



TUGAS AKHIR - TM141585

# ANALISA PERBANDINGAN ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN MEKANISME PLTGL SISTEM PELAMIS ANTARA SUSUNAN BERBARIS DAN BERBANJAR DENGAN VARIASI FREKUENSI GELOMBANG

A ADIYATMA MAULANA  
NRP. 2112 106 013

Dosen Pembimbing  
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**TUGAS AKHIR - TM141585**

**ANALISA PERBANDINGAN ENERGI LISTRIK YANG  
DIHASILKAN MEKANISME PLTGL SISTEM PELAMIS  
ANTARA SUSUNAN BERBARIS DAN BERBANJAR  
DENGAN VARIASI FREKUENSI GELOMBANG**

**A ADIYATMA MAULANA  
NRP. 2112 106 013**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM141585

# COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY GENERATED SYSTEM PELAMIS PLTGL MECHANISM BETWEEN PARALLEL ARRANGEMENT AND ROW ARRANGEMENT WITH WAVE FREQUENCY VARIATION

A ADIYATMA MAULANA  
NRP. 2112 106 013

Academic Supervisor  
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - TM141585**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICAL  
ENERGY GENERATED SYSTEM PELAMIS PLTGL  
MECHANISM BETWEEN PARALLEL ARRANGEMENT  
AND ROW ARRANGEMENT WITH WAVE  
FREQUENCY VARIATION**

**A ADIYATMA MAULANA  
NRP. 2112 106 013**

**Academic Supervisor  
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

**ANALISA PERBANDINGAN ENERGI LISTRIK YANG  
DIHASILKAN MEKANISME PLTGL SISTEM PELAMIS  
ANTARA SUSUNAN BERBARIS DAN BERBANJAR  
DENGAN VARIASI FREKUENSI GELOMBANG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Desain  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**A ADIYATMA MAULANA**  
NRP. 2112 106 013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT .....  
NIP. 197004121997032003 (Pembimbing)
2. Dr.Eng Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng .....  
NIP. 197505111999031001 (Penguji I)
3. Ir. J. Lubi .....  
NIP. 195106031976031002 (Penguji II)
4. Aida Annisa Amin Daman, ST., MT .....  
NIP. 2100201405002 (Penguji III)

**SURABAYA**  
**Juli, 2015**

**ANALISA PERBANDINGAN ENERGI LISTRIK YANG  
DIHASILKAN MEKANISME PLTGL SISTEM PELAMIS  
ANTARA SUSUNAN BERBARIS DAN BERBANJAR  
DENGAN VARIASI FREKUENSI GELOMBANG**

**Nama Mahasiswa** : A Adiyatma Maulana  
**NRP** : 2112 106 013  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST.,MT

**ABSTRAK**

*Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi manusia juga semakin meningkat. Pemenuhan energi ini sebagian besar berasal dari pembakaran fosil yang berumur jutaan tahun dan tidak dapat diperbaharui dan sebagian kecil saja yang berasal dari penggunaan sumber energi lain yang lebih terbarukan. Oleh karena itu, salah satu alternatif yang belum dimanfaatkan di Indonesia adalah energi gelombang laut.*

*Pada penelitian ini dibuat pemanfaatan model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. Mekanisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah Pelamis yang didalamnya terdapat kumparan dan magnet yang memanfaatkan prinsip GGL induksi. Pelamis akan mengapung di kolam simulasi kemudian akan bergerak dengan mengikuti naik turunnya gerakan gelombang. Gerakan naik turunnya gelombang mengakibatkan magnet yang ada didalamnya bergerak naik turun melewati kumparan yang diam, sehingga kumparan akan memotong garis-garis medan magnet dan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan dan menghasilkan listrik. Dengan beragam macam kondisi gelombang di lautan Indonesia, maka diperlukan pengujian mekanisme dengan variasi susunan Pelamis, yaitu susunan berbaris dan susunan berbanjar dan variasi frekuensi gelombang, yaitu 0,6 Hz, 0,7 Hz, dan 0,8 Hz*

*yang akan mempengaruhi gerakan Pelamis dan juga besar arus listrik yang dihasilkan.*

*Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa daya terbesar dari variasi frekuensi untuk susunan berbaris adalah pada frekuensi 0.8 Hz dengan daya yang dihasilkan, yaitu 1.06 miliWatt. Sedangkan pada susunan berbanjar adalah frekuensi 0.7 Hz dengan daya yang dihasilkan 1.56 miliWatt. Variasi susunan dan variasi frekuensi yang optimum untuk menghasilkan daya yang besar adalah frekuensi 0.7 Hz dengan susunan berbanjar.*

***Kata kunci : Mekanisme PLTGL, Pelamis, Susunan Berbanjar, Susunan Berbaris, Frekuensi Gelombang***

**COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY  
GENERATED SYSTEM PELAMIS PLTGL MECHANISM  
BETWEEN PARALLEL ARRANGEMENT AND ROW  
ARRANGEMENT WITH WAVE FREQUENCY  
VARIATION**

**Name** : A Adiyatma Maulana  
**NRP** : 2112 106 013  
**Department** : Mechanical Engineering FTI – ITS  
**Academic Supervisor** : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST.,MT

*Along with the development of human civilization, the level of human energy also needs increased. The fulfillment of this energy comes mostly from burning fossil millions of years ago and can not be updated and a small fraction derived from the use of other energy sources that more renewable. Therefore, one alternative that has not been used in Indonesia is the energy of ocean waves.*

*In this study, made use of a model mechanism Sea Wave Power Plant. The mechanisms used in this study is a Pelamis which there are coils and magnets that utilizes the principle of induction GGL. Pelamis will float in a pool simulation will then move to follow the ups and downs of the movement of the waves. Movement of the magnetic fluctuations resulting waves in it move up and down past stationary coil, so that the coil will cut the lines of the magnetic field and cause GGL induction at the ends of the coil and generate electricity. With a wide variety of ocean wave conditions in Indonesia, it is necessary to test the mechanism of the variation in the Pelamis arrangement, the parallel arrangement and row arrangement and wave frequency variation, which 0.6 Hz, 0.7 Hz, 0.8 Hz and which will affect the movement of Pelamis and also large electrical current is generated.*

*From the results of this study found that most of the power frequency variation to the parallel arrangement is at*



*frequency of 0.8 Hz with the power generated, which 1.06 miliWatt. While the row arrangement is 0.7 Hz frequency power generated 1.56 miliWatt. Variation in the arrangement and variations of the optimum frequency to produce large power frequency is 0.7 Hz with row arrangement.*

***Keywords: Mechanism PLTGL, Pelamis, Row Arrangement, Parallel Arrangement, Waves Frequency***

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis mencurahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa penyelesaian dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
2. Ibunda tercinta A Tina Malinda dan Ayahanda tercinta Ali Hanafi yang senantiasa memberikan dorongan semangat bagi penulis untuk terus berusaha agar menjadi anak yang dapat berguna di masa depan. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan rejekinya yang berlimpah.
3. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, Ir. J. Lubi dan ibu Aida Annisa Amin Daman, ST., MT. selaku dosen penguji proposal tugas akhir dan sidang tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Ir. Atok Setyawan., M.sc. selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas perhatiannya selama ini.
5. Bapak Ir. BambangPramujati, MSc. Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah menjadi ujung tombak dari kemajuan Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS.
7. Terima kasih kepada Saudara dan Saudariku Yayat, Neni, Yunita, dan Zulfaidah yang telah memberikan semangat yang sungguh luar biasa.
8. Rekan – rekan tim Ocean Wave Energy Amiruddin, Akbar, Marpaung, Efraim, Andri, dan Esha yang sama-sama

berjuang dan saling bahu membahu menyelesaikan penelitian ini.

9. Alex Siswanto sebagai teman seperjuangan selama di Surabaya yang telah banyak membantu penulis disaat susah dan senang.
10. Teman-teman yang ada di Makassar terutama anak-anak PLONTOS semoga cepat mendapatkan pekerjaan dan menikah.
11. Teman-teman lab. Vibrasi dan Sistim Dinamis terima kasih atas doa dan dukungannya.
12. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat diharapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2015

**Penulis**

## DAFTAR ISI

### JUDUL

### LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 <i>Tinjauan Pustaka</i> .....	5
2.1.1 <i>Pelamis Wave Energy Converter</i> .....	5
2.1.2 <i>Lysekil Project</i> .....	6
2.1.3 <i>Wave Star Energy Corp</i> .....	8
2.1.4 <i>Analisa Frekuensi dan Amplitudo Gelombang</i> 2.1.5 <i>Pada Simulator Gelombang</i> .....	10
2.2 <i>Dasar Teori Gelombang Laut</i>	
2.2.1 <i>Definisi Gelombang Laut</i> .....	12
2.2.2 <i>Proses Terjadinya Gelombang Laut</i> .....	13
2.2.3 <i>Wave Energy Converter</i> .....	16
2.2.4 <i>Metode Pemanfaatan Gelombang Laut</i> <i>Sebagai Penghasil Energi Listrik</i> .....	18

2.2.5	<i>Wave Force</i> .....	22
2.2.5.1	Fluktuasi Muka Air Terhadap SWL ( <i>Sea Water Level</i> ) .....	23
2.2.5.2	Bouyancy Force .....	25
2.2.5.3	<i>F Generated</i> .....	26
2.3	Dasar Teori Mekanika Getaran .....	27
2.3.1	Gerak Harmonik .....	28
2.3.2	Amplitudo.....	29
2.3.3	Frekuensi .....	29
2.4	Dasar Teori Elektromagnetik.....	30
2.4.1	Induksi Magnet.....	30
2.4.2	Arus Listrik oleh Gaya Magnetik .....	32

### **BAB III METODOLOGI**

3.1	Tahapan Penelitian.....	35
3.1.1	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	35
3.2	Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir .....	36
3.1.2	Studi Literatur.....	36
3.1.3	Identifikasi Masalah .....	36
3.1.4	Rancang Bangun PLTGL .....	36
3.3	Pemodelan Matematika.....	40
3.3.1	Keseimbangan Statis .....	40
3.3.2	Keseimbangan Dinamis.....	41
3.3.3	Analisa Power Pada Generator Linier.....	42
3.4	Tahap Pengujian .....	44
3.4.1	Peralatan Pengujian .....	47
3.4.2	Pengambilan Data.....	49
3.4.2.1	Diagram Alir Pengambilan Data .....	49
3.5	Analisa Data dan Pengolahan Data .....	51

## **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Analisa Data dan Pengolahan Data .....	53
4.2	Analisa Teoritis dan Pembahasan .....	54
4.2.1	Contoh Perhitungan .....	54
4.2.2	Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Pelamis Dalam Menghasilkan Energi Listrik .....	57
4.3	Analisa dan Pembahasan Pengujian .....	59
4.3.1	Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Berbaris .....	59
4.3.2	Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Berbanjar .....	61
4.3.3	Pembahasan Grafik .....	63
4.3.3.1	Perbandingan Pengaruh Frekuensi Terhadap Voltase Tiap-tiap Pelamis yang Dihasilkan Pada Pengujian .....	63
4.4	Hasil Perbandingan Daya Teoritis dengan Daya Aktual .....	66
4.5	Efisiensi Mekanisme .....	68
4.5.1	Efisiensi Variasi Frekuensi .....	69
4.6	Aplikasi PLTGL Mekanisme Pelamis Pada Skala Riil .....	70

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	73
5.2	Saran .....	74

## **DAFTAR PUSTAKA**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengambilan Data.....	51
Tabel 4.1 Daya Teoritis Variasi Frekuensi dan Susunan Pelamis .....	57
Tabel 4.2 Perbandingan Voltase tiap-tiap Pelamis .....	63
Tabel 4.3 Perbandingan daya hasil perhitungan Teoritis dengan Pengujian .....	67
Tabel 4.4 Tabel Efisiensi Variasi Frekuensi .....	69
Tabel 4.5 Hasil Daya yang Dihasilkan Antara Skala Laboratorium dan Skala Riil.....	71



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi manusia juga semakin meningkat. Pemenuhan energi ini sebagian besar berasal dari pembakaran fosil yang berumur jutaan tahun dan tidak dapat diperbaharui dan sebagian kecil saja yang berasal dari penggunaan sumber energi lain yang lebih terbarukan. Berdasarkan data dari PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) permintaan akan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2001 terjadi kenaikan listrik sebesar 6,5%, disusul tahun 2002 menjadi 12,8%. Diprediksikan sepuluh tahun ke depan, kenaikan permintaan menjadi 9% setiap tahunnya. Ironisnya, sumber energi utama di Indonesia semakin terbatas cadangannya.

Salah satu alternatif sumber energi yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia adalah energi gelombang laut. Energi ini tersedia melimpah selama 24 jam sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat kepulauan, bahkan untuk menjadi salah satu sumber energi alternatif di masa yang akan datang. Secara geografis, Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak diantara 2 samudera, yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, mempunyai potensi yang sangat besar untuk mengembangkan energi gelombang laut dikarenakan panjang pantai Indonesia sekitar 80.000 km dan luas total lautannya 8 juta km<sup>2</sup>. Potensi sumber daya energi listrik hingga mencapai 727.000 MW dan belum dimanfaatkan. Sementara teknologi yang paling siap adalah teknologi gelombang dan arus pasang surut dengan potensi praktis 6.000 MW (Prof. Dr. Mukhtasor, 2011).

Pada penelitian ini, dibuat pemanfaatan energi gelombang laut dengan mekanisme pelamis yang mengikuti gerakan gelombang air laut. Prinsip kerja dari mekanisme ini memanfaatkan prinsip GGL induksi menjadi energi listrik untuk skala laboratorium. Pelamis akan menghasilkan arus listrik pada saat magnet yang ada di dalam pelamis bergerak naik turun mengikuti pergerakan gelombang air, sehingga kumparan yang diam di dalam pelamis akan memotong garis-garis medan magnet yang menyebabkan fluks magnet yang besarnya berubah-ubah. Perubahan fluks magnet ini akan menimbulkan GGL induksi. Dengan beragam macam kondisi gelombang di lautan Indonesia, maka diperlukan pengujian mekanisme dengan variasi frekuensi gelombang dan variasi susunan pelamis yang akan mempengaruhi gerakan pelamis dan juga besar arus listrik yang dihasilkan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, maka diperlukan suatu penelitian untuk merancang bangun suatu mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dengan menggunakan pelamis yang mengikuti gerakan gelombang air dengan memanfaatkan prinsip GGL induksi. Pada penelitian ini dititikberatkan pada studi eksperimen pengaruh variasi frekuensi gelombang dan susunan pelamis, yaitu berbaris dan berbanjar terhadap energi listrik yang dihasilkan. Pelamis yang bergerak mengikuti gerakan gelombang akan menggerakkan magnet naik turun, sehingga kumparan yang diam di dalam pelamis akan menghasilkan listrik. Gerakan naik turun dipengaruhi oleh amplitudo dan frekuensi gelombang air terhadap pelamis. Dari uraian diatas, maka permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mendesain dan merancang mekanisme PLTGL tipe pelamis dengan memanfaatkan prinsip GGL induksi ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pelamis yang disusun secara berbaris dan berbanjar terhadap energi listrik yang dihasilkan berdasarkan karakteristik

- gelombang yang dihasilkan oleh simulator gelombang ?
3. Bagaimana pengaruh variasi frekuensi gelombang terhadap energi listrik yang dihasilkan mekanisme PLTGL tersebut ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mekanisme PLTGL pada penelitian ini dibuat untuk skala laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis, Jurusan Teknik Mesin-ITS.
2. Gelombang air yang digunakan hasil simulasi mekanisme pembuat gelombang yang dapat divariasikan frekuensinya.
3. Gelombang yang terjadi merupakan gelombang yang merambat ke satu arah.
4. Sudut pelamis yang terkena oleh gaya ombak pada susunan berbaris dan berbanjar dianggap sama.
5. Gesekan antara magnet dan tabung diabaikan.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendesain dan merancang mekanisme PLTGL dengan menggunakan prinsip GGL induksi yang mampu menggerakkan pelamis mengikuti gerakan gelombang air, sehingga menghasilkan arus listrik akibat magnet bergerak naik turun.
2. Mendapatkan energi listrik optimum yang dihasilkan mekanisme PLTGL tipe tersebut akibat variasi frekuensi dan susunan pelamis terhadap gelombang yang dihasilkan simulator gelombang.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana desain PLTGL tipe pelamis yang dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal. Sehingga, hasil dari tugas akhir ini bisa menjadi dasar pengembangan pada Mekanisme Pemanen Energi Gelombang Laut dengan prinsip induksi magnet.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1 *Pelamis Wave Energy Converter*

*Pelamis Wave Energy Converter* adalah teknologi yang menggunakan gerakan gelombang laut permukaan untuk menciptakan listrik. Mesin ini terdiri dari bagian-bagian yang terhubung, dimana bagian tersebut bisa melentur dan menekuk saat gelombang lewat. Gerakan ini yang akan digunakan untuk menghasilkan listrik. *Pelamis* dikembangkan oleh perusahaan Skotlandia yang diberi nama *Pelamis Wave Power* (sebelumnya *Ocean Power Delivery*).

*Pelamis Wave Power* mempunyai empat tabung dengan panjang panjang 120 m dan berdiameter 3.5 m. *Pelamis* dites prototip dengan skala penuh pertama antara tahun 2004 dan 2007 di *Marine Eropa Energy Centre* di Orkney, Skotlandia. Mesin pembangkit ini bekerja pada laut dengan kedalaman lebih dari 50 m dan berjarak 2-10 km dari pantai (tipe pembangkit *offshore*). Prinsip kerja dari *Pelamis Wave Power Converter* adalah pembangkit ini mengapung dengan beberapa bagian tubuhnya tenggelam dalam air laut, dan posisi *pelamis* langsung berhadapan dengan arah ombak. Badan *pelamis* terdiri dari empat tabung yang terhubung dengan *universal joints* (sambungan universal) yang memungkinkan pergerakan dua arah. Pembangkit ini menghasilkan daya *output* 750 kW dan menjadikan mesin tenaga ombak lepas pantai pertama di dunia untuk menghasilkan listrik ke dalam sistem grid.

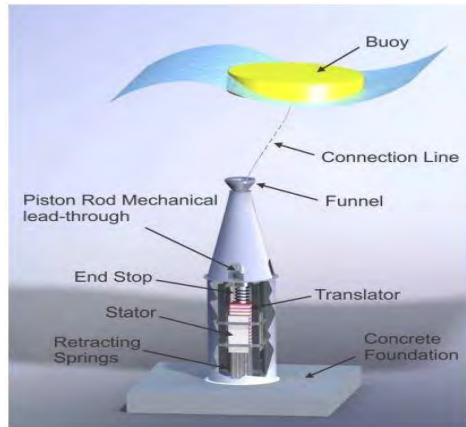


Gambar 2.1 Mesin prototype pelamis di EMEC, Orkney, Scotland dan Skema pergerakan Pelamis

(Sumber : <http://www.pelamiswave.com/pelamis-technology>)

### **2.1.2 Lysekil Project**

Pemanfaatan gelombang laut sebagai energi baru dan terbarukan sudah lama telah dikembangkan. Dalam pemanfaatan gelombang laut yang telah dikembangkan biasanya menggunakan generator kecepatan tinggi. Maka dibutuhkan mekanisme yang dapat mengkonversi dari gerakan naik turun gelombang laut menjadi gerak putar. Sehingga dibutuhkan banyak komponen yang berputar. Ada alternatif lain untuk melakukan pemanenan energi gelombang laut secara langsung, yaitu dengan generator linier.



Gambar 2.2.Deskripsi WEC yang dikembangkan di Uppsala University  
(Sumber : E. Lejerskog et al .2008)

Riset ini dikembangkan di Swedia sebelah barat, sekitar 100 km di utara Gothenburg, dekat dengan Lysekil. Dimanfaatkan gaya gelombang laut untuk menggerakkan pelampung sehingga pelampung bergerak naik turun (*heaving*). Pelampung akan menggerakkan *translator* yang terdapat magnet permanen sehingga akan menginduksikan arus pada kumparan di *stator* dari generator, dengan demikian dapat mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik. *Translator* dihubungkan dengan pegas pada pondasi generator yang berguna untuk memberikan gaya balik. Dibagian atas dan bawah generator terdapat *end stops* dengan maksud untuk membatasi langkah dari translator.

Desain riset Lysekil berdasar pada *direct driven, linear* dan *synchronous three phase* generator dengan pelampung pada permukaan air laut. Berat total sekitar 1 ton, dengan pelampung berbentuk silinder dengan permukaan rata, berdiameter 3 m dan tinggi 0.8 m dengan bagian yang terendam sebesar 0.4 m. Pelampung dihubungkan dengan translator dengan menggunakan



tali yang kuat sepanjang 3 m. Pergerakan translator sangat tergantung pada gerak *heaving* dari pelampung dalam menyerap energi gelombang laut. Magnet yang dipasang pada *translator* yaitu magnet N40 Nd-Fe-B dengan *remaent induction* sebesar 1.3 T dan energi yang dihasilkan 320 kJ/m<sup>3</sup>. *Power* yang akan dihasilkan oleh generator sebesar 10 kW dengan tegangan 200V dan kecepatan *translator* sebesar 0.67 m/s dan arus yang dihasilkan sebesar 29 A. Dengan panjang *translator* 1850 mm dan panjang stator 1250 mm. Dengan total *stroke* 2190 mm dan *freestroke* sebesar 1800 mm.

### 2.1.3 Wave Star Energy Corp

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut dikembangkan oleh *Wave Star Energy Corp* sebuah perusahaan yang didirikan di Denmark pada tahun 2003, mengembangkan salah satu pembangkit listrik dengan menggunakan pelampung (*heavy buo*) yang telah dibuat prototipe dan telah dipasang di laut. Pengembangan dilakukan secara bertahap dimulai dengan skala model pada tahun 2004 – 2005, dilakukan studi numerikal atau pemodelan kemudian dengan model skala 1:40 (bisa dilihat pada Gambar 2.3) dilakukan di Aalborg University, Department of Civil Engineering.



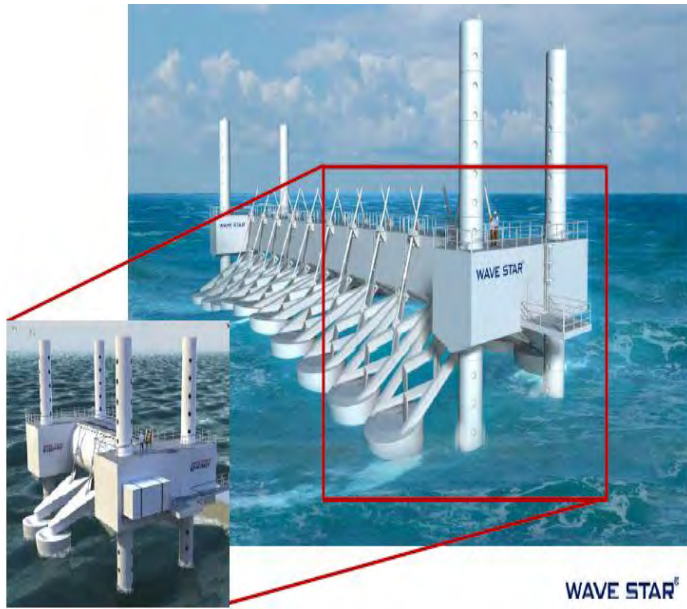
Gambar 2.3. Konsep PLTGL dengan Model Skala 1:40

Pada tahun 2006 – 2008 dilakukan dengan model skala yang lebih besar yaitu 1 :10 dilakukan di Nissum Bredning ( bisa dilihat pada Gambar 2.2). Memiliki panjang 24 meter terdiri dari 40 pelampung dengan diameter pelampung 1 meter. Mekanisme memanfaatkan gerakan naik turun dari sistem pelampung, dimana ketika pelampung turun mengisi ruangan silinder, ketika pelampung bergerak naik akan membuka katup ( *valve*) untuk menggerakkan generator. Mekanisme dengan skala ini menghasilkan daya listrik sebesar 1800 pada 0,5 m Hs.



Gambar 2.4. Konsep PLTGL dengan Model Skala 1 :10

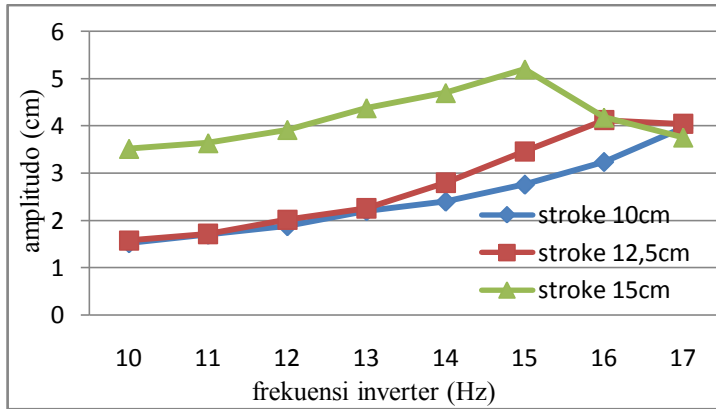
Untuk skala 1 : 2 seperti yang terlihat pada gambar 2.4, memiliki panjang 120 m yang terdiri dari 40 pelampung dengan diameter 5 m. Mekanisme ini bekerja pada kedalaman 10 m di laut dalam dan mampu menghasilkan daya listrik sebesar 500 kW pada 2,5 m Hs.



Gambar 2.5. Konsep PLTGL dengan Model Skala 1 : 2

#### 2.1.4 Analisa Frekuensi dan Amplitudo Gelombang Pada Simulator Gelombang

Penelitian yang dilakukan oleh Riski Fauzi Rifai (2014) dengan judul penelitian Rancang Bangun Simulator Gelombang Laut Berskala Laboratorium Dengan Variasi Frekuensi Dan Amplitudo. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan pengaruh frekuensi terhadap gelombang seperti pada gambar 2.6 :



Gambar 2.6. Grafik pengaruh frekuensi terhadap tinggi gelombang

Dari penelitian yang dilakukan oleh Riski Fauzi Rifai dengan frekuensi inverter yang di atur dari 10 -17 Hz dapat dilihat pada gambar 2.6 grafik pengaruh frekuensi terhadap tinggi gelombang, jika semakin tinggi frekuensi gelombang maka amplitudo juga akan semakin besar. Trend tersebut terjadi pada hampir semua nilai frekuensi, kecuali pada nilai *stroke* 12.5 cm dan 15 cm, dimana pada frekuensi tinggi terjadi penurunan nilai amplitudo. Penurunan ini jika dilihat dari video disebabkan oleh gelombang balik pada kolam simulator.

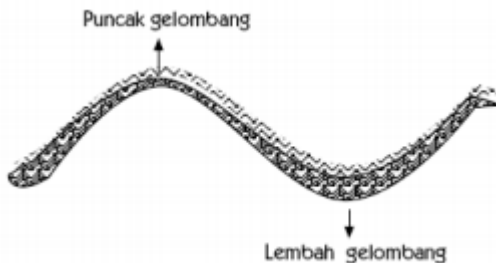
Penelitian PLTGL mekanisme tipe pelamis generator linier menggunakan frekuensi yang bervariasi untuk mengetahui karakteristik energi listrik yang dihasilkan. Dimana frekuensi yang berbeda akan menghasilkan amplitudo gelombang yang berbeda yang akan berpengaruh terhadap gerak ayun naik turun pelampung.

## 2.2 Dasar Teori Gelombang Laut

### 2.2.1 Definisi Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut menurut Drs. Waldopo, M.Pd adalah *“Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergerak satu sama lain, maka pada bidang gerakanya akan terbentuk gelombang”*.

Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7. Gambar pergerakan air laut  
(Sumber: Waldopo, 2008)

Pada dasarnya pergerakan air laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dari pergerakan angin. Gelombang yang dibangkitkan angin ini terbentuk karena transfer energi dari angin ke permukaan air laut. Kecepatan angin menimbulkan riak kecil di atas permukaan air. Bila kecepatan angin bertambah, maka riak tersebut semakin besar, dan bila angin berhembus terus maka terjadilah gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus maka semakin besar gelombang yang terbentuk.

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan.

Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut :

- Benda (body) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
- Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
- Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah gempa bumi, dll.
- Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

### 2.2.2 Proses Terjadinya Gelombang Laut

Proses terbentuknya pembangkitan gelombang di laut oleh gerakan angin belum sepenuhnya dapat dimengerti, atau dapat dijelaskan secara terperinci. Tetapi menurut perkiraan, gelombang terjadi karena hembusan angin secara teratur, terus-menerus, di atas permukaan air laut. Hembusan angin yang demikian akan membentuk riak permukaan, yang bergerak kira-kira searah dengan hembusan angin (lihat Gambar 2.8).



Gambar 2.8. Proses pembentukan gelombang akibat angin (<http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/proses-pembangkitan-gelombang-di-laut.html>)

Bila angin masih terus berhembus dalam waktu yang cukup panjang dan meliputi jarak permukaan laut (*fetch*) yang cukup besar, maka riak air akan tumbuh menjadi gelombang. Pada saat yang bersamaan, riak permukaan baru akan terbentuk di atas gelombang yang terbentuk, dan selanjutnya akan berkembang menjadi gelombang – gelombang baru tersendiri. Proses yang demikian tentunya akan berjalan terus menerus (kontinyu), dan bila gelombang diamati pada waktu dan tempat tertentu, akan terlihat sebagai kombinasi perubahan-perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang yang saling bertautan. Komponen gelombang secara individu masih akan mempunyai sifat-sifat seperti gelombang pada kondisi ideal, yang tidak terpengaruh oleh gelombang-gelombang lain. Sedang dalam kenyataannya, sebagai contoh, gelombang-gelombang yang bergerak secara cepat akan melewati gelombang-gelombang lain yang lebih pendek (lamban), yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya perubahan yang terus-menerus bersamaan dengan gerakan gelombang-gelombang yang saling melampaui.

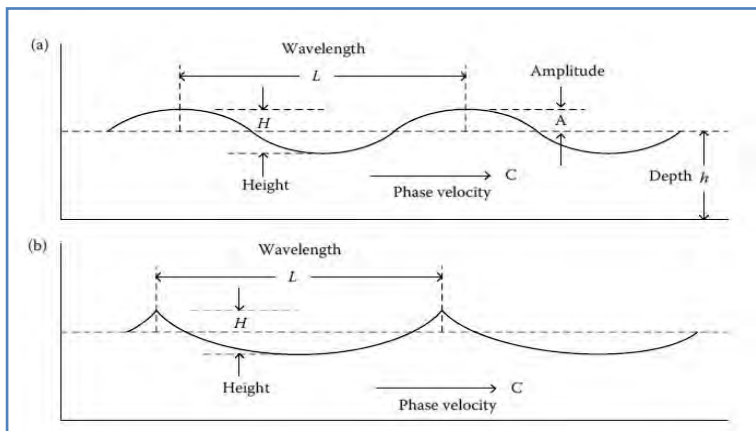
Sebuah gelombang terdiri dari beberapa bagian antara lain, yaitu:

- a. Puncak gelombang (*Crest*) adalah titik tertinggi dari sebuah gelombang.
- b. Lembah gelombang (*Trough*) adalah titik terendah gelombang, diantara dua puncak gelombang.
- c. Panjang gelombang (*Wave length*) adalah jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
- d. Tinggi gelombang (*Wave height*) adalah jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
- e. Periode gelombang (*Wave period*) adalah waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk melalui satu titik.

Bhat (1978), Garisson (1993), dan Gross (1993) mengemukakan bahwa ada 4 bentuk besaran yang berkaitan dengan gelombang. Yakni :

- Amplitudo gelombang ( $A$ ) adalah jarak antara puncak gelombang dengan permukaan rata-rata air.
- Frekuensi gelombang ( $f$ ) adalah sejumlah besar gelombang yang melintasi suatu titik dalam suatu waktu tertentu (biasanya didefinisikan dalam satuan detik).
- Kecepatan gelombang ( $C$ ) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu tertentu.
- Kemiringan gelombang ( $H/L$ ) adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

Bentuk fisik dari gelombang laut telah dijelaskan oleh Van Dorn In. Karakteristik terdapat dua karakteristik dari ombak yang dibedakan atas periodenya, pada gambar 2.9 dijelaskan dua tipe dari gelombang.



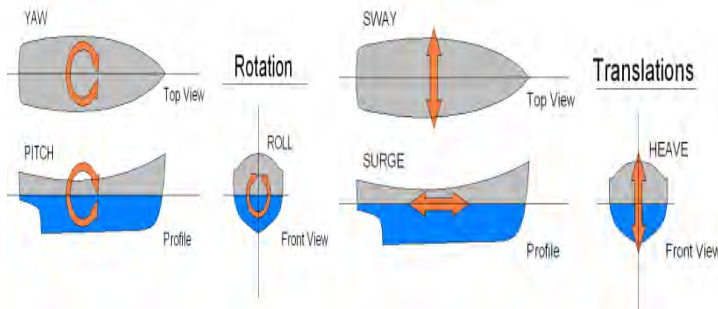
Gambar 2.9. Karakteristik ombak (Alireza K, 2010)



### 2.2.3 Wave Energy Converter

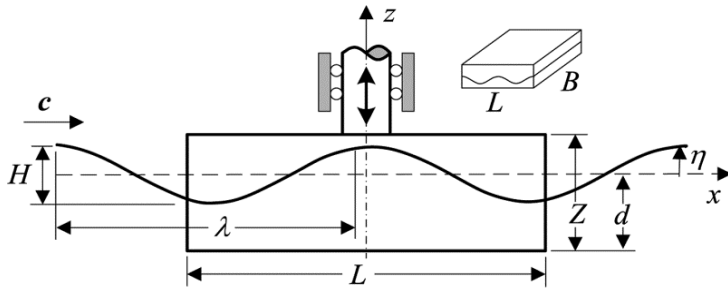
Upaya untuk memanfaatkan energi gelombang laut telah banyak dilaksanakan baik dengan konsep yang sederhana maupun yang canggih. Sejumlah percobaan telah dilaksanakan oleh para ahli di bidang gelombang laut dan telah ditemukan beberapa konsep pemanfaatannya (Astu Pudjanarsa dan Djati Nursuhud 2007). Pada dasarnya sebuah benda yang berada diatas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya eksternal yang menyebabkan benda tersebut bergerak. Gerakan ini disebabkan terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh gelombang dan gelombang benda mengalami 2 jenis gerak yaitu :

1. Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi : *rolling, pitching, yawing*.
2. Gerakan Linier, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya meliputi : *surging, swaying, heaving*.

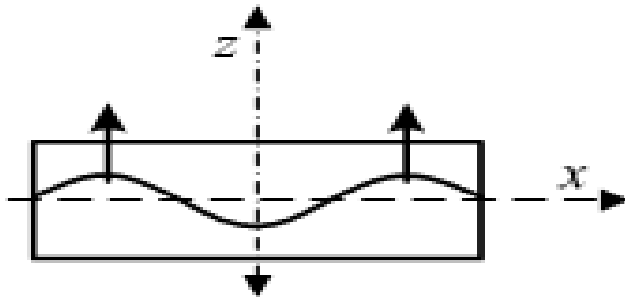


Gambar 2.10. Gerakan benda diatas gelombang laut  
(Sumber : Sayuti, Ganding, Suandar, 2014)

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai salah satu konsep *wave energy converter* yaitu *heaving*.



Gambar 2.11. Bodi mengapung terkena gerak *heaving*  
(Sumber : Michael E. McCormick, “*Ocean Wave Energy Conversion*”. 1936)



Gambar 2.12. *Pure heaving condition*  
(Sumber : Michael E. McCormick, “*Ocean Wave Energy Conversion*”. 1936)

Berdasarkan gambar 2.11. dan 2.12, ditunjukkan cara kerja dari energi gelombang laut dengan memanfaatkan naik turunnya gelombang laut (*heaving*). Suatu benda yang memanfaatkan gerak naik turunnya ombak dalam arah vertikal. Gerak naik turun benda tersebut dapat mendorong suatu mekanisme alat yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik ataupun penggerak mekanisme yang lain. Besarnya daya mekanik dari benda yang bergerak naik turun (*heaving body*) adalah produk

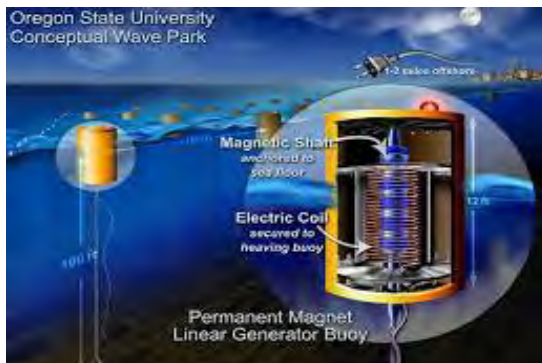
dari gaya ombak yang terinduksi dan kecepatan naik turunnya benda.

#### 2.2.4 Metode Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Penghasil Energi Listrik

Ada bermacam-macam metode yang dapat digunakan untuk pemanfaatan gelombang laut sebagai penghasil energi listrik, diantaranya adalah :

##### a. *Permanen Magnet Linear Buoy*

Peneliti Universitas Oregon mempublikasikan temuan teknologi terbarunya yang diberi nama *Permanent Magnet Linear Buoy*. Diberi nama buoy karena memang pada prinsip dasarnya, teknologi terbaru tersebut dipasang untuk memanfaatkan gelombang laut di permukaan. Berbeda dengan buoy yang digunakan untuk mendeteksi gelombang laut yang menyimpan potensi tsunami. Prinsip dasar buoy penghasil listrik ini yaitu dengan mengapungkannya di permukaan. Gelombang laut yang terus mengalir dan berirama bolak-balik dalam buoy ini akan diubah menjadi gerakan harmonis listrik. Sekilas bila dilihat dari bentuknya, buoy ini mirip dengan dinamo sepeda.



Gambar 2.13. Sistem Buoy

(Sumber : <https://teknergi.wordpress.com/>)

b. Sistem sirip ikan hiu buatan

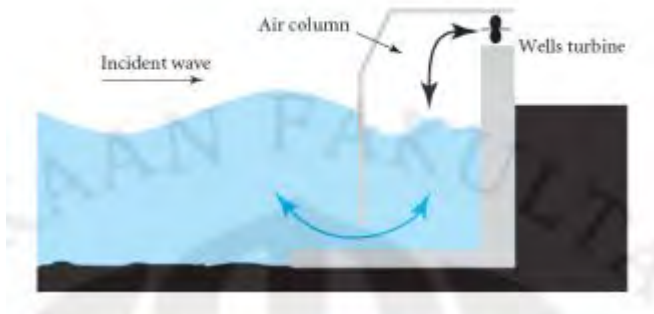
Sistem ini dikembangkan oleh perusahaan inovatif *Bio Power System* yang mengembangkan sirip ikan hiu buatan dan rumput laut mekanik untuk menangkap energi dari ombak. Ketika arus ombak menggoyang sirip ekor mekanik dari samping ke samping, sebuah kotak gir akan mengubah gerakan osilasi tersebut menjadi gerakan searah yang menggerakkan sebuah generator magnetik. Rumput laut mekanik pun bekerja dengan cara yang sama, yaitu dengan menangkap arus ombak di permukaan laut dan menggunakan generator dan menggunakan generator yang serupa untuk merubah pergerakan laut menjadi listrik. Dalam konfigurasi ini, mekanisme pendorong dibalik dan energi yang terdapat pada arus yang mengalir digunakan untuk mendorong gerakan terhadap torsi penahan dari sebuah generator listrik.



Gambar 2.14. Sirip ikan hiu buatan yang disebut *biostream* hasil ciptaan Prof. Tim Finnigan, University Of Sydney

c. *Oscilating Water Column System*

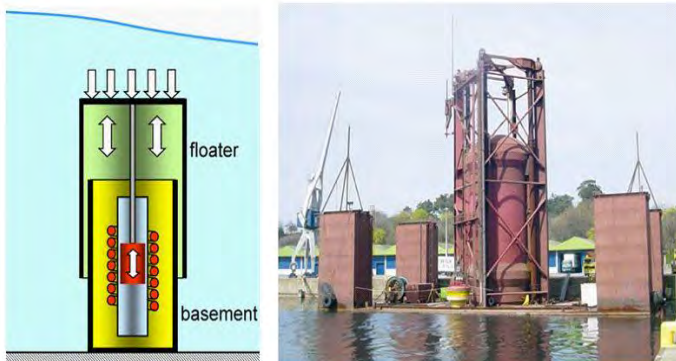
Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin.



Gambar 2.15 Sistem *Oscillating Water Column*

d. *Fully Submerged Heaving System*

*Fully submerged heaving system* merupakan salah satu tipe *wave energy converter* dimana posisi pelampung berada dibawah air dan pergerakan dari pelampung nantinya berfungsi menggerakkan generator yang terpasang di dasar laut.



Gambar 2.16. *Archimedes Wave Swing* (A Falcao, 2010)

e. *Attenuators Pelamis System*

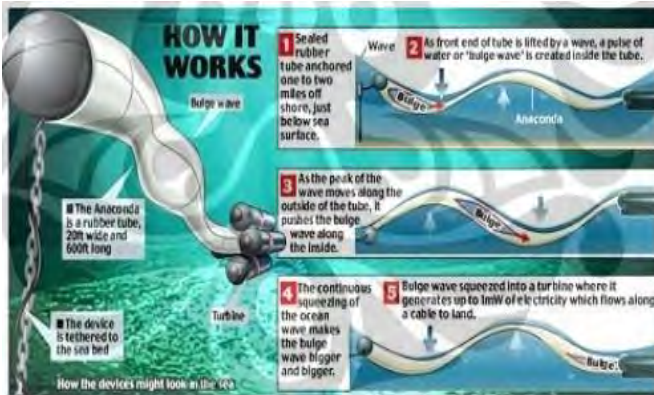
Teknologi ini terdiri dari banyak bagian yang mengambang secara paralel terhadap arah gelombang yang dikenal sebagai pelamis. Pelamis dapat bergerak secara naik turun maupun berbelok kanan dan ke kiri, sebuah pelamis pada umumnya terdiri dari minimal 3. Bagian dengan panjang setiap bagian 50 m dan diameter tabung 3 m (gambar 2.17), hasil penelitian menunjukkan pelamis dengan panjang 180 m dan diameter 4 m, dapat menghasilkan energi listrik sebesar 750 kW, dengan kedalaman rata-rata air laut 50 m.



Gambar 2.17. Pelamis (Sumber : *Pelami brochure*)

f. *Anaconda Bulge Wave System*

Teknologi ini memanfaatkan ombak laut yang naik turun untuk menggerakkan air di dalam tabung besar dan panjang, tabung fleksible tersebut berukuran 6-15 m dengan panjang sampai 150 m.



Gambar 2.18.Prinsip kerja *anaconda bulge wave*

Air yang masuk dari ujung dengan katup searah ditambahkan pergerakan ombak yang naik turun menyebabkan tabung tersebut terisi air terus menerus dan menekan ke arah belakang, seperti gerak peristaltik pada usus di perut, bagian belakang terdapat sistem hidrolik yang terhubung dengan motor listrik, sistem ini dipengaruhi oleh tinggi ombak, kecepatan ombak, dan ukuran dari *bulge*

### 2.2.5 Wave Force

Untuk mengetahui gaya ombak atau *wave force* ( $F_w$ ) yang terdapat pada gelombang, maka pertama harus mengetahui energi gelombang yang tersedia. Energi gelombang total adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial. Total energi potensial dan energi kinetik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad \dots(2.1)$$

Dengan :  $g$  = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )  
 $\rho$  = densitas air ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )  
 $A$  = amplitude gelombang (m)

Untuk mendapatkan rata – rata energi atau daya dari periode ombak, energi E dikalikan dengan kecepatan rambat gelombang,  $v_g$ .

$$v_g = \frac{L}{2T} \quad \dots(2.2)$$

Dengan keterangan T adalah periode gelombang (s) dan L adalah panjang gelombang (m)

$$P_w = \frac{1}{2} \rho g A^2 \frac{L}{2T} \quad \dots(2.3)$$

Jika periode gelombang dan panjang dihubungkan, sehingga

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \dots(2.4)$$

Sehingga didapatkan :

$$P_w = \frac{\rho g A^2 T}{8\pi} \quad \dots(2.5)$$

Dengan menggunakan amplitude gelombang, daya ombak dapat juga dituliskan sebagai fungsi tinggi gelombang, H. sehingga persamaannya menjadi

$$P_w = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad \dots(2.6)$$

Dari persamaan 2.6 diatas, dapat diketahui gaya ombak yang dikonversikan oleh mekanisme pengungkit dengan rumusan sebagai berikut.

$$F_w = \frac{P_w}{c_g} \quad \dots(2.7)$$

Dimana  $c_g$  merupakan setengah kecepatan rambat suatu gelombang (c). Dengan persamaan

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad \dots(2.8)$$

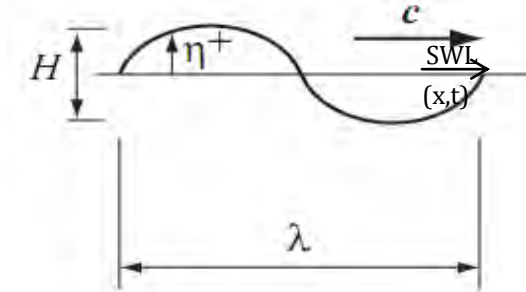
Keterangan :

- $\lambda$  : panjang gelombang (m)
- T : periode gelombang (s)



### 2.2.5.1 Fluktuasi Muka Air terhadap SWL ( $\eta$ )

$\eta$  adalah tinggi permukaan gelombang laut terhadap SWL (*seawater level*).



Gambar 2.19. *Definitions for progressive water*  
(Sumber : Michael E. McCormick, “*Ocean Wave Energi Conversion*”. 2009)

Gambar 2.19 menunjukkan suatu fluktuasi muka air terhadap SWL (*sea water level*) yang merupakan tinggi permukaan gelombang yang berubah terhadap fungsi  $x$  dan  $t$ . Persamaan tinggi permukaan gelombang :

$$\eta_{(x,t)} = \frac{H}{2} \cos k(x - ct) \quad \dots(2.9)$$

Pada permasalahan atau kasus yang diambil  $x = 0$  sehingga :

$$\eta_{(x,t)} = \frac{H}{2} \cos kct, \text{ dimana } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ dan } c = \frac{\lambda}{T} \quad \dots(2.10)$$

Maka

$$\eta_{(x,t)} = \frac{H}{2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{T} t \text{ dimana } \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{T} = \omega \text{ dan } \frac{H}{2} = \dots(2.11)$$

sehingga didapatkan :

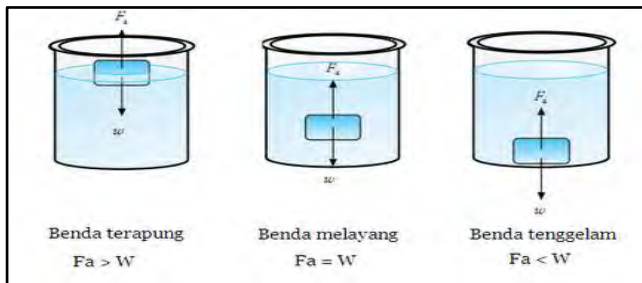
$$\eta_{(x,t)} = A \cos \omega t \quad \dots(2.12)$$

Keterangan :  $\eta$  = fluktuasi muka air terhadap muka air diam

$A$  = amplitudo gelombang (m)  
 $H$  = tinggi gelombang =  $2A$  (m)  
 $\lambda$  = panjang gelombang (m)  
 $T$  = periode gelombang (s)  
 $c$  = kecepatan rambat gelombang =  $\lambda / T$  (m/s)  
 $k$  = wave number =  $2\pi / \lambda$   
 $\omega$  = frekuensi gelombang (rad/s)

### 2.2.5.2 Buoyancy Force (Gaya Apung)

Gaya apung atau *buoyancy force* ( $F_b$ ), yaitu gaya tekan ke atas pada suatu benda yang mengapung sama dengan berat air yang dipindahkan ( *Archimedes Principle* ). Gaya buoyancy selalu sama dengan berat fluida yang dipindahkan ( lihat Gambar 2.20 )



Gambar 2.20. (a) Benda Terapung, (b) Benda Melayang, (c) Benda Tenggelam

Persamaan gaya apung adalah :

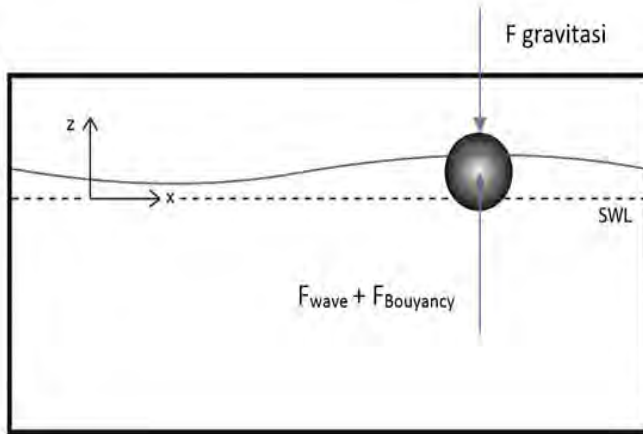
$$F_b = \rho_{fluida} \cdot V_{fluida} \cdot g \quad \dots(2.13)$$

dimana,

$$V_{fluida} = \frac{\rho_{Benda} \cdot V_{Benda}}{\rho_{fluida}} \quad \dots(2.14)$$

### 2.2.5.3 *F Generated* ( Gaya yang Dibangkitkan Gelombang )

Gaya yang dihasilkan atau *generated force* ( $F_{generated}$ ) merupakan resultan gaya yang dihasilkan untuk dapat menggerakkan pengungkit dan pergerakan diteruskan ke poros utama untuk menggerakkan magnet sebagai elektromagnetik. Pada Gambar 2.21 bisa dilihat bahwa  $F_{generated}$  terdiri atas  $F_{gravitasi}$ ,  $F_{wave}$ , dan  $F_{bouyancy}$ .



Gambar 2.21. Analisa gaya yang dihasilkan pelampung

Persamaan  $F_{generated}$  adalah :

$$F_{generated} = (F_{wave} + F_{bouyancy}) - F_{grafitasi}$$

$$= \left[ \left( \frac{P_w}{c} \right) + (\rho_{fluida} \cdot V_{fluida} \cdot g) \right] - (m \cdot g) \quad \dots(2.15)$$

Dimana,  $F_{generated}$  adalah gaya yang ditansferkan oleh gelombang,  $F_{wave}$  adalah gaya yang dihasilkan oleh gelombang,  $F_{bouyancy}$  adalah gaya apung pelampung,  $F_{gravitasi}$  adalah gaya berat yang diterima sistem penangkap gelombang.

## 2.3 Dasar Teori Mekanika Getaran

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan *properties* yang menyerupai pegas, ada dua kelompok umum dari getaran, yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

### 1. Getaran bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri, dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

### 2. Getaran paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang besar dan beresiko membahayakan. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan contoh kejadian yang disebabkan adanya resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama. Getaran memiliki ciri-ciri, di antaranya :

1. Untuk menempuh lintasan satu getaran diperlukan waktu yang biasa disebut periode
2. Banyaknya getaran dalam satu sekon disebut frekuensi ( $f$ )

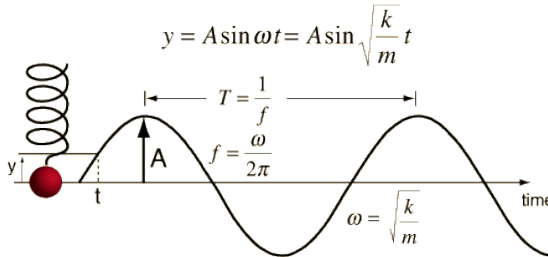
Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil terhadap

frekuensi naturalnya, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

### 2.3.1 Gerak Harmonik

Gerak harmonik adalah gerak bolak-balik benda melalui suatu titik keseimbangan tertentu dengan banyaknya getaran benda dalam setiap sekon selalu konstan. Apabila suatu partikel melakukan gerak periodik pada lintasan yang sama maka geraknya disebut gerak osilasi/getaran Waktu pengulangan  $T$  disebut periode osilasi dan kebalikannya,  $f = \frac{1}{T}$  yang disebut frekuensi.

Hal ini dapat diperagakan dengan sebuah massa yang digantung pada sebuah pegas seperti terlihat pada gambar 2.22. Jika massa tersebut dipindahkan dari posisi diam dan dilepaskan, maka massa tersebut akan berosilasi naik turun.



Gambar 2.22. Gerak harmonik

(Sumber :<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/shm.html>)

Gerakan osilasi dapat dinyatakan oleh persamaan

$$x = A \sin 2\pi \frac{1}{T} t \quad \dots(2.16)$$

dengan  $A$  adalah amplitudo atau simpangan terbesar diukur dari posisi setimbang dan,  $T$  adalah periode. Gerak diulang pada  $t = T$ .

Gerak harmonik sering dinyatakan sebagai proyeksi suatu titik yang bergerak melingkar dengan kecepatan konstan terhadap suatu garis lurus, dapat dituliskan sebagai :

$$x = A \sin \omega t \quad \dots(2.17)$$

Besaran  $\omega$  diukur dalam radian per detik dan disebut frekuensi lingkaran. Karena gerak berulang dalam  $2\pi$  radian, maka didapat hubungan :

$$\omega = 2\pi \frac{1}{T} = 2\pi f \quad \dots(2.18)$$

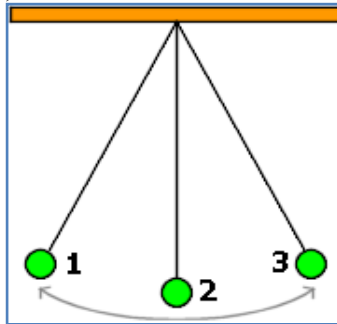
Kecepatan dan percepatan gerak harmonik dapat diperoleh secara mudah dengan menurunkan persamaan 2.19, sehingga didapat :

$$\dot{x} = \omega A \cos \omega t \quad \dots(2.19)$$

$$\ddot{x} = -\omega^2 A \sin \omega t \quad \dots(2.20)$$

### 2.3.2 Amplitudo

Amplitudo adalah pengukuran skalar yang non negatif dari besar osilasi suatu gelombang. Amplitudo juga dapat didefinisikan sebagai jarak terjauh dari garis kesetimbangan dalam gelombang sinusoide dihitung dari kedudukan seimbang (lihat Gambar 2.23).



Gambar 2.23. Gerakan pada bandul 2. = titik setimbang ; 1 dan 3 = titik terjauh (Amplitudo)

(<http://arifkristanta.wordpress.com/belajar-online/getaran/>)

### 2.3.3 Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan waktu yang diberikan. Secara alternatif,

seseorang bisa mengukur waktu antara dua buah kejadian / peristiwa (dan menyebutnya sebagai periode), lalu memperhitungkan frekuensi ( $f$ ) sebagai hasil kebalikan dari periode ( $T$ ), seperti nampak dari rumus di bawah ini :

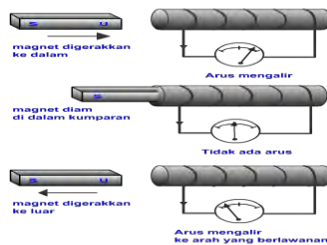
$$f = \frac{1}{T} \quad \dots(2.21)$$

Dengan  $f$  adalah frekuensi (hertz) dan  $T$  periode (sekon atau detik).

## 2.4 Dasar Teori Elektromagnetik

### 2.4.1 Induksi Magnet

Energi dapat dikategorikan menjadi banyak macam, namun terdapat dua bentuk energi mekanik yang dapat dikaitkan dengan pembahasan mekanisme pemanen energi getaran, khususnya getaran dari gelombang laut yaitu dengan menggunakan energi potensial gravitasi yang terkait dengan posisi dan energi kinetik yang terkait dengan gerak magnet (lihat Gambar 2.24)



Gambar 2.24. Gerak magnet dalam kumparan  
<http://dc261.4shared.com/doc/3gRzDYxG/preview.html>

Michael Faraday (1791-1867) membuat hipotesis bahwa medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Dengan medan magnet atau fluks yang dapat berubah-ubah, maka pada kumparan akan timbul gaya gerak listrik (ggl) sebesar.

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{dI}{dt} \quad \dots(2.22)$$

dimana  $N$  = jumlah lilitan pada kumparan  
 $I = N \cdot \Phi$  merupakan *flux linkage*  
 $\Phi$  = harga fluks yang berubah ubah terhadap

waktu (*weber*)

$e$  = ggl induksi (volt)

atau

$$e = -N \frac{d(B \cdot A)}{dt} \quad \dots(2.23)$$

Dimana :  $B$  = Gaya magnet

$A$  = luas penampang yang memotong gaya gerak listrik ( $m^2$ )

Jika kerapatan fluks dan luas penampang merupakan besaran konstan, maka persamaan (2.23) menjadi :

$$e = -N \cdot B \cdot A \cdot f \quad \dots(2.24)$$

dimana,  $f = \frac{1}{t}$  adalah frekuensi gerak magnet tertinggal  $90^\circ$  dari fluks  $\Phi$ . Dengan demikian, gaya gerak listrik yang dihasilkan adalah sebesar

$$e = N \cdot B \cdot A \cdot f \quad \dots(2.25)$$

Persamaan 2.25 Menyatakan bahwa besarnya gaya gerak listrik yang dihasilkan tergantung pada jumlah lilitan, besarnya fluks magnet, luasan penampang yang memotong gaya gerak listrik, dan frekuensi gerak magnet.

Bila kumparan  $N$  lilitan ditembus fluks magnetik, maka pada kumparan timbul GGL induksi yang disebut dengan  $\epsilon_{ind}$  hukum faraday dinyatakan sebagai berikut:



$$\mathcal{E}_{ind} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad \dots(2.26)$$

dimana,  $\mathcal{E}_{ind}$  = GGL induksi (V)  
 N = jumlah lilitan (tak bersatuan) ;  
 $\Phi$  = fluks magnetik (weber)  
 T = waktu (s)

Menjadi,

$$\mathcal{E}_{ind} = B \cdot \ell \cdot v \quad \dots(2.27)$$

$$\ell = 2\pi \cdot a \cdot N$$

dimana, B = induksi magnetik (weber / m<sup>2</sup>)  
 $\ell$  = panjang kawat ( m )  
 v = kelajuan ( m/s )  
 a = jari-jari kumparan (m)

#### 2.4.2 Arus Listrik oleh Gaya Magnetik

Hukum Lens berbunyi : “Jika ggl induksi timbul pada suatu rangkaian, maka arah arus induksi yang dihasilkan sedemikian rupa sehingga menimbulkan medan magnetik induksi yang menentang perubahan medan magnetik (arus induksi berusaha mempertahankan fluks magnetik totalnya konstan)”.

$$F_L = B \times i \times L \quad \dots(2.28)$$

Dimana :  $F_L$  = gaya lorentz (N)  
 B = kuat medan magnet (wb / m<sup>2</sup>)  
 A = luas penampang yang memotong gaya gerak listrik (m<sup>2</sup>)  
 L = panjang kumparan (m)

Arus listrik ( $i$ ) yang terinduksi pada kawat konduktor adalah sebesar :

$$i = \frac{e}{R} = \frac{B \cdot L \cdot v}{R} \quad \dots(2.29)$$

Dimana :  $i$  = arus listrik (A)  
 $R$  = tahanan listrik (ohm)

dengan demikian gaya Lorentz yang dihasilkan sebesar

$$F_L = B \times i \times L = B \left[ \frac{B \cdot L \cdot v}{R} \right] L \quad \dots(2.30)$$

$$F_L = \frac{B^2 \cdot L^2}{R} v \quad \dots(2.31)$$

Masukan daya dari gaya adalah :

$$P = F_L \cdot v \quad \dots(2.32)$$

$$P = (B \times i \times L) v \quad \dots(2.33)$$

Dimana :  $P$  = daya (*watt*)  
 $F$  = gaya lorentz (N)  
 $v$  = kecepatan (m/s)

Jika daya ini sama dengan daya yang didisipasikan oleh sebuah resistor pada rangkaian, maka:

$$B \times i \times L \times v = i^2 R \text{ atau } B \times L \times v = i \times R \quad \dots(2.34)$$

Dengan demikian maka ggl induksi  $e = B \times \ell \times v$  sama dengan tegangan  $\Delta V = i \times R$

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

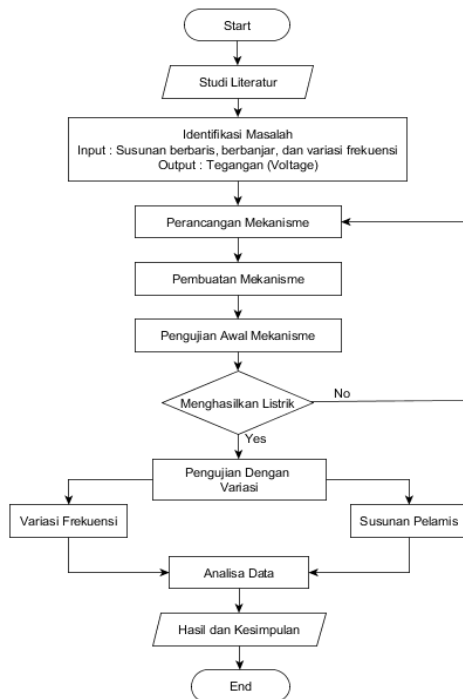
# BAB III

## METODOLOGI

### 3.1. Tahapan Penelitian

Agar penelitian ini berjalan lancar sesuai dengan tujuan yang diinginkan seperti yang tercantum pada tujuan, maka perlu dilakukan langkah-langkah yang sesuai dengan prosedur analisa. Prosedur analisa akan dijelaskan melalui diagram alir / *flowchart* sebagaiberikut :

#### 3.1.1. *Flowchart* Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

## **3.2. Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir**

### **3.2.1 Studi Literatur**

Sebelum dilakukan penelitian, dilakukan beberapa studi mengenai beberapa literatur dan referensi yang berkaitan dengan tugas akhir melalui media cetak (*textbook, handbook*), *softfile* berupa *ebook* atas karya ilmiah yang telah dilakukan sebelumnya, maupun media elektronik (internet).

Tema yang diangkat adalah seputar sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Mekanisme yang digunakan adalah pelamis (pelampung) yang mengapung di permukaan air, dimana di dalam pelamis terdapat kumparan yang diam dan magnet yang bergerak naik turun ketika gelombang mengenai pelamis tersebut. Untuk mendukung tugas akhir ini diperlukan data-data yang valid sebagai landasan baik yang terdapat didalam jurnal ilmiah, diktat perkuliaan dan *textbook*.

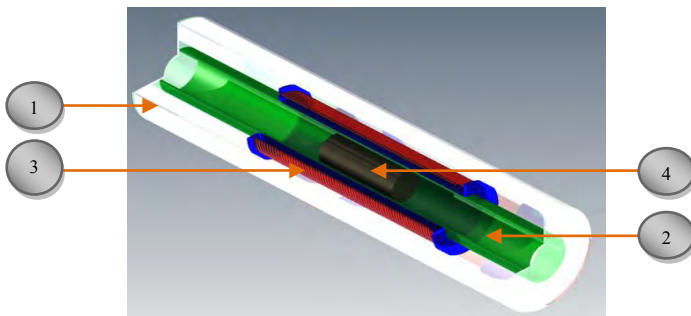
### **3.2.2 Identifikasi Masalah**

Pada tahap ini tema/topik dari penelitian yang dilakukan sudah ditentukan yaitu mengenai pemanfaatan energi laut sebagai energi alternatif yang terbarukan, termasuk perancangan dan pembuatan mekanismenya dalam skala laboratorium. Mekanisme pelamis generator linier dipilih sebagai mekanisme yang akan dirancang untuk penelitian ini. Tahap ini bertujuan untuk memilih input yang divariasikan yaitu variasi frekuensi gelombang dengan amplitudo stroke tetap dan variasi susunan pelamis terhadap *output* listrik yang dihasilkan.

### **3.2.3 Rancang Bangun PLTGL**

Dengan adanya kolom simulasi gelombang laut di jurusan Teknik Mesin ITS yang memiliki perioda, amplitudo, dan jarak gelombang yang dapat dirubah, maka dibuatlah sebuah mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

(PLTGL). Mekanisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah pelamis yang didalamnya terdapat kumparan dan magnet. Prinsip kerja dari mekanisme ini memanfaatkan prinsip GGL induksi. Pelamis akan mengapung di kolam simulasi kemudian akan bergerak dengan mengikuti naik turunnya gerakan gelombang. Gerakan naik turunnya gelombang tersebut akan mengkiatkan magnet yang ada di dalamnya bergerak naik turun melewati kumparan yang diam, sehingga kumparan akan memotong garis-garis medan magnet dan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan dan menghasilkan listrik. Dari mekanisme tersebut, kemudian dihubungkan dengan voltmeter untuk mengetahui besar voltase yang dihasilkan pada mekanisme pemanen energi tersebut.



Gambar 3.2. *Prototype* Mekanisme PLTGL

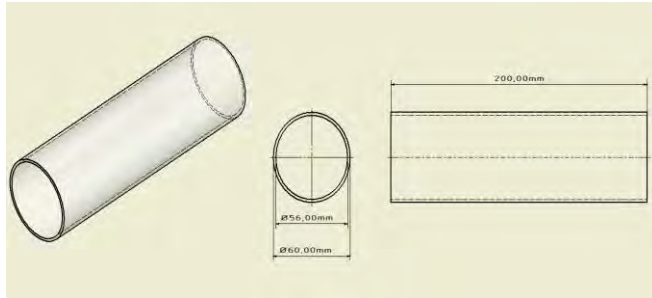
Keterangan gambar :

1. Tabung I
2. Tabung II
3. Kumparan
4. Magnet

Pada mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) ini menggunakan komponen pendukung agar terwujudnya sebuah mekanisme yang dapat menghasilkan listrik. Berikut ini adalah komponen-komponen pendukung beserta fungsinya :

### 1. Tabung 1

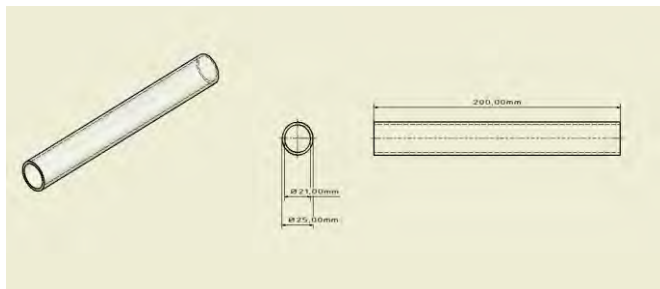
Tabung 1 berfungsi sebagai mekanisme utama yang akan mengikuti gerakan naik turunnya gelombang, dimana di dalamnya terdapat kumparan dan magnet untuk menghasilkan listrik.



Gambar 3.3. Tabung I

### 2. Tabung 2

Tabung 2 berfungsi sebagai rangka gulungan kumparan mekanisme pembangkit daya dan tempat Bergeraknya magnet.



Gambar 3.4. Tabung II

### 3. Magnet

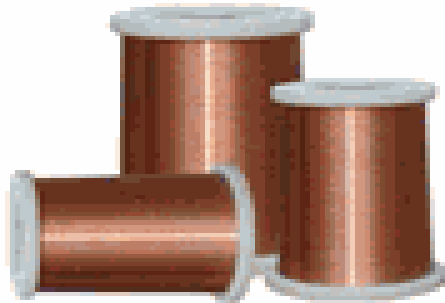
Magnet yang digunakan adalah magnet koin berjumlah 10 disusun berbaris, dengan ukuran tiap keeping adalah diameter 15 mm dan tebal tiap magnet adalah 2 mm.



Gambar 3.5. Magnet koin

### 4. Kawat kumparan

Kawat yang digunakan pada kumparan adalah kawat dengan diameter 0.2 mm dan dililitkan pada pipa plastik dengan panjang kumparan 65 mm dan 3000 jumlah lilitan.



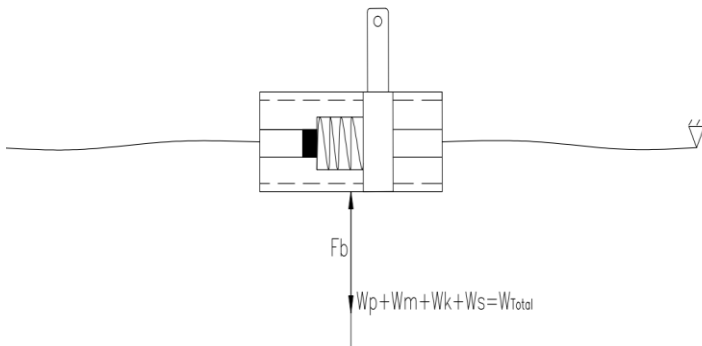
Gambar 3.6. Kawat Kumparan



### 3.3. Pemodelan Matematika

#### 3.3.1 Kesetimbangan Statis

Kesetimbangan statis adalah keadaan dimana mekanisme dalam kondisi diam atau sebelum dikenai gaya oleh gelombang. Dalam kondisi statis terdapat gaya-gaya seperti gaya *bouyancy* / gaya apung ( $F_b$ ) dan gaya berat pelamis ( $W_p$ ). Untuk kondisi statis gaya pengikat pada pelamis dianggap tidak ada.



Gambar 3.7. Kesetimbangan Statis pada Pelamis

Persamaan Gerak :

$$\sum F_y = 0 \quad (3.1)$$

$$F_b - W_T = 0 \quad (3.2)$$

$$\rho_{fluida} \cdot V_{fluida} \cdot g = F_b \quad (3.3)$$

Pada kondisi statis, Pelamis dirancang tercelup pada kolam simulator pembuat gelombang supaya pelamis tidak melayang. Jadi untuk keadaan Pelamis pada kolam simulator adalah sebagai berikut :

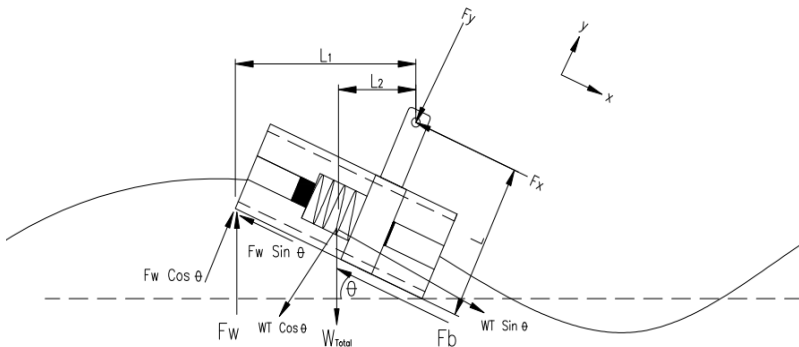
$$\text{Maksimum volume tercelup} = \frac{1}{2} \text{ Volume total pelamis}$$

$$W_{total} = \rho \cdot g \cdot V_{tercelup}$$

$$W_{total} = \rho \cdot g \cdot \left[ \frac{1}{2} \text{Volume total pelamis} \right]$$

### 3.3.2 Kestimbangan Dinamis

Kestimbangan dinamis adalah keadaan dimana mekanisme setelah dikenai gaya gelombang atau dalam kondisi bergerak. Dalam kondisi dinamis terdapat gaya-gaya yang bekerja seperti gaya gelombang ( $F_w$ ), gaya apung / *bouyancy* ( $F_b$ ), dan berat pelamis ( $W_p$ ). Dimana berat pelamis terdapat berat magnet ( $W_m$ ) dan berat kumparan ( $W_k$ )



Gambar 3.8. Keadaan Pelamis ditinjau sesaat sebelum magnet bergerak turun

Dari gambar 3.8 diatas, untuk nilai kecepatan dari gerakan magnet, maka kita harus menentukan sudut  $\theta$  pelamis yang terkena oleh gelombang. Untuk nilai percepatan dari gerakan magnet dianggap nol karena kecepatan gerak magnet dianggap konstan. Sehingga persamaan gerak pelamis terkena

oleh gaya gelombang air ditinjau sesaat sebelum magnet bergerak turun adalah sebagai berikut:

Persamaan Gerak :

$$\sin \theta = \frac{\text{Amplitudo}}{L_{\text{Pelamis}}} \quad (3.4)$$

$$\sum M = I \cdot \alpha \quad (3.5)$$

$$F_w l_1 - W_{\text{Total}} l_1 + F_b l = 0 \quad (3.6)$$

$$F_b l = W_{\text{Total}} l_1 - F_w l_1 \quad (3.7)$$

Dimana gaya-gaya yang terjadi pada engsel :

$$\sum F_x = 0 \quad (3.8)$$

$$-F_w \sin \theta + W_{\text{Total}} \sin \theta - F_x - F_b = 0 \quad (3.9)$$

$$F_x = W_{\text{Total}} \sin \theta - F_w \sin \theta - F_b \quad (3.10)$$

$$F_x = (W_{\text{Total}} - F_w) \sin \theta - F_b \quad (3.11)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (3.12)$$

$$F_w \cos \theta - W_{\text{Total}} \cos \theta - F_y = 0 \quad (3.13)$$

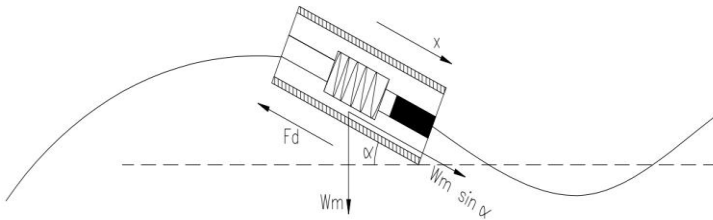
$$F_y = F_w \cos \theta - W_{\text{Total}} \cos \theta \quad (3.14)$$

$$F_y = (F_w - W_{\text{Total}}) \cos \theta \quad (3.15)$$

### 3.3.3 Analisa Power Pada Generator Linier

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh pelamis, maka harus mengetahui nilai kecepatan dari mekanisme penghasil elektromagnetik tersebut. Pada gambar 3.9, nilai kecepatan

magnet dapat diperoleh dari gaya berat magnet harus lebih besar dari gaya *drag* atau gaya *lorentz*, sehingga persamaannya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.9. Keadaan Pelamis bergerak ditinjau sesaat setelah magnet bergerak turun

$$m_m g \sin \alpha > F_d \quad (3.16)$$

Dengan menggunakan persamaan gaya *lorentz* :

$$F_L = F_d = C_e \cdot v \quad (3.17)$$

Maka,

$$m_m g \sin \alpha = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v \quad (3.18)$$

Kecepatan magnet bergerak turun adalah :

$$v = \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2} \quad (3.19)$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan magnet dari mekanisme tersebut, maka energi listrik yang dipanen adalah :

$$P = \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) v^2 \quad (3.20)$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \left( \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2} \right)^2 \quad (3.21)$$

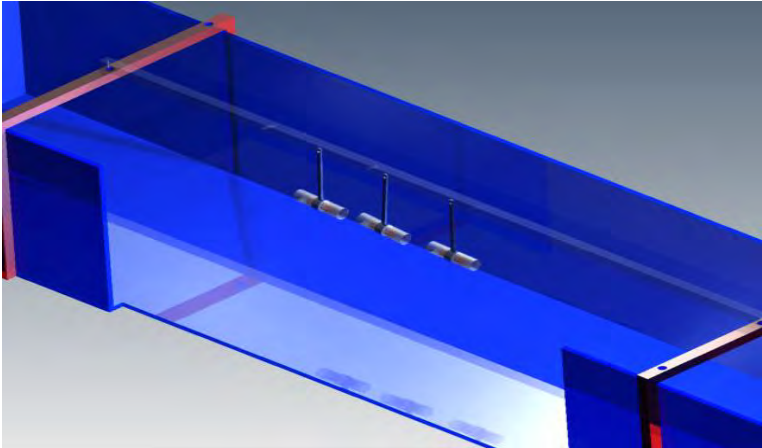
$$= \frac{1}{2} \frac{(m_m g \sin \alpha)^2 R}{B^2 L^2} \quad (3.22)$$

Ket :  $F_d = \text{drag force}$  (N)  
 $B = \text{kuat medan magnet}$  (Wb/m<sup>2</sup>)  
 $L = \text{panjang kawat kumparan}$  (m)  
 $R = \text{hambatan kawat}$  (ohm)  
 $C_e = \text{electric damping}$  (N.s/m)  
 $v = \text{kecepatan magnet}$  (m/s)  
 $P = \text{daya listrik}$  (watt)

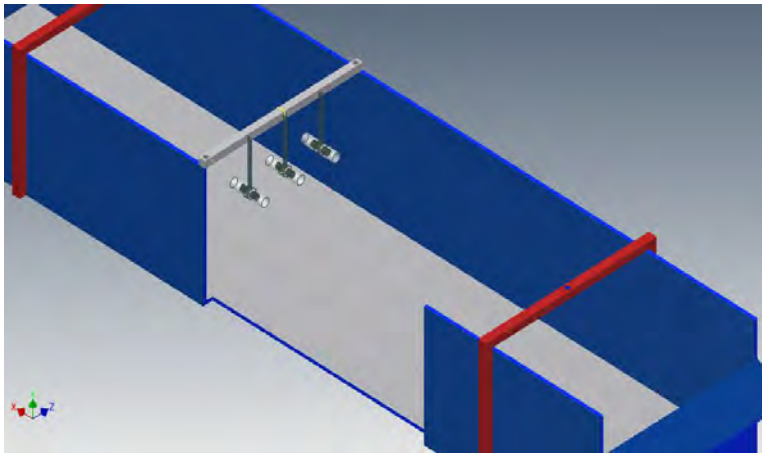
### 3.4 Tahap Pengujian

Pada tahap pengujian ini, prototipe mekanisme pelamis generator linier telah selesai dibuat. Untuk mengetahui apakah mekanisme ini dapat berfungsi seperti identifikasi masalah yang ditentukan, maka tahap ini diperlukan. Pengujian mekanisme dengan variasi frekuensi gelombang dan variasi susunan pelamis untuk mengetahui pengaruh hubungan *input output* antara energi yang dihasilkan oleh gelombang dan *voltage* (tegangan) yang dihasilkan oleh pelamis.

Tahapan pengujian dimulai dari mengetahui frekuensi gelombang yang akan digunakan sehingga akan didapatkan panjang gelombang agar bisa menentukan jarak antar Pelamis pada susunan berbaris atau posisi penempatan Pelamis pada kolam pembuat simulasi ombak, sehingga menjadi dasar penentuan susunan berbaris dalam penelitian



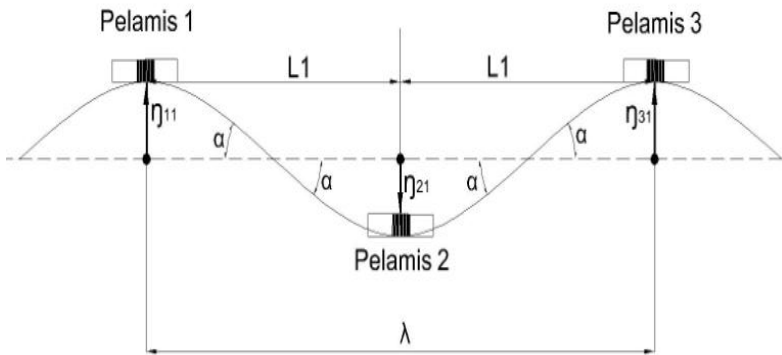
(a)



(b)

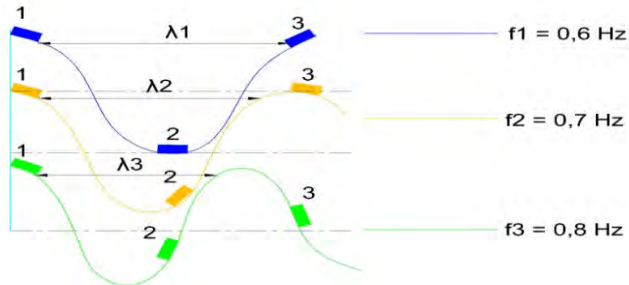
Gambar 3.10. Posisi penempatan susunan mekanisme pada kolam simulasi. (a) susunan berbaris dan (b) susunan berbanjar

Pengujian pada mekanisme Pelamis khusus pada susunan berbaris dilakukan dengan cara menempatkan posisi mekanisme seperti pada gambar 3.11, dimana posisi Pelamis 1 dan 3 berada pada puncak gelombang dan posisi Pelamis 2 berada pada lembah gelombang. Pada posisi ini merupakan kondisi Pelamis statis pada saat terkena oleh gaya dari gelombang sehingga magnet yang berada di dalam pelamis belum bergerak.



Gambar 3.11 Posisi Pelamis pada saat terkena oleh gelombang air

Pengujian dilakukan dengan variasi frekuensi gelombang seperti terlihat pada gambar 3.12, dimana frekuensi gelombang yang berbeda dan jarak Pelamis tetap akan menyebabkan posisi atau jarak pelamis terhadap *sea water level* (SWL) akan berbeda. Perbedaan ketinggian Pelamis terhadap permukaan gelombang akan mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan



Gambar 3.12 Posisi Pelamis pada susunan berbaris dengan jarak  $\lambda$  dan 3 frekuensi gelombang berbeda

### 3.4.1 Peralatan Pengujian

Untuk melakukan studi eksperimental pada PLTGL ini dibutuhkan beberapa peralatan pengujian.

#### 1. Kolam Simulator Gelombang Laut

Kolam merupakan media untuk dilakukannya pengujian terhadap model mekanisme PLTGL Pelamis ini dimana pada kolam tersebut dapat dihasilkan gelombang yang merupakan sumber utama dalam membangkitkan listrik melalui mekanisme yang dirancang. Kolam yang digunakan seperti Gambar 3.13. dibawah ini.

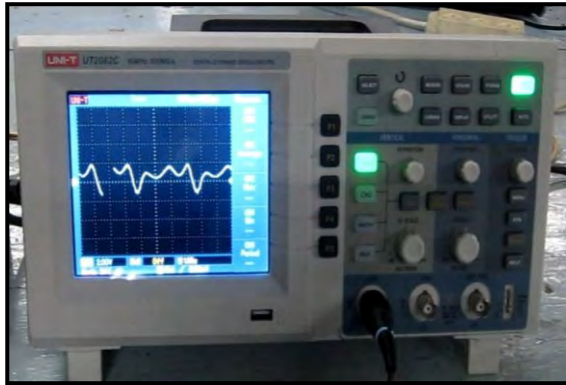


Gambar 3.13. Kolam Simulasi Gelombang dan Mekanisme Pembuat Gelombang



## 2. *Digital Storage Oscilloscope*

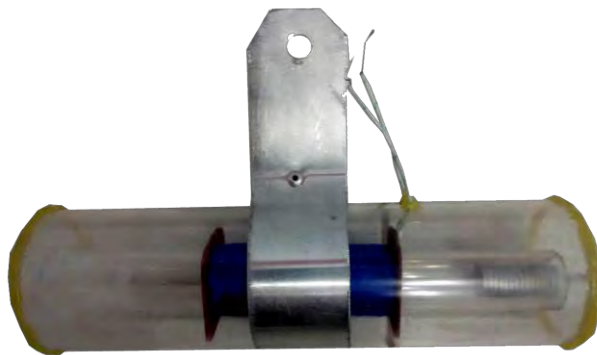
Untuk merekam data pada pengujian ini digunakan Digital Storage Oscilloscope dengan merk UNI-T UT2062C, keluaran dari alat ini ialah data tegangan yang dihasilkan oleh model mekanisme PLTGL-PSP. Data tersebut berupa grafik voltase bangkitan induksi elektromagnetik terhadap waktu. *Digital Storage Oscilloscope* dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. *Digital Storage Oscilloscope*.

## 3. Model Mekanisme PLTGL

Dalam pengujian tentunya menggunakan mekanisme yang telah dirancang yakni model mekanisme PLTGL Pelamis. Mekanisme ini akan mengapung di permukaan air dengan memanfaatkan gaya gelombang sehingga pelamis akan bergerak dengan mengikuti naik turunnya gerakan gelombang. Gerakan naik turunnya gelombang tersebut akan mengakibatkan magnet yang ada di dalamnya bergerak naik turun melewati kumparan, sehingga timbul GGL induksi pada ujung-ujung kumparan dan menghasilkan listrik



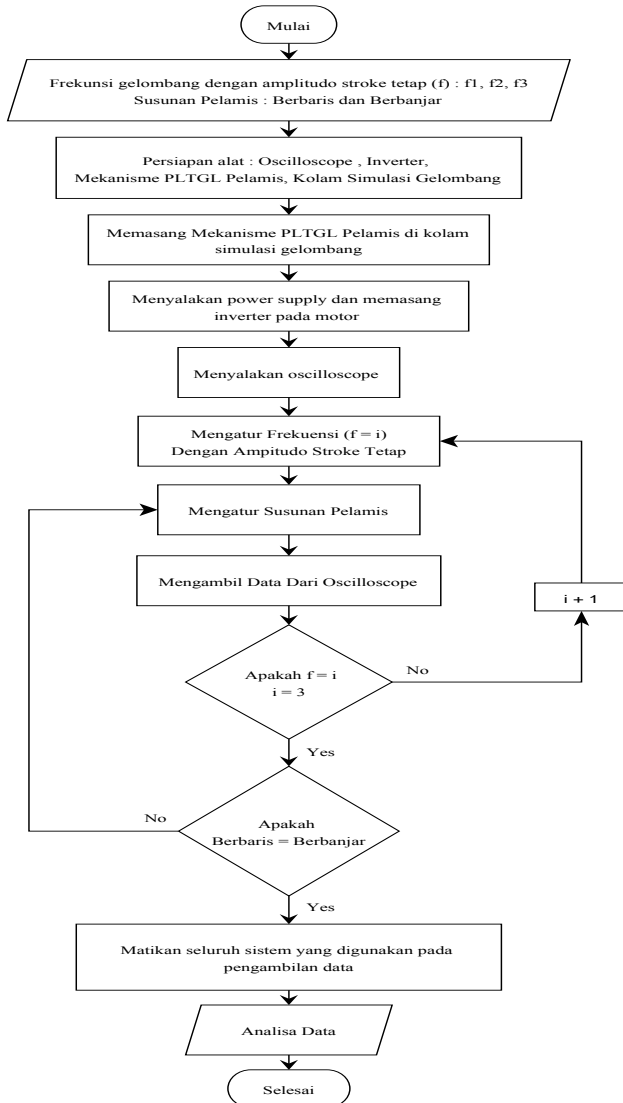
Gambar 3.15. Model Mekanisme Prototipe Pelamis

### **3.4.2 Pengambilan Data**

Pengambilan data PLTGL ini dilakukan sebanyak beberapa kali sehingga didapatkan hasil yang paling baik barulah dilakukan tahap pengolahan data. Dimana dilakukan untuk setiap masing-masing variasi pengujian yaitu, variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis.

#### **3.4.2.1 Diagram Alir Pengambilan Data**

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data dari Pelamis. Pengambilan data Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut tipe Pelamis generator linier dilakukan sebanyak tiga kali hingga mendapat hasil yang paling baik kemudian dilakukan tahap pengolahan data. Pengambilan data dilakukan untuk setiap variasi pengujian, yaitu variasi frekuensi gelombang dan variasi susunan Pelamis



Gambar 3.16. Diagram Alir Pengambilan Data pada Susunan Pelamis dengan Variasi Frekuensi

### 3.5 Analisa dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan diolah sehingga hasil pegujian akan dapat ditunjukkan dalam bentuk grafik untuk masing-masing variasi frekuensi dengan amplitudo stroke tetap dan variasi susuan pelamis terhadap *output* listrik yang dihasilkan oleh mekanisme tersebut.

Lembar data hasil pengujian digunakan untuk mencatat data voltase bangkitan yang dihasilkan oleh simulator PLTGL Pelamis generator linier.

Tabel 3.1. Pengambilan Data

Frekuensi	Susunan	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)
0.6	Berbaris		
0.7	Berbaris		
0.8	Berbaris		
0.6	Berbanjar		
0.7	Berbanjar		
0.8	Berbanjar		

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

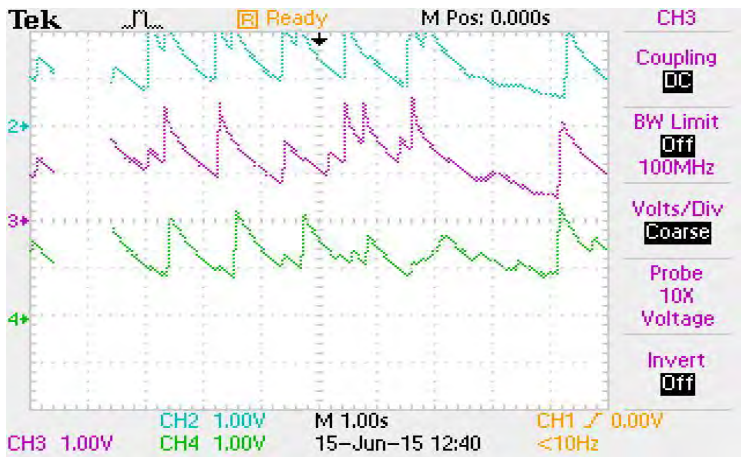
## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengambilan dan Pengolahan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan oscilloscope sebagai alat yang mengukur hasil tegangan yang dibangkitkan oleh mekanisme PLTG tipe pelamis. mekanisme ini memanen energi dari gelombang laut kemudian akan menghasilkan energi listrik dari magnet dan kumparan akibat gerak naik turunnya pelamis mengikuti gerakan gelombang dari kolam simulator pembuat gelombang. Mekanisme ini menggunakan variasi frekuensi dan variasi susunan dari pelamis, yaitu susunan berbaris dan susunan berbanjar dengan jumlah lilitan masing-masing pelamis adalah 3000 lilitan.

Hasil dari pengambilan data didapat dari grafik pada oscilloscope yang kemudian diolah dengan matlab untuk mendapatkan voltase *RMS* dari mekanisme pelamis.

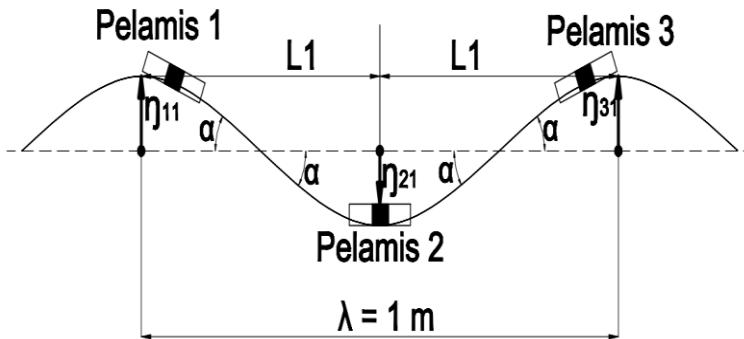


Gambar 4.1 Data Percobaan pada *Oscilloscope*

## 4.2 Analisa Teoritis dan Pembahasan

### 4.2.1 Contoh Perhitungan

Berikut ini adalah contoh perhitungan sebagai acuan dalam membandingkan daya teori dengan daya eksperimen yang telah dilakukan. Perhitungan ini ditunjukkan untuk gerakan pelamis 1,2, dan 3 pada frekuensi 0.7 dengan susunan berbanjar. Selanjutnya energi listrik yang dihasilkan dari ketiga mekanisme tersebut digabungkan menjadi energi listrik total pada setiap variasi frekuensi yang ditinjau pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Posisi Pelamis pada saat terkena gelombang

Diketahui :

Massa Pelamis ( $m_T$ )	= 0.336 kg
Massa Magnet ( $m_m$ )	= 0.035 kg
Frekuensi Inverter ( F )	= 7 Hz
Frekuensi Gelombang	= 0.7 Hz
Periode Gelombang ( T )	= 1.66 sekon
Tinggi Gelombang ( H )	= 0.06 m
Panjang Gelombang ( $\lambda$ )	= 1.0 m
Massa Jenis ( $\rho$ )	= 1000 kg/m <sup>3</sup>
Percepatan Gravitasi ( g )	= 9,81 kg m/s <sup>2</sup>

Panjang Kawat Kumparan (L)	= 235.619 m
Hambatan Kawat Kumparan (R)	= 127.67 ohm
Ampplitudo Gelombang (A)	= 0,03 m

a. Gaya Gelombang

$$F_w = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda}$$

$$= \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 96.2361 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \times 0.036 \text{m}^2 \times 2.7556 \text{s}^2}{32 \times 3.14 \times 1.0}$$

$$= 9.4963 \text{ N}$$

b. Mencari kecepatan magnet

$$v = \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2}$$

$$= \frac{0.035 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 70.856 \cdot 127.67 \text{ ohm}}{\left(0.2 \frac{\text{wb}}{\text{m}^2}\right)^2 \cdot (235.619 \text{ m})^2}$$

$$= 0.01849 \text{ m/s}^2$$

c. Mencari Fluktuasi Muka Air terhadap SWL ( $\eta$ )

$$\eta_{11} = A \cos \omega t ; t_2 = 0 \text{ s}$$

$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi f_1 t_2$$

$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi \cdot 0.6 \cdot 0 \text{ s}$$

$$\eta_{11} = 0.03 \text{ m}$$

$$\eta_{21} = A \cos \omega t ; t_2 = 0.4 \text{ s}$$

$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi f_1 t_2$$

$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi \cdot 0.6 \cdot 0.4 \text{ s}$$



$$\eta_{21} = 0.03 \text{ m}$$

$$\eta_{31} = A \cos \omega t ; t_2 = 0.8 \text{ s}$$

$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi f_1 t_3$$

$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi \cdot 0.6 \cdot 0.8 \text{ s}$$

$$\eta_{31} = 0.03 \text{ m}$$

d. Mencari daya gelombang ( $P_w$ )

$$P_{w1} = \frac{\rho_{air} g^2 \eta_{11}^2 T b}{8\pi}$$

$$= 1.15 \text{ watt}$$

$$P_{w2} = \frac{\rho_{air} g^2 \eta_{21}^2 T b}{8\pi}$$

$$= 1.15 \text{ watt}$$

$$P_{w3} = \frac{\rho_{air} g^2 \eta_{31}^2 T b}{8\pi}$$

$$= 1.15 \text{ watt}$$

e. Mencari daya yang dihasilkan mekanisme

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right] v^2 \\ &= \frac{1}{2} \left[ \frac{0.2^2 \cdot 235.619^2}{127.67} \right] 0.01849^2 \\ &= 0.00297 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right] v^2$$

$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{0.2^2 \cdot 235.619^2}{127.67} \right] 0.01849^2$$

$$= 0.00297 \text{ watt}$$

$$P_3 = \frac{1}{2} \left[ \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right] v^2$$

$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{0.2^2 \cdot 235.619^2}{127.67} \right] 0.01849^2$$

$$= 0.00297 \text{ watt}$$

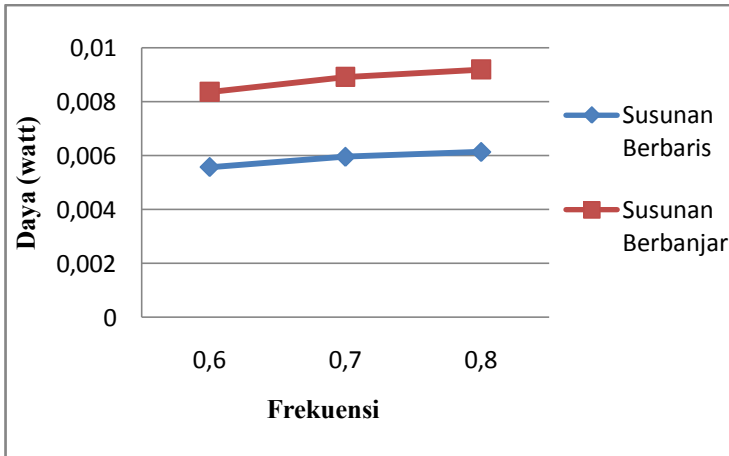
$$P \text{ total} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P \text{ total} = 0.00297 + 0.00297 + 0.00297 = 0.00892 \text{ Watt}$$

#### 4.2.2 Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Pelamis dalam Menghasilkan Energi Listrik

Tabel 4.1 Daya Teoritis Pelamis pada Variasi Susunan Pelamis dan Variasi Frekuensi

Susunan	Frekuensi (Hz)	Teori Daya (watt)
Berbaris	0,6	0,00557
	0,7	0,00595
	0,8	0,00613
Berbanjar	0,6	0,00836
	0,7	0,00892
	0,8	0,00919



Gambar 4.3 Pengaruh variasi frekuensi terhadap susunan Pelamis dalam menghasilkan energi listrik

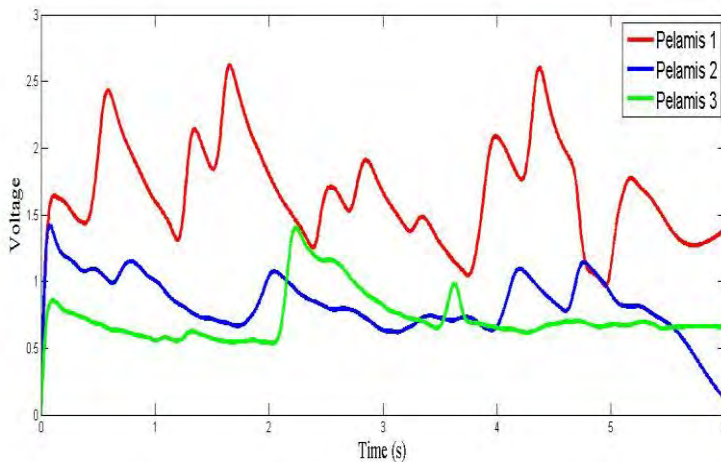
Dari gambar 4.3 diatas dapat diketahui bahwa *trendline* dari variasi frekuensi terhadap susunan berbaris dan berbanjar nilai daya yang dihasilkan cenderung naik seiring bertambahnya nilai frekuensi gelombang. Pada variasi frekuensi tersebut untuk tiap susunan pelamis adalah 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz. Sesuai dengan perumusan bahwa semakin bertambahnya nilai frekuensi maka panjang gelombang ( $\lambda$ ) semakin kecil sehingga daya yang dihasilkan oleh mekanisme semakin besar. Hal ini disebabkan karena panjang gelombang ( $\lambda$ ) berbanding terbalik dengan gaya gelombang ( $Fw$ ), dimana gaya gelombang akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Berdasarkan rumus 
$$Fw = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda}$$
, dimana semakin besar frekuensi, maka panjang gelombang akan semakin pendek. Frekuensi mempengaruhi pergerakan magnet, dimana frekuensi gelombang yang tinggi akan membentuk sudut pada pelamis yang akan berpengaruh pada gerakan dan kecepatan magnet yang bergerak naik turun jika terkena gelombang. Jika frekuensi semakin besar maka amplitudo gelombang juga besar,

sehingga nilai panjang gelombang akan semakin kecil yang berakibat daya yang dihasilkan akan semakin besar.

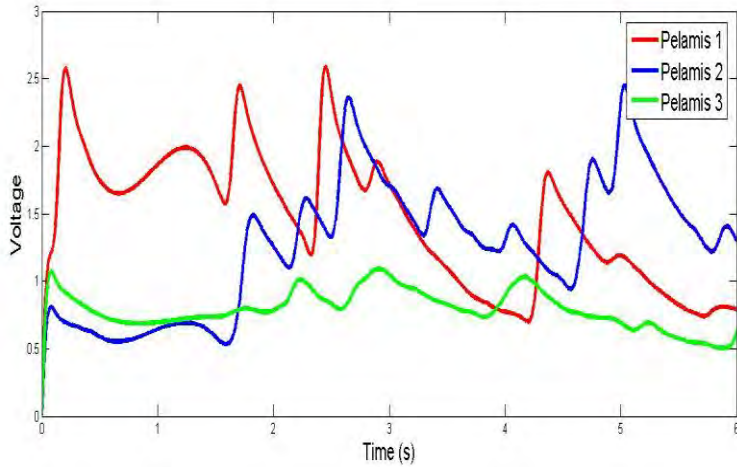
### 4.3 Analisa dan Pembahasan Pengujian

Analisa dan pembahasan pengujian ini bertujuan sebagai langkah pembuktian dari teori dimana pada langkah ini sudah dilakukan pengujian terhadap mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dalam skala laboratorium. Pada percobaan, data yang didapatkan adalah nilai voltase RMS bangkitan yang kemudian diolah ke *software* Matlab 2010.

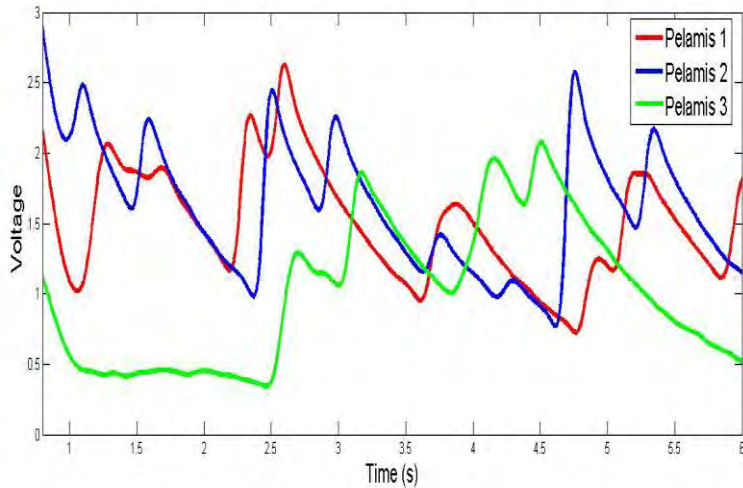
#### 4.3.1 Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Berbaris



Gambar 4.4 Grafik voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.6



Gambar 4.5 Grafik voltase DC fungsi waktu untuk Frekuensi 0.7



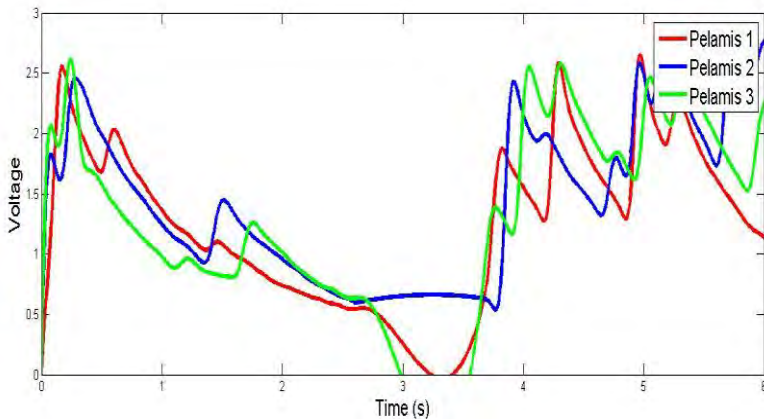
Gambar 4.6 Grafik voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.8

Dari ketiga gambar grafik voltase fungsi waktu diatas didapatkan *voltage* RMS dari pengambilan tiap-tiap pelamis

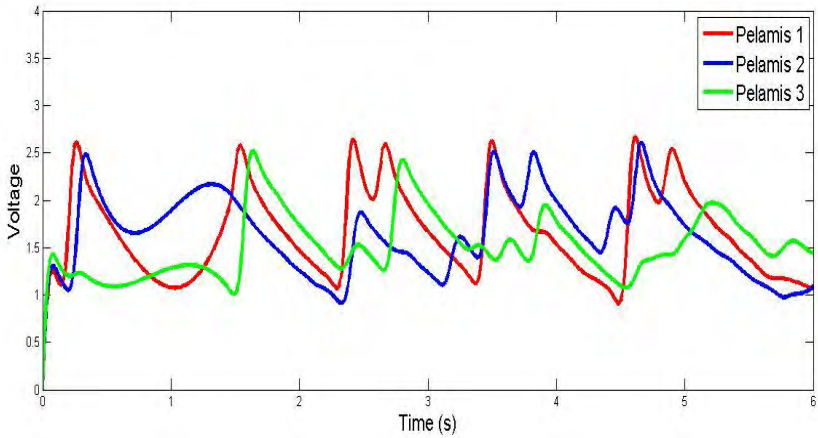
selama 6 detik dengan frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz dan panjang stroke 12,5 cm untuk susunan berbaris. Dari ketiga grafik diatas terdapat tiga warna, yaitu untuk Pelamis 1 berwarna merah, Pelamis 2 berwarna biru, dan Pelamis 3 berwarna hijau.

Pada gambar grafik dengan frekuensi 0.6 Hz didapatkan voltase RMS secara berurutan mulai dari pelamis 1 berwarna merah, pelamis 2 berwarna biru, dan pelamis 3 berwarna hijau adalah 1.218 volt, 0.723 volt, dan 0.651 volt. Dan pada gambar grafik dengan frekuensi 0.7 Hz didapatkan *voltage* RMS mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.313 volt, 0.891 volt, dan 0.601 volt. Sedangkan pada grafik dengan frekuensi 0.8 Hz didapatkan *voltage* RMS secara berurutan mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.376 volt, 1.041 volt, dan 0.940 volt.

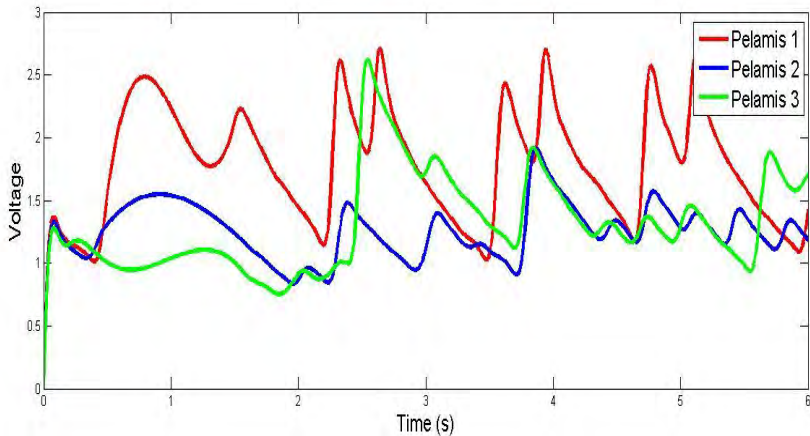
#### 4.3.2 Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Berbanjar



Gambar 4.7 Grafik voltase DC untuk frekuensi 0.6 pada susunan berbanjar



Gambar 4.8 Grafik voltase DC untuk frekuensi 0.7 pada susunan berbanjar



Gambar 4.9 Grafik voltase DC untuk frekuensi 0.8 pada susunan berbanjar

Dari ketiga gambar grafik voltase fungsi waktu didapatkan *voltage* RMS dari pengambilan tiap-tiap pelamis selama 6 detik dengan frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz dan

panjang stroke 12,5 cm untuk susunan berbanjar. Dari ketiga grafik diatas terdapat tiga warna, yaitu untuk Pelamis 1 berwarna merah, Pelamis 2 berwarna biru, dan Pelamis 3 berwarna hijau.

Pada gambar grafik dengan frekuensi 0.6 Hz didapatkan voltase RMS secara berurutan mulai dari pelamis 1 berwarna merah, pelamis 2 berwarna biru, dan pelamis 3 berwarna hijau adalah 1.245 volt, 1.232 volt, dan 1.228 volt. Dan pada gambar grafik dengan frekuensi 0.7 Hz didapatkan *voltage* RMS mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.315 volt, 1.312 volt, dan 1.320 volt. Sedangkan pada grafik dengan frekuensi 0.8 Hz didapatkan *voltage* RMS secara berurutan mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.215 volt, 1.167 volt, dan 1.201 volt.

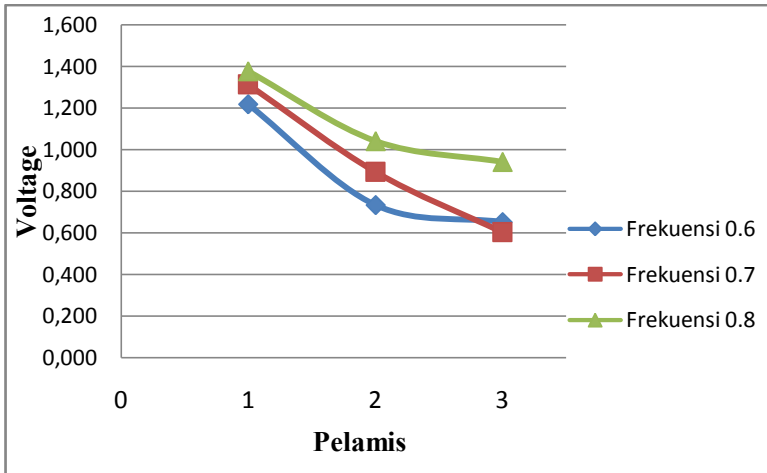
### 4.3.3 Pembahasan Grafik

#### 4.3.3.1 Perbandingan Pengaruh Frekuensi Terhadap Voltase Tiap-tiap Pelamis yang Dihasilkan Pada Pengujian

Tabel 4.2 Perbandingan Voltase tiap-tiap Pelamis

Susunan	Frekuensi (Hz)	Pelamis 1 (volt)	Pelamis 2 (volt)	Pelamis 3 (volt)	VRMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)
Berbaris	0.6	1.218	0.734	0.651	2,603	0.64
	0.7	1.313	0.891	0.601	2,805	0.84
	0.8	1.376	1.041	0.940	3,357	1.06
Berbanjar	0.6	1,245	1,232	1,228	3,705	1.29
	0.7	1,315	1,312	1,32	3,947	1.56
	0.8	1,215	1,167	1,201	3,583	1.20





Gambar 4.10 Grafik perbandingan pengaruh voltase DC tiap-tiap pelamis dengan variasi frekuensi pada susunan berbaris

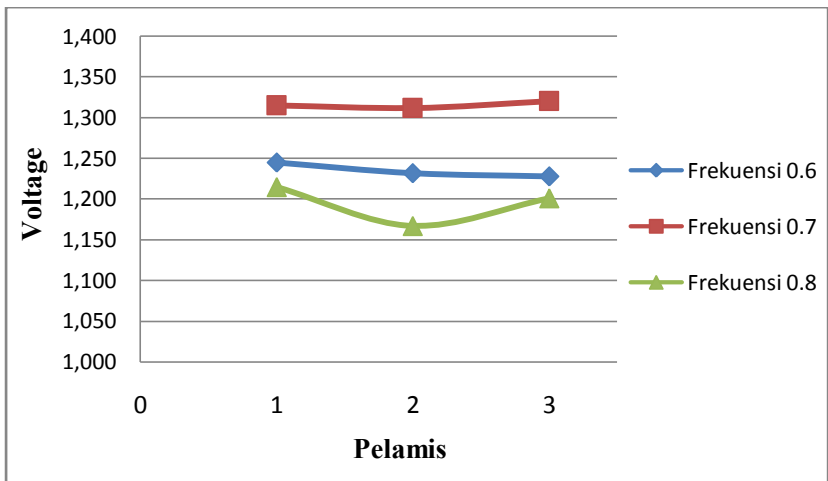
Dari gambar 4.10 merupakan grafik pengaruh variasi frekuensi terhadap nilai voltase yang dihasilkan oleh mekanisme tiap-tiap Pelamis pada susunan berbaris. Pada grafik susunan berbaris mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 memiliki nilai voltase yang berbeda-beda.

Pada frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz menunjukkan *trendline* nilai voltase tiap-tiap pelamis menurun. Hal ini menjelaskan bahwa pada Pelamis 1 yang pertama kali terkena oleh gelombang air pada simulator pembuat gelombang sehingga nilai voltase yang dihasilkan oleh Pelamis 1 memiliki nilai voltase yang tinggi. Menurunnya Nilai voltase Pelamis 2 dan Pelamis 3 pada variasi frekuensi disebabkan amplitudo gelombang air sudah berkurang terkena oleh Pelamis 1 sehingga gelombang yang terkena oleh pelamis 2 dan 3 hanya mendapatkan gelombang sisa dari Pelamis 1. Daya dan *Voltage RMS* yang terbesar dihasilkan pada frekuensi 0.8 Hz., yaitu 1.29 mWatt dan 3.357 volt.

Posisi pada susunan berbaris mempengaruhi energi listrik dan voltase yang dihasilkan pada tiap-tiap Pelamis, sehingga Pelamis dengan susunan berbaris pada variasi frekuensi menyebabkan ketinggian permukaan air ( $\eta$ ) pada tiap-tiap Pelamis berbeda. Secara teoritis, dengan bertambahnya nilai  $\eta$ , maka daya ombak ( $P_w$ ) juga akan semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{\rho_{air} g^2 \eta T}{8\pi}$$

Dimana nilai  $\eta$  berbanding lurus dengan *power wave* ( $P_w$ ), sehingga Pelamis pada posisi amplitudo maksimum memiliki nilai  $\eta$  yang besar. Jika nilai  $\eta$  besar maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan pengaruh voltase DC tiap-tiap pelamis dengan variasi frekuensi pada susunan berbaris

Pada gambar diatas, grafik pada frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz menunjukkan *trendline* nilai voltase tiap-tiap pelamis

cenderung sejajar. Hal ini menjelaskan bahwa pada masing-masing pelamis pertama kali terkena oleh gelombang air pada simulator pembuat gelombang sehingga nilai voltase yang dihasilkan oleh masing-masing Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 memiliki nilai voltase yang hampir sama. Akan tetapi pada frekuensi 0.8 Hz nilai voltase yang dihasilkan menurun disebabkan gelombang yang terbentuk mempunyai amplitudo yang kecil, sehingga pergerakan magnet di dalam pelamis tidak memotong kumparan secara sempurna. Daya dan *Voltage RMS* yang terbesar dihasilkan pada frekuensi 0.7 Hz., yaitu 1.56 mWatt dan 3.947 volt.

Posisi pada susunan berbanjar mempengaruhi energi listrik dan voltase yang dihasilkan pada tiap-tiap Pelamis, sehingga Pelamis dengan susunan berbanjar pada variasi frekuensi menyebabkan ketinggian permukaan air ( $\eta$ ) pada tiap-tiap Pelamis hampir sama. Secara teoritis, dengan bertambahnya nilai  $\eta$ , maka daya ombak ( $P_w$ ) juga akan semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{\rho_{air} g^2 \eta T}{8\pi}$$

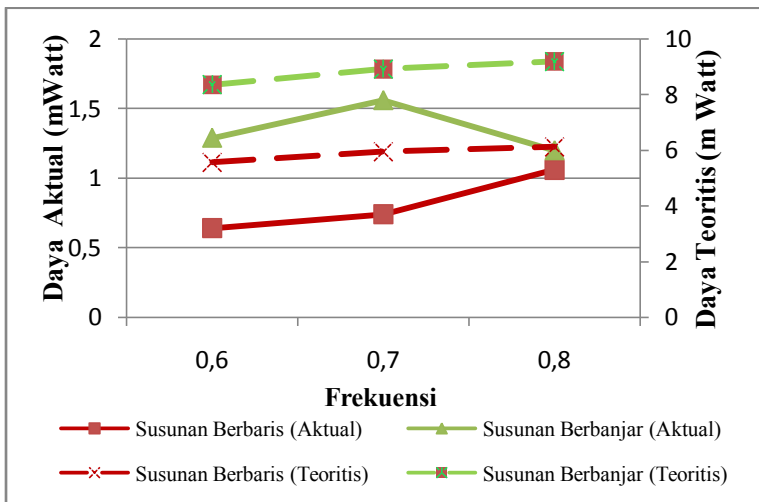
Dimana nilai  $\eta$  berbanding lurus dengan *power wave* ( $P_w$ ), sehingga Pelamis pada posisi amplitudo maksimum memiliki nilai  $\eta$  yang besar. Jika nilai  $\eta$  besar maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.

#### 4.4 Hasil Perbandingan Daya Teoritis dengan Daya Aktual

Dari nilai analisa secara teori yang telah dihitung, dapat dilihat hasil perbandingan antara analisa secara teori dengan hasil yang diperoleh dari pengujian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4.3. Perbandingan daya hasil perhitungan teori dengan pengujian

Susunan	Frekuensi (Hz)	<i>Voltage</i> RMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Teoritis (mWatt)
Berbaris	0,6	2,603	0.64	5.57
	0,7	2,805	0.84	5.95
	0,8	3,357	1.06	6.13
Berbanjar	0,6	3,705	1.29	8.36
	0,7	3,947	1.56	8.92
	0,8	3,583	1.20	9.19



Gambar 4.12 Grafik perbandingan daya aktual dan teoritis pada variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis

Dari gambar 4.12, pada variasi frekuensi dan variasi susunan Pelamis menunjukkan bahwa hasil perbandingan antara

hasil analisa daya ombak teori lebih besar dari pada hasil daya aktual. Hal ini dapat terjadi karena pada saat percobaan terdapat kerugian-kerugian energi yang tidak diperhitungkan, antara lain gesekan yang terjadi antara magnet dengan tabung *acrylic* dan gerakan Pelamis yang tidak stabil mengikuti gerakan gelombang.

Selain itu, pada frekuensi 0.8 pada susunan berbanjar daya aktual menurun. Hal ini tidak sesuai dengan teori bahwa semakin besar frekuensi maka ampiltudo gelombang semakin tinggi, sehingga daya yang dihasilkan akan semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut:

$$Fw = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda}$$

Dimana panjang gelombang ( $\lambda$ ) berbanding terbalik dengan gaya gelombang ( $Fw$ ) yang berarti semakin pendek panjang gelombang maka nilai  $Fw$  semakin besar sehingga berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh Pelamis.

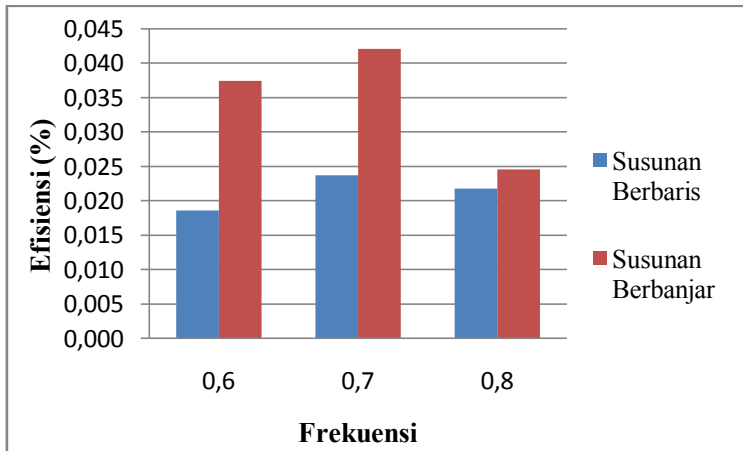
#### 4.5 Efisiensi Mekanisme

Untuk mengetahui efisiensi dari mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut maka dilakukan sebuah analisa dengan grafik efisiensi. Dimana dengan mengetahui efisiensi mekanisme maka dapat dilakukan lebih lanjut tentang upaya perbaikan dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini.

#### 4.5.1 Efisiensi Variasi Frekuensi

Tabel 4.4 Tabel Efisiensi Variasi Frekuensi

Susunan	Frekuensi (Hz)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Ombak Teoritis (Watt)	Efisiensi (%)
Berbaris	0.6	0.64	3.44	0.019
	0.7	0.84	3.45	0.024
	0.8	1.06	3.54	0.022
Berbanjar	0.6	1.29	3.71	0.037
	0.7	1.56	4.87	0.042
	0.8	1.20	4.88	0.025



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Variasi Frekuensi

Gambar 4.13 menggambarkan grafik efisiensi variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis yaitu susunan berbaris dan

susunan berbanjar, dimana grafik diatas daya ombak dibandingkan dengan daya pada perngambilan data dalam satuan watt. Efisiensi bisa dihitung dengan cara nilai daya aktual dibagi dengan nilai daya teoritis ombak kemudian dikalikan dengan 100%. Dari ketiga variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis yang digunakan pada pengujian mekanisme pelamis yang paling besar adalah frekuensi 0.8 Hz pada susunan berbaris dan 0.7 Hz pada susunan berbanjar. Dimana pada susunan Pelamis, yaitu berbaris dan berbanjar frekuensi 0.7 Hz memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi 0.6 Hz dan 0.8 Hz.

#### **4.6 Aplikasi PLTGL Mekanisme Pelamis Pada Skala Riil**

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut pada mekanisme pelamis ini disimulasikan pada gelombang skala lab yang dapat menghasilkan frekuensi gelombang air sebesar 0.6 – 0.8 Hz. Untuk amplitudo yang disimulasikan dapat mencapai ketinggian 0,0412 meter. Sedangkan kondisi di laut sebenarnya, ketinggian gelombang laut Jawa memiliki ketinggian 0.75 meter sampai 2 meter dan frekuensi gelombang laut sampai 5 %.

Dengan membandingkan kondisi riil di laut Jawa dengan simulator gelombang maka dapat ditarik kesimpulan bahwa rasio dari kondisi lab dengan skala riil adalah 35 : 1. Dari rasio tersebut, dapat diasumsikan bahwa PLTGL sistem Pelamis ini jika pada kondisi riil dapat menghasilkan daya yang cukup besar. Dibawah ini adalah tabel daya yang dihasilkan antara kondisi percobaan skala lab dan kondisi riil.

Tabel 4.5 Hasil daya yang dihasilkan antara skala laboratorium dan skala riil

Mekanisme Skala Lab					Mekanisme Skala Riil				
A(m)	mp (kg)	L (m)	mm (kg)	P (mW)	A (m)	mp (kg)	L (m)	mm (kg)	P (W)
0.0300	0.336	0.2	0.035	0.65	1.05	11.76	7	1.225	238.94
0.0336	0.336	0.2	0.035	1.20	1.17	11.76	7	1.225	254.95
0.0412	0.336	0.2	0.035	1.36	1.44	11.76	7	1.225	262.73
0.0300	0.336	0.2	0.035	1.25	1.05	11.76	7	1.255	358.26
0.0336	0.336	0.2	0.035	1.44	1.17	11.76	7	1.225	382.15
0.0412	0.336	0.2	0.035	1.02	1.44	11.76	7	1.225	394.21



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisa dan pembahasan pada PLTGL tipe pelamis dengan variasi frekuensi dan susunan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada variasi susunan pelamis, yaitu berbaris dan berbanjar nilai voltase yang dihasilkan untuk susunan berbaris paling besar adalah frekuensi 0.8 Hz dengan nilai voltase Pelamis 1, pelamis 2, dan pelamis 3 secara berurutan, yaitu 1.376 volt, 1.041 volt, dan 0.940 volt dengan jumlah total VRMS 3.357 volt. Sedangkan pada susunan berbanjar, voltase yang paling besar adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai voltase pelamis 1, pelamis 2, dan pelamis 3 secara berurutan, yaitu 1.315 volt, 1.312 volt, dan 1.320 volt dengan jumlah total VRMS 3.947 volt. .
2. Variasi frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz energi listrik yang dihasilkan yang dihasilkan pada susunan berbaris dari yang terbesar sampai yang terkecil adalah frekuensi 0.8 Hz sebesar 1.06 mWatt, frekuensi 0.7 Hz sebesar 0.84 mWatt, dan frekuensi 0.6 Hz sebesar 0.64 mWatt. Sedangkan energi listrik yang dihasilkan pada susunan berbanjar yang terbesar adalah frekuensi 0.7 Hz sebesar 1.56 mWatt, frekuensi 0.6 Hz sebesar 1.29 mWatt, dan yang terkecil adalah frekuensi 0.8 Hz sebesar 1.20 mWatt.
3. Nilai efisiensi terbesar pada susunan berbaris adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai 0.024 %. Sedangkan nilai efisiensi terbesar pada susunan berbanjar adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai 0.042 %.
4. Dari perbandingan antara susunan pelamis, yaitu susunan berbaris dan berbanjar yang memiliki rata-rata VRMS lebih tinggi adalah susunan berbanjar. Hal ini disebabkan karena

5. pada susunan berbanjar masing-masing pelamis mendapatkan ketinggian amplitudo maksimum. Sedangkan pada susunan berbaris, hanya pelamis 1 yang memiliki ketinggian amplitudo maksimum pada saat gelombang muncul pertama kali, sehingga pada pelamis 2 dan pelamis 3 hanya mendapatkan ombak sisa dari pelamis 1.

## 5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat dilakukan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendesain pelamis yang optimal diperlukan sambungan yang anti bocor agar kumbaran yang ada didalam tidak basah, sehingga waktu pengambilan data dapat maksimal.
2. Agar Efisiensi dari Mekanisme mempunyai nilai yang optimal, sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dipertimbangkan untuk mengurangi losses energy yang terjadi dari mekanisme, sehingga didapat efisiensi maksimal dari mekanisme.
3. Diperlukan penyempurnaan pada simulator pembangkit gelombang yang dapat mengkondisikan gelombang laut seperti asli.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jah, Alok. 2008. *Making waves: UK firm harnesses power of the sea in Portugal*  
<http://www.theguardian.com/technology/2008/sep/25/greentech.alternativeenergy>. 6 Maret 2015.
- Khaligh, dkk. 2010. *Energy Harvesting: Solar, Wind, and Ocean, Energy Conversion Systems*. New York: CRC Press.
- Kramer, Morten. 2006. *The wave Energy Converter Wave Star , A Multi Point Absorber System*. Aalborg: Aalborg University.
- Marquis, dkk. 2011. *Performance Evaluation of The Wave Star Prototype*. Southampton: EWTEC Conference.
- McCormick, M.E .1973. *Ocean Wave Energy Conversion*. Cambridge University Press, NewYork.
- Murdani, Budi. 2008. *Analisa Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Sistem Oscillating Water Column di Pantai Baron, Jakarta*.
- Pudjanarsa, dkk. 2008. *Edisi Revisi Mesin Konversi Energi*. CV Andi, Yogyakarta.
- Rao, R. S. 2011. *Mechanical Vibration, 5th Edition*. New Jersey: Pearson Education.Inc.
- Sayuti, dkk. 2014. *Simulasi Numerik Gerak Heaving dan Pitching Kapal Feri Diatas Gelombang*. Jurusan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Waldopo, dkk. 2008. *Perairan Darat dan Laut*.  
<http://andimanwno.files.wordpress.com/2010/08/perairan-darat-dan-laut-pdf>. 6 Maret 2015

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## RIWAYAT PENULIS



A Adiyatma Maulana lahir pada tanggal 19 November 1990 di Makassar, Sulawesi Selatan. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara pasangan Ali Hanafi dan A Tina Malinda.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Mangkura lulus pada tahun 2003, kemudian melanjutkan studi ke SMPN 1 Makassar dan lulus pada tahun 2005, lalu penulis melanjutkan studi ke SMAN 2 Makassar dan lulus pada tahun 2009. Setelah masa studi SMA selesai, penulis melanjutkan studi program Diploma ke Politeknik Negeri Ujung Pandang pada jurusan Teknik Mesin Program Studi Produksi dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan program sarjana di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Terdaftar di Jurusan Teknik Mesin-ITS dengan Nomor Register Pokok 2112106013. Keinginan untuk selalu belajar, berusaha dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “Analisa Perbandingan Energi Listrik yang Dihasilkan Mekanisme PLTGL Sistem Pelamis Antara Susunan Berbaris dan Berbanjar Dengan Variasi Frekuensi Gelombang”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk bangsa dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini:

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

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin prototype pelamis di EMEC, Orkney, Scotland dan Skema pergerakan Pelamis .....	6
Gambar 2.2. Deskripsi WEC yang dikembangkan di Uppsala University .....	7
Gambar 2.3. Konsep PLTGL dengan Model Skala 1:40 .....	8
Gambar 2.4. Konsep PLTGL dengan Model Skala 1:10 .....	9
Gambar 2.5. Konsep PLTGL dengan Model Skala 1:2 .....	10
Gambar 2.6. Grafik pengaruh frekuensi terhadap tinggi gelombang.....	11
Gambar 2.7. Gambar pergerakan air laut.....	12
Gambar 2.8. Proses Terjadinya Gelombang Laut .....	13
Gambar 2.9. Karakteristik ombak.....	15
Gambar 2.10. Gerakan benda diatas gelombang laut.....	16
Gambar 2.11. Bodi mengapung terkena gerak heaving .....	17
Gambar 2.12. Pure heaving condition .....	17
Gambar 2.13. Sistem Buoy.....	18
Gambar 2.14. Sirip ikan hiu buatan yang disebut biostream hasil ciptaan Prof. Tim Finnigan, University Of Sydney .....	19
Gambar 2.15. Sistem <i>Oscillating Water Column</i> .....	20
Gambar 2.16. Archimedes Wave Swing.....	20
Gambar 2.17. Pelamis .....	21
Gambar 2.18. Anaconda Bulge Wave System.....	22
Gambar 2.19. Definition for progressive water .....	24
Gambar 2.20 (a) Benda Terapung, (b) Benda Melayang, (c) Benda Tenggelam.....	25
Gambar 2.21. Analisa gaya yang dihasilkan pelampung .....	26
Gambar 2.22. Gerak harmonik .....	28

Gambar 2.23. Gerakan pada bandul 2. = titik setimbang ; 1 dan 3 = titik terjauh (Amplitudo) .....	29
Gambar 2.24. Gerak magnet dalam kumparan .....	30
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar 3.2. Prototype Mekanisme PLTGL .....	37
Gambar 3.3. Tabung I .....	38
Gambar 3.4. Tabung II .....	38
Gambar 3.5. Magnet koin .....	39
Gambar 3.6. Kawat Kumparan .....	39
Gambar 3.7. Kesetimbangan statis pada pelamis .....	40
Gambar 3.8. Keadaan Pelamis ditinjau sesaat sebelum magnet bergerak turun.....	41
Gambar 3.9. Keadaan Pelamis ditinjau sesaat setelah magnet bergerak turun .....	43
Gambar 3.10. Posisi susunan penempatan mekanisme pada kolam simulasi (a) susunan banjar dan (b) susunan seri .....	45
Gambar 3.11 Posisi Pelamis pada saat terkena oleh gelombang air 35 .....	46
Gambar 3.12. Posisi Pelamis pada susunan berbaris dengan jarak $\lambda$ dan 3 frekuensi gelombang berbeda.....	47
Gambar 3.13. Kolam Simulasi Gelombang dan Mekanisme Pembuat Gelombang .....	47
Gambar 3.14. Digital Storage Oscilloscope .....	48
Gambar 3.15. Model Mekanisme Prototipe Pelamis .....	49
Gambar 3.16. Diagram Alir Pengambilan Data pada Susunan Pelamis dengan Variasi Frekuensi .....	50
Gambar 4.1 Data Percobaan pada Oscilloscope .....	53
Gambar 4.2 Posisi Pelamis pada saat terkena gelombang.....	54
Gambar 4.3 Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Susunan Pelamis dalam menghasilkan energi listrik .....	58



Gambar 4.4 Grafik Voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.6 Hz.....	59
Gambar 4.5 Grafik Voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.7 Hz .....	60
Gambar 4.6 Grafik Voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.8 Hz.....	60
Gambar 4.7 Grafik Voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.6 Hz pada susunan berbanjar .....	61
Gambar 4.8 Grafik Voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.7 Hz pada susunan berbanjar .....	62
Gambar 4.9 Grafik Voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.8 Hz pada susunan berbanjar .....	62
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Pengaruh Voltase DC tiap-tiap Pelamis dengan Variasi Frekuensi pada Susunan Berbaris .....	64
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Pengaruh Voltase DC tiap-tiap Pelamis dengan Variasi Frekuensi pada Susunan Berbanjar .....	65
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Daya Aktual dan Teoritis pada Variasi Frekuensi dan Variasi Susunan Pelamis .....	67
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Variasi Frekuensi. ....	69

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# ANALISA PERBANDINGAN ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN MEKANISME PLTGL SISTEM PELAMIS ANTARA SUSUNAN BERBARIS DAN BERBANJAR DENGAN VARIASI FREKUENSI GELOMBANG

A Adiyatma Maulana dan Wiwiek Hendrowati

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* wiwiek@me.its.ac.id

**Abstrak-** Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi manusia juga semakin meningkat. Pemenuhan energi ini sebagian besar berasal dari pembakaran fosil yang berumur jutaan tahun dan tidak dapat diperbaharui dan sebagian kecil saja yang berasal dari penggunaan sumber energi lain yang lebih terbarukan. Oleh karena itu, salah satu alternatif yang belum dimanfaatkan di Indonesia adalah energi gelombang laut. Pada penelitian ini dibuat pemanfaatan model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. Mekanisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah Pelamis yang didalamnya terdapat kumparan dan magnet yang memanfaatkan prinsip GGL induksi. Pelamis akan mengapung di kolam simulasi kemudian akan bergerak dengan mengikuti naik turunnya gerakan gelombang. Gerakan naik turunnya gelombang mengakibatkan magnet yang ada didalamnya bergerak naik turun melewati kumparan yang diam, sehingga kumparan akan memotong garis-garis medan magnet dan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan dan menghasilkan listrik. Dengan beragam macam kondisi gelombang di lautan Indonesia, maka diperlukan pengujian mekanisme dengan variasi susunan Pelamis, yaitu susunan berbaris dan susunan berbanjar dan variasi frekuensi gelombang, yaitu 0,6 Hz, 0,7 Hz, dan 0,8 Hz yang akan mempengaruhi gerakan Pelamis dan juga besar arus listrik yang dihasilkan. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa daya terbesar dari variasi frekuensi untuk susunan berbaris adalah pada frekuensi 0,8 Hz dengan daya yang dihasilkan, yaitu 1,06 miliWatt. Sedangkan pada susunan berbanjar adalah frekuensi 0,7 Hz dengan daya yang dihasilkan 1,56 miliWatt. Variasi susunan dan variasi frekuensi yang optimum untuk menghasilkan daya yang besar adalah frekuensi 0,7 Hz dengan susunan berbanjar.

**Kata kunci :** Mekanisme PLTGL, Pelamis, Susunan Berbanjar, Susunan Berbaris, Frekuensi Gelombang

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi manusia juga semakin meningkat. Pemenuhan energi ini sebagian besar berasal dari pembakaran fosil yang berumur jutaan tahun dan tidak dapat diperbaharui dan sebagian kecil saja yang berasal dari penggunaan sumber energi lain yang lebih terbarukan. Berdasarkan data dari PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) permintaan akan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2001 terjadi kenaikan listrik sebesar 6,5%, disusul tahun 2002 menjadi 12,8%. Diprediksikan sepuluh tahun ke depan, kenaikan permintaan menjadi 9% setiap tahunnya. Ironisnya, sumber energi utama di Indonesia semakin terbatas cadangannya. Salah satu alternatif sumber energi yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia adalah energi gelombang laut.

Energi ini tersedia melimpah selama 24 jam sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat kepulauan, bahkan untuk menjadi salah satu sumber energi alternatif di masa yang akan datang. Secara geografis, Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak diantara 2 samudera, yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, mempunyai potensi yang sangat besar untuk mengembangkan energi gelombang laut dikarenakan panjang pantai Indonesia sekitar 80.000 km dan luas total lautannya 8 juta km<sup>2</sup>. Potensi sumber daya energi listrik hingga mencapai 727.000 MW dan belum dimanfaatkan. Sementara teknologi yang paling siap adalah teknologi gelombang dan arus pasang surut dengan potensi praktis 6.000 MW (Prof. Dr. Mukhtasor, 2011)<sup>[1]</sup>. Pada penelitian ini, dibuat pemanfaatan energi gelombang laut dengan mekanisme pelamis yang mengikuti gerakan gelombang air laut. Prinsip kerja dari mekanisme ini memanfaatkan prinsip GGL induksi menjadi energi listrik untuk skala laboratorium. Pelamis akan menghasilkan arus listrik pada saat magnet yang ada di dalam pelamis bergerak naik turun mengikuti pergerakan gelombang air, sehingga kumparan yang diam di dalam pelamis akan memotong garis-garis medan magnet yang menyebabkan fluks magnet yang besarnya berubah-ubah. Perubahan fluks magnet ini akan menimbulkan GGL induksi.

## II. URAIAN PENELITIAN

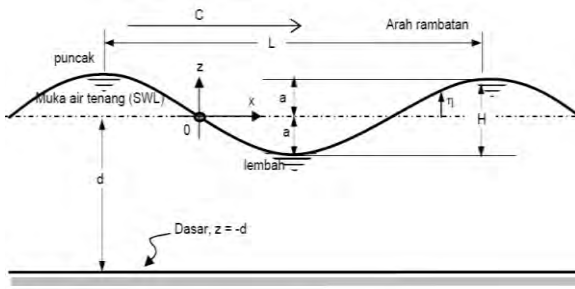
Pada Tugas akhir ini tahapan-tahapan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

### A. Studi Literatur

#### a. Definisi Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut menurut Drs. Waldopo, M.Pd adalah “*Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergerak satu sama lain, maka pada bidang geraknya akan terbentuk gelombang*”<sup>[2]</sup>.

Teori mengenai gelombang laut pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845. Pada dasarnya pergerakan air laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dari pergerakan angin. Gelombang yang dibangkitkan angin ini terbentuk karena transfer energi dari angin ke permukaan air laut. Dibawah ini adalah pemodelan gelombang laut linier. Gelombang linier ini memiliki karakteristik berbentuk sinusoidal dengan anjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya.<sup>[3]</sup>



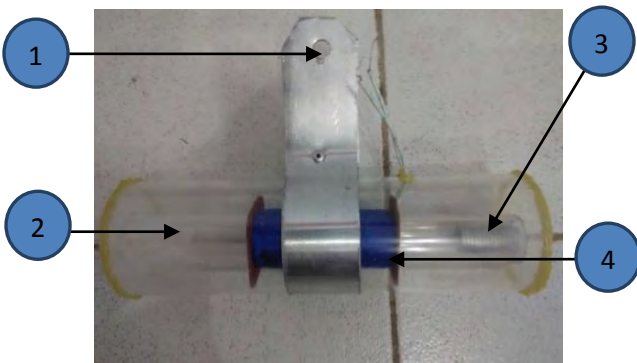
Gambar 1. Gambar pergerakan air laut

Gambar 1 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-z. Gelombang bergerak pada sumbu x. Beberapa notasi didalam pemodelan yang dikembangkan oleh Airy seperti gambar diatas adalah :

- SWL : *mean sea water level*( muka air tenang )
- d : jarak antara muka air rata dan dasar laut
- η : fluktuasi muka air terhadap muka air diam  
η = a cos [k(x-ct)]
- a : amplitudo gelombang
- H : tinggi gelombang = 2a
- λ : panjang gelombang
- T : periodegelombang
- c : kecepatan rambat gelombang = λ / T
- k : *wave number* = 2π / λ

**B. Perancangan dan Pembuatan Mekanisme**

Pada tahap ini dirancang mekanisme PLTGL tipe pelampung generator linieryang sesuai dengan identifikasi masalah yang telah ditentukan, termasuk perancangan dan pembuatan mekanismenya dalam skala laboratorium. Mekanisme yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah pelamis yang didalamnya terdapat kumparan dan magnet. Prinsip kerja dari mekanisme ini memanfaatkan prinsip GGL induksi. Pelamis akan mengapung di kolam simulasi kemudian akan bergerak dengan mengikuti naik turunnya gerakan gelombang. Gerakan naik turunnya gelombang tersebut akan mengkitabkan magnet yang ada di dalamnya bergerak naik turun melewati kumparan yang diam, sehingga kumparan akan memotong garis-garis medan magnet dan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan dan menghasilkan listrik. Dari mekanisme tersebut, kemudian dihubungkan dengan voltmeter untuk mengetahui besar voltase yang dihasilkan pada mekanisme pemanen energi tersebut. Berikut ini adalah gambar komponen penyusun pelamis dan gambar mekanismenya :



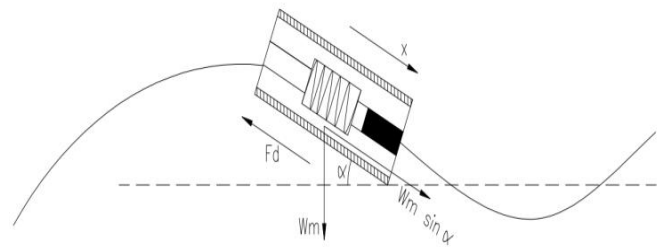
Gambar 4. Model Mekanisme PLTGL Pelamis

Keterangan Gambar :

1. Engsel
2. Tabung acrylic
3. Magnet
4. Kawat kumparan

**C. Analisa Power Pada Pelamis**

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh pelamis, maka harus mengetahui nilai kecepatan dari mekanisme penghasil elektromagnetik tersebut. Pada gambar dibawah, nilai kecepatan magnet dapat diperoleh dari gaya berat magnet harus lebih besar dari gaya drag atau gaya *lorentz*, sehingga persamaannya adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Keadaan Pelamis bergerak ditinjau sesaat setelah magnet bergerak turun

$$\sin \theta = \frac{\text{Amplitudo}}{L_{\text{Pelamis}}} \tag{1}$$

$$m_m g \sin \alpha > F_d \tag{2}$$

Dengan menggunakan persamaan gaya *lorentz* :

$$F_L = F_d = C_e \cdot v \tag{3}$$

$$m_m g \sin \alpha = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v \tag{4}$$

Kecepatan magnet bergerak turun adalah :

$$v = \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2} \tag{5}$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan magnet dari mekanisme tersebut, maka energi listrik yang dipanen adalah :

$$P = \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) v^2 \tag{6}$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \left( \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2} \right)^2 \tag{7}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{(m_m g \sin \alpha)^2 R}{B^2 L^2} \tag{8}$$

**D. Pengolahan Data Pengujian**

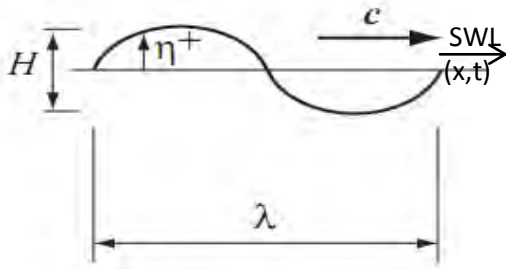
Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan oscilloscope. Hasil dari oscilloscope menunjukkan nilai dari voltase bangkitan yang dihasilkan pada simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe pelamis generator linier. Data yang dihasilkan di oscilloscope tidak berupa voltase efektifnya (RMS) sehingga dilaksanakan proses smoothing dan filter yang dilakukan menggunakan software Matlab, karena adanya gangguan (noise) saat pengambilan data.

III. HASIL DAN ANALISA

A. Perhitungan

a. Fluktuasi Muka Air Terhadap SWL ( $\eta$ )

$\eta$  adalah tinggi permukaan gelombang laut terhadap SWL (*seawater level*)<sup>[4]</sup>.



Gambar 7. Definitions for progressive water

Gambar 4 menunjukkan suatu fluktuasi muka air terhadap SWL (*sea water level*) yang merupakan tinggi permukaan gelombang yang berubah terhadap fungsi x dan t. Persamaan tinggi permukaan gelombang :

$$\eta_{(x,t)} = A \cos \omega t \tag{9}$$

Dimana  $\eta$  adalah fluktuasi muka air terhadap *water level* (m), A adalah amplitudo (m),  $\omega$  adalah frekuensi gelombang (rad/s), t adalah periode gelombang (s).

b.  $F_{wave}$

Analisa gaya pada pelampung dapat menunjukkan seberapa besar nilai daya yang dihasilkan. Dimana gaya-gaya pada pelamis dapat dihitung dengan cara :

$$P_{wave} = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot \eta^2 \cdot T \cdot b}{8\pi} \tag{10}$$

$$F_{wave} = \frac{P_{wave} \cdot T}{\lambda} \tag{11}$$

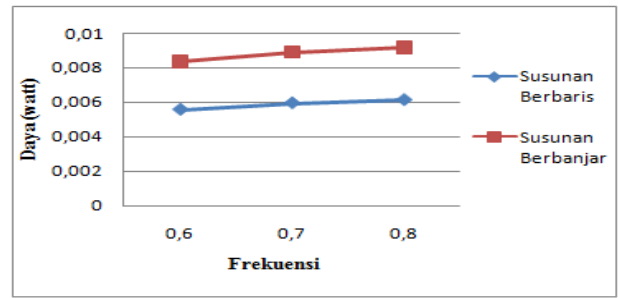
Dimana  $P_{wave}$  adalah daya Gelombang (watt),  $\rho$  adalah massa jenis air tawar (1000 kg/m<sup>3</sup>), g adalah percepatan gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>),  $\eta$  adalah fluktuasi muka air terhadap *water level* (m), T adalah Periode gelombang (s), b adalah panjang pelamis yang dikenai daya ombak,  $\lambda$  adalah panjang gelombang (m),  $F_{wave}$  adalah gaya gelombang.

B. Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Pelamis dalam Menghasilkan Energi Listrik

Tabel 1. Daya Teoritis Pelamis pada Variasi Susunan Pelamis dan Variasi Frekuensi

Susunan	Frekuensi (Hz)	Teori Daya (watt)
Berbaris	0,6	0,00557
	0,7	0,00595
	0,8	0,00613
Berbanjar	0,6	0,00836
	0,7	0,00892
	0,8	0,00919

Dari tabel diatas diperoleh Pengaruh variasi frekuensi terhadap susunan Pelamis

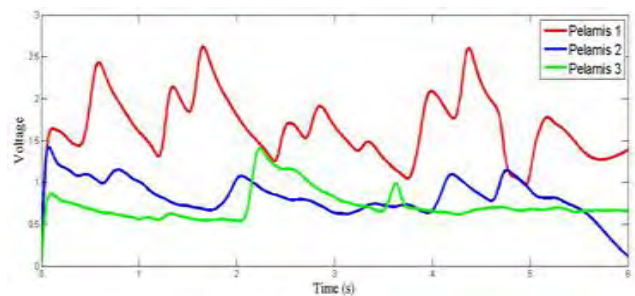


Gambar 8. Pengaruh variasi frekuensi terhadap susunan Pelamis dalam menghasilkan energi listrik

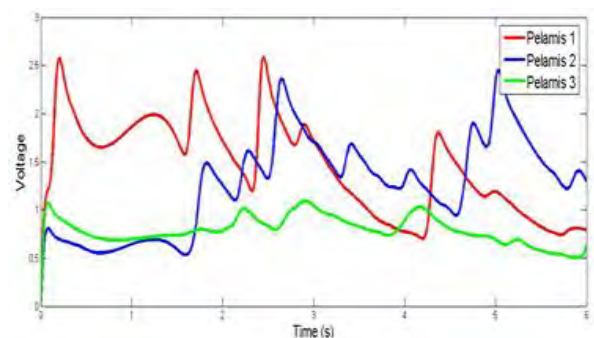
Dari gambar 5 diatas dapat diketahui bahwa *trendline* dari variasi frekuensi terhadap susunan berbaris dan berbanjar nilai daya yang dihasilkan cenderung naik seiring bertambahnya nilai frekuensi gelombang. Pada variasi frekuensi tersebut untuk tiap susunan pelamis adalah 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz. Sesuai dengan perumusan bahwa semakin bertambahnya nilai frekuensi maka panjang gelombang ( $\lambda$ ) semakin kecil sehingga daya yang dihasilkan oleh mekanisme semakin besar. Hal ini disebabkan karena panjang gelombang ( $\lambda$ ) berbanding terbalik dengan gaya gelombang ( $F_w$ ), dimana gaya gelombang akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Berdasarkan rumus

$F_w = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda}$ , dimana semakin besar frekuensi, maka panjang gelombang akan semakin pendek. Frekuensi mempengaruhi pergerakan magnet, dimana frekuensi gelombang yang tinggi akan membentuk sudut pada pelamis yang akan berpengaruh pada gerakan dan kecepatan magnet yang bergerak naik turun jika terkena gelombang. Jika frekuensi semakin besar maka amplitudo gelombang juga besar, sehingga nilai panjang gelombang akan semakin kecil yang berakibat daya yang dihasilkan akan semakin besar.

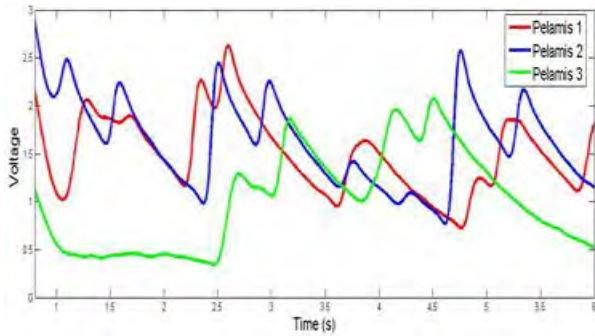
C. Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Berbaris



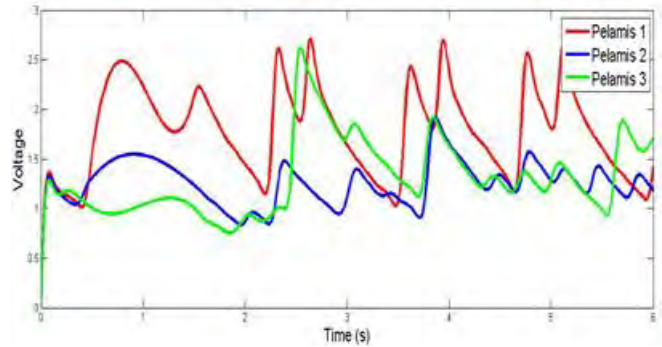
Gambar 9. Grafik voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.6



Gambar 10. Grafik voltase DC fungsi waktu untuk Frekuensi 0.7



Gambar 11. Grafik voltase DC fungsi waktu untuk frekuensi 0.8



Gambar 14. Grafik voltase DC untuk frekuensi 0.8 pada susunan berbanjar

Dari ketiga gambar grafik voltase fungsi waktu diatas, didapatkan voltage RMS dari pengambilan tiap-tiap pelamis selama 6 detik dengan frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz dan panjang stroke 12,5 cm untuk susunan berbaris. Dari ketiga grafik diatas terdapat tiga warna, yaitu untuk Pelamis 1 berwarna merah, Pelamis 2 berwarna biru, dan Pelamis 3 berwarna hijau..

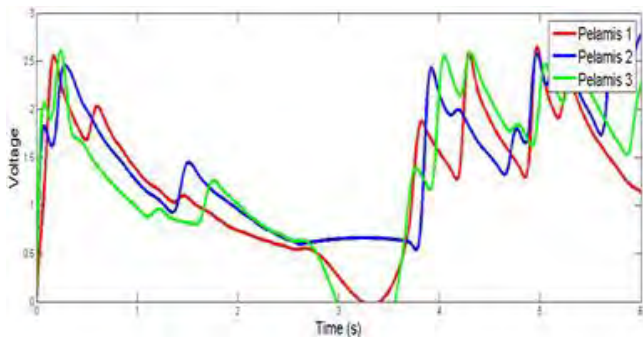
Pada gambar grafik dengan frekuensi 0.6 Hz didapatkan voltase RMS secara berurutan mulai dari pelamis 1 berwarna merah, pelamis 2 berwarna biru, dan pelamis 3 berwarna hijau adalah 1.218 volt, 0.723 volt, volt, dan 0.651 volt. Dan pada gambar grafik dengan frekuensi 0.7 Hz didapatkan voltage RMS mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.313 volt, 0.891 volt, dan 0.601 volt. Sedangkan pada grafik dengan frekuensi 0.8 Hz didapatkan voltage RMS secara berurutan mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.376 volt, 1.041 volt, dan 0.940 volt

Dari ketiga gambar grafik voltase fungsi waktu didapatkan voltage RMS dari pengambilan tiap-tiap pelamis selama 6 detik dengan frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz dan panjang stroke 12,5 cm untuk susunan berbanjar. Dari ketiga grafik diatas terdapat tiga warna, yaitu untuk Pelamis 1 berwarna merah, Pelamis 2 berwarna biru, dan Pelamis 3 berwarna hijau.

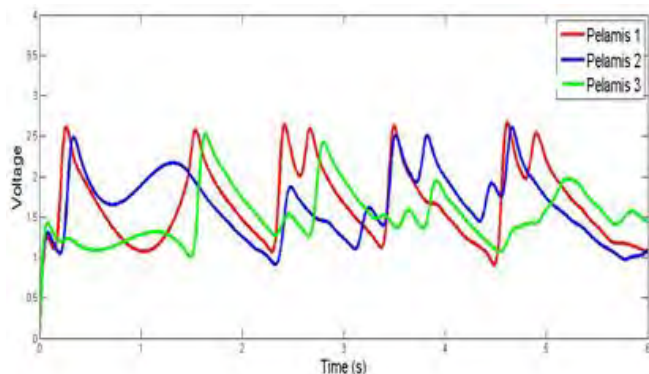
Pada gambar grafik dengan frekuensi 0.6 Hz didapatkan voltase RMS secara berurutan mulai dari pelamis 1 berwarna merah, pelamis 2 berwarna biru, dan pelamis 3 berwarna hijau adalah 1.245 volt, 1.232 volt, volt, dan 1.228 volt. Dan pada gambar grafik dengan frekuensi 0.7 Hz didapatkan voltage RMS mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.315 volt, 1.312 volt, dan 1.320 volt. Sedangkan pada grafik dengan frekuensi 0.8 Hz didapatkan voltage RMS secara berurutan mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 adalah 1.215 volt, 1.167 volt, dan 1.201 volt.

*D. Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Susunan Berbanjar*

*E. Perbandingan Pengaruh Frekuensi Terhadap Voltase Tiap-tiap Pelamis yang Dihasilkan Pada Pengujian*



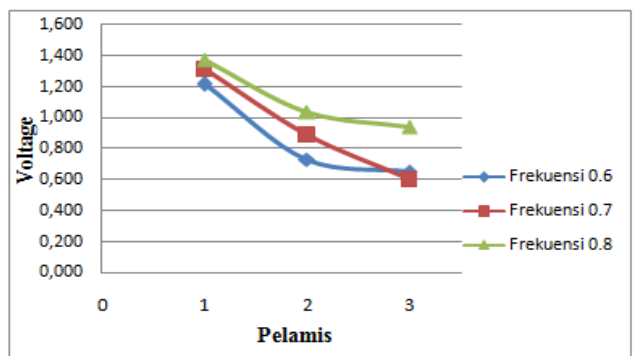
Gambar 12. Grafik voltase DC untuk frekuensi 0.6 pada susunan berbanjar



Gambar 13. Grafik voltase DC untuk frekuensi 0.7 pada susunan berbanjar

Tabel 2. Perbandingan Voltase tiap-tiap Pelamis

Susunan	Frekuensi (Hz)	Pelamis 1 (volt)	Pelamis 2 (volt)	Pelamis 3 (volt)	VRMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)
Berbaris	0.6	1.218	0.734	0.651	2,603	0.64
	0.7	1.313	0.891	0.601	2,805	0.84
	0.8	1.376	1.041	0.940	3,357	1.06
Berbanjar	0.6	1,245	1,232	1,228	3,705	1.29
	0.7	1,315	1,312	1,32	3,947	1.56
	0.8	1,215	1,167	1,201	3,583	1.20



Gambar 15. Grafik perbandingan pengaruh voltase DC tiap-tiap pelamis dengan variasi frekuensi pada susunan berbaris

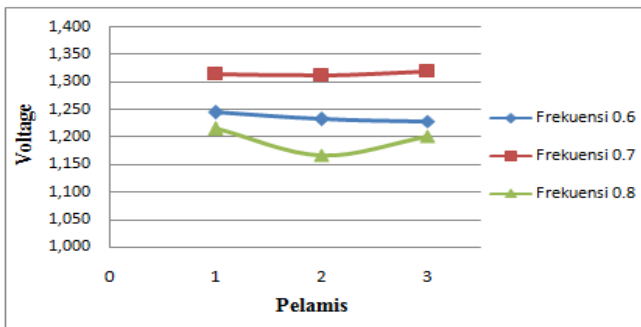
Dari gambar 15 merupakan grafik pengaruh variasi frekuensi terhadap nilai voltase yang dihasilkan oleh mekanisme tiap-tiap Pelamis pada susunan berbaris. Pada grafik susunan berbaris mulai dari Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 memiliki nilai voltase yang berbeda-beda.

Pada frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz menunjukkan trendline nilai voltase tiap-tiap pelamis menurun. Hal ini menjelaskan bahwa pada Pelamis 1 yang pertama kali terkena oleh gelombang air pada simulator pembuat gelombang sehingga nilai voltase yang dihasilkan oleh Pelamis 1 memiliki nilai voltase yang tinggi. Menurunnya Nilai voltase Pelamis 2 dan Pelamis 3 pada variasi frekuensi disebabkan amplitudo gelombang air sudah berkurang terkena oleh Pelamis 1 sehingga gelombang yang terkena oleh pelamis 2 dan 3 hanya mendapatkan gelombang sisa dari Pelamis 1. Daya dan Voltage RMS yang terbesar dihasilkan pada frekuensi 0.8 Hz., yaitu 1.29 mWatt dan 3.357 volt.

Posisi pada susunan berbaris mempengaruhi energi listrik dan voltase yang dihasilkan pada tiap-tiap Pelamis, sehingga Pelamis dengan susunan berbaris pada variasi frekuensi menyebabkan ketinggian permukaan air ( $\eta$ ) pada tiap-tiap Pelamis berbeda. Secara teoritis, dengan bertambahnya nilai  $\eta$ , maka daya ombak ( $P_w$ ) juga akan semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{\rho_{air} g^2 \eta T}{8\pi}$$

Dimana nilai  $\eta$  berbanding lurus dengan *power wave* ( $P_w$ ), sehingga Pelamis pada posisi amplitudo maksimum memiliki nilai  $\eta$  yang besar. Jika nilai  $\eta$  besar maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.



Gambar 16. Grafik perbandingan pengaruh voltase DC tiap-tiap pelamis dengan variasi frekuensi pada susunan berbaris

Pada gambar diatas, grafik pada frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz menunjukkan *trendline* nilai voltase tiap-tiap pelamis cenderung sejajar. Hal ini menjelaskan bahwa pada masing-masing pelamis pertama kali terkena oleh gelombang air pada simulator pembuat gelombang sehingga nilai voltase yang dihasilkan oleh masing-masing Pelamis 1, Pelamis 2, dan Pelamis 3 memiliki nilai voltase yang hampir sama. Akan tetapi pada frekuensi 0.8 Hz nilai voltase yang dihasilkan menurun disebabkan gelombang yang terbentuk mempunyai amplitudo yang kecil, sehingga pergerakan magnet di dalam pelamis tidak memotong kumparan secara sempurna. Daya dan *Voltage RMS* yang terbesar dihasilkan pada frekuensi 0.7 Hz., yaitu 1.56 mWatt dan 3.947 volt.

Posisi pada susunan berbaris mempengaruhi energi listrik dan voltase yang dihasilkan pada tiap-tiap Pelamis, sehingga Pelamis dengan susunan berbaris pada variasi frekuensi menyebabkan ketinggian permukaan air ( $\eta$ ) pada

tiap-tiap Pelamis hampir sama. Secara teoritis, dengan bertambahnya nilai  $\eta$ , maka daya ombak ( $P_w$ ) juga akan semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{\rho_{air} g^2 \eta T}{8\pi}$$

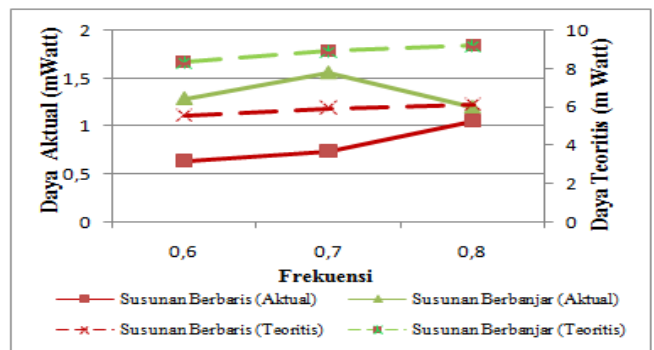
Dimana nilai  $\eta$  berbanding lurus dengan *power wave* ( $P_w$ ), sehingga Pelamis pada posisi amplitudo maksimum memiliki nilai  $\eta$  yang besar. Jika nilai  $\eta$  besar maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.

F. Hasil Perbandingan Daya Teoritis dengan Daya Aktual

Dari nilai analisa secara teori yang telah dihitung, dapat dilihat hasil perbandingan antara analisa secara teori dengan hasil yang diperoleh dari pengujian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3. Perbandingan daya hasil perhitungan teori dengan pengujian

Susunan	Frekuensi (Hz)	VoltageRMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Teoritis (mWatt)
Berbaris	0,6	2,603	0.64	5.57
	0,7	2,805	0.84	5.95
	0,8	3,357	1.06	6.13
Berbanjar	0,6	3,705	1.29	8.36
	0,7	3,947	1.56	8.92
	0,8	3,583	1.20	9.19



Gambar 17. Grafik perbandingan daya aktual dan teoritis pada variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis

Dari gambar 17, pada variasi frekuensi dan variasi susunan Pelamis menunjukkan bahwa hasil perbandingan antara hasil analisa daya ombak teori lebih besar dari pada hasil daya aktual. Hal ini dapat terjadi karena pada saat percobaan terdapat kerugian-kerugian energi yang tidak diperhitungkan, antara lain gesekan yang terjadi antara magnet dengan tabung *acrylic* dan gerakan Pelamis yang tidak stabil mengikuti gerakan gelombang.

Selain itu, pada frekuensi 0.8 pada susunan berbanjar daya aktual menurun. Hal ini tidak sesuai dengan teori bahwa semakin besar frekuensi maka ampiltudo gelombang semakin tinggi, sehingga daya yang dihasilkan akan semakin besar, sesuai dengan persamaan berikut:

$$F_w = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda}$$

Dimana panjang gelombang ( $\lambda$ ) berbanding terbalik dengan gaya gelombang ( $F_w$ ) yang berarti semakin pendek panjang gelombang maka nilai  $F_w$  semakin besar sehingga

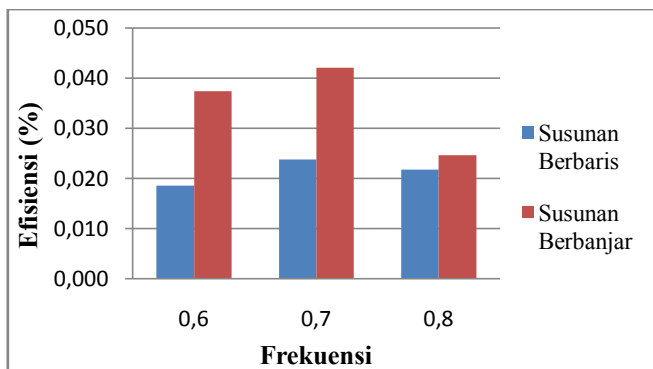
berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh Pelamis.

G. Efisiensi Mekanisme

Untuk mengetahui efisiensi dari mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut maka dilakukan sebuah analisa dengan grafik efisiensi. Dimana dengan mengetahui efisiensi mekanisme maka dapat dilakukan lebih lanjut tentang upaya perbaikan dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini.

Tabel 4.4 Tabel Efisiensi Variasi Frekuensi

Susunan	Frekuensi (Hz)	VoltageRMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Teoritis (mWatt)
Berbaris	0,6	2,603	0.64	5.57
	0,7	2,805	0.84	5.95
	0,8	3,357	1.06	6.13
Berbanjar	0,6	3,705	1.29	8.36
	0,7	3,947	1.56	8.92
	0,8	3,583	1.20	9.19



Gambar 18. Grafik Efisiensi Variasi Frekuensi

Gambar 18 menggambarkan grafik efisiensi variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis yaitu susunan berbaris dan susunan berbanjar, dimana grafik diatas daya ombak dibandingkan dengan daya pada perngambilan data dalam satuan watt. Efisiensi bisa dihitung dengan cara nilai daya aktual dibagi dengan nilai daya teoritis ombak kemudian dikalikan dengan 100%. Dari ketiga variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis yang digunakan pada pengujian mekanisme pelamis yang paling besar adalah frekuensi 0.8 Hz pada susunan berbaris dan 0.7 Hz pada susunan berbanjar. Dimana pada susunan Pelamis, yaitu berbaris dan berbanjar frekuensi 0.7 Hz memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi 0.6 Hz dan 0.8 Hz.

IV. KESIMPULAN

Pada variasi susunan pelamis, yaitu berbaris dan berbanjar nilai voltase yang dihasilkan untuk susunan berbaris paling besar adalah frekuensi 0.8 Hz dengan nilai voltase Pelamis 1, pelamis 2, dan pelamis 3 secara berurutan, yaitu 1.376 volt, 1.041 volt, dan 0.940 volt dengan jumlah total VRMS 3.357 volt. Sedangkan pada susunan berbanjar, voltase yang paling besar adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai voltase pelamis 1, pelamis 2, dan pelamis 3 secara berurutan, yaitu 1.315 volt, 1.312 volt,

dan 1.320 volt dengan jumlah total VRMS 3.947 volt. Nilai daya yang terbesar pada variasi frekuensi yang dihasilkan yang dihasilkan pada susunan berbaris mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil adalah frekuensi 0.8 Hz sebesar 1.06 mWatt, frekuensi 0.7 Hz sebesar 0.84 mWatt, dan frekuensi 0.6 Hz sebesar 0.64 mWatt. Sedangkan energi listrik yang dihasilkan pada susunan berbanjar yang terbesar adalah frekuensi 0.7 Hz sebesar 1.56 mWatt, frekuensi 0.6 Hz sebesar 1.29 mWatt, dan yang terkecil adalah frekuensi 0.8 Hz sebesar 1.20 mWatt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis, A Adiyatma Maulana, mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang telah memberikan kritik dan saran untuk penulisan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar penulis yang memberikan dukungan baik secara moral dan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] EBTKE. (2011). *Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi*. Dikutip Maret 25, 2012, dari Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral: [http://www.ebtke.esdm.go.id/energi/energi-terbarukan/\\_/arus-laut/336-potensi-energi-laut-nasional-telah-diratifikasi.html](http://www.ebtke.esdm.go.id/energi/energi-terbarukan/_/arus-laut/336-potensi-energi-laut-nasional-telah-diratifikasi.html).
- [2] Waldopo, dkk. 2008. *Perairan Darat dan Laut*. <http://andimanwno.files.wordpress.com/2010/08/perairan-darat-dan-laut-pdf.6.Maret.2015>
- [3] McCormick, M.E . 2010. *Ocean Engineering Mechanics*. Cambridge University Press, NewYork
- [4] Rao, S.S. 2011. *Mechanical Vibration*. Upper Saddle River :Prentice Hall.Singapore.



# Sidang Tugas Akhir

ANALISA PERBANDINGAN ENERGI LISTRIK YANG  
DIHASILKAN MODEL MEKANISME PLTGL SISTEM  
PELAMIS ANTARA SUSUNAN BERBARIS DAN  
BERBANJAR DENGAN VARIASI FREKUENSI  
GELOMBANG

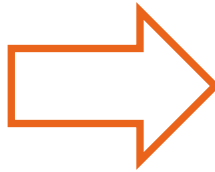
Oleh:  
A ADIYATMA MAULANA  
NRP. 2112.106.013

Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati , ST., MT





# Latar Belakang



# Letak Geografis Indonesia



Teknologi yang paling siap adalah teknologi gelombang dan arus pasang surut dengan potensi praktis 6.000 MW (Prof. Dr. Mukhtasor, 2011).

## Rumusan Masalah



1. Bagaimana mendesain dan merancang mekanisme PLTGL tipe pelamis dengan memanfaatkan prinsip GGL induksi ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pelamis yang disusun secara berbaris dan berbanjar terhadap energi listrik yang dihasilkan berdasarkan karakteristik gelombang yang dihasilkan oleh simulator gelombang ?
3. Bagaimana pengaruh variasi frekuensi gelombang terhadap energi listrik yang dihasilkan mekanisme PLTGL tersebut ?



## Batasan Masalah

1. Mekanisme PLTGL pada penelitian ini dibuat untuk skala laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis, Jurusan Teknik Mesin-ITS.
2. Gelombang air yang digunakan hasil simulasi mekanisme pembuat gelombang yang dapat divariasikan frekuensinya.
3. Gelombang yang terjadi merupakan gelombang yang merambat ke satu arah.
4. Sudut pelamis yang terkena oleh gaya ombak pada susunan berbaris dan berbanjar dianggap sama.
5. Mekanisme PLTGL pada penelitian ini menggunakan sistem dengan satu derajat kebebasan.



## Tujuan Penelitian

1. Mendesain dan merancang mekanisme PLTGL dengan menggunakan prinsip GGL induksi yang mampu menggerakkan pelamis mengikuti gerakan gelombang sehingga menghasilkan arus listrik akibat magnet bergerak naik turunnya akibat gerakan gelombang laut.
2. Mendapatkan energi listrik optimum yang dihasilkan mekanisme PLTGL tipe tersebut akibat variasi frekuensi dan susunan pelamis terhadap gelombang yang dihasilkan simulator gelombang.

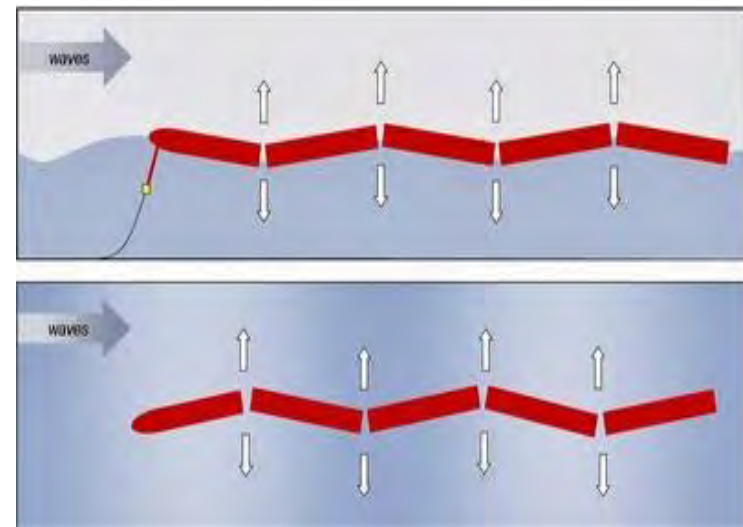
## Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana desain PLTGL tipe pelamis yang dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal. Sehingga, hasil dari tugas akhir ini bisa menjadi dasar pengembangan pada Mekanisme Pemanen Energi Gelombang Laut dengan prinsip induksi magnet.

## Penelitian Terdahulu



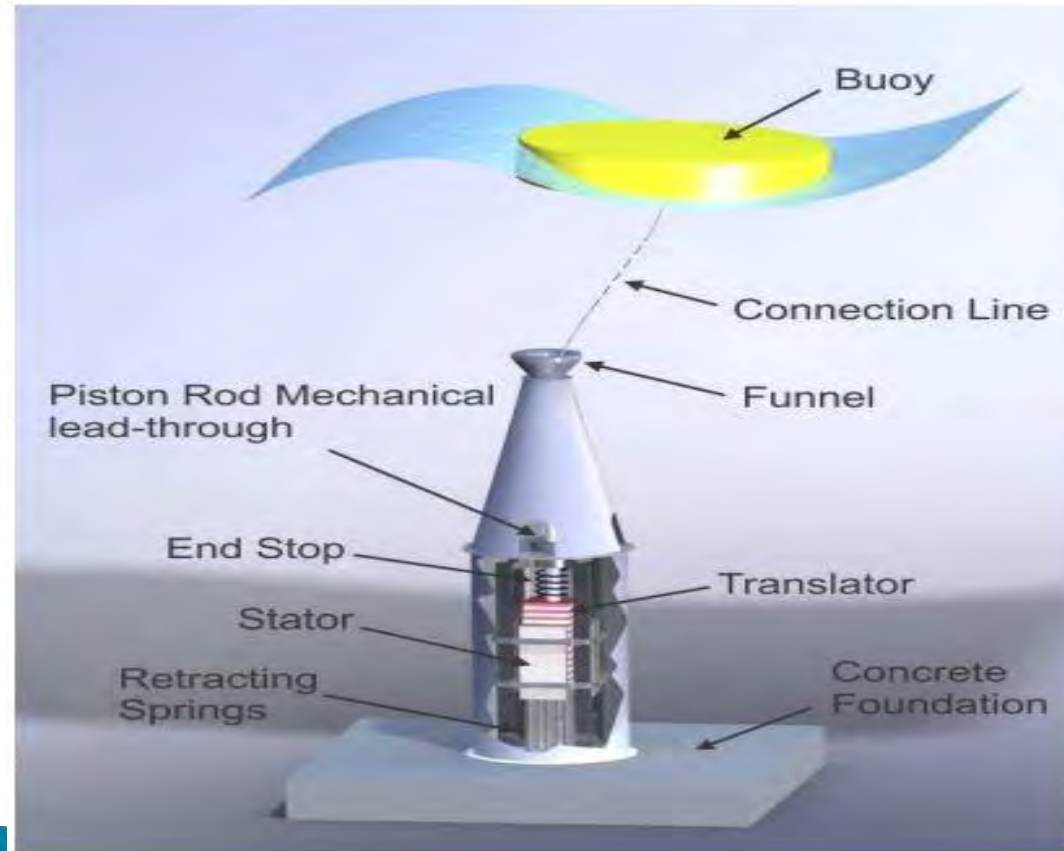
### *Pelamis Wave Energy Converter*



Mesin pelamis di EMEC, Orkney, Scotland dengan panjang 120 m dan berdiameter 3.5 m, 750 kW



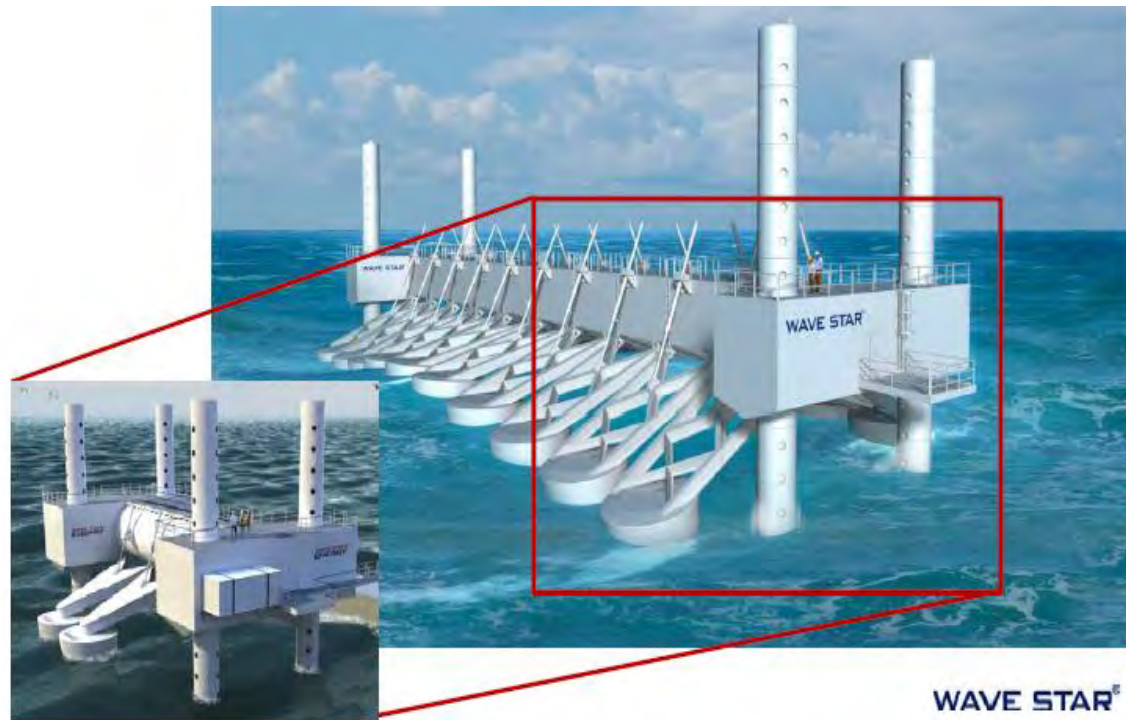
# *Lysekil Project*



Lysekil Project dikembangkan di Uppsala University sejak tahun 2002, menggunakan mekanisme pelampung dan linear generator. Berdiameter 3 m dan tinggi 0.8 m dengan bagian yang terendam sebesar 0.4 m, 10 kW



## Wave Star Energy

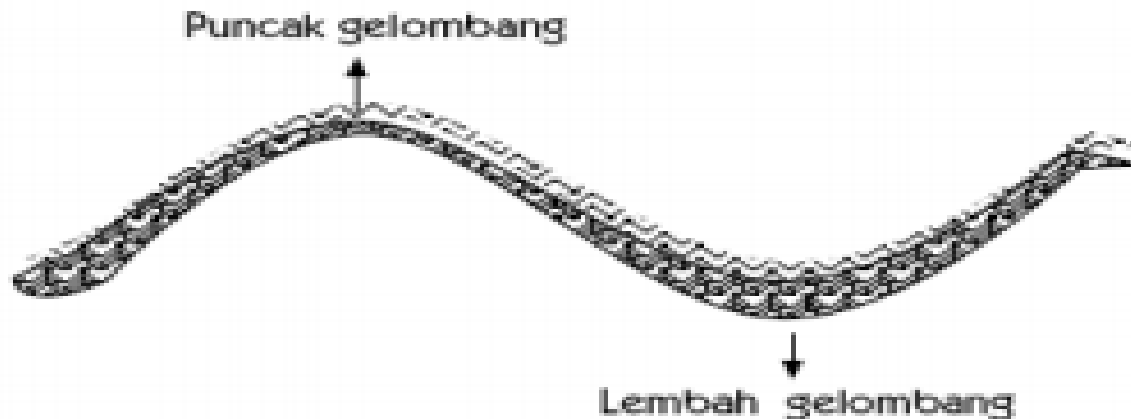


*Wave Star Energy Corp* sebuah perusahaan yang didirikan di Denmark pada tahun 2003, mengembangkan salah satu pembangkit listrik dengan menggunakan pelampung ( *heavy buoy* ) yang terdiri dari 40 pelampung, panjang 120 meter , 500 KW

# Dasar Teori



## 1. Teori Gelombang Laut



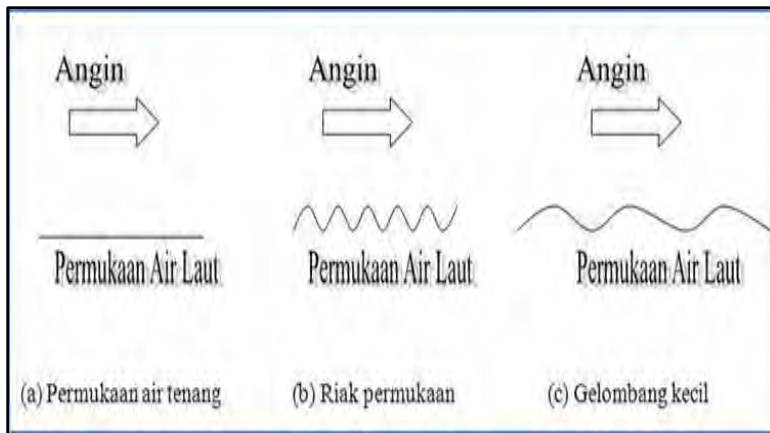
Prinsip dasar terjadinya gelombang laut menurut Drs. Waldopo, M.Pd adalah *“jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergerak satu sama lain, maka pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang”*

# Dasar Teori

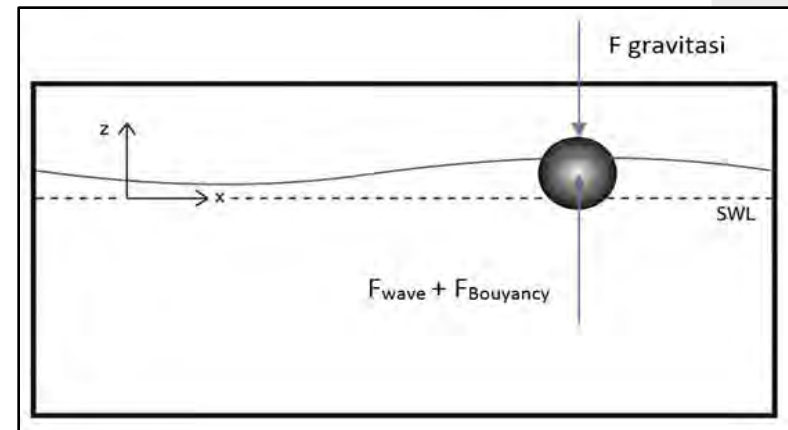
## Gelombang dan Analisa Gaya Pada Pelampung



### Proses Terjadi Gelombang Laut



### Analisa Gaya Yang Dihasilkan Pelampung



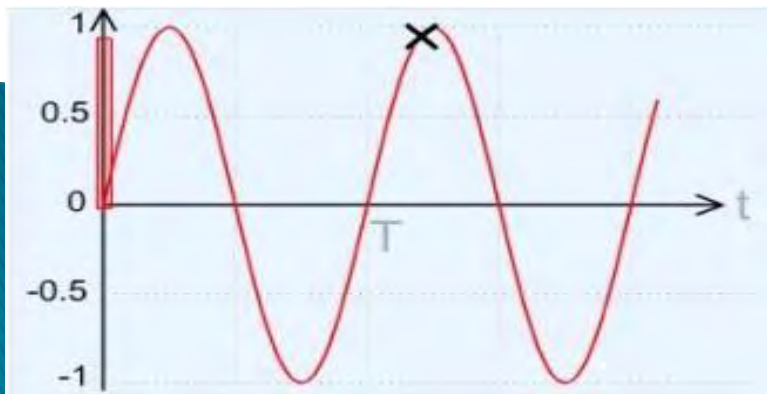
$$F_{\text{generated}} = (F_{\text{wave}} + F_{\text{bouyancy}}) - F_{\text{gravitasi}}$$

$$= \left[ \left( \frac{P_w}{c} \right) + (\rho_{\text{fluida}} \cdot V_{\text{fluida}} \cdot g) \right] - (m \cdot g)$$

$$F_b = \rho_{\text{fluida}} \cdot V_{\text{fluida}} \cdot g$$

$$V_{\text{fluida}} = \frac{\rho_{\text{Benda}} \cdot V_{\text{Benda}}}{\rho_{\text{fluida}}}$$

$$F_w = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32\pi\lambda}$$



# Metodologi

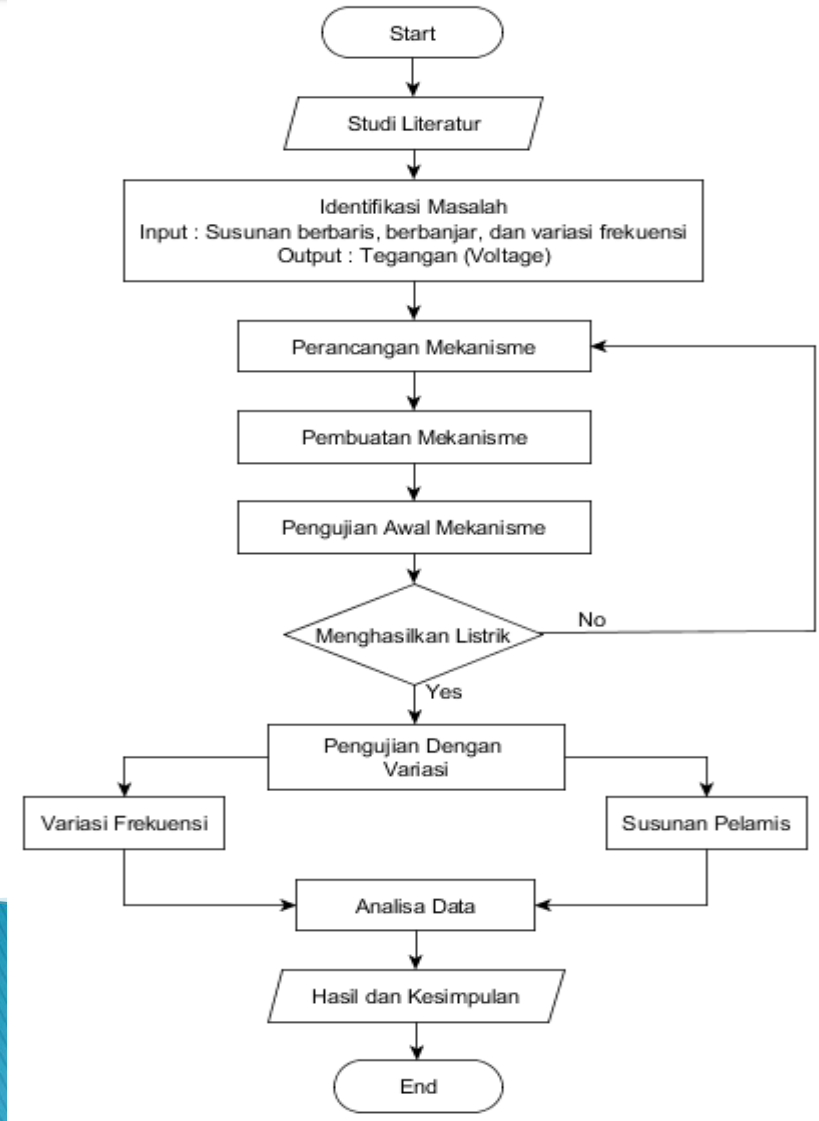
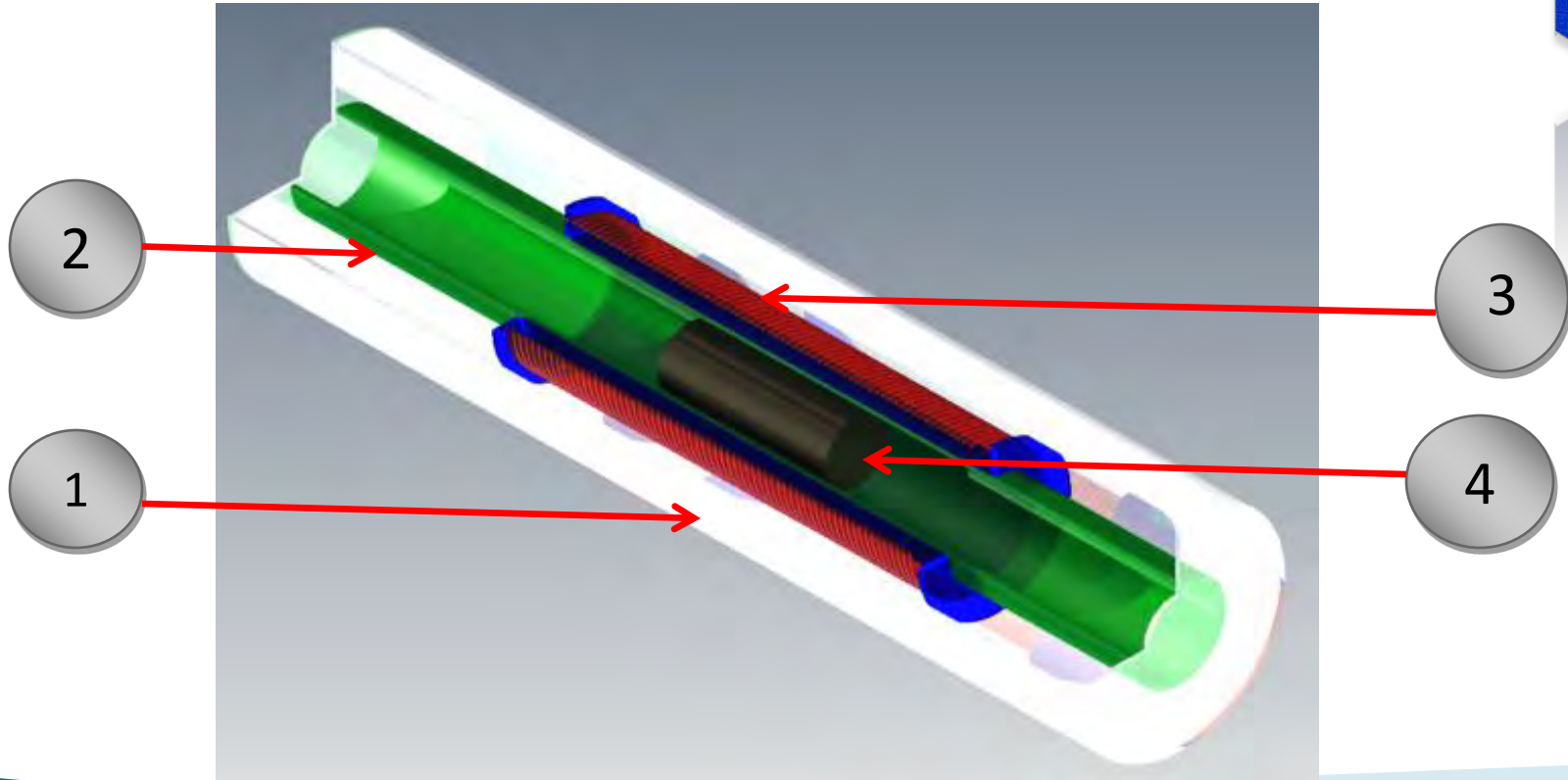


Diagram Alir Penelitian



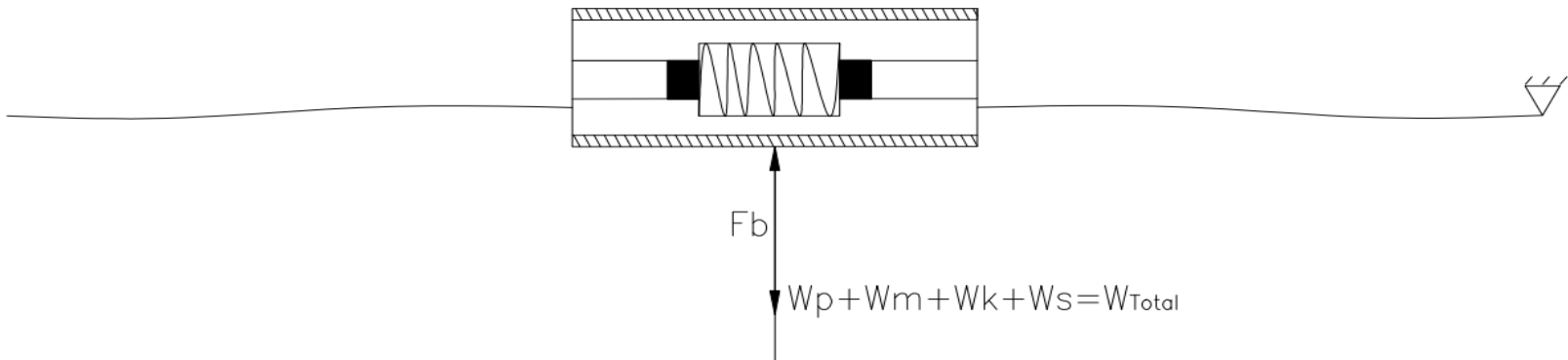
# Mekanisme Alat



Keterangan gambar :

1. Tabung I
2. Tabung II
3. Kumbaran
4. Magnet

## Analisa dan Pembahasan



Keseimbangan statis pada pelamis

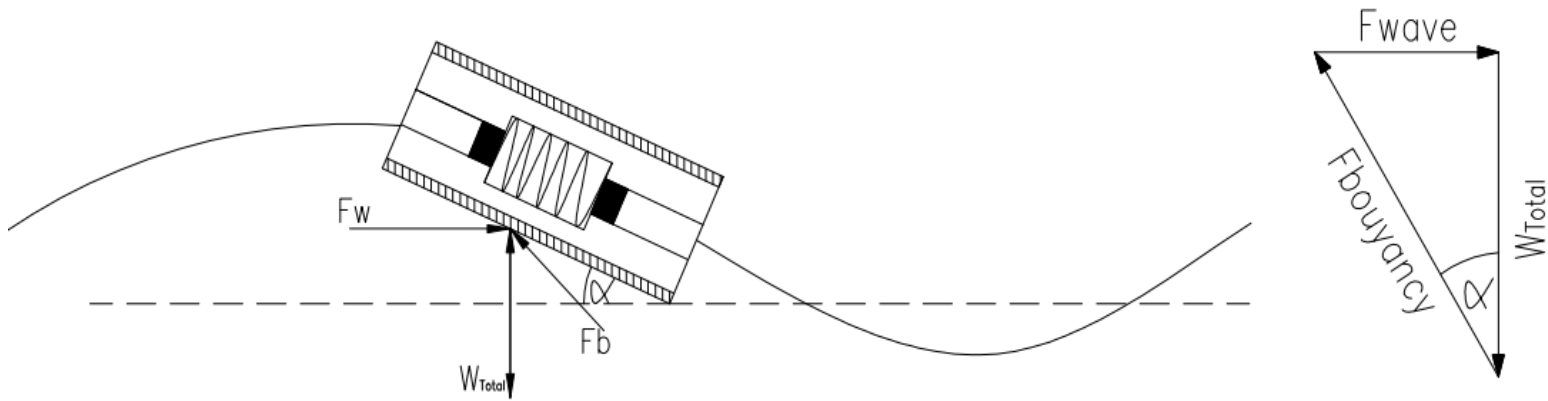
**Persamaan Gerak :**

$$\sum F_y = 0$$

$$F_b - W_p = 0$$

$$\rho_{fluida} \cdot V_{fluida} \cdot g = W_p$$

Dimana,  $W_p = W_k + W_m$



Keadaan Pelamis ditinjau sesaat sebelum magnet bergerak turun

$$\sum F_y = 0$$

$$F_b \cos \alpha - W_p = 0$$

$$F_b \cos \alpha = W_p$$

$$F_b = \frac{W_p}{\cos \alpha}$$

Gaya berat pelamis,  $W_p = W_k + W_m$

$$\sum F_x = 0$$

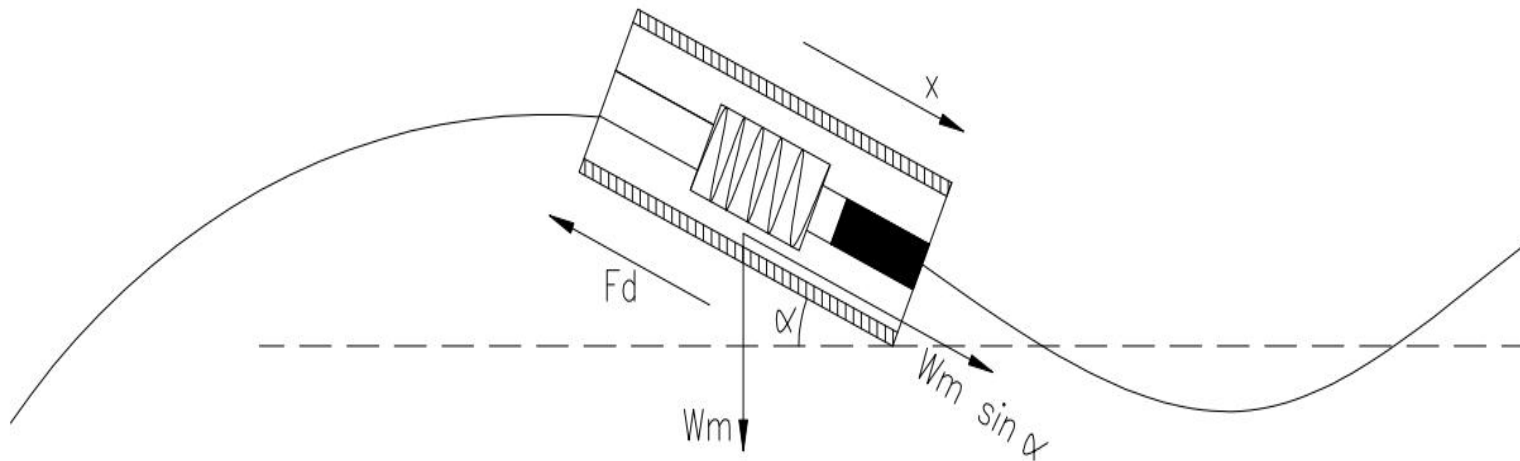
$$F_w - F_b \sin \alpha = 0$$

$$F_b \sin \alpha = F_w$$

$$\frac{W_p}{\cos \alpha} \sin \alpha = F_w$$

$$\tan \alpha = \frac{F_w}{W_p}$$





Keadaan Pelamis ditinjau sesaat setelah magnet bergerak turun

$$m_m g \sin \alpha > F_d$$

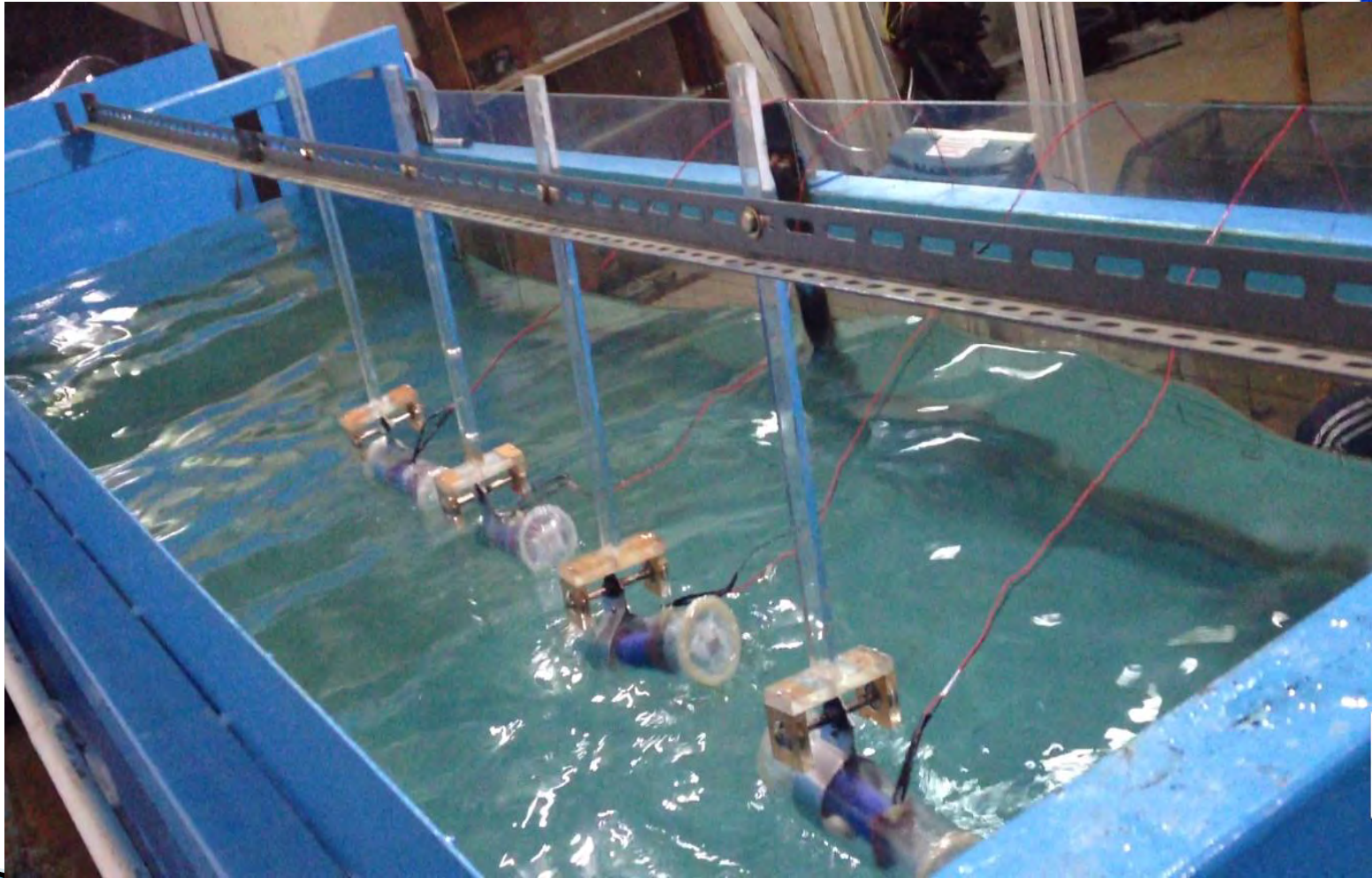
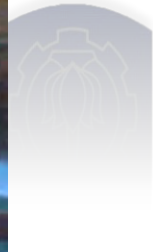
$$F_L = F_d = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v \quad v = \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2}$$

$$m_m g \sin \alpha = \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot v$$

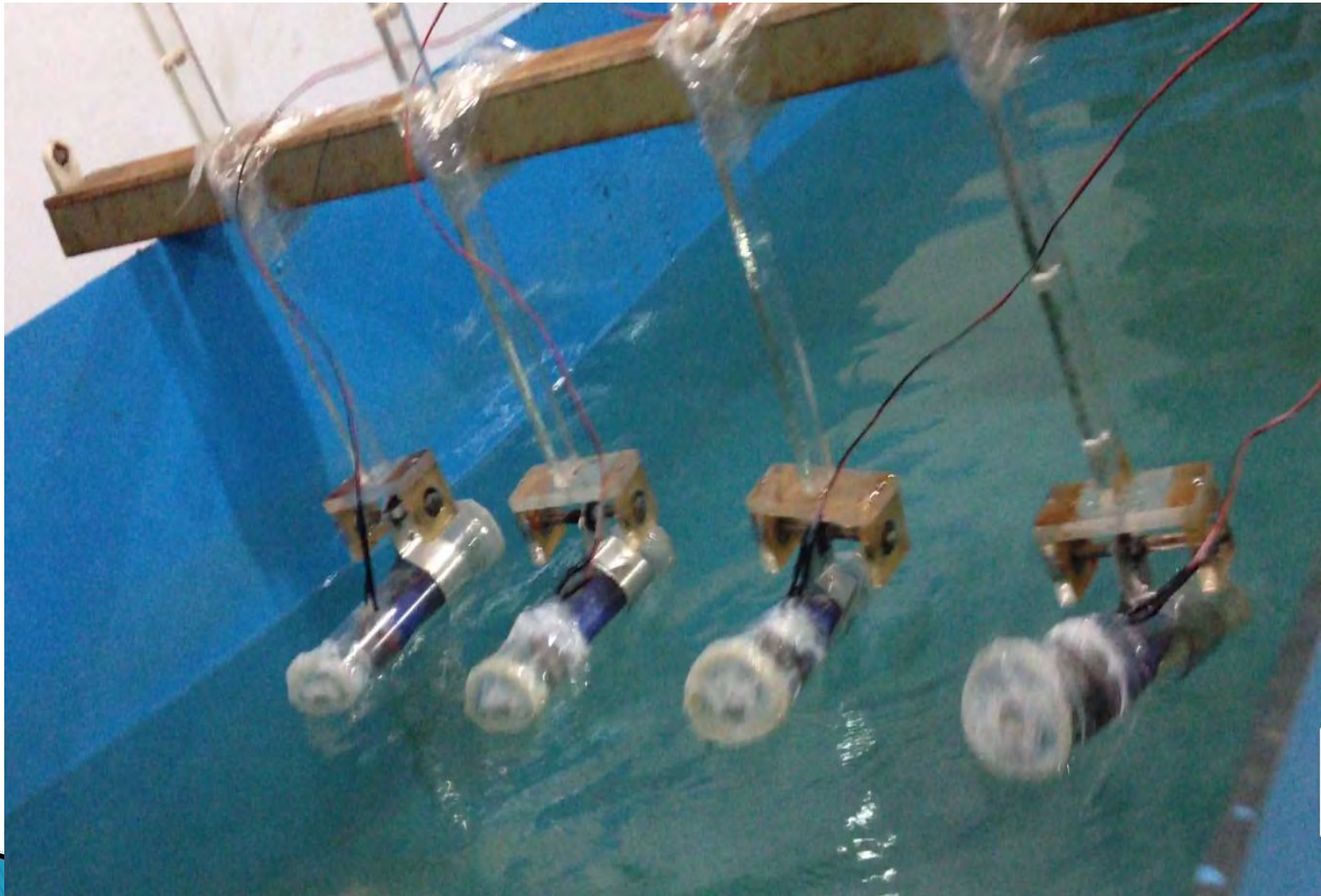
Maka energi listrik yang disimpan adalah

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) v^2 \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right) \cdot \left( \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{(m_m g \sin \alpha)^2 R}{B^2 L^2} \end{aligned}$$

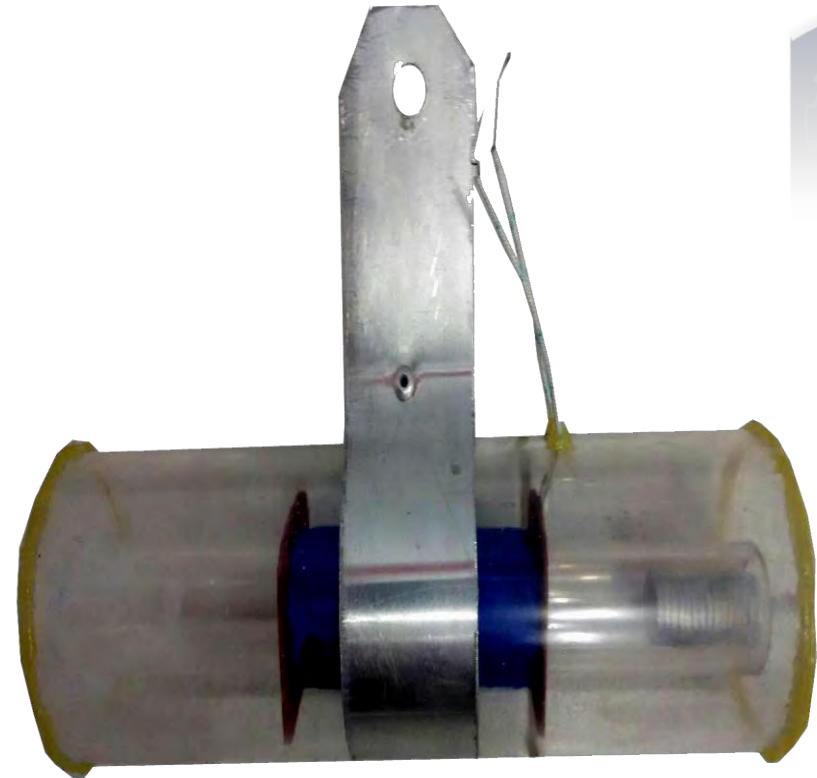
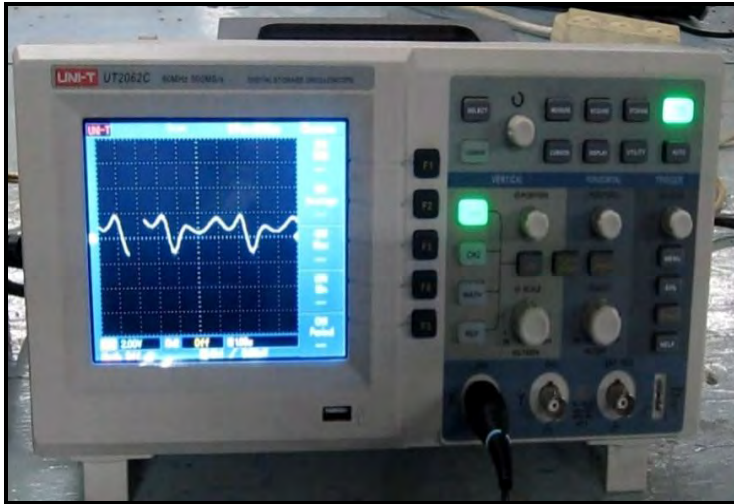
## Gambar susunan berbaris



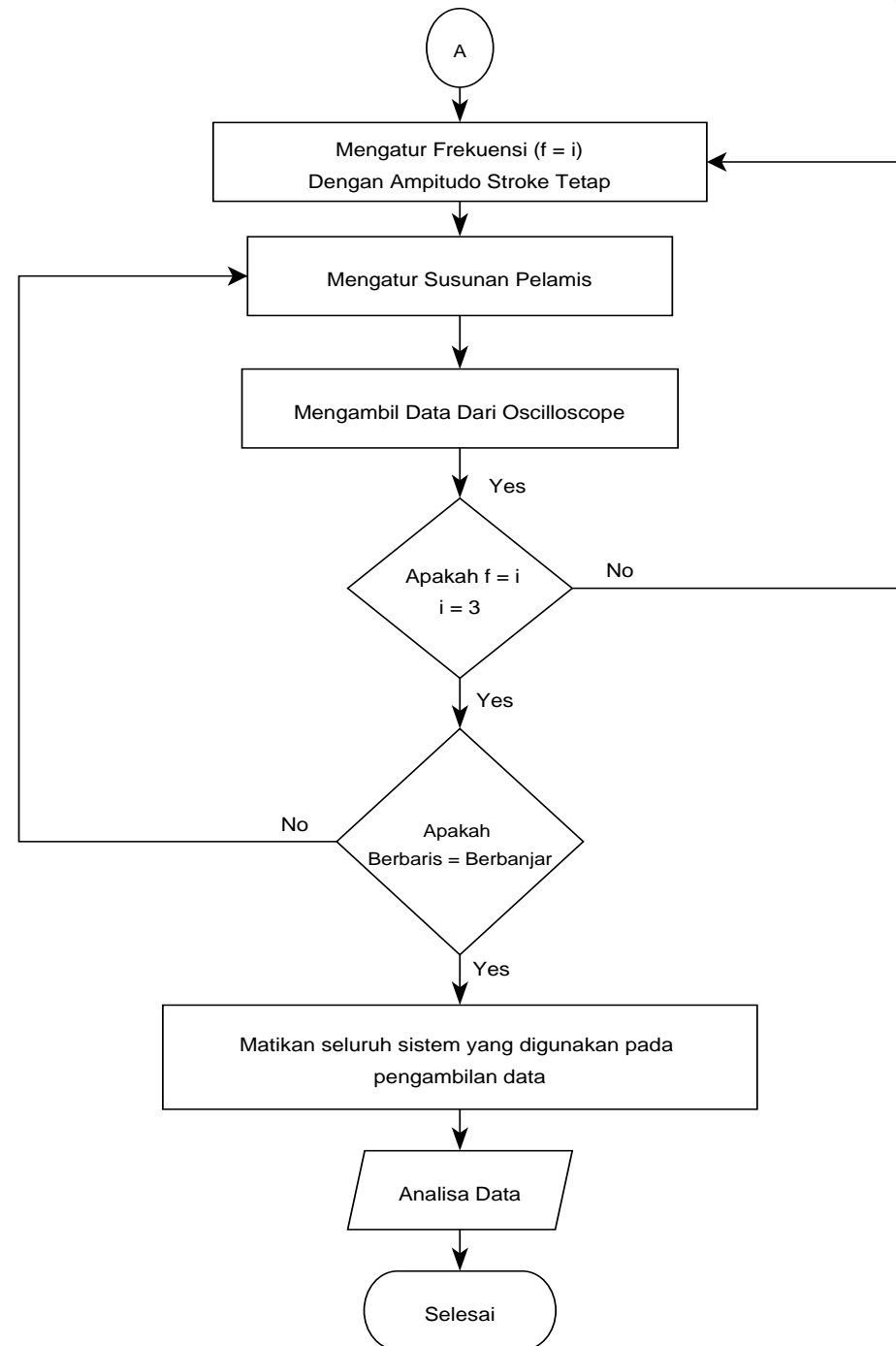
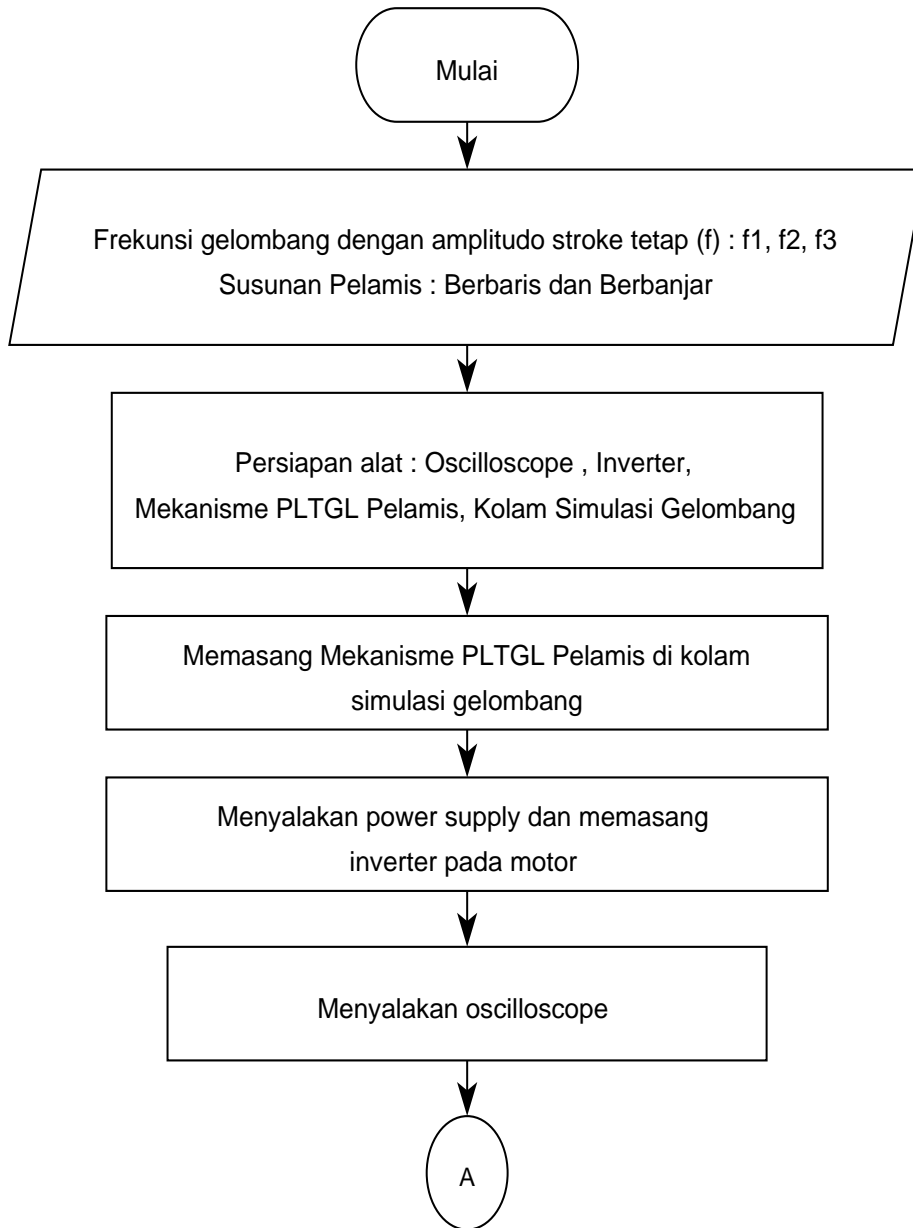
Gambar Susunan Berbanjar



# Peralatan Pengujian



# Diagram alir pengambilan data





## Analisa Teoritis

Massa Pelamis ( $m_T$ )	= 0.336 kg
Massa Magnet ( $m_m$ )	= 0.035 kg
Frekuensi Inverter ( F )	= 6 Hz
Frekuensi Gelombang	= 0.6 Hz
Periode Gelombang ( T )	= 1.66 sekon
Tinggi Gelombang ( H )	= 0.06 m

Panjang Gelombang ( $\lambda$ )	= 1.0 m
Massa Jenis ( $\rho$ )	= 1000 kg/m <sup>3</sup>
Percepatan Gravitasi ( g )	= 9,81 kg m/s <sup>2</sup>
Panjang Kawat Kumputan ( L )	= 235.619 m
Hambatan Kawat Kumputan ( R )	= 127.67 ohm
Ampplitudo Gelombang ( A )	= 0,03 m

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Contoh Perhitungan

a. Gaya Gelombang

$$F_w = \frac{\rho_f \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{32 \pi \lambda}$$
$$= \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \times 0.026 \text{m}^2 \times 2.7556 \text{s}^2}{32 \times 3.14 \times 1.0}$$
$$= 9.4963 \text{ N}$$

b. Mencari kecepatan magnet

$$v = \frac{m_m g \sin \alpha R}{B^2 L^2}$$
$$= \frac{0.035 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 70.856 \cdot 127.67 \text{ ohm}}{\left(0.2 \frac{\text{wb}}{\text{m}^2}\right)^2 \cdot (235.619 \text{ m})^2}$$
$$= 0.01849 \text{ m/s}^2$$

c. Mencari Fluktuasi Muka Air terhadap SWL ( $\eta$ )

$$\eta_{11} = A \cos \omega t ; t = 0 \text{ s}$$
$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi f_1 t_1$$
$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi \cdot 0.6 \cdot 0 \text{ s}$$
$$\eta_{11} = 0.03 \text{ m}$$
$$\eta_{21} = A \cos \omega t ; t_2 = 0.4 \text{ s}$$
$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi f_1 t_2$$
$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi \cdot 0.6 \cdot 0.4 \text{ s}$$
$$\eta_{21} = 0.03 \text{ m}$$
$$\eta_{31} = A \cos \omega t ; t_3 = 0.8 \text{ s}$$
$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi f_1 t_3$$
$$= 3 \text{ cm} \cos 2\pi \cdot 0.6 \cdot 0.8 \text{ s}$$
$$\eta_{31} = 0.03 \text{ m}$$

d. Mencari daya gelombang ( $P_w$ )

$$P_{w1} = \frac{\rho_{\text{air}} g^2 \eta_{11} T b}{8\pi}$$
$$= 1.15 \text{ watt}$$
$$P_{w2} = \frac{\rho_{\text{air}} g^2 \eta_{21} T b}{8\pi}$$
$$= 1.15 \text{ watt}$$
$$P_{w3} = \frac{\rho_{\text{air}} g^2 \eta_{31} T b}{8\pi}$$
$$= 1.15 \text{ watt}$$

e. Mencari daya yang dihasilkan mekanisme

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right] v^2$$
$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{0.2^2 \cdot 235.619^2}{127.67} \right] 0.01849^2$$
$$= 0.00297 \text{ watt}$$
$$P_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right] v^2$$
$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{0.2^2 \cdot 235.619^2}{127.67} \right] 0.01849^2$$
$$= 0.00297 \text{ watt}$$
$$P_3 = \frac{1}{2} \left[ \frac{B^2 \cdot L^2}{R} \right] v^2$$
$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{0.2^2 \cdot 235.619^2}{127.67} \right] 0.01849^2$$
$$= 0.00297 \text{ watt}$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_{\text{total}} = 0.00297 + 0.00297 + 0.00297 = 0.00892 \text{ Watt}$$

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Teoritis

Tabel 4.1 Daya teoritis variasi frekuensi dan susunan pelamis

Susunan	Frekuensi (Hz)	Teori Daya (mwatt)
Berbaris	0.6	5.57
	0.7	5.95
	0.8	6.13
Berbanjar	0.6	8.36
	0.7	8.92
	0.8	9.19



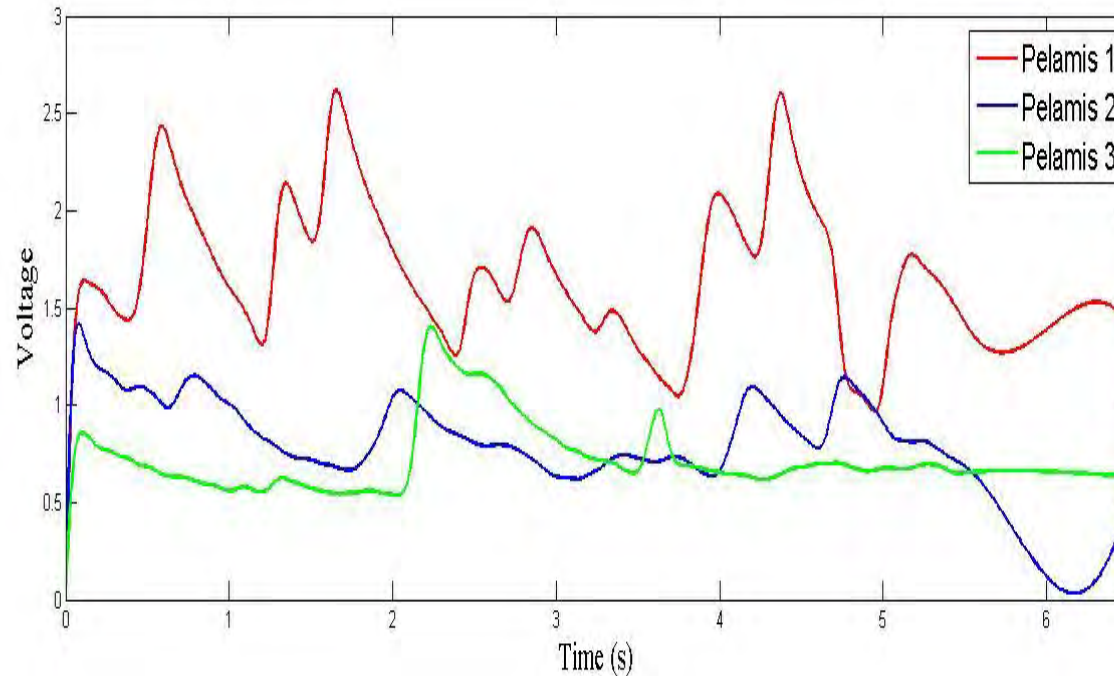




# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Eksperimen

### Pengaruh Frekuensi 0.6 hz Terhadap Susunan Berbaris

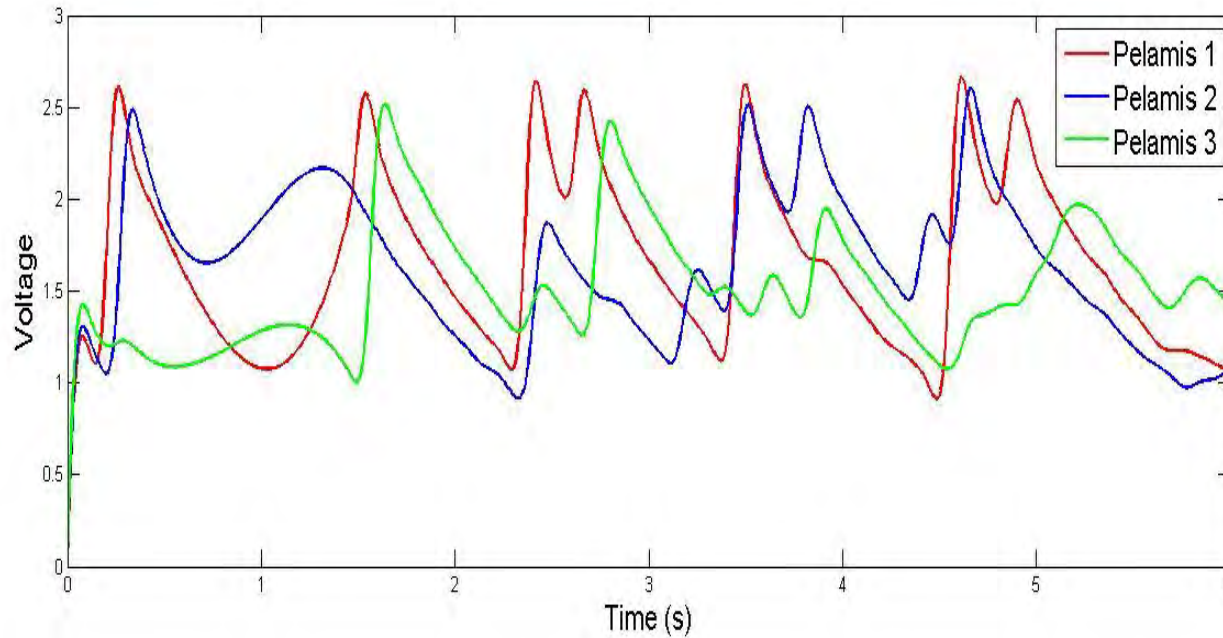


Frekuensi 0.6 Hz	Susunan	V RMS (Volt)	V RMS Total (Volt)
	Pelamis 1	1.30	2.63
	Pelamis 2	0.72	
	Pelamis 3	0.61	

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Eksperimen

### Pengaruh Frekuensi 0.7 Hz Terhadap Susunan Berbanjar



Frekuensi 0.7 Hz	Susunan	V RMS (Volt)	V RMS Total (Volt)
	Pelamis 1	1.30	3.79
	Pelamis 2	1.25	
	Pelamis 3	1.24	

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Eksperimen

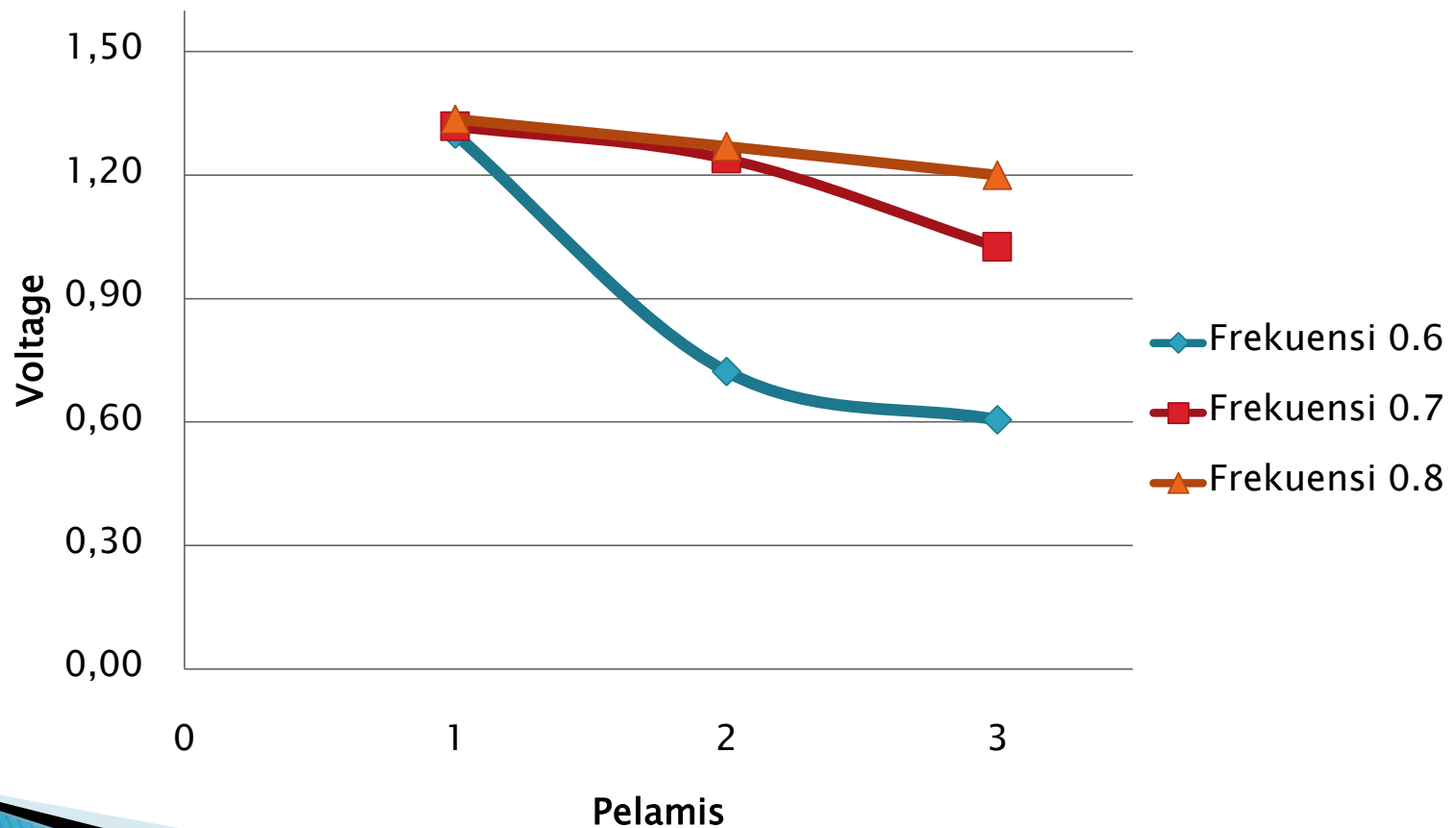
Tabel 4.2 Perbandingan voltase tiap-tiap pelamis

Susunan	Frekuensi (Hz)	Pelamis 1 (volt)	Pelamis 2 (volt)	Pelamis 3 (volt)	Voltage RMS Total (Volt)
Berbaris	0.6	1.30	0.72	0.61	2.63
	0.7	1.32	1.24	1.03	3.55
	0.8	1.34	1.27	1.20	3.81
Berbanjar	0.6	1.20	1.23	1.23	3.65
	0.7	1.30	1.25	1.24	3.79
	0.8	1.15	1.10	1.05	3.30

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Eksperimen

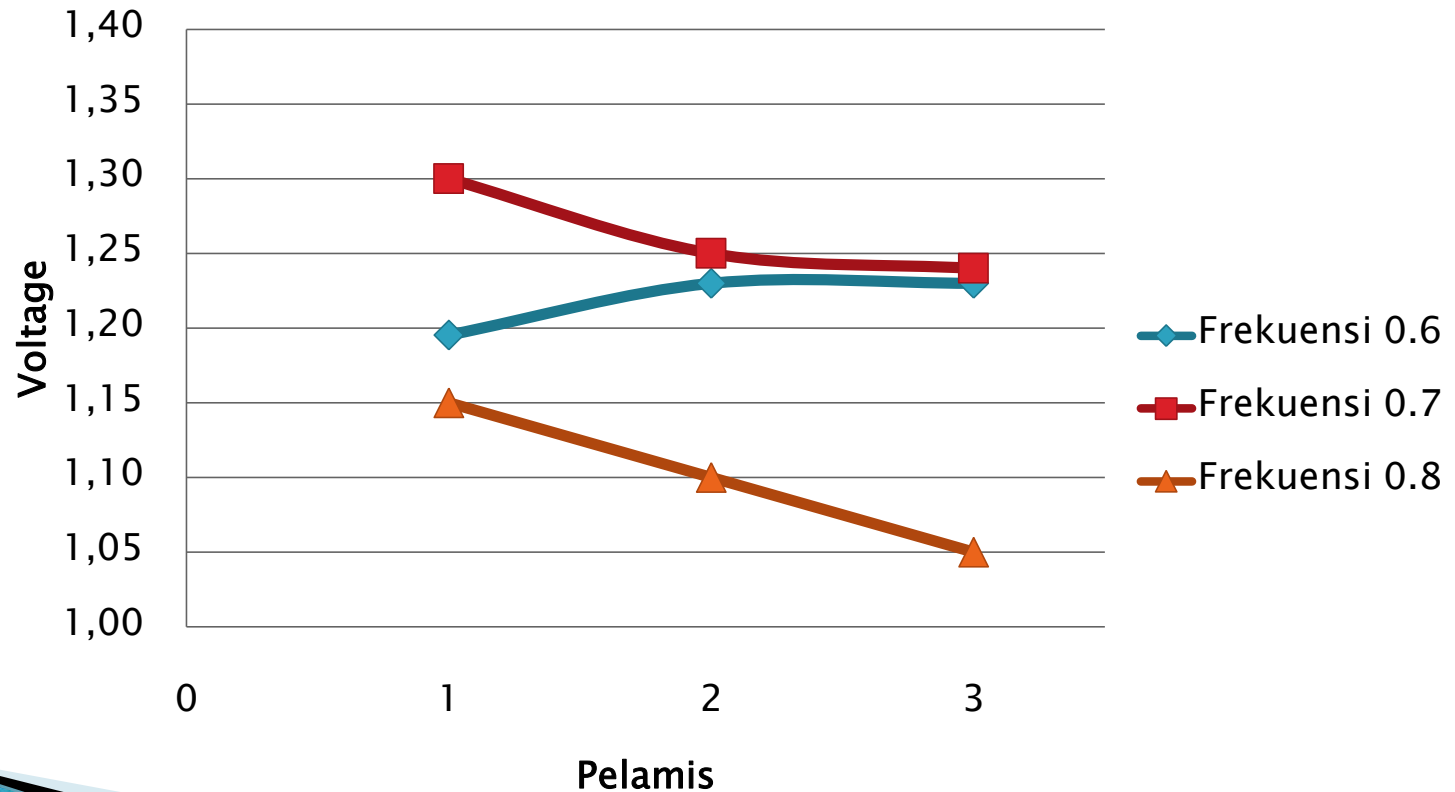
Grafik perbandingan pengaruh voltase DC tiap-tiap pelamis dengan variasi frekuensi pada susunan berbaris



# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Eksperimen

Grafik perbandingan pengaruh voltase DC tiap-tiap pelamis dengan variasi frekuensi pada susunan berbanjar



# ANALISA DAN PEMBAHASAN

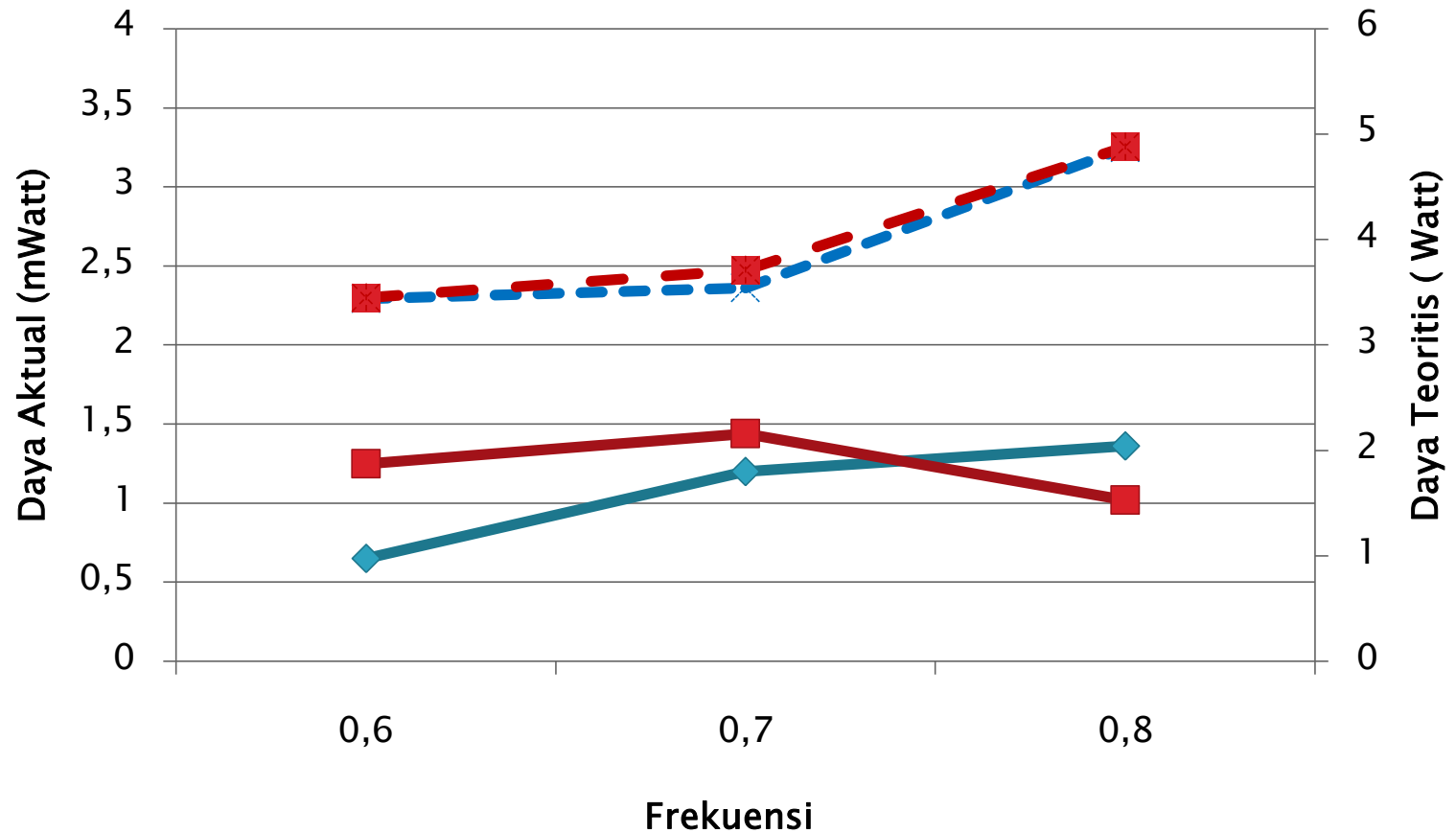
## Analisa Eksperimen

Tabel 4.3. Perbandingan daya hasil perhitungan teori tis ombak dengan pengujian

Susunan	Frekuensi (Hz)	VoltageRMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Ombak Teoritis (Watt)
Berbaris	0.6	2.63	0.65	3.44
	0.7	3.55	1.20	3.54
	0.8	3.81	1.36	4.87
Berbanjar	0.6	3.65	1.25	3.45
	0.7	3.79	1.44	3.71
	0.8	3.30	1.02	4.88



# ANALISA DAN PEMBAHASAN



- ◆ Susunan Berbaris (Aktual)
- ◆ Susunan Berbaris (Teori)
- Susunan Berbanjar (Aktual)
- Susunan Berbanjar (Teori)

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

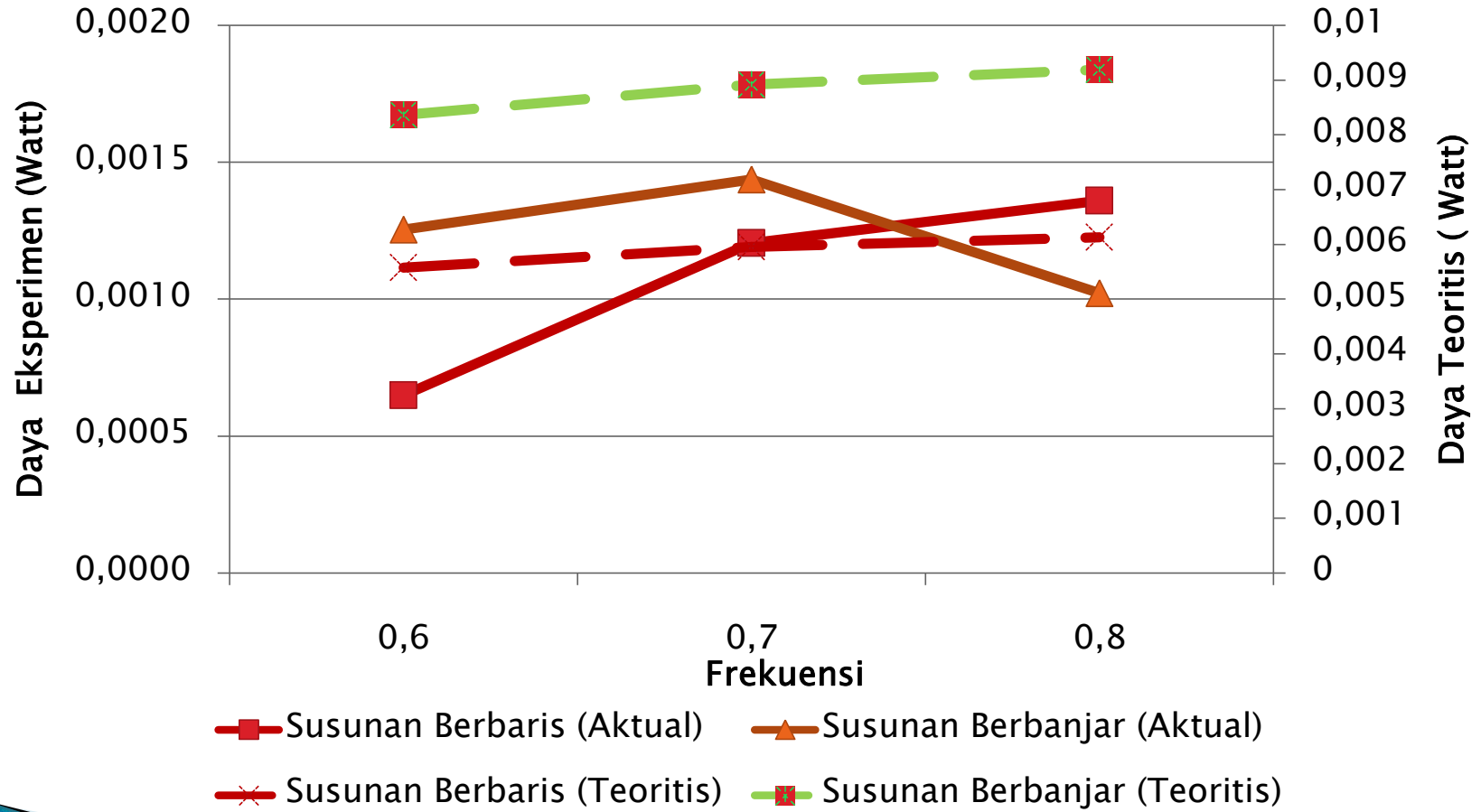
Tabel 4.3. Perbandingan daya hasil perhitungan teori dengan pengujian

Susunan	Frekuensi (Hz)	VoltageRMS Total (Volt)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Teoritis (mWatt)
Berbaris	0.6	2.63	0.65	5,57
	0.7	3.55	1.20	5.95
	0.8	3.81	1.36	6.13
Berbanjar	0.6	3.65	1.25	8.36
	0.7	3.79	1.44	8.92
	0.8	3.30	1.02	9.19

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

## Analisa Eksperimen

Gambar 4.12 Grafik perbandingan daya aktual dan teoritis pada variasi frekuensi dan variasi susunan pelamis



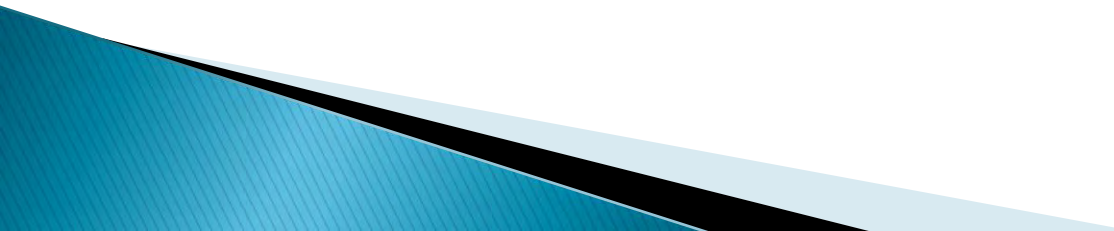
# ANALISA DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.4 Tabel Efisiensi Variasi Frekuensi

Susunan	Frekuensi (Hz)	Daya Aktual (mWatt)	Daya Ombak Teoritis (Watt)	Efisiensi (%)
Berbaris	0,6	0,65	3,44	0,019
	0,7	1,2	3,54	0,034
	0,8	1,36	4,87	0,028
Berbanjar	0,6	1,25	3,45	0,036
	0,7	1,44	3,71	0,039
	0,8	1,02	4,88	0,021

# KESIMPULAN

1. Pada variasi susunan pelamis, yaitu berbaris dan berbanjar nilai voltase yang dihasilkan untuk susunan berbaris paling besar adalah frekuensi 0.8 Hz dengan nilai voltase pelamis 1, pelamis 2 sebesar , dan pelamis 3 secara berurutan, yaitu 1.34 volt, 1.27 volt, dan 1.20 volt dengan jumlah total VRMS 3.81 volt. Sedangkan pada susunan berbanjar, voltase yang paling besar adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai voltase pelamis 1, pelamis 2, dan pelamis 3 secara berurutan, yaitu 1.30 volt, 1.25 volt, dan 1.24 volt dengan jumlah total VRMS 3.79 volt. .
2. Variasi frekuensi 0.6 Hz, 0.7 Hz, dan 0.8 Hz energi listrik yang dihasilkan pada susunan berbaris dari yang terbesar sampai yang terkecil adalah frekuensi 0.8 Hz sebesar 1.36 mWatt, frekuensi 0.7 Hz sebesar 1.20 mWatt, dan frekuensi 0.6 Hz sebesar 0.65 mWatt. Sedangkan energi listrik yang dihasilkan pada susunan berbanjar yang terbesar adalah frekuensi 0.7 Hz sebesar 1.44 mWatt, frekuensi 0.6 Hz sebesar 1.25 mWatt, dan yang terkecil adalah frekuensi 0.8 Hz sebesar 1.02 mWatt.

3. Nilai efisiensi terbesar pada susunan berbaris adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai 0.034 % dan yang terkecil terjadi pada frekuensi 0.6 Hz dengan nilai 0.019 %. Sedangkan nilai efisiensi terbesar pada susunan berbanjar adalah pada frekuensi 0.7 Hz dengan nilai 0.039 % dan yang terkecil terjadi pada 0.8 Hz dengan nilai efisiensi 0.021 %.
  4. Dari perbandingan antara susunan pelamis, yaitu susunan berbaris dan berbanjar yang memiliki rata-rata VRMS lebih tinggi adalah susunan berbanjar. Hal ini disebabkan karena pada susunan berbanjar masing-masing pelamis mendapatkan ketinggian amplitudo maksimum. Sedangkan pada susunan berbaris, hanya pelamis 1 yang memiliki ketinggian amplitudo maksimum pada saat gelombang muncul pertama kali, sehingga pada pelamis 2 dan pelamis 3 hanya mendapatkan ombak sisa dari pelamis 1.
- 

# SARAN

1. Untuk mendesain pelamis yang optimal diperlukan sambungan yang anti bocor agar kumparan yang ada didalam tidak basah, sehingga waktu pengambilan data dapat maksimal.
2. Agar Efisiensi dari Mekanisme mempunyai nilai yang optimal, sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dipertimbangkan untuk mengurangi *losses energy* yang terjadi dari mekanisme, sehingga didapat efisiensi maksimal dari mekanisme.
3. Diperlukan penyempurnaan pada simulator pembangkit gelombang yang dapat mengkondisikan gelombang laut seperti asli.

Thank You