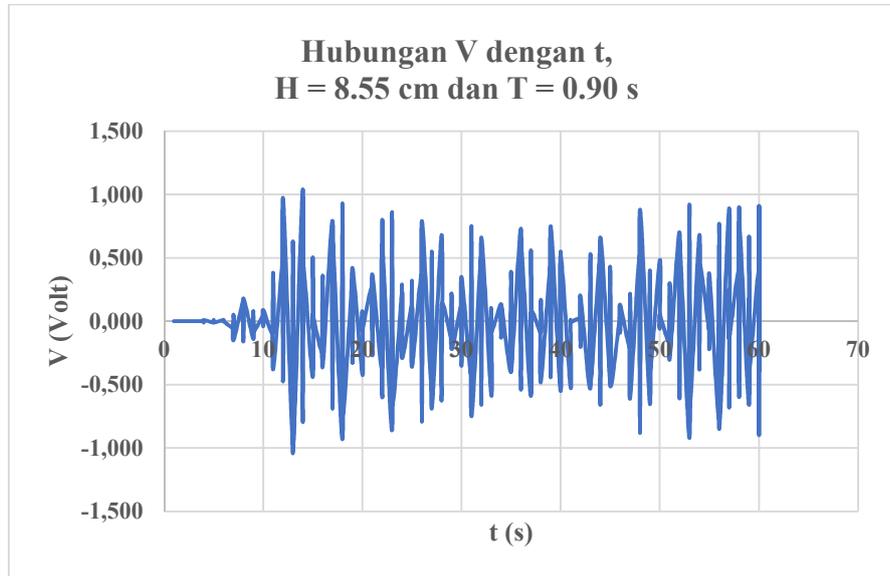
Hasil yang didapatkan pada uji coba tipe setengah bola adalah performa kecenderungan nilai rata-rata tegangan listrik pada setiap variasi  $H/gT^2$  (*wave steepness*). Dari hasil performa kecenderungan tersebut akan didapatkan hubungan nilai rata-rata tegangan listrik dengan nilai  $H/gT^2$  (*wave steepness*). Untuk lebih jelas hasil dari performa kecenderungan dan hubungan nilai tegangan dengan *wave steepness* akan ditunjukkan.



**Gambar 4.1.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 9.05$  cm dan  $T = 0.88$  s

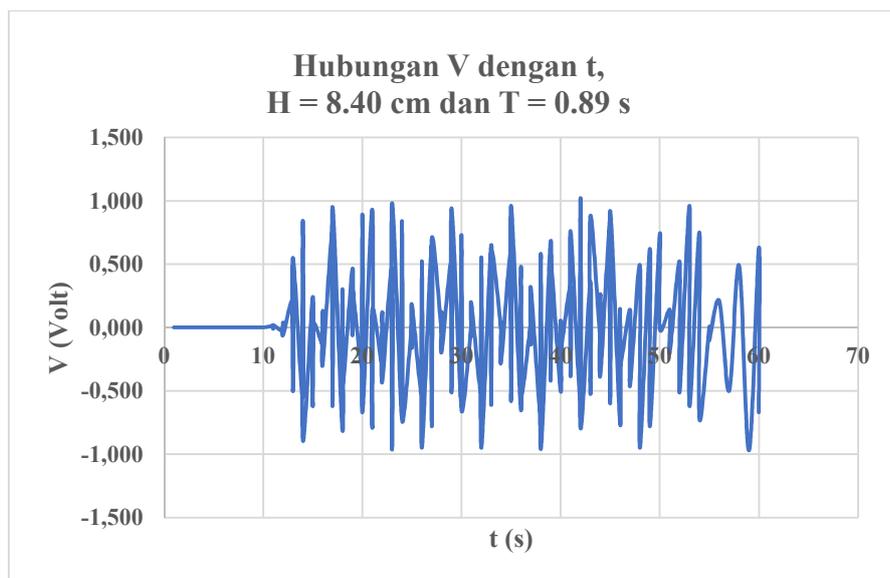
Pada Gambar 4.1. di atas *input* variasi pertama yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 9.05 cm dan periode (T) sebesar 0.88 detik. Dari masukkan tersebut

didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 1.03 volt pada detik ke-50. Nilai rata-rata tegangan dari variasi pertama adalah 0.4484 volt.



**Gambar 4.2.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 8.55$  cm dan  $T = 0.90$  s

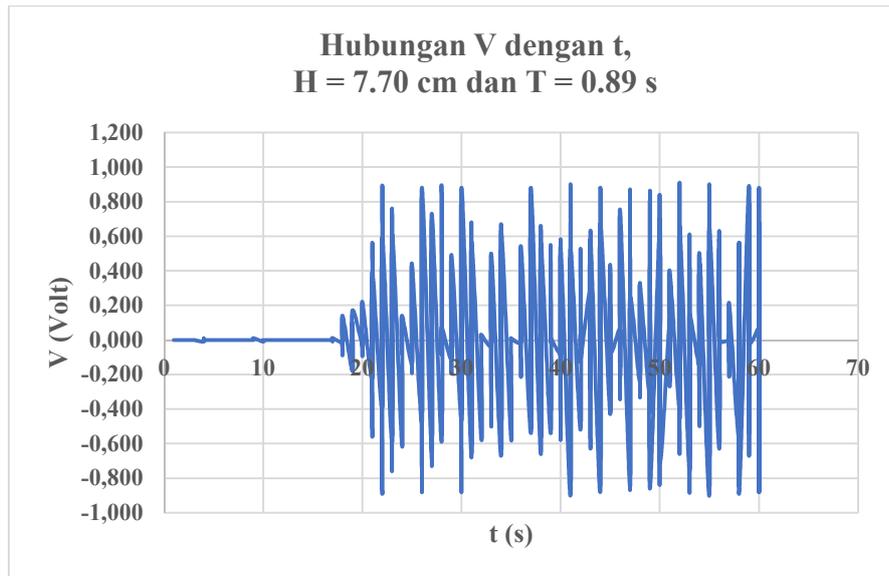
Pada Gambar 4.2. di atas *input* variasi kedua yaitu ketinggian gelombang ( $H$ ) sebesar 8.55 cm dan periode ( $T$ ) sebesar 0.90 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 1.04 volt pada detik ke-13. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.3901 volt.



**Gambar 4.3.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola

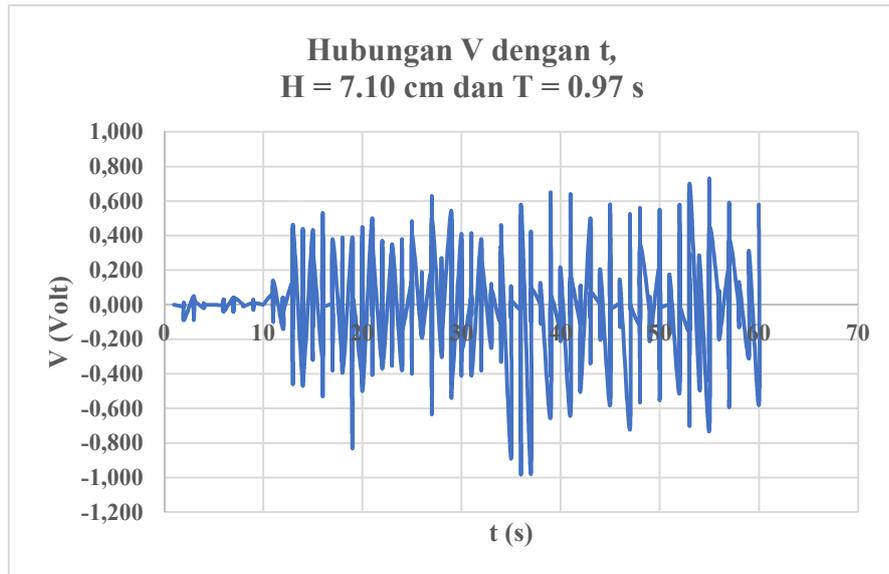
pada  $H = 8.40$  cm dan  $T = 0.89$  s

Pada Gambar 4.3. di atas *input* variasi ketiga yaitu ketinggian gelombang ( $H$ ) sebesar 8.40 cm dan periode ( $T$ ) sebesar 0.89 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 1.02 volt pada detik ke-42. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.3901 volt.



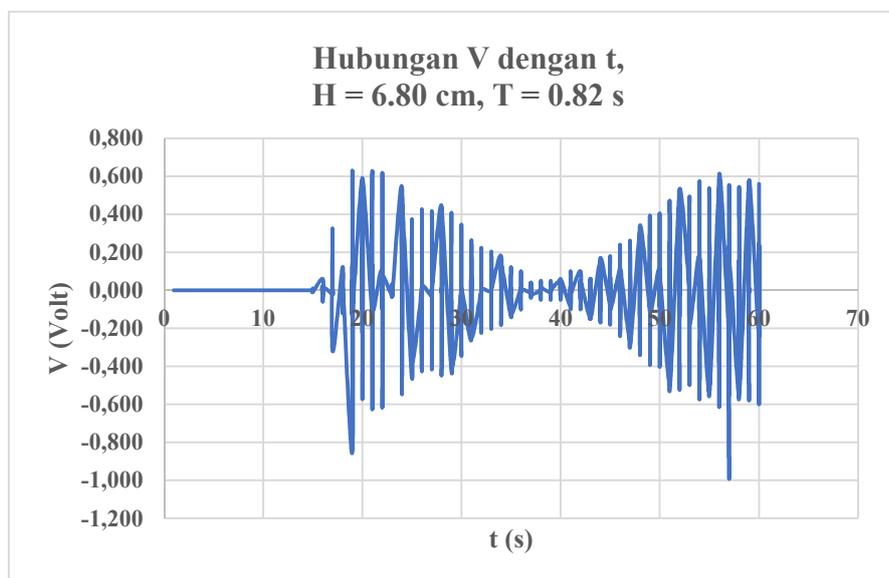
**Gambar 4.4.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 7.70$  cm dan  $T = 0.89$  s

Pada Gambar 4.4. di atas *input* variasi keempat yaitu ketinggian gelombang ( $H$ ) sebesar 7.70 cm dan periode ( $T$ ) sebesar 0.89 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.91 volt pada detik ke-52. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.3376 volt.



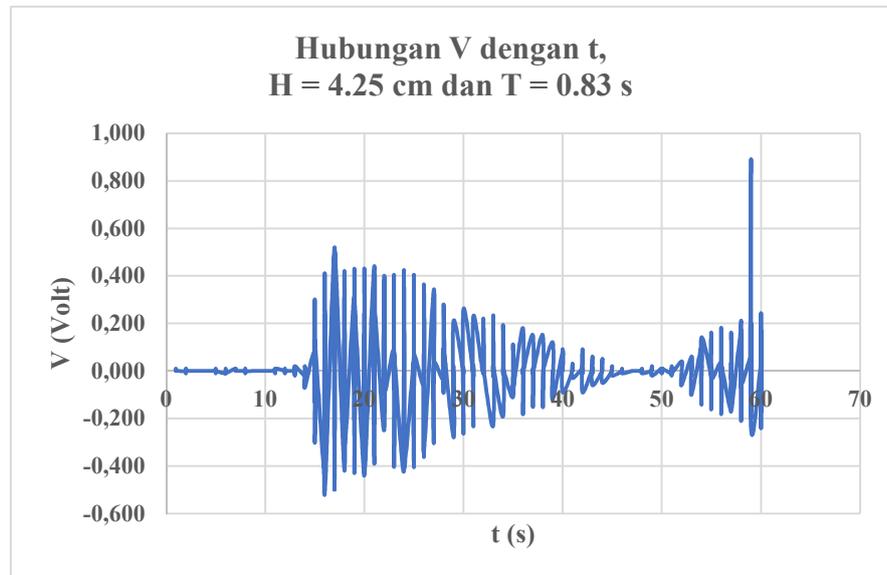
**Gambar 4.5.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 7.10$  cm dan  $T = 0.97$  s

Pada Gambar 4.5. di atas *input* variasi kelima yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 7.10 cm dan periode (T) sebesar 0.97 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.98 volt pada detik ke-36. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.2362 volt.



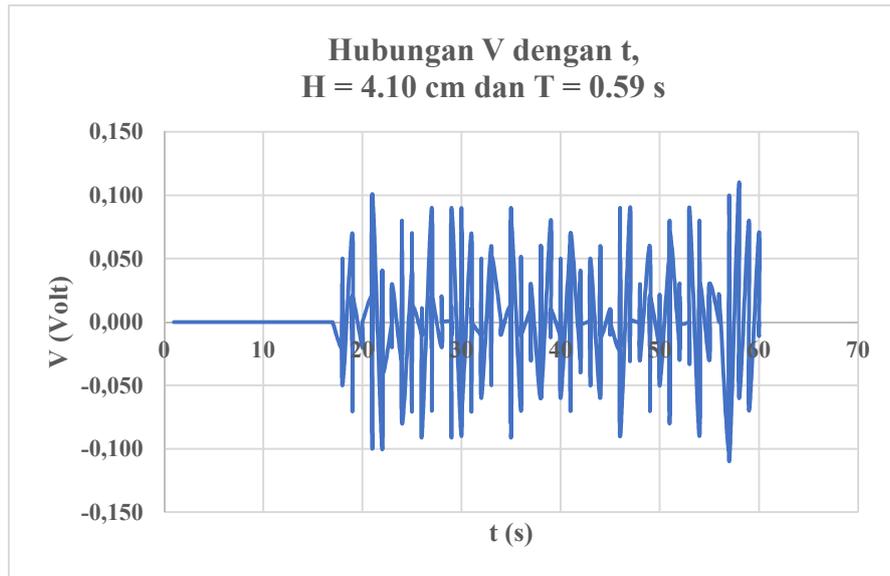
**Gambar 4.6.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 6.80$  cm dan  $T = 0.82$  s

Pada Gambar 4.6. di atas *input* variasi keenam yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 6.80 cm dan periode (T) sebesar 0.82 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.99 volt pada detik ke-57. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.1561 volt.



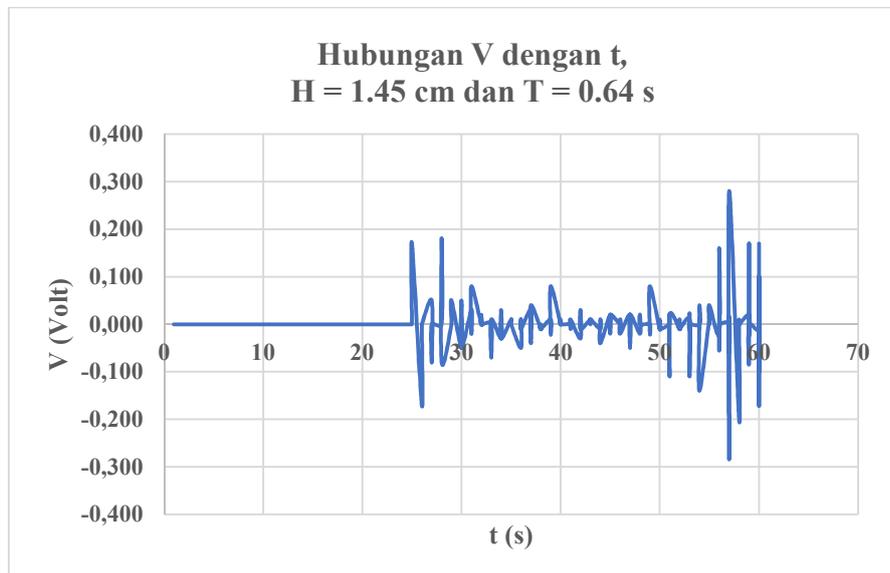
**Gambar 4.7.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 4.25$  cm dan  $T = 0.83$  s

Pada Gambar 4.7. di atas *input* variasi ketujuh yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 4.25 cm dan periode (T) sebesar 0.83 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.89 volt pada detik ke-59. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.1102 volt.



**Gambar 4.8.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 4.10$  cm dan  $T = 0.59$  s

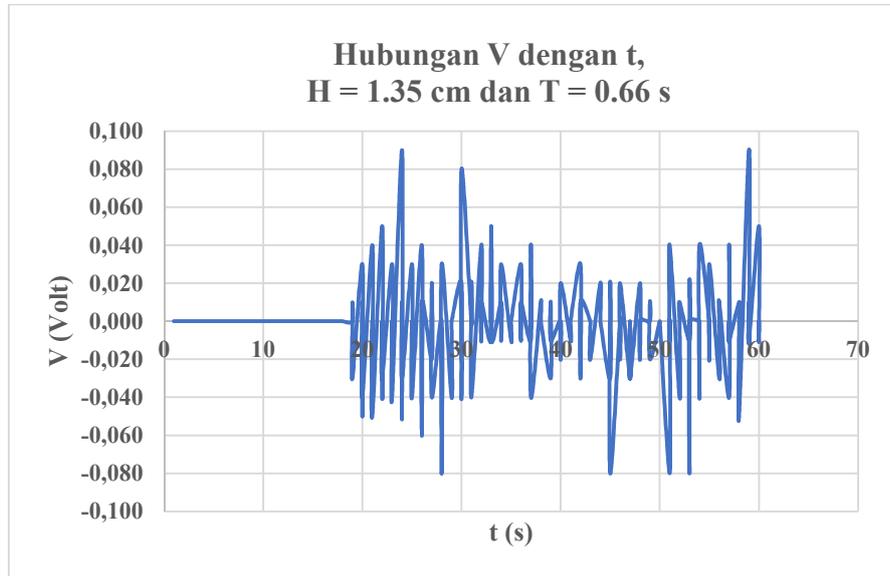
Pada Gambar 4.8. di atas *input* variasi kedelapan yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 4.10 cm dan periode (T) sebesar 0.59 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.11 volt pada detik ke-58. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.0272 volt.



**Gambar 4.9.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 1.45$  cm dan  $T = 0.64$  s

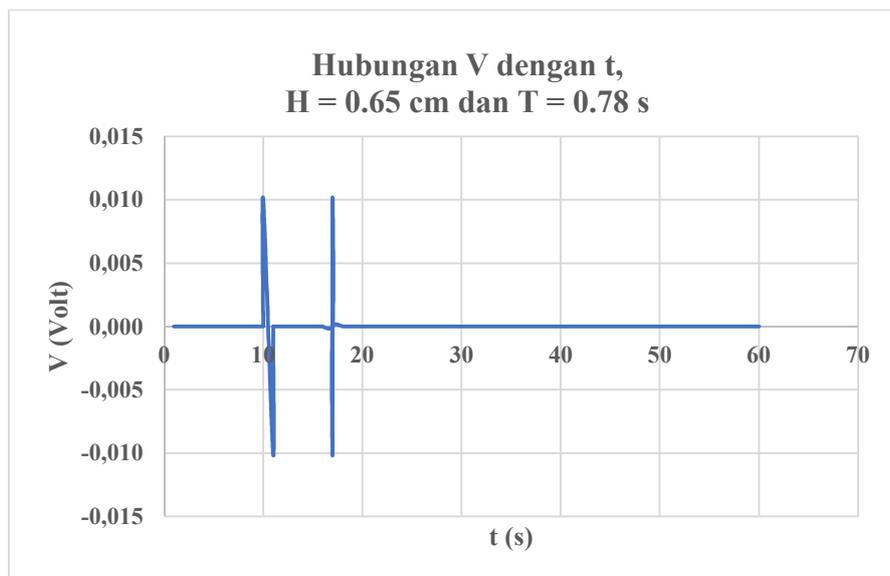
Pada Gambar 4.9. di atas *input* variasi kesembilan yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 1.45 cm dan periode (T) sebesar 0.64 detik. Dari masukkan tersebut

didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.28 volt pada detik ke-57. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.0229 volt.



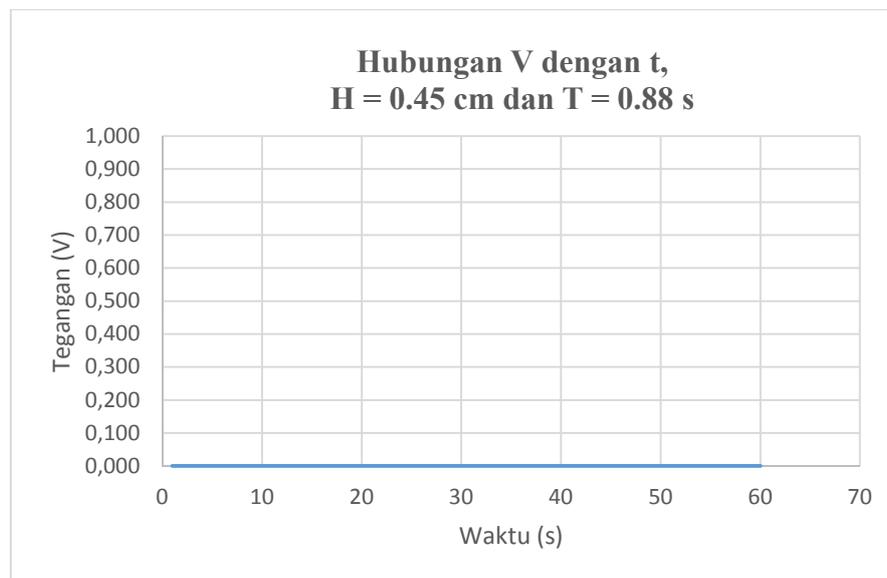
**Gambar 4.10.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 1.35$  cm dan  $T = 0.66$  s

Pada Gambar 4.10. di atas *input* variasi kesepuluh yaitu ketinggian gelombang ( $H$ ) sebesar 1.35 cm dan periode ( $T$ ) sebesar 0.66 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.09 volt pada detik ke-59. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.0138 volt.



**Gambar 4.11.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 0.65$  cm dan  $T = 0.78$  s

Pada Gambar 4.11. di atas *input* variasi kesebelas yaitu ketinggian gelombang (H) sebesar 0.65 cm dan periode (T) sebesar 0.78 detik. Dari masukkan tersebut didapatkan nilai tegangan terbesar adalah 0.01 volt pada detik ke-10. Nilai rata-rata tegangan dari variasi kedua adalah 0.0001 volt. Pada variasi keduabelas untuk ketinggian gelombang (H) sebesar 0.45 cm dan periode (T) sebesar 0.88 detik tidak dihasil tegangan listrik selama satu menit proses ujicoba. Sehingga *output* tegangan listrik adalah sebesar 0.000 volt. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.12.** Performa Kecenderungan untuk Tipe Pelampung Setengah Bola pada  $H = 0.45$  cm dan  $T = 0.88$  s

Pada penjelasan hubungan antara performa kecenderungan tegangan listrik dengan jenis pelampung yang lain dilampirkan. Sebagai penjelasan tipe pelampung setengah bola merupakan tipe pelampung yang paling optimal. Besaran perbandingan antara ketiga jenis pelampung dapat dilihat di pembahasan berikut.

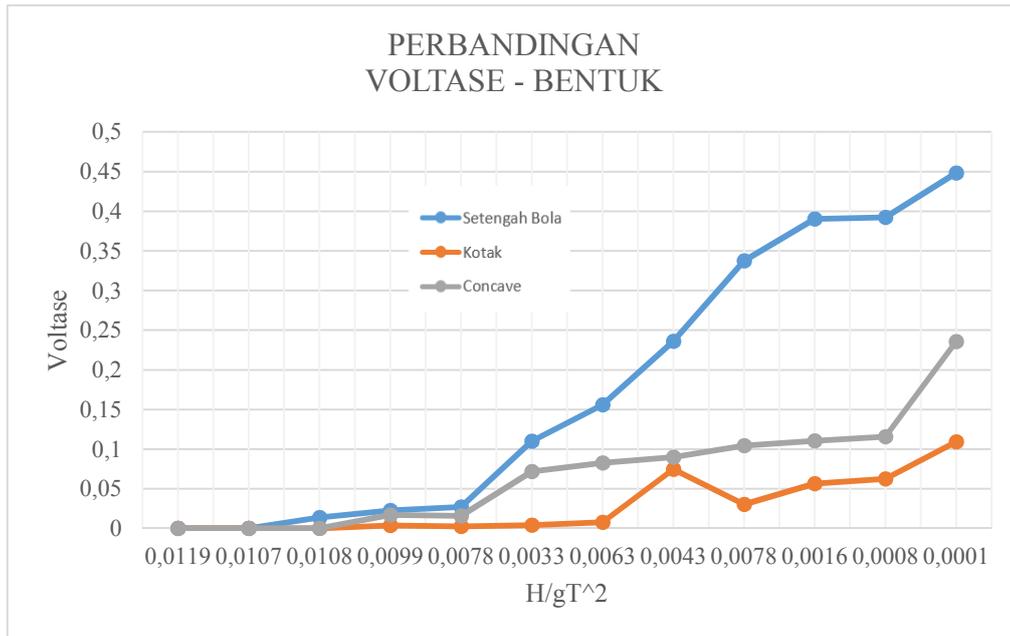
#### 4.2. Analisis Hasil Uji Coba terhadap Tegangan Listrik

Dari masing-masing nilai rata-rata tegangan yang telah diketahui pada setiap variasi dapat dibandingkan dengan nilai *wave steepness* sehingga dapat diringkas sebagaimana Tabel 4.1. berikut.

**Tabel 4.1.** Perbandingan  $H/gT^2$  dengan V pada ke 3 jenis pelampung

$H/gT^2$	Voltage – Bentuk (V)		
	Setengah Bola	Kotak	Concave
0.0119	0.4484	0.1094	0.2358
0.0107	0.3921	0.0626	0.1158
0.0108	0.3901	0.0567	0.1103
0.0099	0.3376	0.0302	0.1046
0.0078	0.2362	0.0746	0.0898
0.0033	0.1561	0.0080	0.0829
0.0063	0.1102	0.0041	0.0720
0.0043	0.0272	0.0027	0.0158
0.0078	0.0229	0.0040	0.0171
0.0016	0.0138	0.0000	0.0000
0.0008	0.0001	0.0000	0.0000
0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Dari Tabel 4.1. dapat diketahui hubungan daripada besaran rata-rata tegangan dari generator yang dihasilkan pada gerak ketiga jenis pelampung pada nilai *wave steepness* ( $H/gT^2$ ). Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata tegangan listrik semakin tinggi seiring dengan semakin tinggi nilai  $H/gT^2$  (*wave steepness*). Hal tersebut lebih diperjelas dengan melihat Gambar 4.13. berikut.



**Grafik 4.13.** Perbandingan  $H/gT^2$  dengan  $V$  pada ketiga jenis pelampung

Nilai dari pada voltase tersebut dapat diketahui dari intensitas pelampung yang bergerak dan mampu menggerakkan dynamo putar sehingga dapat menghasilkan voltase listrik. Dapat diketahui dari nilai tinggi gelombang yang lebih berperan daripada periode gelombang, dimana hal ini dinyatakan dalam perbandingan  $H/gT^2$  untuk variasi ke 3 dan ke 4 dimana nilai periode gelombang sama sedangkan nilai tinggi gelombang berbeda. Dari tabel tersebut juga dapat diketahui bahwa jenis pelampung setengah bola memiliki nilai voltase yang lebih baik dibanding kedua jenis pelampung lain.

### 4.3 Analisis Hasil Uji Coba terhadap Arus Listrik

Nilai arus pada sistem yang digunakan dalam uji coba didapatkan daripada spesifikasi dinamo DC yang telah diketahui dengan menggunakan hukum Ohm sebagai berikut:

$$V = I \cdot R$$

Dimana  $V$  adalah nilai dari tegangan listrik,  $I$  adalah arus dan  $R$  adalah hambatan atau resistensi. Karena sistem yang digunakan adalah sama maka nilai daripada  $V$  dan  $I$  maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator dapat digunakan untuk mencari nilai arus yang yang dihasilkan oleh gerak pelampung dengan nilai tegangan yang telah

diketahui, sedangkan untuk nilai hambatan dapat diabaikan. Sehingga untuk nilai arus yang dihasilkan dapat menggunakan formula berikut .

$$I_{model} = \frac{V_{model} \times I_{generator}}{V_{generator}}$$

$$I_{model} = \frac{V_{model} \times 0.2 A}{24 volt}$$

$$I_{model} = V_{model} \times 0.00833$$

Dari formula di atas didapatkan nilai arus untuk setiap variasi yang diujicobakan. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2. di bawah.

**Tabel 4.2.** Perbandingan H/gT<sup>2</sup> dengan Arus I pada ketiga jenis pelampung

H/gT <sup>2</sup>	Tegangan (V)			Arus (A)		
	Setengah Bola	Kotak	Concave	Setengah Bola	Kotak	Concave
0.0119	0.4484	0.1094	0.2358	0.0037	0.0009	0.0020
0.0107	0.3921	0.0626	0.1158	0.0033	0.0005	0.0010
0.0108	0.3901	0.0567	0.1103	0.0032	0.0005	0.0009
0.0099	0.3376	0.0302	0.1046	0.0028	0.0003	0.0009
0.0078	0.2362	0.0746	0.0898	0.0020	0.0006	0.0007
0.0033	0.1561	0.0080	0.0829	0.0013	0.0001	0.0007
0.0063	0.1102	0.0041	0.0720	0.0009	0.0000	0.0006
0.0043	0.0272	0.0027	0.0158	0.0002	0.0000	0.0001
0.0078	0.0229	0.0040	0.0171	0.0002	0.0000	0.0001
0.0016	0.0138	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
0.0008	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

#### 4.4 Analisis Hasil Uji Coba terhadap Torsi

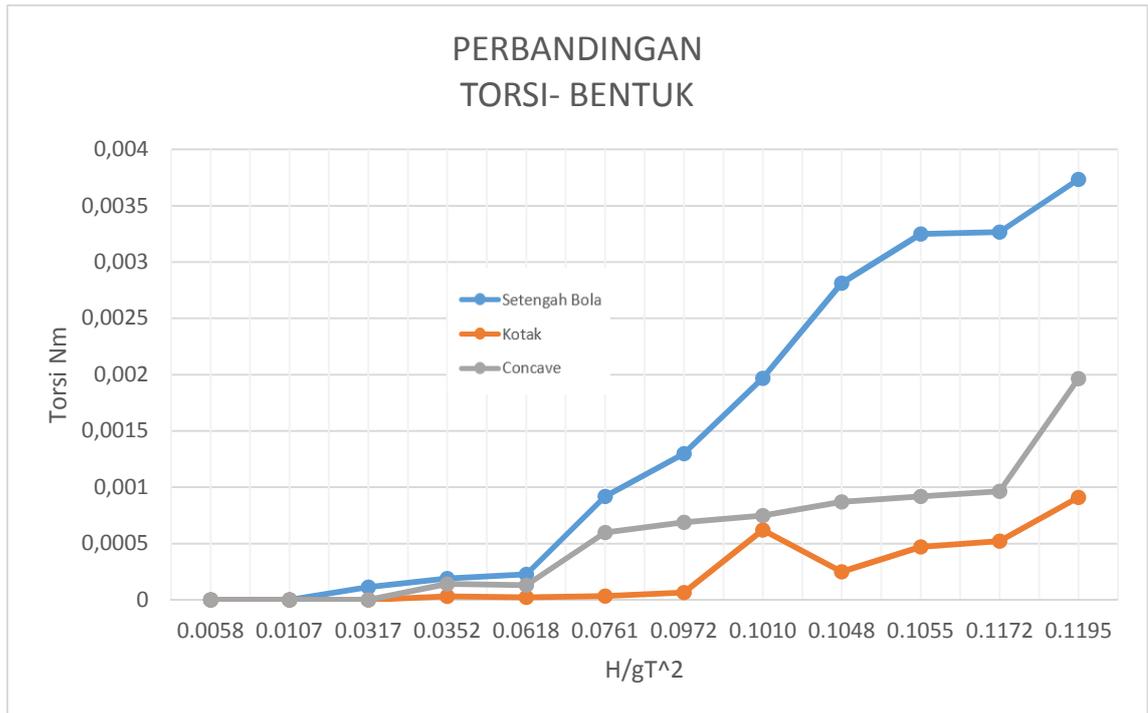
Dengan menggunakan perhitungan kecepatan sudut, maka selanjutnya nilai torsi dapat diketahui yaitu sebagaimana Tabel 4.3 berikut. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai dari masing-masing bentuk pelampung terhadap variasi H/gT<sup>2</sup>. Nilai pada Tabel 4.3 Namun, dalam kenyataannya sebagaimana yang dapat dilihat dalam

Tabel 4.3 bahwa nilai torsi daripada pelampung setengah bola menunjukkan hasil yang lebih baik.

**Tabel 4.3.** Perbandingan  $H/gT^2$  dengan Arus  $\tau$  pada ketiga jenis pelampung

$H/gT^2$	Torsi (Nm)		
	Setengah Bola	Kotak	Concave
0.0119	0.0037	0.0009	0.0020
0.0107	0.0033	0.0005	0.0010
0.0108	0.0032	0.0005	0.0009
0.0099	0.0028	0.0003	0.0009
0.0078	0.0020	0.0006	0.0007
0.0033	0.0013	0.0001	0.0007
0.0063	0.0009	0.0000	0.0006
0.0043	0.0002	0.0000	0.0001
0.0078	0.0002	0.0000	0.0001
0.0016	0.0001	0.0000	0.0000
0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Dari nilai torsi  $t$  yang telah diketahui pada tabel 4.3. maka hubungan antara nilai torsi dengan nilai *wave steepness* ( $H/gT^2$ ) dapat diketahui. Hal ini dikarenakan secara matematis nilai Hubungan tersebut digambarkan dalam grafik 4.15. berikut.



**Grafik 4.14.** Perbandingan  $H/gT^2$  dengan  $\tau$  pada ketiga jenis pelampung

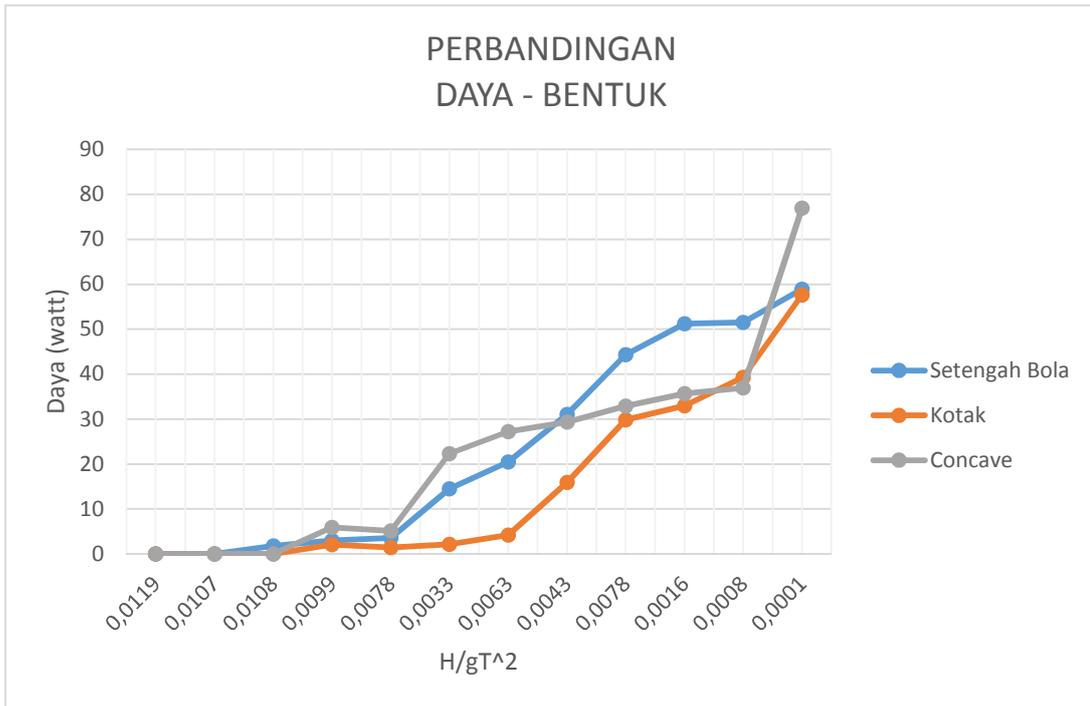
#### 4.5 Analisis Hasil Uji Coba terhadap Torsi

Dengan menggunakan persamaan perhitungan kecepatan sudut sebelumnya, didapatkan nilai untuk kecepatan sudut setengah bola adalah 15768,1 rpm, untuk kotak adalah 63268,1 rpm, dan untuk concave adalah 31601,43 rpm. Dari perhitungan manual tersebut dapat diketahui bahwa nilai dari kecepatan sudut pelampung jenis kotak adalah yang terbesar. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai daya (watt) yang didapatkan dari generator yang digunakan sebesar ditunjukkan dalam Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4.** Perbandingan  $H/gT^2$  dengan Daya (watt)  
pada ketiga jenis pelampung

$H/gT^2$	Torsi (Nm)			Daya (watt)		
	Setengah Bola	Kotak	Concave	Setengah Bola	Kotak	Concave
0,0119	0,0037	0,0009	0,0024	58,89739	57,63917	76,97082
0,0107	0,0033	0,0005	0,0012	51,50101	39,32879	36,91606
0,0108	0,0032	0,0005	0,0011	51,24172	32,97536	35,66469
0,0099	0,0028	0,0003	0,0010	44,34654	29,87155	32,86729
0,0078	0,0020	0,0006	0,0009	31,02454	15,894	29,3173
0,0033	0,0013	0,0001	0,0009	20,50238	4,207847	27,19244
0,0063	0,0009	0,0000	0,0007	14,48082	2,166416	22,2955
0,0043	0,0002	0,0000	0,0002	3,574298	1,416503	5,123478
0,0078	0,0002	0,0000	0,0002	3,005961	2,083093	5,936528
0,0016	0,0001	0,0000	0,0000	1,812108	0	0
0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,018306	0	0
0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0

Dari tabel tersebut dapat kita ketahui bahwa nilai daripada daya yang dihasilkan dari pelampung jenis setengah bola relative lebih stabil. Untuk lebih memudahkan dalam melihatnya, dapat kita perhatikan daripada Grafik 4.16 berikut. Dalam grafik tersebut nilai awal dari masing masing jenis pelampung menunjukkan nilai yang relative tinggi, namun untuk variasi selanjutnya masing masing jenis pelampung menunjukkan nilai yang berbeda dan relative menurun.



**Grafik 4.15.** Perbandingan  $H/gT^2$  dengan Daya (watt) pada ketiga jenis pelampung





**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

## **BAB V.**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan tujuan dan hasil analisis dari percobaan laboratorium pengaruh desain lengan pada kinerja PLTGL FFH untuk menyelesaikan tugas akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh bentuk geometris yang ditunjukkan dengan perbedaan properti jenis pelampung model setengah bola, kotak, dan concave terbukti berpengaruh pada perolehan nilai voltase dan torsi dibandingkan dengan variasi wave steepness yang diberikan. Perubahan ditunjukkan dengan nilai voltase dan torsi jenis pelampung setengah bola yang relatif lebih besar dibanding jenis pelampung lain yaitu  $4,5 \times 10^{-1}$  volt dan  $3,7 \times 10^{-4}$  Nm.
2. Pengaruh bentuk geometris dari pelampung pada voltase listrik dan torsi memberikan pengaruh pada daya yang dihasilkan oleh generator dengan nilai-nilai yang bervariasi. Nilai terbesar dihasilkan oleh jenis pelampung concave dengan  $7,7 \times 10$  watt. Sedangkan untuk kestabilan daya yang dihasilkan dari jenis jenis pelampung yang diuji, jenis pelampung setengah bola menunjukkan hasil yang lebih stabil.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil yang telah dicapai penulis dalam penelitian tugas akhir ini, didapatkan beberapa saran untuk pengembangan PLTGL FFH kedepannya yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan analisis gelombang reguler, sehingga dibutuhkan pengembangan untuk penelitian selanjutnya, dengan menggunakan gelombang irreguler agar mengetahui perbandingannya.
2. Penelitian ini menghasilkan tegangan listrik yang sangat kecil, sehingga dibutuhkan pengembangan penelitian selanjutnya agar tegangan listrik yang dihasilkan menjadi besar. Dengan cara memperbesar skala model fisik PLTGL FFH dan atau mengubah desain dan jenis *Power Take Off* yang pada penelitian ini menggunakan jenis dynamo.
3. Pada penelitian ini pengukuran langsung menggunakan voltameter sehingga hasil langsung diketahui besaran tegangan listriknya tanpa mengetahui besaran

perpindahan pelampung dari titik diam terhadap perubahan gelombang. Untuk kedepannya, diharapkan untuk mempertimbangkan pengukuran perubahan perpindahan ini, sehingga lebih dapat diketahui performa dari pelampung secara rinci.

Pada penelitian ini sebagai alat pemutar gear pada dynamo menggunakan tali. Sebagai alat pemutar tali memiliki kelenturan dan kekakuan, sehingga pada saat pelampung bergerak terhadap perubahan gelombang terjadi *loss* atau hilangnya sebagian energi untuk memutar gear yang dalam penelitian ini diabaikan.



**BAB VI**  
**DAFTAR PUSTAKA**

**BAB VI.**  
**DAFTAR PUSTAKA**

- Ahn, K.K. dkk. 2012. An Innovative Design Of Wave Energy Converter. *Renewable Energy*, 42 (2012) 186-194.
- Akhwady, Rudhy. 2012. Kinerja Terumbu Buatan Silinder Berongga (Bottle Reef) Sebagai Pemecah Gelombang Ambang Terbenam. Manajemen Pantai. Fakultas Teknologi Kelautan ITS, Surabaya.
- Amir, Muhammad Abu Ubaidah dkk 2014. Heave Buoy Energy Converters; Simulation of Heave Buoy Response to Wave in Malaysian Water. *Energy Procedia*, 62: 101-111.
- Anggraini, Dita dkk. 2015. Quantitative Analysis Of Indonesian Ocean Wave Energy Potential Using Oscillating Water Column Energy Converter. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, Special Issue Vol.1 Issue 1, 228-239.
- Asian Development Bank. 2014. “Wave Energy Conversion And Ocean Thermal Energy Conversion Potential In Developing Member Countries”. Asian Development Bank , Mandaluyong City.
- Babarit, A. dkk. 2012. “Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters”. *Renewable Energy*, 41: 44-63.
- Babarit, A. 2017. *Ocean Wave Energy Conversion*. London: ISTE Press – Elsevier.
- Benbouzid, Hosna Titah dan Mohamed Benbouzid. 2015. An Up-to-Date Technologies Review and Evaluation of Wave Energy Converters. *International Review of Electrical Engineering*. Vol. 10 No.1, 52-61.
- CERC. 2008. *Coastal Engineering Manual*. Washington: Departement of Army U.S. Army Corp of Engineering and Design.
- Chakrabarti, S. K.. 1994. *Offshore Structure Modelling*. Singapore: World Scientific.
- EcoWavePower. 2019. Intellectual Property. <https://www.ecowavepower.com/our-technology/intellectual-property/> akses Juni 2019.
- Faltinsen, O. M.. 2014. Hydrodynamics Of Marine And Offshore Structures. *Journal of Hydrodynamics*. 26 : 835-847.

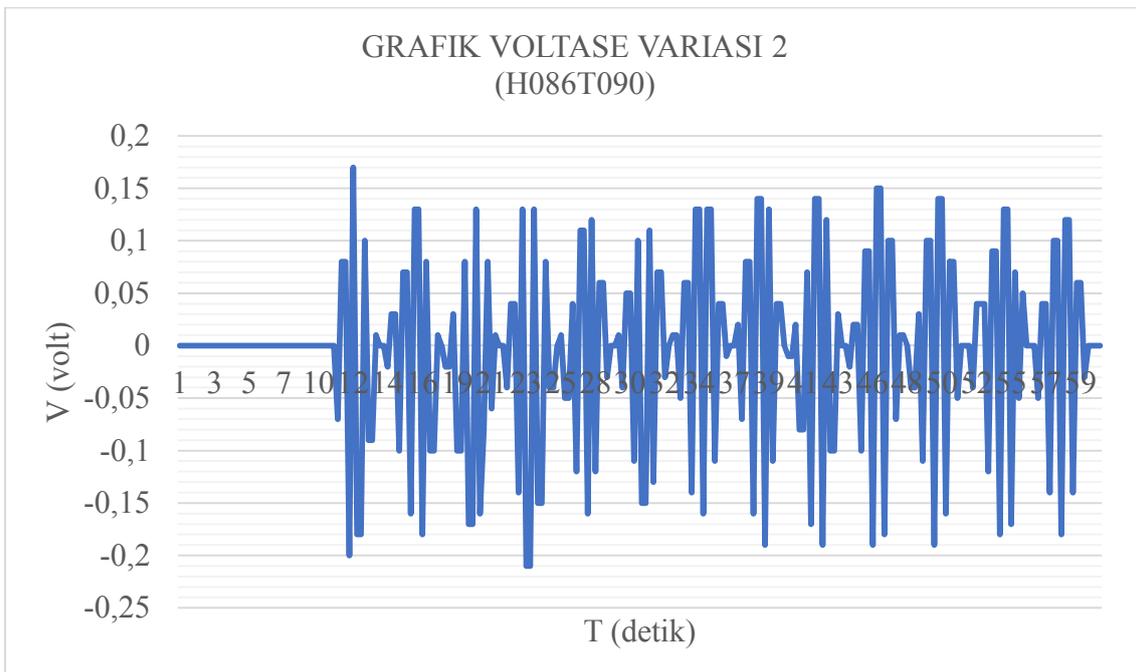
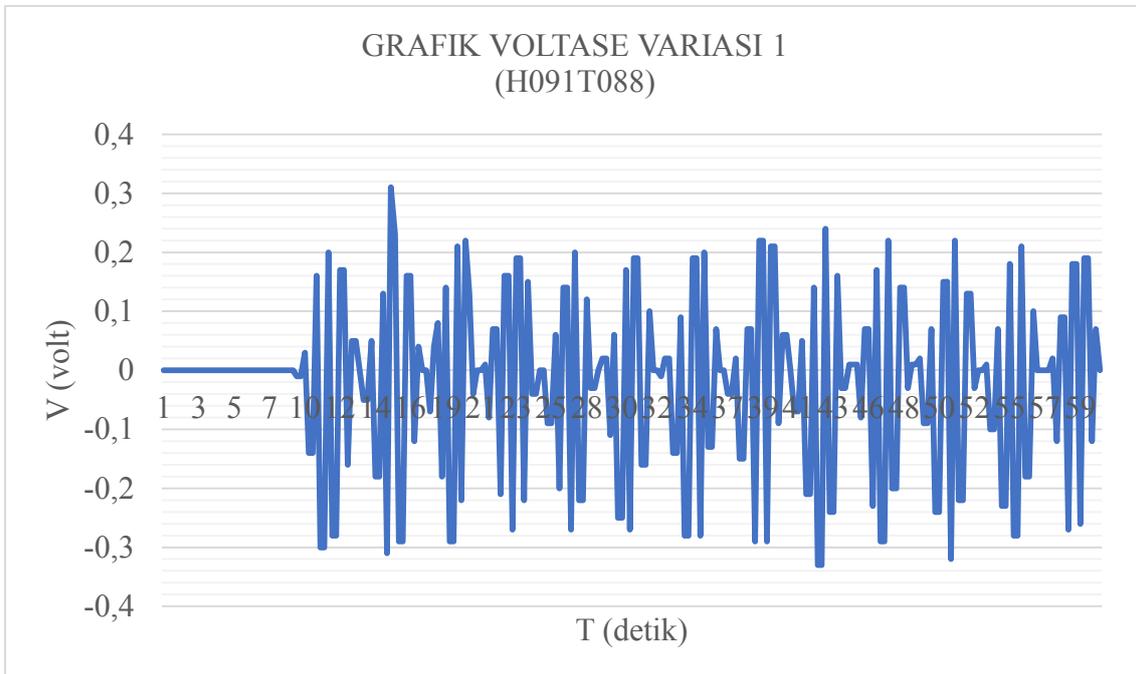
- Gron, Rene. 2013. Wave Energy convertes. [http://www.spin-project.eu/index.php?node\\_id=58.187&lang\\_id=1](http://www.spin-project.eu/index.php?node_id=58.187&lang_id=1) akses Juni 2019
- Jumini, Sri dan Muhlisoh, Lilis. 2013. *Pengaruh Perbedaan Panjang Poros Suatu Benda Terhadap Kecepatan Sudut Putar*. Prodi Pendidikan Fisika, FITK UNSIQ Wonosobo, Jawa Tengah.
- Karimirad, Madjid. 2014. *Offshore Energy Structures For Wind Power, Wave Energy And Hybrid Marine Platforms*. London: Springer.
- Li, Yu dan Hsiang Yi Yu. 2012. A synthesis of numerical methods for modeling wave energy converter-point absorbers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 : 4352-4364.
- Lynn, Paul A. 2014. *Electricity From Wave And Tide : An Introduction To Marine Energy*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Mukhtasor. 2014. *Mengenal Energi Laut*. Surabaya: Penerbit ICEES.



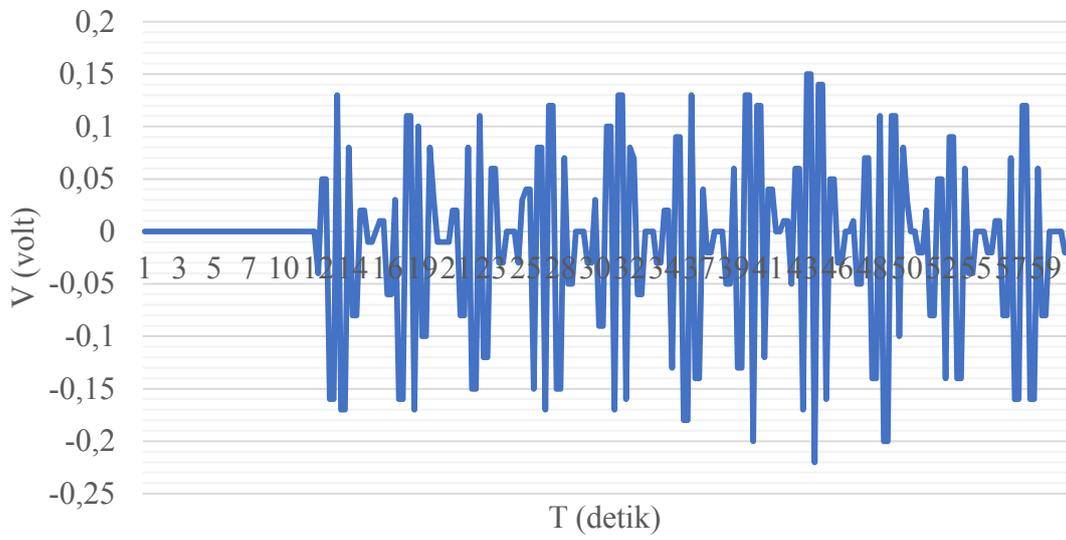
**LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## Lampiran A. Grafik Pengolahan Data

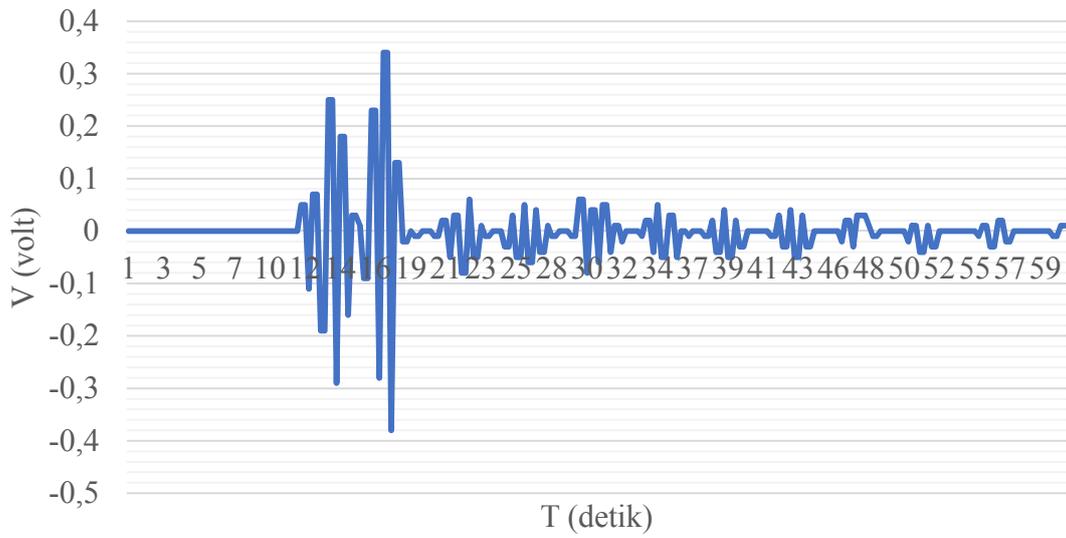
### Grafik Perubahan pada Jenis Pelampung Kotak



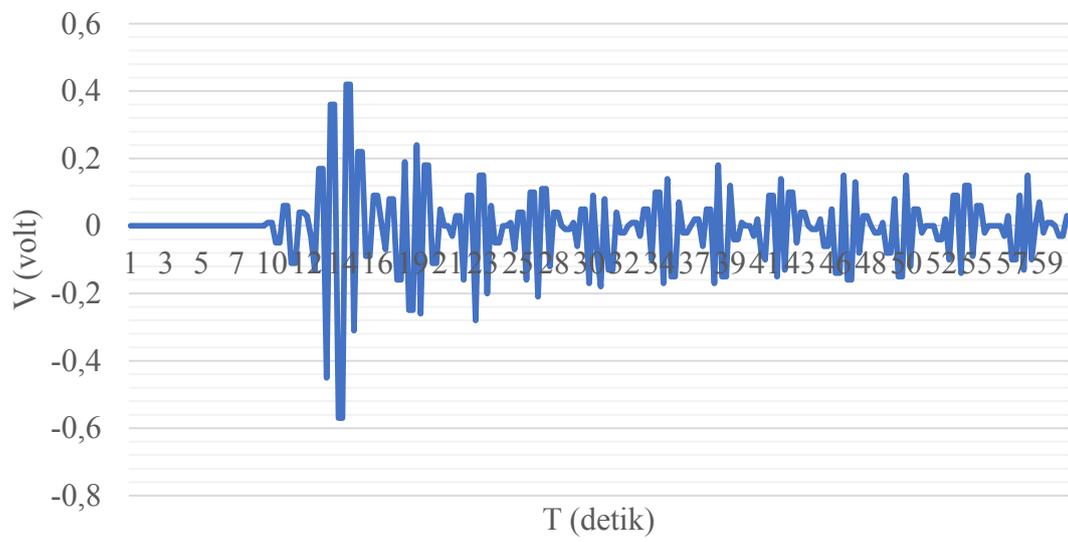
GRAFIK VOLTASE VARIASI 3  
(H084T089)



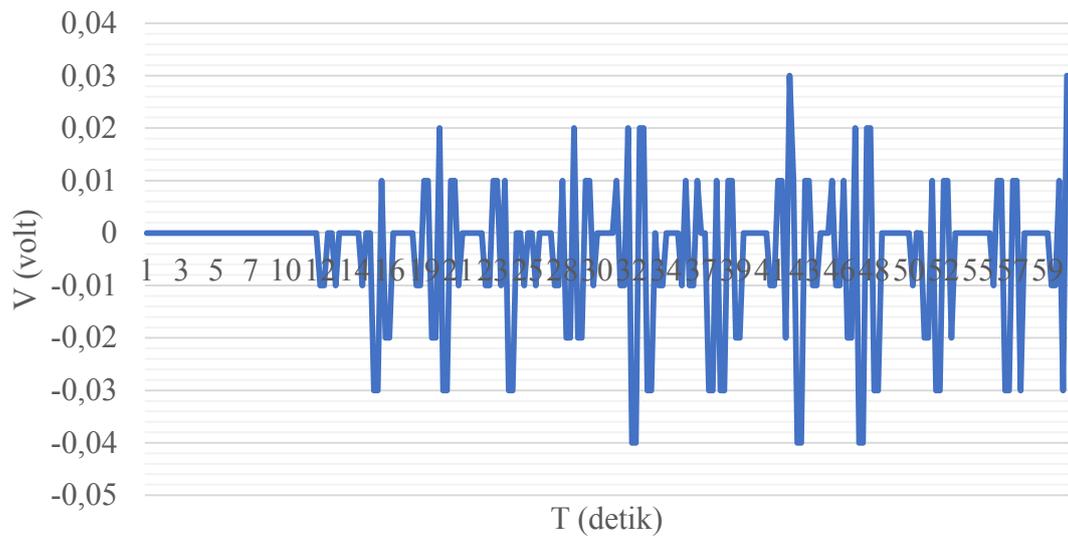
GRAFIK VOLTASE VARIASI 4  
(H077T089)



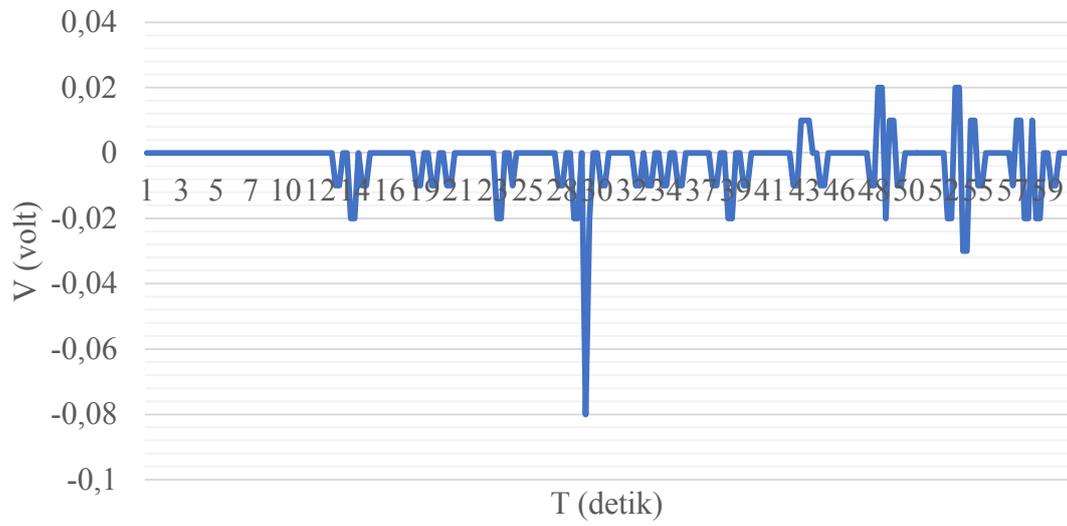
GRAFIK VOLTASE VARIASI 5  
(H071T097)



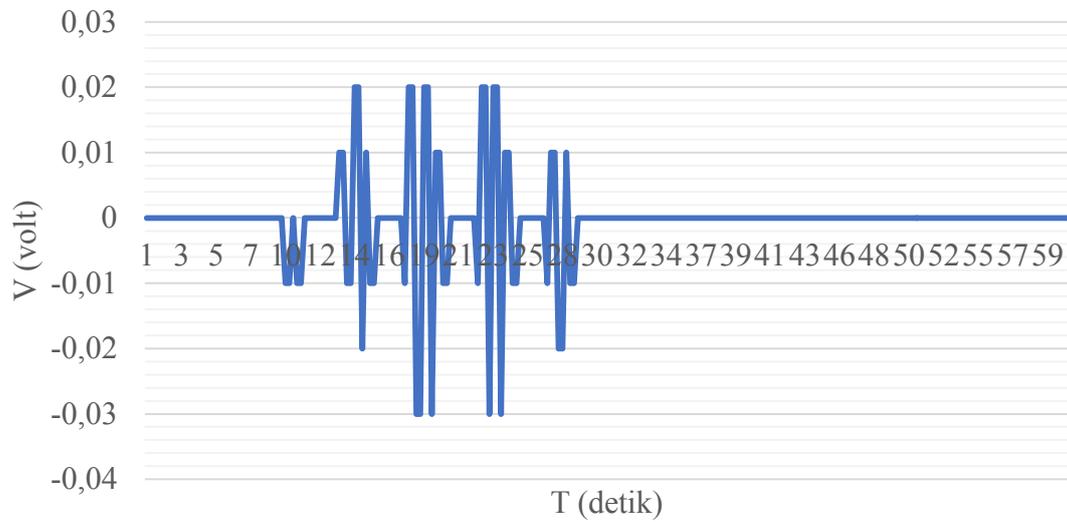
GRAFIK VOLTASE VARIASI 6  
(H068T082)



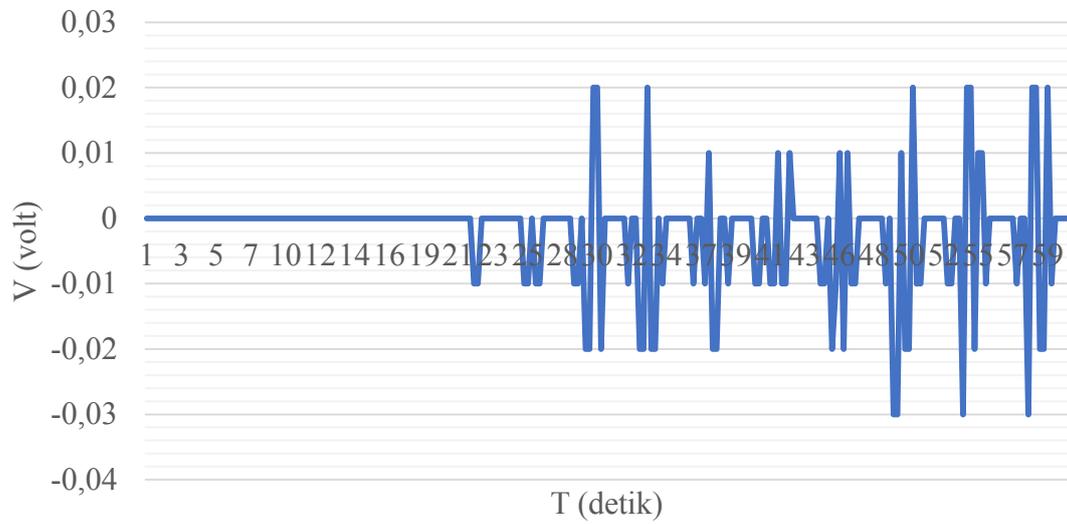
GRAFIK VOLTASE VARIASI 7  
(H043T083)



GRAFIK VOLTASE VARIASI 8  
(H041T059)



GRAFIK VOLTASE VARIASI 9  
(H015T064)



GRAFIK VOLTASE VARIASI 10  
(H014T065)



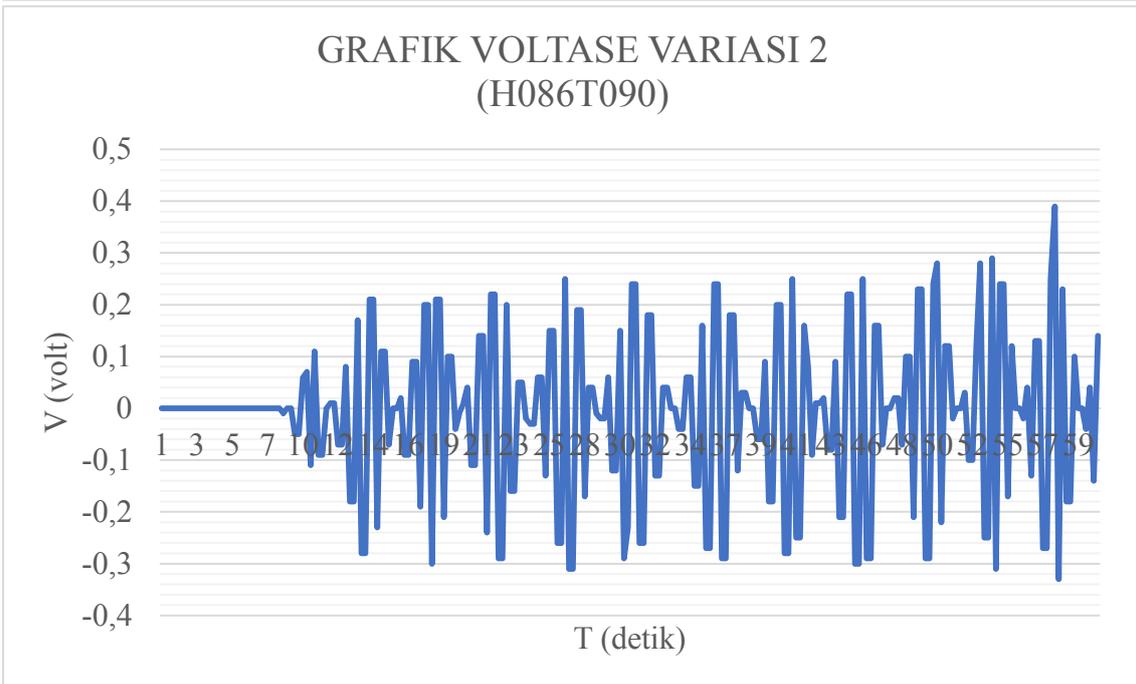
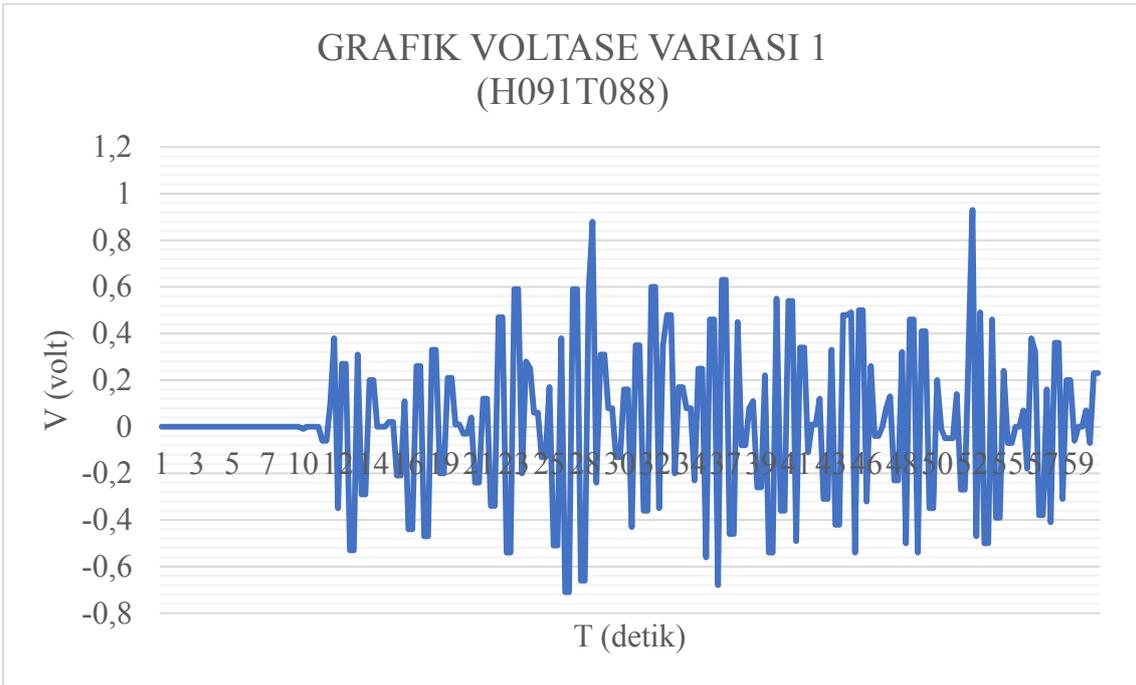
### GRAFIK VOLTASE VARIASI 11 (H007T078)



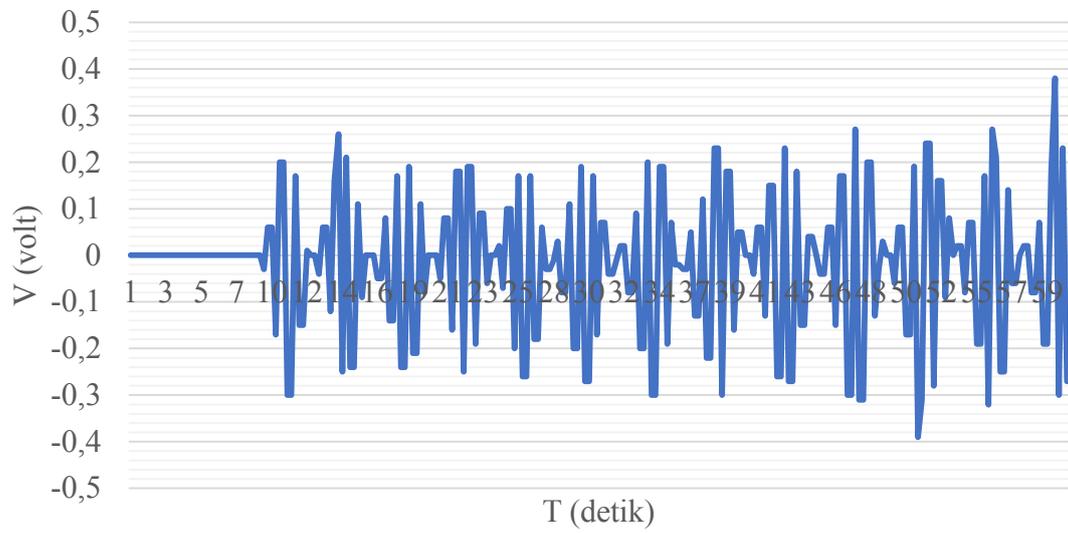
### GRAFIK VOLTASE VARIASI 12 (H005T088)



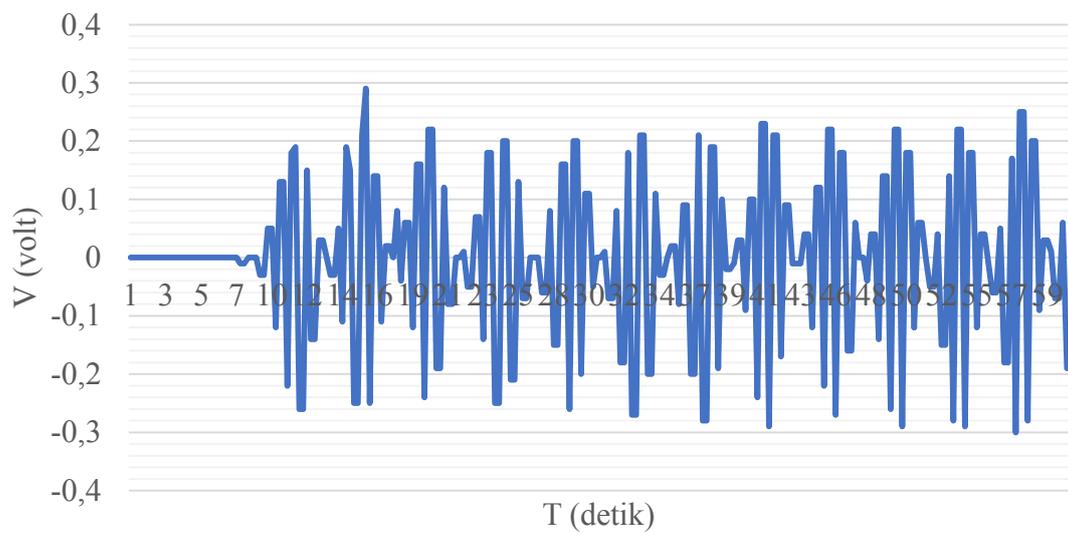
### Grafik Perubahan pada Jenis Pelampung Concave



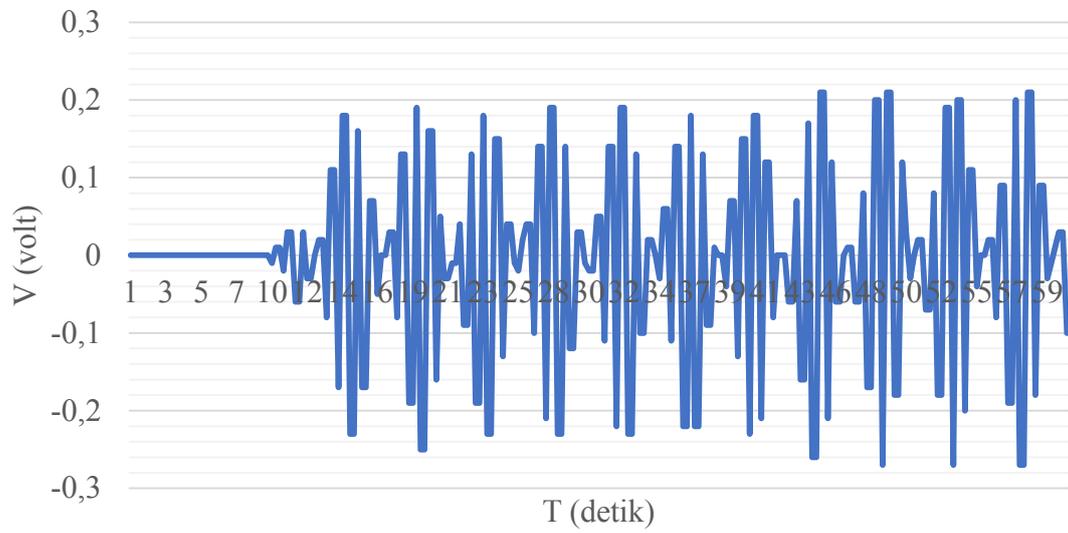
GRAFIK VOLTASE VARIASI 3  
(H084T089)



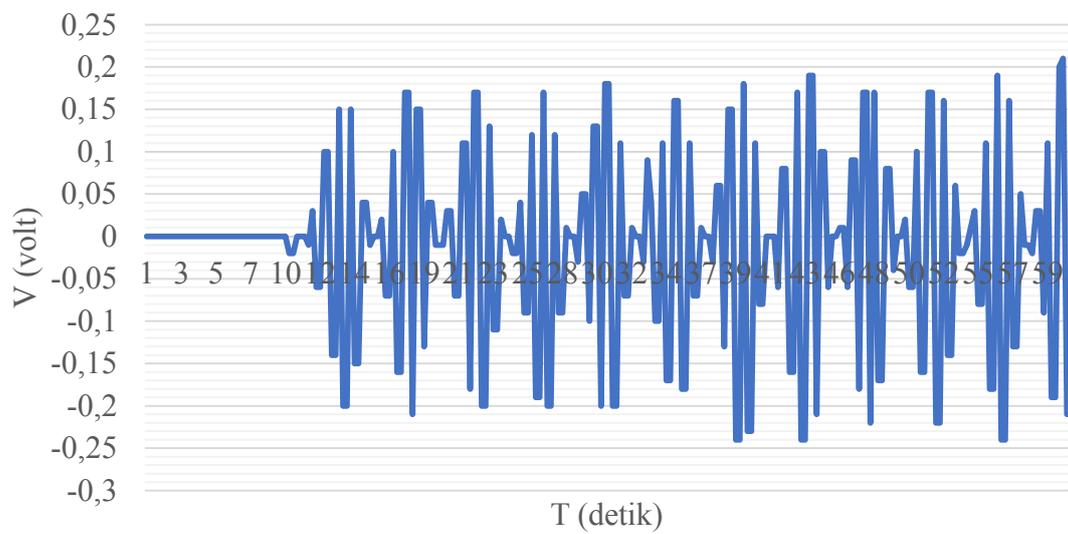
GRAFIK VOLTASE VARIASI 4  
(H077T089)



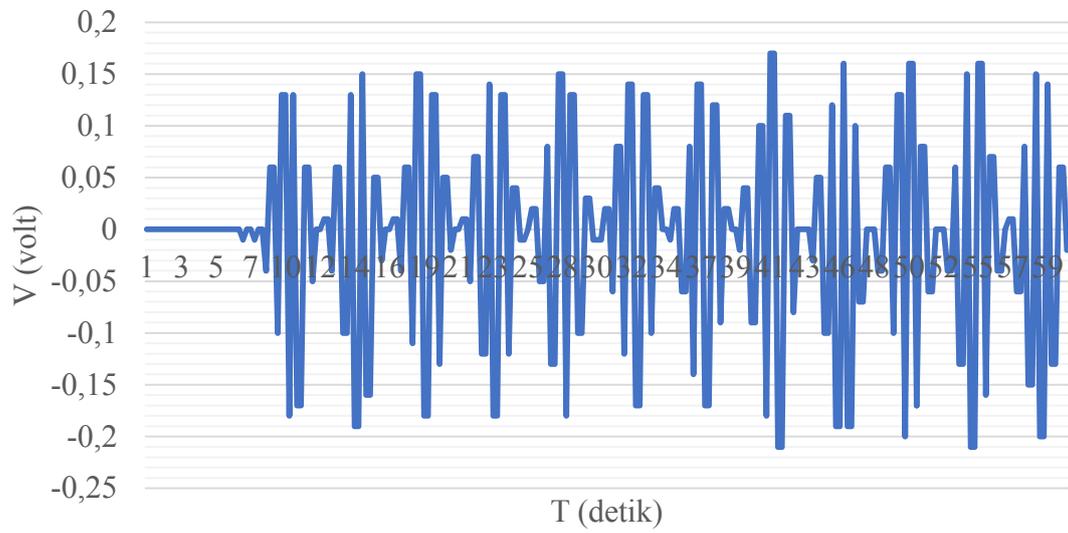
GRAFIK VOLTASE VARIASI 5  
(H071T097)



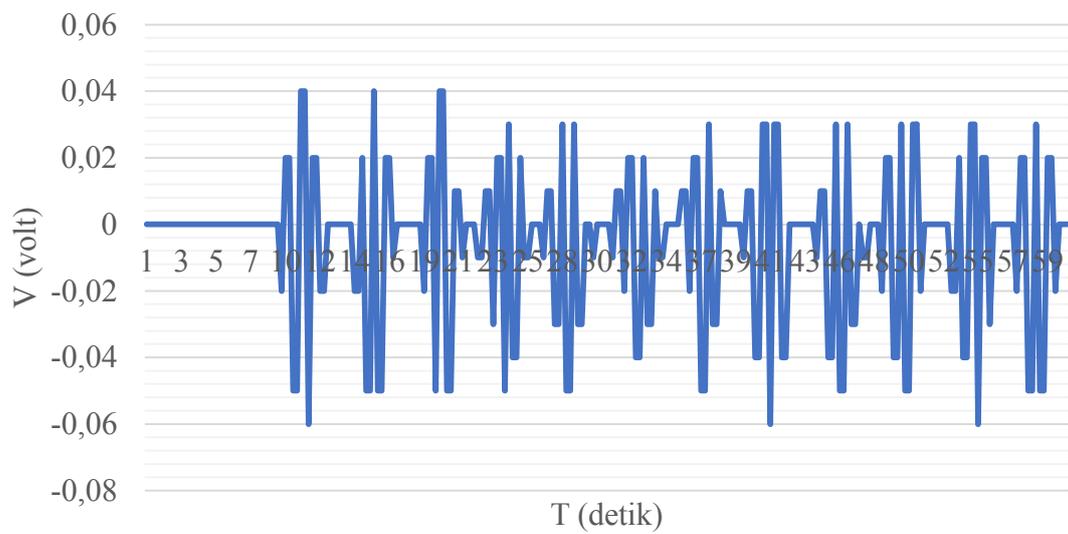
GRAFIK VOLTASE VARIASI 6  
(H068T082)



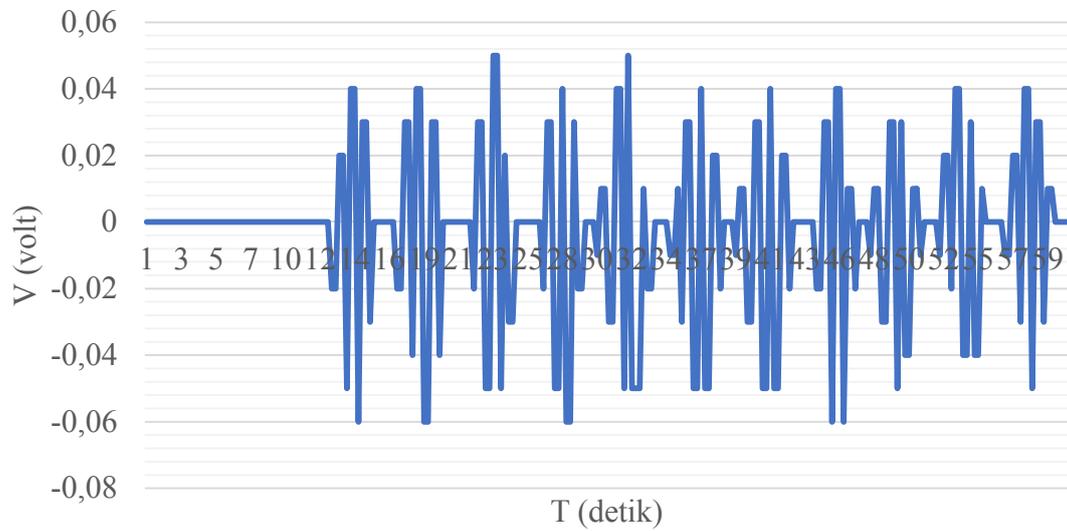
GRAFIK VOLTASE VARIASI 7  
(H043T083)



GRAFIK VOLTASE VARIASI 8  
(H041T059)



GRAFIK VOLTASE VARIASI 9  
(H015T064)



GRAFIK VOLTASE VARIASI 10  
(H014T065)



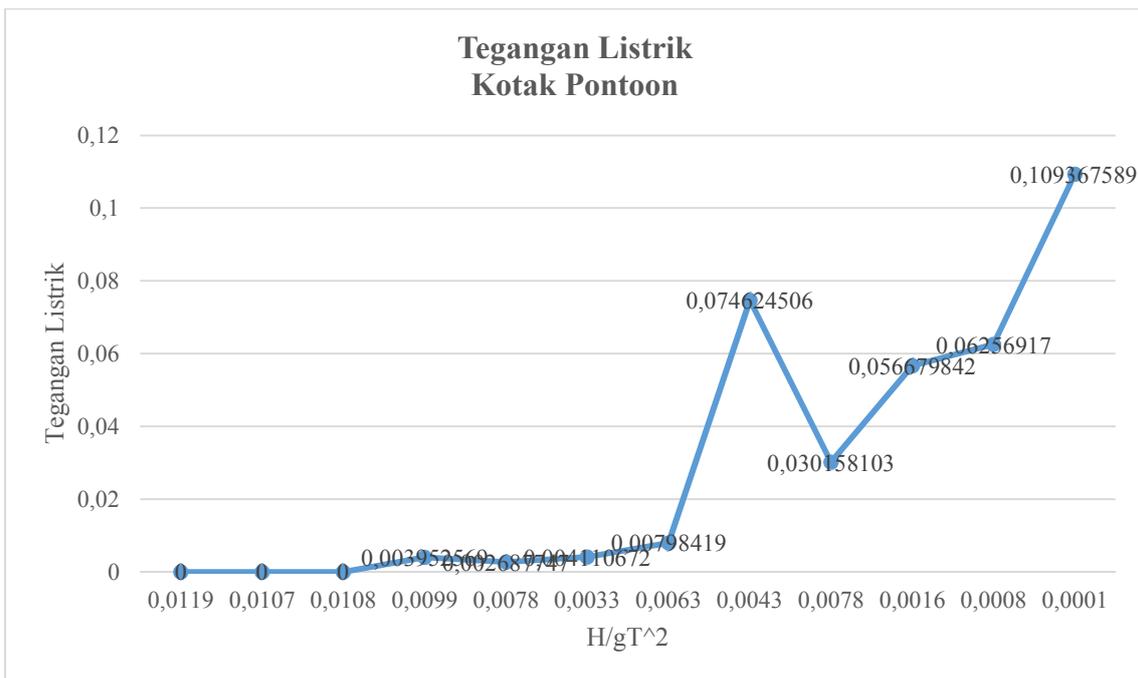
### GRAFIK VOLTASE VARIASI 11 (H007T078)



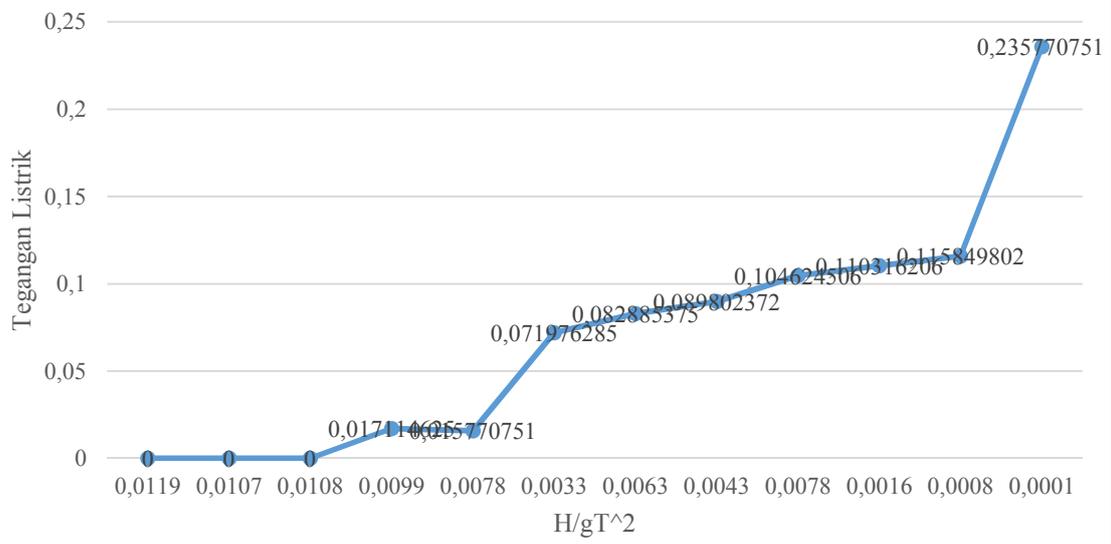
### GRAFIK VOLTASE VARIASI 12 (H005T088)



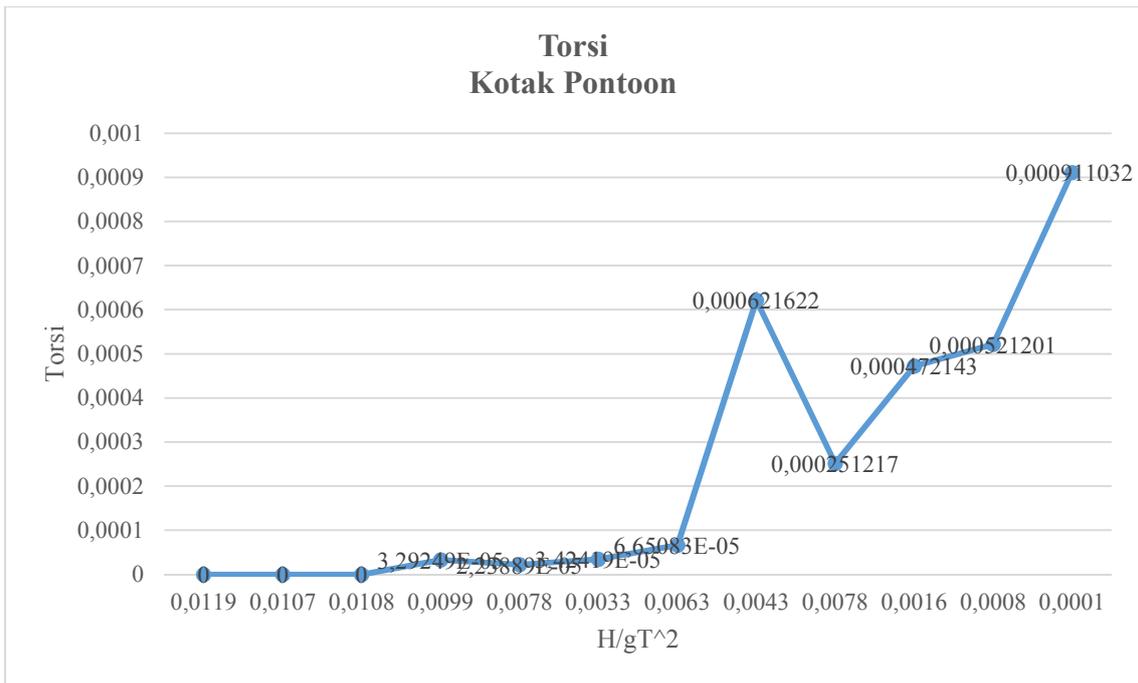
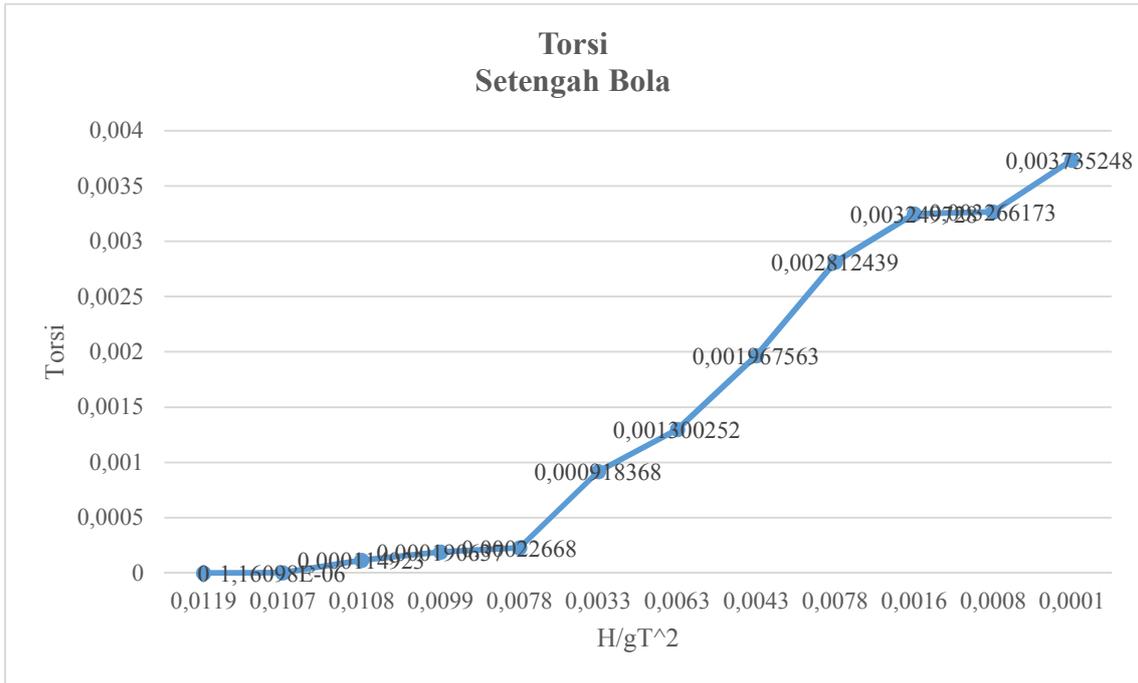
## Lampiran B. Data Rata-Rata Besar Tegangan



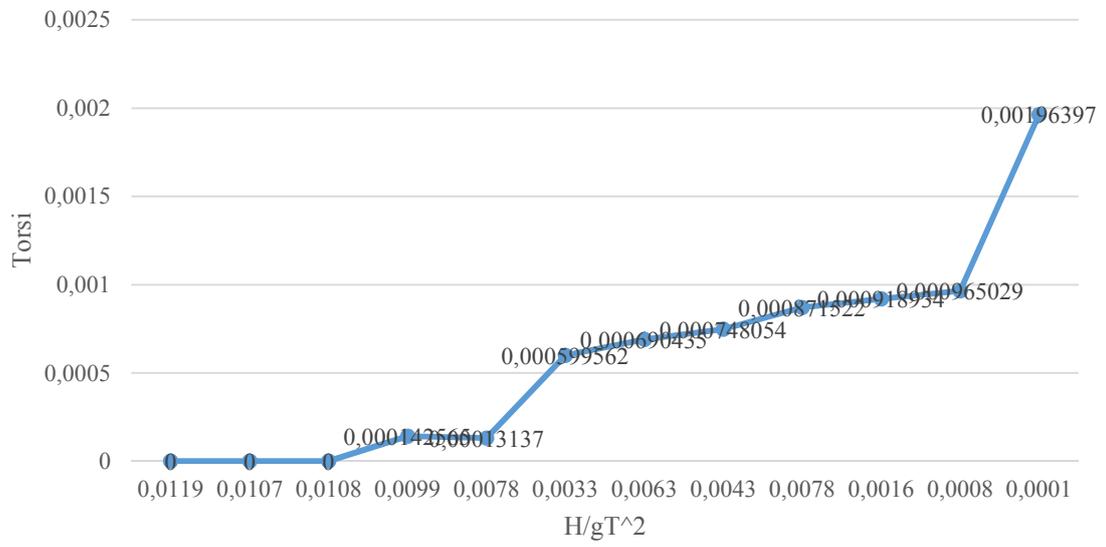
### Tegangan Listrik Kotak Pontoon



### Lampiran C. Data Rata-Rata Besar Torsi

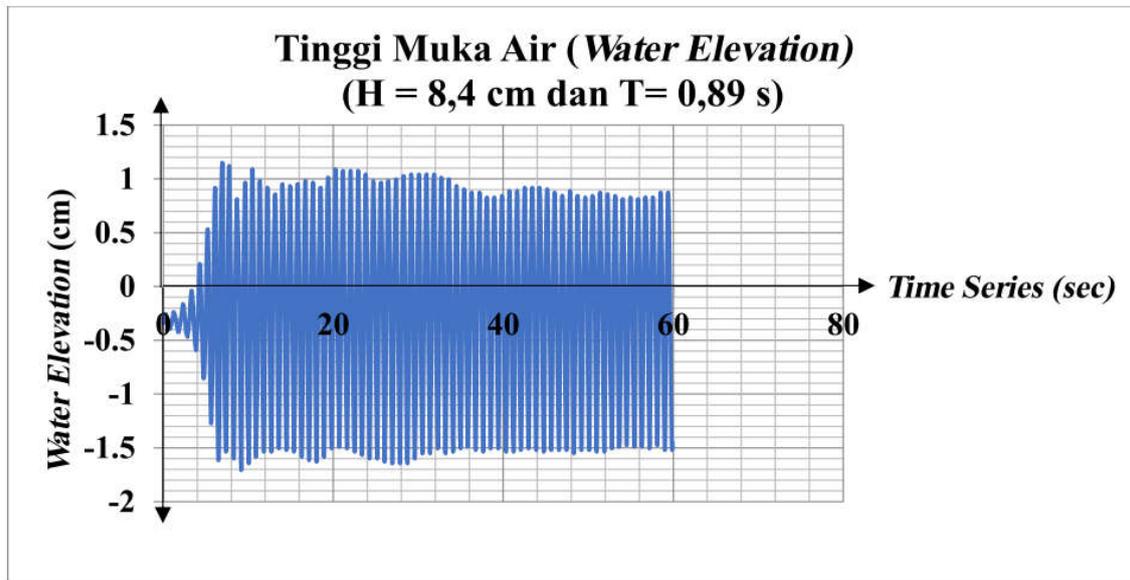
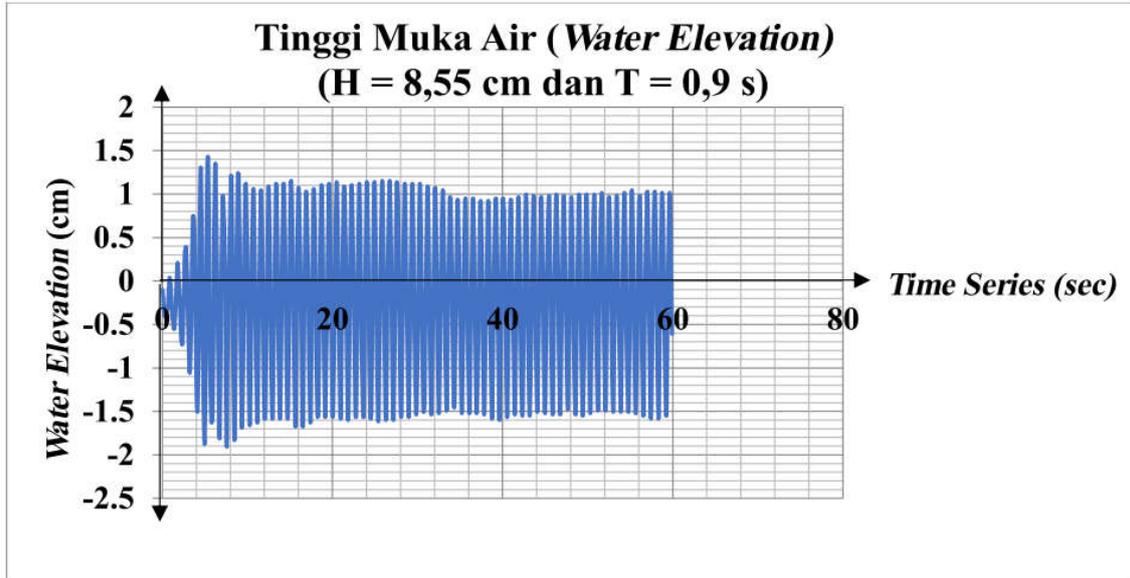


### Torsi Lambung Kapal



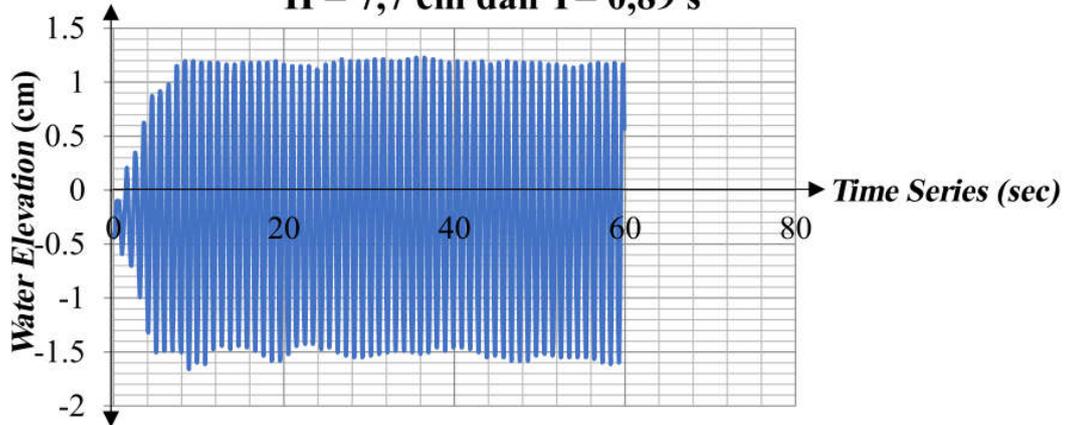
#### Lampiran D. Grafik Variasi Data Gelombang Yang Dibangkitkan

Grafik berikut merupakan grafik hasil dari variasi data gelombang yang dibangkitkan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.



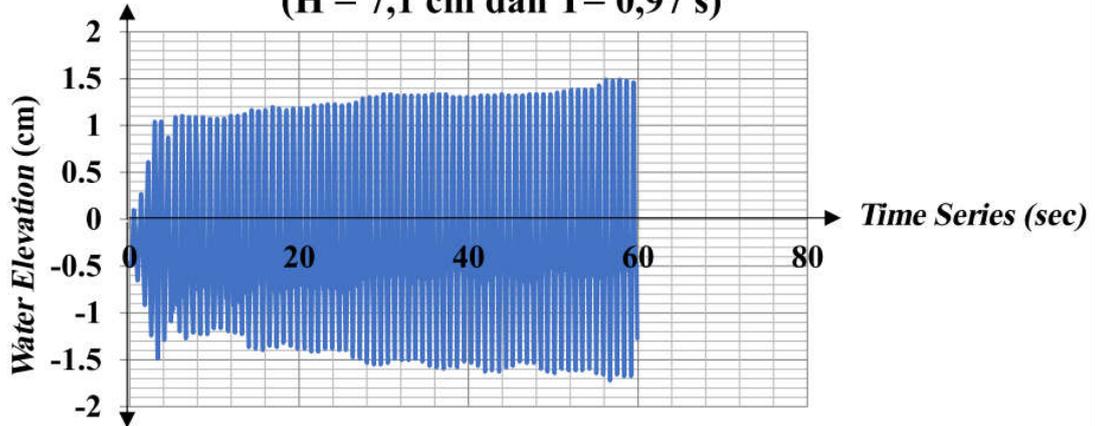
### Tinggi Muka Air (*Water Elevation*)

H = 7,7 cm dan T = 0,89 s



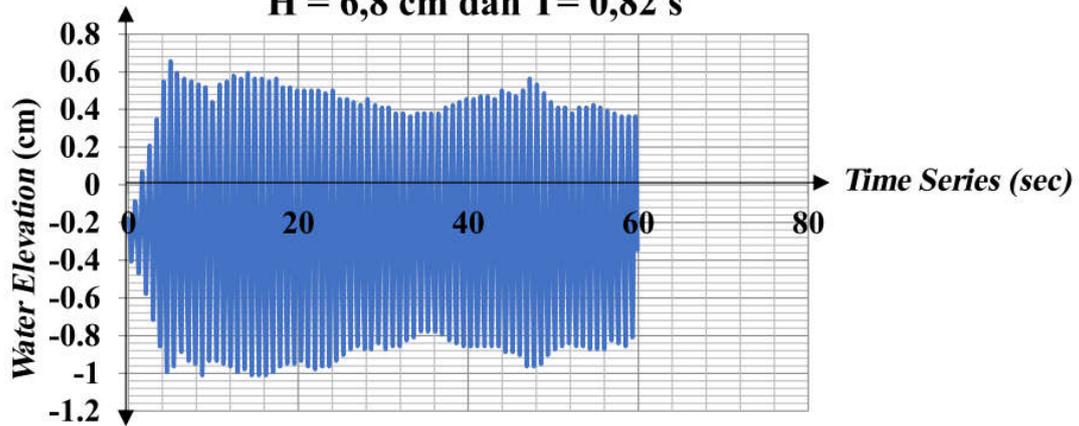
### Tinggi Muka Air (*Water Elevation*)

(H = 7,1 cm dan T = 0,97 s)



### Tinggi Muka Air (*Water Elevation*)

H = 6,8 cm dan T = 0,82 s



### Tinggi Muka Air (*Water Elevation*)

(H = 4,25 cm dan T = 0,83 s)

