



**TUGAS AKHIR - TM141585**

**PENGARUH VARIASI MASSA DAN PANJANG  
PENDULUM TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG  
DIHASILKAN (DESAIN ULANG) MODEL MEKANISME  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT  
METODE PONTON *SINGLE* PENDULUM**

**ANDROMEDA YORI  
NRP. 2112 106 005**

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

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



**FINAL PROJECT - TM141585**

**EFFECT VARIATION MASS AND LENGHT OF  
PENDULUM ABOUT ELECTRICAL ENERGY THAT  
GENERATED DEVICE (RE-DESIGN) MODEL  
MECHANISM OF OCEAN WAVE POWER PLANT  
WITH PONTON SINGLE PENDULUM METHOD**

**ANDROMEDA YORI  
NRP. 2112 106 005**

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

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

**PENGARUH VARIASI MASSA DAN PANJANG  
PENDULUM TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG  
DIHASILKAN (DESAIN ULANG) MODEL MEKANISME  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT  
METODE PONTON *SINGLE* PENDULUM**

**TUGAS AKHIR**

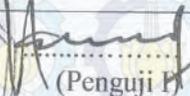
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Sistem Dinamis dan Vibrasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**ANDROMEDA YORI**

Nrp. 2112 106 005

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. <u>Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT</u> (NIP. 197004121997032003)	 ..... (Pembimbing)
2. <u>Dr.Eng Harus Laksana Gunur ST., M.Eng</u> (NIP. 197505111999031001)	 ..... (Penguji I)
3. <u>Ir. J. Lubi</u> (NIP. 195106031976031002)	 ..... (Penguji II)
4. <u>Moch. Solichin ST., MT</u> (NIP. 2100201405003)	 ..... (Penguji III)

**SURABAYA  
JANUARI 2015**

# **Pengaruh Variasi Massa Dan Panjang Pendulum Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan (Desain Ulang) Model Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Metode Ponton *Single* Pendulum**

Nama Mahasiswa : Andromeda Yori  
NRP : 2112.106.005  
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Perairan Indonesia memiliki banyak potensi salah satunya yaitu gelombang laut. Dengan mengacu banyaknya pulau Indonesia yang sulit terjangkau perusahaan listrik negara dan mulai menipisnya bahan bakar dalam memproduksi listrik, diperlukan alternatif untuk menyelesaikan permasalahan ini. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu memanfaatkan gelombang laut menjadi teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan metode Ponton dan *single* pendulum.

Pada penelitian ini, ponton diberikan variasi pada bagian massa dan lengan pendulum. Dengan menggunakan simulator gelombang air, ponton diletakkan di bagian tengah kolam simulator yang kemudian diberikan massa dan lengan pendulum sesuai dengan variasi yang digunakan. Adapun variasi massa adalah 144 gram, 180 gram, 216 gram dan variasi panjang lengan adalah 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Ketika kolam simulator digerakkan, ponton pun akan ikut bergerak dan pendulum berputar yang kemudian memutar gearbox hingga dihasilkan energi bangkitan oleh generator pada ponton.

Pada penelitian ini didapatkan hasil energi listrik berupa nilai daya terbesar pada massa 216 gram dan panjang lengan pendulum ( $L$ ) = 10 cm yaitu 4.646. Nilai efisiensi terbesar pada panjang lengan pendulum ( $L$ ) = 10 cm dan massa 216 gram yaitu 0,1073% .

**Kata Kunci:** Ponton, PLTGL Ponton *Single* Pendulum, Massa Pendulum, Panjang Lengan Pendulum, Energi Listrik.

**Effect Variation Mass and Length Of Pendulum About  
Electrical Energy that Generated Device (Re-Design)  
Model Mechanism of Ocean Wave Power Plant with  
Ponton Single Pendulum Method**

Name : Andromeda Yori  
NRP : 2112.106.005  
Major : Teknik Mesin FTI – ITS  
Supervisor : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

**ABSTRACT**

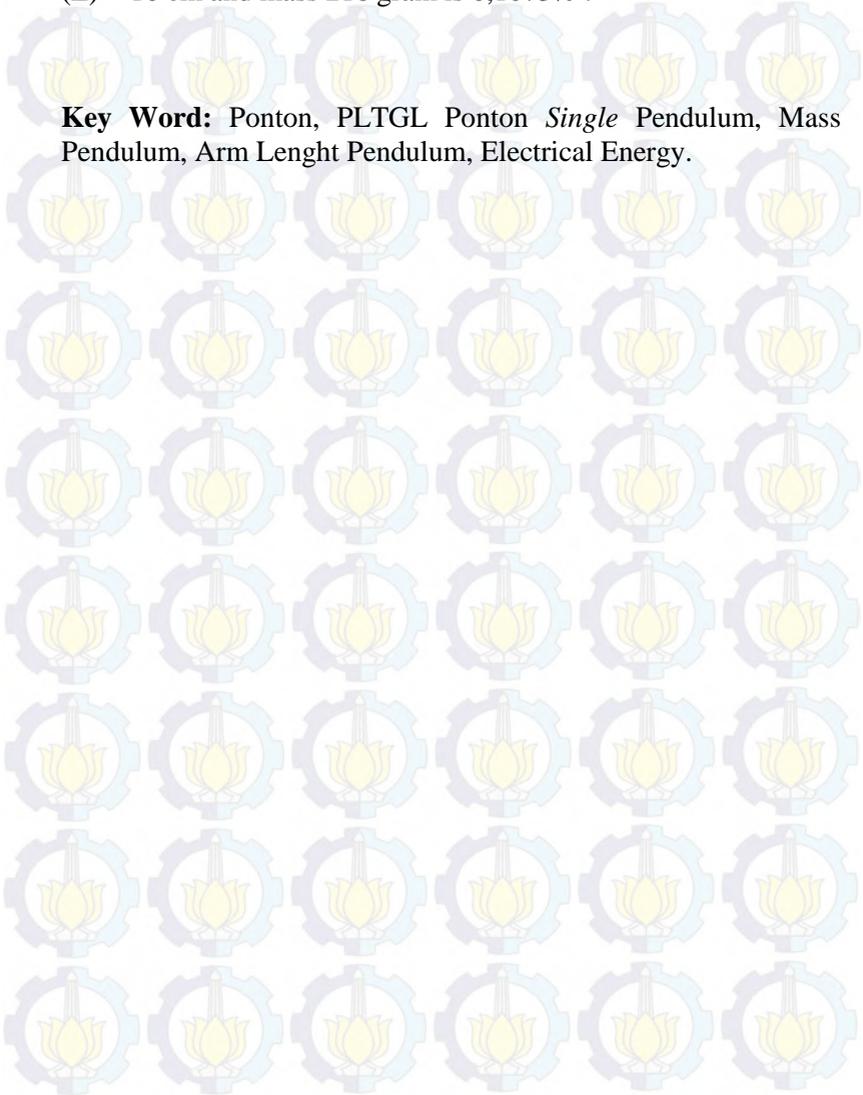
Ocean of Indonesia have many potential, one of them is ocean wave. Indonesia have many islands and difficult covered by power plant company and decrease fuel production elektrik, need energy alternative for solution this problem. One of energy alternative for solution that problem is exploitation ocean wave become power plant electrical ocean wave of technology with ponton and single pendulum method.

On this research, ponton has given variation in part of mass and arm pendulum. With use simulator ocean wave, ponton on middle pool of simulator and then has given mass and arm pendulum appropriate with variation in used. Variation of mass is 144 gram, 180 gram, 216 gram and variation of length is 6 cm, 8 cm and 10 cm. When simulator pool motion, ponton will motion and pendulum rotate and then rotate gearbox to make energy generated from generator.

On this research get output electrical energy is power maximum on mass 216 gram and arm length pendulum ( $L$ ) = 10

cm is 4.646 mWatt. Efficiency maximum on arm lenght pendulum (L) = 10 cm and mass 216 gram is 0,1073% .

**Key Word:** Ponton, PLTGL Ponton *Single* Pendulum, Mass Pendulum, Arm Lenght Pendulum, Electrical Energy.



## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan 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 Risnayenti dan Ayahanda tercinta Yoldra Mandri yang senantiasa memberikan doa, dorongan semangat dan moril bagi penulis untuk terus berusaha menuntut ilmu semoga Allah SWT selalu memberikkan rahmat serta hidayahnya.
3. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, Ir. J. Lubi, dan Moch. Solichin, ST., MT selaku dosen penguji proposal tugas akhir dan tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan, perhatian, dan saran-saran yang telah bapak berikan selama ini.
5. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.

6. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS.
7. Adikku Tafdila dan Wianda yang telah memberikan semangat yang luar biasa.
8. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungannya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rekan – rekan tim Ocean Wave Energy Agung, Arif, Doni, Wawan, Deni, Jemy dan Santoso yang sama – sama berjuang dan saling bahu membahu menyelesaikan Tugas akhir ini.
10. Rekan - rekan lintas jalur Teknik Mesin ITS angkatan tahun 2012 Genap, yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan ketika penulis membutuhkan, terima kasih atas bantuannya dan mari kita jaga persahabatan dan persaudaraan yang telah berjalan.
11. Uji, Anggun, Lia, Cindy serta rekan-rekan di Batam yang sering membantu dan memberi semangat penulis selama di Surabaya.
12. Teman-teman lab. Sistem Dinamis dan Vibrasi terima kasih atas doa dan dukungannya.
13. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
14. 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 penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

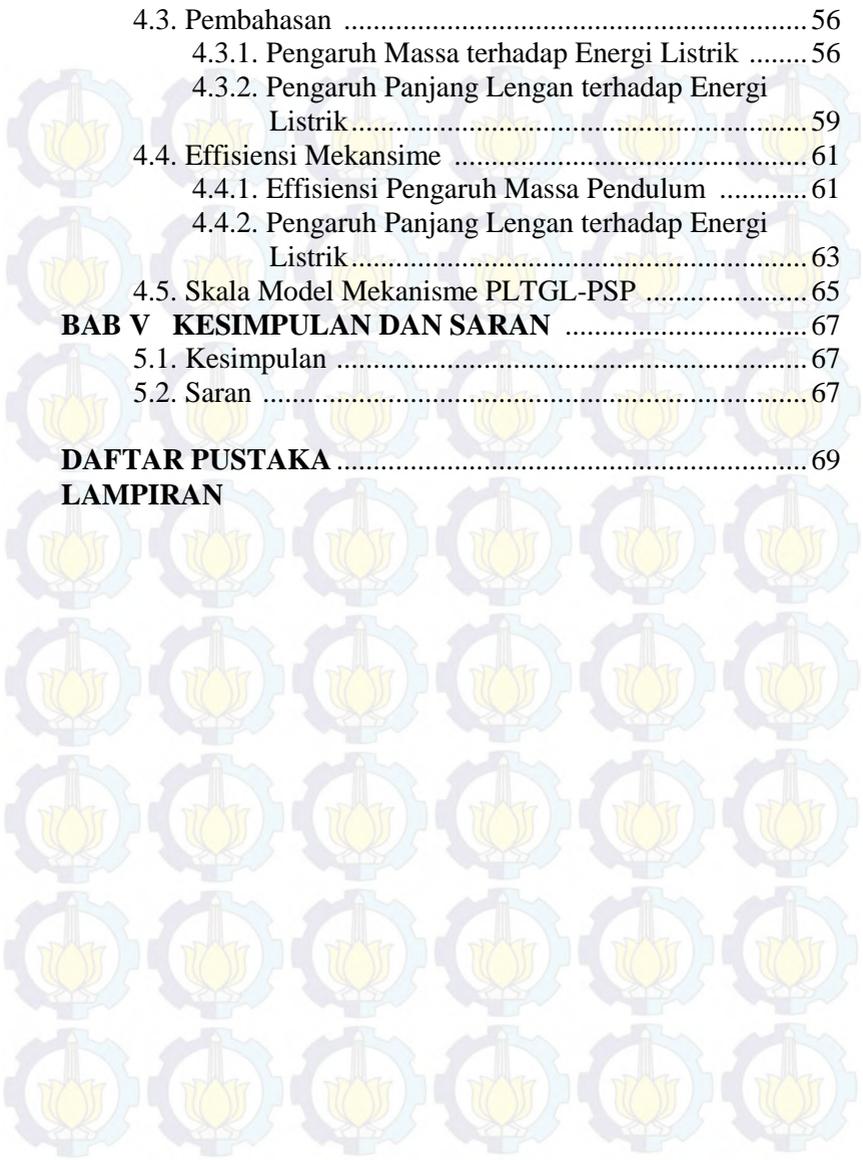
Surabaya, Januari 2015

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1. PLTGL-Sistem Ponton <i>Single</i> Bandul oleh Zamrisyaf.....	5
2.1.2. PLTGL oleh Hendro Agus W dan Urip Mudjiono.....	7
2.1.2. PLTGL-Sistem Ponton <i>Single</i> Pendulum oleh Putu Risti.....	8
2.2. Dasar Teori.....	10
2.2.1. Gelombang Air Laut.....	10
2.2.2. Ponton.....	12
2.2.3. Gerakan Ponton .....	15
2.2.4. Pendulum.....	18
2.2.5. <i>Gearbox</i> .....	20
2.2.6. Generator.....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	23
3.1. Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) Penyusunan Tugas Akhir	23
3.2. Tahap Pengerjaan Tugas Akhir .....	24
3.2.1. Studi Literatur.....	25

3.2.2. Identifikasi Masalah .....	25
3.2.3. Re-Desain Mekanisme PLTGL – PSP .....	25
3.2.4. Penentuan Variasi Pengujian .....	30
3.2.5. Variasi Massa Pendulum .....	31
3.2.6. Variasi Panjang Lengan.....	31
3.2.7. Pengambilan Data.....	32
3.2.8. Diagram Alir Pengambilan Data .....	32
3.2.9. Peralatan Pengujian .....	34
3.2.10. Format Lembar Hasil Pengambilan Data .....	36
3.2.11. Analisa.....	36
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1. Analisa Teoritis .....	37
4.1.1 Contoh Perhitungan .....	38
4.2. Analisa Eksperimen .....	40
4.2.1. Pengolahan Data.....	41
4.2.2. Pengaruh Massa Pendulum terhadap Energi Listrik.....	44
4.2.2.1 Variasi Massa Pendulum dengan L=6cm .....	44
4.2.2.2 Variasi Massa Pendulum dengan L=8cm .....	45
4.2.2.3 Variasi Massa Pendulum dengan L=10cm .....	47
4.2.2.4 Analisa Variasi Massa dengan Panjang Tetap .....	48
4.2.3. Pengaruh Panjang Lengan Pendulum terhadap Energi Listrik .....	50
4.2.3.1 Variasi Panjang Lengan Pendulum dengan m=144gr.....	50
4.2.3.2 Variasi Panjang Lengan Pendulum dengan m=180gr.....	51
4.2.3.3 Variasi Panjang Lengan Pendulum dengan m=216gr.....	53
4.2.3.4 Analisa Variasi Panjang Lengan dengan Massa tetap .....	54



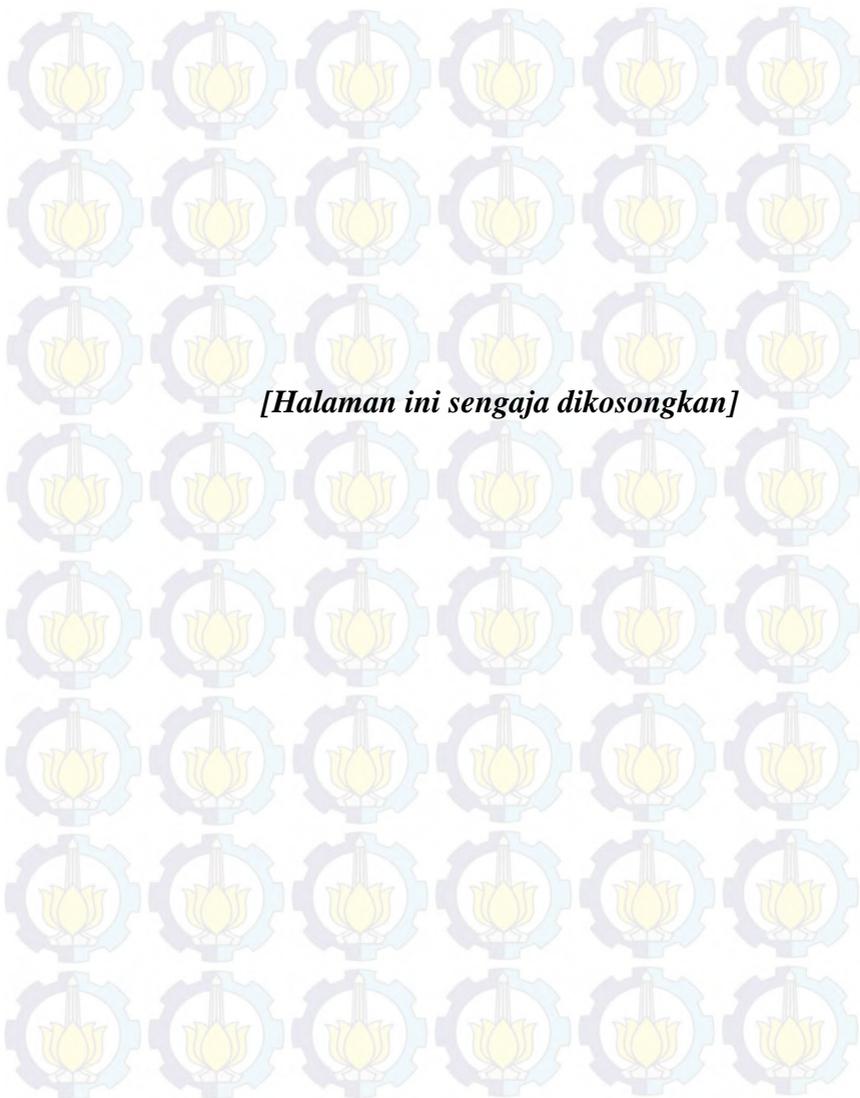
4.3. Pembahasan .....	56
4.3.1. Pengaruh Massa terhadap Energi Listrik .....	56
4.3.2. Pengaruh Panjang Lengan terhadap Energi Listrik .....	59
4.4. Effisiensi Mekansime .....	61
4.4.1. Effisiensi Pengaruh Massa Pendulum .....	61
4.4.2. Pengaruh Panjang Lengan terhadap Energi Listrik .....	63
4.5. Skala Model Mekanisme PLTGL-PSP .....	65
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>67</b>
5.1. Kesimpulan .....	67
5.2. Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Hasil Pengujian PLTGL Hendro Agus dan Urip Mudjiono.....	8
Tabel 2.2. Data Hasil Percobaan PLTGL-SSP Putu Risti Nirmalasari.....	10
Tabel 3.1. Spesifikasi Motor DC .....	30
Tabel 3.2. Perencanaan Panjang Lengan dan Massa Pendulum .....	31
Tabel 3.3. Contoh Tabel Data Hasil Pengujian .....	36
Tabel 4.1. Nilai Voltase <i>Root Mean Square</i> pada Variasi Massa Pendulum .....	48
Tabel 4.2. Nilai Voltase <i>Root Mean Square</i> pada Variasi Panjang Lengan Pendulum.....	54
Tabel 4.3. Daya Eksperimen pada Variasi Massa Pendulum.....	57
Tabel 4.4. Daya Eksperimen pada Variasi Panjang Lengan Pendulum.....	59
Tabel 4.5. Effisiensi Daya Ombak dengan Daya Eksperimen Variasi Massa .....	61
Tabel 4.6. Effisiensi Daya Ombak dengan Daya Eksperimen Variasi Panjang Lengan.....	63



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Ilustrasi PLTGL-SB Zamrisyaf SY .....	6
Gambar 2.2.	PLTGL oleh Hendro Agus W dan Urip Mudjiono.	7
Gambar 2.3.	PLTGL oleh Putu Risti Nirmalasari .....	9
Gambar 2.4.	Gelombang Air Laut.....	11
Gambar 2.5.	Benda Mengapung Terkena Gerak Naik Turun Air Laut .....	11
Gambar 2.6.	Letak Titik – Titik Penting Sebagai Stabilitas Ponton di Perairan .....	13
Gambar 2.7.	Analisa Gaya Pada Ponton .....	16
Gambar 2.8.	FBD Ponton Pada Keseimbangan Dinamis .....	18
Gambar 2.9.	Kumparan Berputar Didalam Suatu Magnet Pada Generator .....	22
Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> Penyusunan Tugas Akhir.....	24
Gambar 3.2.	Model PLTGL Ponton <i>Single</i> Pendulum .....	26
Gambar 3.3.	Ponton .....	27
Gambar 3.4.	Lengan Pendulum.....	27
Gambar 3.5.	Pendulum.....	28
Gambar 3.6.	Poros Utama .....	28
Gambar 3.7.	Sketsa Roda Gigi Pada PLTGL Ponton <i>Single</i> Pendulum.....	29
Gambar 3.8.	Motor DC Pada PLTGL Sistem Ponton <i>Single</i> Pendulum .....	30
Gambar 3.9.	Diagram Alir Pengambilan Data .....	33
Gambar 3.10.	Kolam .....	34
Gambar 3.11.	PLTGL Ponton <i>Single</i> Pendulum .....	35
Gambar 3.12.	<i>Digital Storage Oscilloscope</i> .....	35
Gambar 4.1.	Ponton PLTGL – PSP dalam Simulator Gelombang Air.....	40
Gambar 4.2.	Data Hasil Eksperimen yang terekam oleh Alat <i>Oscilloscope</i> .....	41
Gambar 4.3.	Data Hasil Rekaman <i>Oscilloscope</i> .....	42
Gambar 4.4.	<i>Curve Fitting Tool</i> .....	43
Gambar 4.5.	Tampilan Data RMS dan Plot Grafik Data .....	44

Gambar 4.6. Grafik Waktu vs Tegangan Variasi Massa dan Lengan tetap ( $L_1=6\text{cm}$ ).....	45
Gambar 4.7. Grafik Waktu vs Tegangan Variasi Massa dan Lengan tetap ( $L_2=8\text{cm}$ ).....	46
Gambar 4.8. Grafik Waktu vs Tegangan Variasi Massa dan Lengan tetap ( $L_3=10\text{cm}$ ).....	47
Gambar 4.9. Grafik Pengaruh Massa Pendulum berupa Voltase.....	49
Gambar 4.10. Grafik Waktu vs Tegangan Variasi Lengan dan Massa tetap ( $m_1=144\text{gr}$ ) .....	51
Gambar 4.11. Grafik Waktu vs Tegangan Variasi Lengan dan Massa tetap ( $m_2=180\text{gr}$ ) .....	52
Gambar 4.12. Grafik Waktu vs Tegangan Variasi Lengan dan Massa tetap ( $m_3=216\text{ gr}$ ) .....	53
Gambar 4.13. Grafik Pengaruh Panjang Lengan Pendulum berupa Voltase.....	55
Gambar 4.14. Grafik Pengaruh Variasi Massa berupa Daya .....	57
Gambar 4.15. Grafik Pengaruh Variasi Panjang Lengan.....	59
Gambar 4.16. Grafik Effisiensi pengaruh Massa Pendulum.....	62
Gambar 4.17. Grafik Effisiensi pengaruh Panjang Lengan Pendulum.....	64

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu sumber daya terpenting yang dibutuhkan oleh seluruh negara di dunia, termasuk Indonesia. Sumber energi yang berasal dari minyak bumi, batubara dan gas yang tidak dapat diperbarui jumlahnya dan semakin lama akan berkurang, dan harganya juga mengalami kenaikan setiap tahun, oleh karena itu diperlukan pengembangan sumber energi baru dan terbarukan atau energi alternatif yang meliputi angin, gelombang laut, energi surya. Tetapi sumber energi alternatif tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Dengan adanya kebijakan pemerintah untuk melakukan penghematan energi, maka perlu dilakukan pencarian sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Secara geografis Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar. Maka pengembangan energi laut memiliki peluang besar untuk mengatasi energi yang berasal dari minyak bumi, batubara dan gas yang semakin lama akan berkurang. Indonesia yang memiliki luas wilayah laut tiga kali lebih besar dari daratan ternyata memiliki potensi pengembangan pemanfaatan energi gelombang laut. Dan Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki 17.870 pulau dan luas laut 3,1 juta Km<sup>2</sup> wilayah pesisir dan lautan Indonesia. Ketersediaan energi listrik untuk pulau-pulau yang besar dapat diperoleh dengan mudah dan baik dari PLTA, PLTD, PLTU dan sumber lainnya. Sebaliknya untuk pulau-pulau yang kecil pasokan energi listrik untuk kehidupan sehari-hari sangat langka. Energi gelombang laut adalah salah satu potensi laut yang belum banyak di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit Listrik Gelombang

Laut ini berpotensi untuk Indonesia untuk dijadikan pembangkit listrik baru. Dengan menggunakan suatu teknologi, maka energi gelombang laut dapat di konversi menjadi energi listrik. Energi gelombang laut ini dapat dimanfaatkan.

Teknologi PLTGL-SB atau Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul yang ada saat ini adalah salah satu teknologi karya Bapak Zamrisyaf SY dari Badan Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero). Bekerjasama dengan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2010 untuk melakukan studi pemodelan alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut - Sistem Pendulum. Karena untuk saat ini energi listrik yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Gelombang Laut masih kecil sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk dapat mengoptimalkan energi listrik yang dihasilkan dari gelombang laut.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Dari latar belakang di atas, maka dibuatlah model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Ponton *Single* Pendulum yang di uji pada kolam dengan simulator gelombang air. Pengaruh ponton yang bersifat tidak stabil akan menyebabkan gerakan pada *single* pendulum. Bentuk gerakan air yang berupa gelombang sinusoidal menyebabkan gerakan *single* pendulum menjadi bolak - balik, sehingga diperlukan mekanisme penyearah putaran untuk menyearahkan putaran supaya dapat menjadi inputan secara kontinyu ke generator. Adapun putaran yang dihasilkan oleh *single* pendulum sangatlah kecil, sehingga diperlukan mekanisme berupa *gearbox* yang dapat meningkatkan putaran untuk memutar generator. Besarnya torsi yang diperlukan untuk memutar bergantung pada model, massa dan panjang lengan pendulum. Maka diperlukan studi eksperimen mengenai massa dan panjang lengan pendulum yang ideal.

Dari uraian tersebut di atas, maka permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana energi listrik optimum yang dihasilkan model mekanisme PLTGL dengan variasi massa pendulum.
2. Bagaimana energi listrik optimum yang dihasilkan model mekanisme PLTGL dengan variasi panjang lengan pendulum.
3. Bagaimana efisiensi optimum yang dihasilkan model mekanisme PLTGL.

### **1.3. Batasan Masalah**

Untuk analisa di atas dibutuhkan batasan masalah yang akan diambil sebagai berikut:

1. Massa pendulum dibuat dalam tiga variasi.
2. Panjang lengan pendulum dibuat dalam tiga variasi.
3. Seluruh massa yang bergerak dianggap kaku, sehingga defleksi massa akibat elastisitas diabaikan karena sangat kecil.
4. Pengaruh gesekan torsional pada pendulum diabaikan.
5. Gerakan yang memutar pendulum disebabkan oleh gelombang air laut pada simulator kolam gelombang air laut.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan energi listrik optimum yang dihasilkan model mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang air dengan variasi massa pendulum.
2. Untuk mendapatkan energi listrik optimum yang dihasilkan model mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang air dengan variasi panjang lengan pendulum.
3. Untuk mendapatkan efisiensi optimum yang dihasilkan model mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang air.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi teknologi energi baru terbarukan penelitian ini dapat menyempurnakan penelitian-penelitian lain mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang laut yang sudah ada.
2. Menyediakan sumber energi alternatif bagi masyarakat.
3. Terhadap peneliti, penelitian ini menyediakan data hubungan antara panjang lengan pendulum dan massa terhadap listrik yang dihasilkan pada alat PLTGL –PSP.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1 PLTGL-Sistem Ponton *Single* Bandul oleh Zamrisyaf

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandulan (PLTGL-SB) adalah salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan gelombang laut sebagai sumber energinya. Ini berdasarkan penelitian Zamrisyaf, pegawai pusat penelitian dan pengembangan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sejak tahun 2002. Temuan Zamrisyaf telah mendapatkan penyempurnaan lewat kerjasama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, diantaranya telah menghasilkan ukuran-ukuran ponton, berat bandul dan panjang lengan bandul serta daya dan putaran yang dihasilkan.

Cara kerja PLTGL-SB ini cukup menarik. Ponton yang berfungsi sebagai kapal mengangkut bandul yang terintegrasi dengan generator. Untuk menghasilkan putaran generator yang maksimal, bandul dibantu dengan alat transmisi *double-freewheel* dan diintegrasikan dengan bantuan rantai. Setiap gerakan air laut akan menggoyangkan bandul sehingga menggerakkan *double-freewheel* untuk memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Energi yang dihasilkan alat ini sangat tergantung dari gerakan ponton. Gerakan yang terjadi pada ponton adalah gerakan rotasi dan translasi, gerakan ini muncul sebagai akibat dari tabrakan dengan permukaan gelombang atau tekanan naik turun dibawah permukaan laut. Gerakan ponton akibat fluktuasi gelombang laut itu akan membuat bandul-bandul yang ada di dalamnya ikut bergoyang seperti lonceng. Gerakan tersebut

ditransmisikan menjadi gerakan putar untuk memutar generator. Berikut ini adalah gambar 2.1 dari PLTGL-SB dari Zamrisyaf.



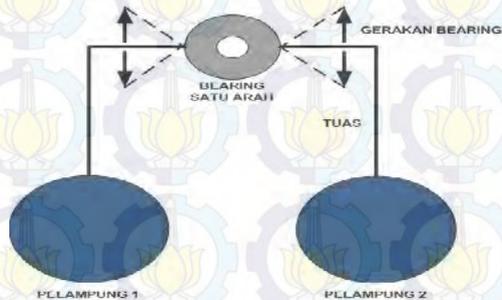
Gambar 2.1 Ilustrasi PLTGL-SB Zamrisyaf SY

Tetapi akibat gerak ponton datar yang cenderung acak atau tidak beraturan diakibatkan oleh datangnya gelombang laut yang menggangunya dan tidak beraturan. Pergerakan ponton datar yang acak ini mempengaruhi perputaran bandul yang berada di atasnya. Oleh karena itu penelitian ini dibuat untuk menyempurnakan perancangan sebelumnya yaitu dengan desain yang berbeda dimana letak pendulum dibuat horizontal serta mengetahui pengaruh variasi batang pendulum dan bentuk dari ponton terhadap arus listrik yang dihasilkan pada alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut - Sistem Pendulum ini.

Dengan panjang lengan 2 meter dan berat bandul 10 kg, PLTGL pak Zamrisyaf ini dapat membangkitkan 20 MW. PLTGL ini sangat cocok untuk ditempatkan di daerah kepulauan. Hal ini dikarenakan PLTGL ini tidak membutuhkan lahan yang begitu luas.

## 2.1.2 PLTGL oleh Hendro Agus W dan Urip Mudjiono

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini menggunakan pelampung, dimana energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut mengangkat pelampung untuk memutar generator. Di bawah ini adalah gambar 2.2 dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut yang diteliti oleh Hendro Agus dan Urip Mudjiono.



Gambar 2.2 PLTGL oleh Hendro Agus dan Urip Mudjiono

Untuk prinsip kerja dari PLTGL tersebut adalah adanya gelombang laut yang bertekanan, maka tekanan tersebut akan menggerakkan pelampung yang terhubung dengan tuas. Dari gerakan pelampung kemudian dikonversi menjadi putaran mekanik satu arah melalui bearing satu arah putaran ( *One Way Clutch Bearing, Single Direction Bearing* ). Hasil putaran mekanik satu arah dari bearing satu arah putaran ( *One Way Clutch Bearing, Single Direction Bearing* ) diperbesar putarannya melalui susunan rasio gear box, sistem transmisi dan roda. Dari hasil putaran satu arah yang telah diperbesar putarannya baru kemudian memutar generator. Dari hasil putaran generator dihasilkan energi listrik yang dihasilkan dari gerak pelampung tersebut. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung digunakan atau untuk mengisi baterai, sehingga dapat menyimpan energi yang dapat digunakan sesuai kebutuhan.

Dimana dari percobaan PLTGL ini dilaksanakan di pantai watu ulo jember jam 13.00 dengan cuaca mendung, dan ketinggian ombak mencapai kurang lebih 1 m. Tabel 2.1 dibawah adalah hasil pengukuran dan pengujian dimana tinggi gelombang laut (H dalam meter), I adalah Arus output dari generator (dalam Ampere), V adalah tegangan generator (dalam volt), l adalah jarak pengukuran dalam meter dan T adalah periode dalam detik.

Tabel 2.1 Data hasil pengukuran dan pengujian PLTGL Hendro Agus dan Urip Mudjiono

No	H (m)	A (A)	V (V)	rpm (rpm)	l (m)	T (s)
1	0.20	0.15	2.2	875	10	2
2	0.30	0.20	3.0	910	15	2
3	0.40	0.32	4.7	980	20	2
4	0.50	0.46	5.5	1050	25	2

Dari data tabel 2.1, dapat dilihat bahwa tegangan yang dihasilkan dengan tinggi gelombang 0.20 m yaitu 2.2 Volt, tinggi gelombang 0.30 m yaitu 3.0 Volt, tinggi gelombang 0.40 m yaitu 4.7 Volt, dan tinggi gelombang 0.50 m yaitu 5.5 Volt.

### 2.1.3 PLTGL *Single Pendulum* oleh Putu Risti Nirmalasari

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini menggunakan ponton dengan sistem *single pendulum*, dimana energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut memutar pendulum untuk memutar generator. Berikut ini adalah gambar 2.3 dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Single Pendulum*.



Gambar 2.3 PLTGL oleh Putu Risti Nirmalasari

Untuk prinsip kerja dari PLTGL-SSP tersebut adalah energi dari gelombang laut dengan menggunakan putaran pendulum menghasilkan energi mekanik untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik. Sebelum masuk ke generator, batang pendulum dihubungkan terlebih dahulu pada *gearbox* untuk meningkatkan putaran.

Percobaan PLTGL-SSP ini dilakukan dalam skala Lab pada kolam buatan. Tabel 2.2 berikut ini adalah hasil percobaan PLTGL-SSP dengan variasi panjang lengan dan massa pendulum dan  $V$  adalah voltase yang dihasilkan.

Tabel 2.2 Data Hasil percobaan PLTGL-SSP Putu Risti Nirmalasari

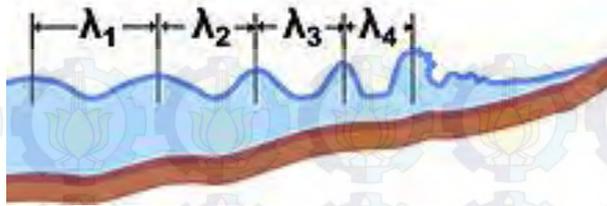
Panjang Lengan (cm)	Massa Pendulum (gram)	Vrms (Volt)
6	50	0.0677
	80	0.0764
	100	0.0824
8	50	0.0683
	80	0.0713
	100	0.0806
10	50	0.0696
	80	0.0710
	100	0.0752

Dari data tabel 2.2, dapat dilihat bahwa tegangan yang dihasilkan dengan amplitudo tetap sebesar 5.35 cm dan frekuensi tetap sebesar 1.487 Hz, rata-rata hasil perhitungan adalah 0.07 Volt dengan panjang lengan 6,8,10 cm dan massa pendulum 50, 80, 100 gram.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Gelombang Air Laut

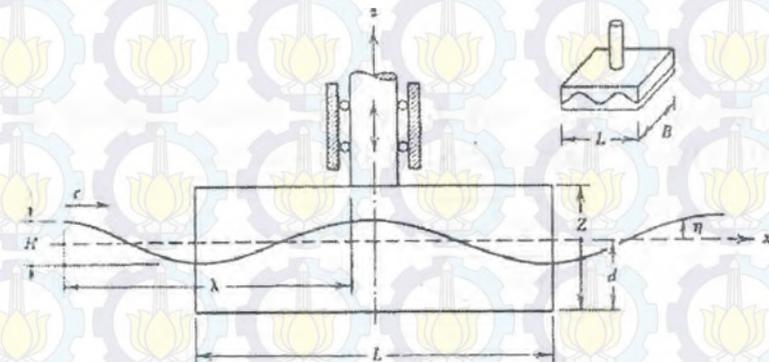
Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus pada permukaan air laut yang membentuk kurva ataupun grafik sinusoidal. Bentuk gelombang sinusoidal memiliki karakteristik panjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya saat di laut sedangkan ketika mendekati daerah pantai maka panjang gelombang menjadi lebih kecil dari tinggi gelombangnya seperti pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4. Gelombang air laut. (Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/Gelombang>)

Gelombang pada air laut terjadi akibat beberapa fenomena seperti benda yang bergerak pada atau dekat permukaan sehingga terjadi gelombang dengan perioda kecil, angin yang merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan, gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami, medan gravitasi bumi dan bulan menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Berdasarkan definisi gelombang air laut, ketika diletakkan suatu benda dengan mekanisme tertentu akan dihasilkan energi mekanik dan energi kinetik yang menimbulkan energi listrik. Adapun ilustrasi benda tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5. Benda mengapung terkena gerak naik turun air laut. (Sumber: Astu Pudjanarsa, Djati Nursuhud. 2007)

Pada gambar 2.5. ditunjukkan suatu benda yang memanfaatkan gerak naik turunnya air laut pada arah vertikal. Gerak naik turun benda mendorong suatu mekanisme alat yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik ataupun penggerak mekanisme lain. Besarnya frekuensi gerak naik turun dari benda terapung dijabarkan oleh McCormick (1973) sebagai berikut.

$$f_z = \frac{1}{T_z} = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{1}{2} \frac{\rho g A_{wp}}{m + m_w} \quad (2.1)$$

Dimana,

$T_z$  : periode gerak naik turun

$f_z$  : frekuensi sirkular (2 f)

$\rho$  : massa jenis air laut

$m$  : massa sistem yang bergerak naik turun

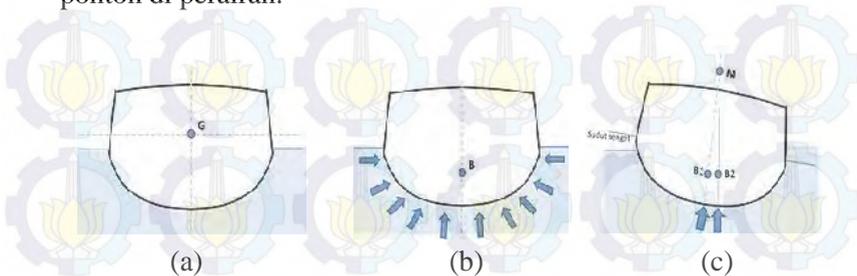
$m_w$  : massa air yang merangsang gerak naik turun

$A_{wp}$  : luas muka benda yang mengapung

### 2.2.2 Ponton

Berdasarkan pada sub bab sebelumnya yang menjelaskan mengenai benda dengan mekanisme tertentu yang dapat menghasilkan listrik pada penelitian ini disebut dengan ponton. Ponton adalah benda yang memiliki lambung datar dan dapat mengapung ketika diletakkan pada permukaan air. Pada tahun 1960 – 1980, ponton sering sekali digunakan di beberapa jalur lintas Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Kapal ini sangat stabil dan dapat dijalankan dengan mudah. Desain lambung kapal yang dimiliki mempengaruhi kecepatan, dimana semakin *streamline* maka laju kapal akan semakin cepat. Stabilitas ponton dipengaruhi oleh beberapa titik penting, seperti titik berat (*centre of gravity*), titik apung (*centre of buoyancy*), dan *metacenter*.

Berikut ini gambar 2.6. Letak titik – titik penting sebagai stabilitas ponton di perairan.



Gambar 2.6. Letak titik – titik penting sebagai stabilitas ponton di perairan. (a) titik berat, (b) titik apung, (c) titik metasentris.

(Sumber:

[http://id.wikibooks.org/wiki/Pelayaran\\_Sungai\\_dan\\_Danau/Dasar-dasar\\_Kapal](http://id.wikibooks.org/wiki/Pelayaran_Sungai_dan_Danau/Dasar-dasar_Kapal))

Titik berat (*centre of gravity*) dikenal dengan titik G, merupakan titik tangkap dari semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap ponton ( $F_{\text{gravitasi}}$ ). Letak titik G dapat diketahui dengan meninjau semua pembagian bobot di ponton, makin banyak bobot yang diletakkan di bagian atas maka makin tinggilah letak titik G - nya. Secara definisi, titik berat (G) ialah titik tangkap dari semua gaya – gaya yang bekerja ke bawah. Letak titik G pada ponton yang kosong ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa, letak titik G tergantung daripada pembagian berat di dalam ponton. Jadi, selama tidak ada berat yang di geser baik ditambah ataupun dikurangi, titik G tidak akan berubah walaupun ponton oleng atau mengangguk (*trim*).

Titik apung (*center of buoyancy*) dikenal dengan titik B, merupakan titik tangkap dari resultan gaya - gaya yang menekan tegak ke atas ( $F_{\text{buoyancy}}$ ) dari bagian ponton yang terbenam dalam air. Titik tangkap B bukanlah suatu titik yang tetap tetapi berpindah - pindah oleh adanya perubahan sarat dari ponton. Dalam stabilitas ponton, titik B inilah yang menyebabkan kapal mampu untuk tegak kembali. Letak titik B tergantung dari besarnya kemiringan kapal

(bila kemiringan berubah maka letak titik B akan berubah). Bila kapal miring maka titik B akan berpindah ke sisi yang rendah.

Titik metasentris atau dikenal dengan titik M, merupakan sebuah titik semu dari batas di mana titik G tidak boleh melewati di atasnya agar supaya ponton tetap mempunyai stabilitas yang positif (stabil). Meta artinya berubah - ubah, jadi titik metasentris dapat berubah letaknya dan tergantung dari besarnya sudut kemiringan. Apabila kapal miring pada sudut kecil (tidak lebih dari  $15^0$ ), maka titik apung B bergerak di sepanjang busur di mana titik M merupakan titik pusatnya di bidang tengah ponton dan pada sudut kemiringan yang kecil ini perpindahan letak titik M sangat kecil, sehingga dapat dikatakan tetap.

Titik – titik penting ponton selain menentukan stabilitas ponton dapat pula digunakan untuk menganalisa gaya yang terjadi pada gelombang laut. Seperti pada rumusan berikut ini.

$$F_{generated} = \sum F = F_w + F_b - F_g \quad (2.2)$$

Dimana,

$F_{generated}$  = resultan gaya yang dihasilkan untuk menggerakkan benda bergerak keatas

$F_{buoyancy}$  = gaya apung pelampung

$F_{gravitasi}$  = gaya berat yang diterima sistem penangkap gelombang

Gaya yang dihasilkan gelombang sebagai berikut.

$$F_{wave} = \frac{P_{wave}}{c_g} \quad (2.3)$$

Gaya yang ditransferkan oleh gelombang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_{generated} &= (F_{wave} + F_{buoyancy}) - F_{gravitasi} \\ &= \frac{P_{wave}}{c} + (\rho \cdot g \cdot V_{tercelup}) - (m \cdot g) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$c_g = c \text{ (untuk perairan dangkal)} \quad (2.5)$$

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

Dimana,

$P_{wave}$  = wave power; energy flux

$C_g$  = group velocity

$c$  = group velocity untuk perairan dangkal

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

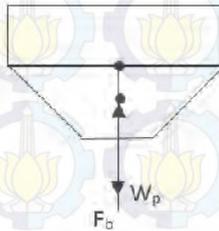
$g$  = percepatan gravitasi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

$H$  = tinggi gelombang (meter)

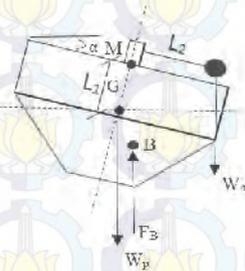
$T$  = Periode

### 2.2.3 Gerakan Ponton

Pada gerak lurus atau gerak translasi, faktor yang menyebabkan adanya gerak adalah gaya ( $F$ ). Pada ponton gerakan yang terjadi mengikuti gerakan gelombang air. Adapun gerakan ponton akibat gelombang laut diilustrasikan pada gambar 2.7.



(a) Ponton dalam kondisi normal



(b) Ponton dalam kondisi miring karena pengaruh massa pendulum



$$M = 0$$

$$\begin{aligned} m_p \times g \times L_1 \times \sin \theta - m_m \times g \times L_2 \times \cos \theta &= 0 \\ m_p \times g \times L_1 \times \sin \theta &= m_m \times g \times L_2 \times \cos \theta \end{aligned} \quad (2.8)$$

Persamaan 2.8 merupakan analisa kesetimbangan gaya yang terjadi sesaat pada ponton dimana hubungannya dengan pendulum yaitu nilai  $F_R$  merupakan gaya resultan yang terjadi akibat gaya berat dari pendulum ( $F_p$ ) dan gaya berat ponton itu sendiri ( $F_g$ ). Analisa statis yang dilakukan adalah analisa pada kondisi sesaat sebelum ponton bergerak akibat gaya dari gelombang air laut ( $F_w$ ). Adapun analisa kesetimbangan momen dinamis dapat diperoleh melalui gambar 2.7 (c) yaitu sebagai berikut.

$$F_y = 0$$

$$W_m \cdot \cos \theta + W_p - F_b \cos \beta = 0$$

$$F_b \cos \beta = W_m \cdot \cos \theta + W_p$$

$$F_b = \frac{W_m \cdot \cos \theta + W_p}{\cos \beta} \quad (2.9)$$

$$F_x = 0$$

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

$$F_b \sin \beta = F_w \quad (2.10)$$

Substitusi persamaan (2.12) ke (2.13) :

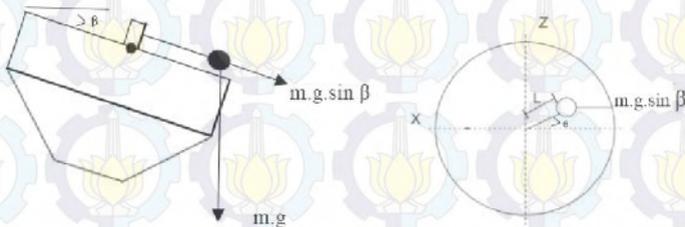
$$\frac{W_m \cdot \cos \theta + W_p \sin \beta}{\cos \beta} = F_w$$

$$\tan \beta = \frac{F_w}{Wm.Cos \theta + Wp} \quad (2.11)$$

Persamaan 2.11 menerangkan bahwa keadaan dinamis antara ponton dan pendulum dimana hal ini merupakan kondisi saat ponton bergerak. Dimana gerakan ponton dipengaruhi oleh gelombang air laut.

### 2.2.4 Pendulum

Pendulum berputar karena dipengaruhi oleh ponton yang terkena gelombang laut. Pergerakan pendulum dapat dikategorikan sebagai getaran bebas teredam. Hal ini dikarenakan gaya pemulih atau pembalik dari pendulum hanya diperoleh akibat pengaruh gravitasi sedangkan tidak ada gaya luar yang mengganggu pendulum. Maka secara umum, berlaku persamaan getaran bebas pendulum dengan peredam torsional. Adapun pergerakan pendulum akibat gelombang air laut seperti pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 *Free body diagram* ponton pada kesetimbangan dinamis

Gambar 2.8 diatas merupakan ponton dalam kondisi senget dimana sudut kemiringan  $\beta$ . kemiringan ini dipengaruhi oleh penambahan gaya akibat gelombang air laut. Sudut mempengaruhi gerakan pendulum. Melalui gambar 2.8 diperoleh persamaan gerak dinamis pada pendulum adalah sebagai berikut.

$$\Sigma M = I. \ddot{\theta} \quad (2.12)$$

$$m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L \sin \theta - Ct \ddot{\theta} - Kt \cdot \theta = \left( \frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2 \right) \ddot{\theta} \quad (2.13)$$

$$\left( \frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2 \right) \ddot{\theta} + Ct \ddot{\theta} + Kt \theta - m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L \sin \theta = 0 \quad (2.14)$$

$$\left( \frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2 \right) \ddot{\theta} + Ct \ddot{\theta} + Kt - m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L \theta = 0 \quad (2.15)$$

$$\omega_n = \frac{Kt - m_p \cdot g \cdot \sin \beta \cdot L}{\frac{1}{3} m_l L^2 + m_p L^2} \quad (2.16)$$

Setelah didapatkan  $\omega_n$  maka diperoleh persamaan getaran bebas pendulum sebagai berikut.

$$\theta_t = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t \quad (2.17)$$

Dengan :

$$\theta_{(t=0)} = \theta_0$$

$$\dot{\theta}_{(t=0)} = 0$$

Maka persamaan 2.19 didapatkan menjadi :

$$\theta_t = \theta_0 \cos \omega_n t \quad (2.18)$$

Kecepatan  $\theta$  adalah  $\dot{\theta}$

$$\dot{\theta}_{(t)} = -\omega_n \theta_0 \sin \omega_n t \quad (2.19)$$

Berdasar pada persamaan 2.18 di atas, diperoleh nilai  $\omega_n$  pendulum saat berputar. Berdasar pada gambar 2.7 didapatkan hubungan massa pendulum, lengan pendulum, dan torsi yang ditimbulkan pada pendulum untuk berputar akibat gerakan ponton adalah sebagai berikut.

$$T = m \times g \times \sin \beta \times L \cdot \sin \theta \quad (2.20)$$

$$P = T \times \omega \quad (2.21)$$

$$P = m \times g \times \sin \beta \times L \cdot \sin \theta \times \omega \quad (2.22)$$

$$P_e = P_{\text{mekanik}} \quad (2.23)$$

$$V \times I = \text{Torsi} \times \omega \quad (2.24)$$

Dimana,

T = torsi pada pendulum

m = massa pendulum

g = gaya gravitasi

L = lengan pendulum

P = Daya

$P_m$  = Daya Mekanik

$P_e$  = Daya Elektrik

I = Arus

### 2.2.5 Gearbox

*Gearbox* adalah salah satu komponen utama motor yang disebut sebagai sistem pemindah tenaga yang mempunyai beberapa fungsi antara lain:

1. Merubah momen puntir yang akan diteruskan ke spindel mesin.
2. Menyediakan rasio gigi yang sesuai dengan beban mesin.
3. Menghasilkan putaran mesin tanpa selip.

Adapun prinsip kerja *gearbox* yaitu dengan menggunakan Putaran dari motor diteruskan ke input shaft (poros input) melalui hubungan antara kopleng, kemudian putaran diteruskan ke main

shaft (poros utama), torsi atau momen yang ada di mainshaft diteruskan ke spindel mesin, karena adanya perbedaan rasio dan bentuk dari gigi - gigi tersebut sehingga rpm atau putaran spindel yang di keluarkan berbeda, tergantung dari rpm yang diinginkan.

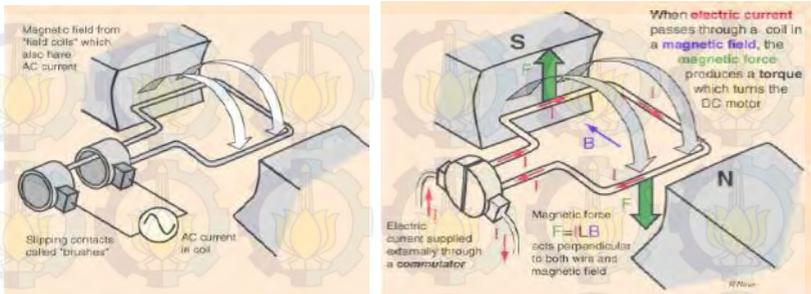
### **2.2.6 Generator**

Penerapan dari konsep induksi elektromagnetik digunakan pada dinamo atau generator. Alat ini mengubah energi mekanik atau kinetik menjadi energi listrik. Prinsip kerja dinamo atau generator ada dua macam, antara lain:

1. Kumparan berputar di dalam suatu medan magnet.
2. Magnet berputar di antara beberapa kumparan.

Saat kumparan diputar diantara kutub - kutub magnet sehingga memotong garis - garis medan magnet maka kumparan akan menerima fluks magnet yang besarnya berubah - ubah. Perubahan fluks magnet ini dapat menimbulkan ggl induksi. Energi kinetik pada dinamo atau generator dapat diperoleh dari putaran roda, angin, dan air terjun. Dibawah ini gambar 2.9 kumparan berputar didalam suatu medan magnet pada generator . Gaya gerak listrik induksi pada dinamo ataupun generator dan juga kuat arus induksinya dapat diperbesar dengan cara sebagai berikut:

1. Mempercepat putaran rotor.
2. Memperbesar jumlah lilitan kumparan.
3. Menggunakan magnet yang kuat.
4. Memasukan inti besi lunak ke dalam kumparan.



(a)

(b)

Gambar 2.9. Kumparan berputar didalam suatu medan magnet pada generator (a) AC (b) DC.

(Sumber: Jurnal studi eksperimental dan menganalisa pengaruh variasi massa bandul terhadap pola gerak bandul dan voltase bangkitan generator pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut - Sistem Bandul Konis ponton datar, Luluk, 2011)

Prinsip kerja dinamo atau generator DC sama dengan generator AC. Namun, generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin generator DC berupa cincin belah (komutator). Besarnya GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi dalam kumparan atau voltase yang dibangkitkan oleh generator adalah sebagai berikut.

$$E_{max} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \quad (2.25)$$

Dimana,

N = Jumlah lilitan (buah)

B = Kuat medan magnet (T)

A = Luas kumparan (m<sup>2</sup>)

= Kecepatan sudut (rad/sec)

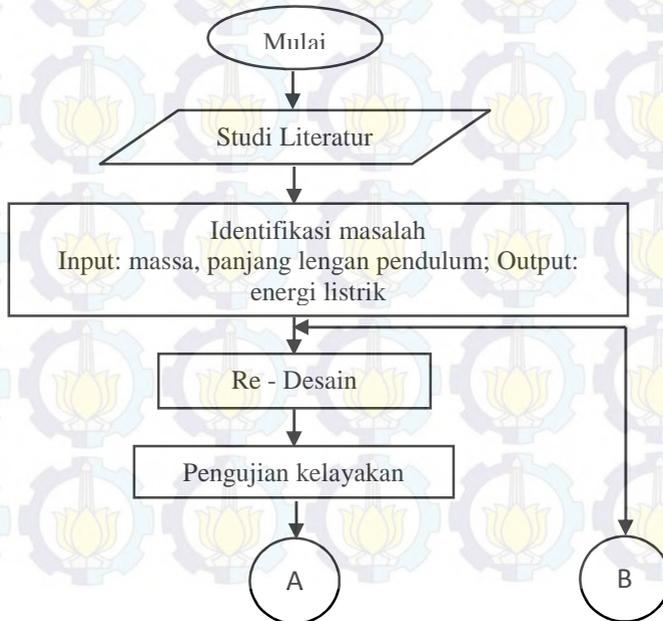
## BAB III

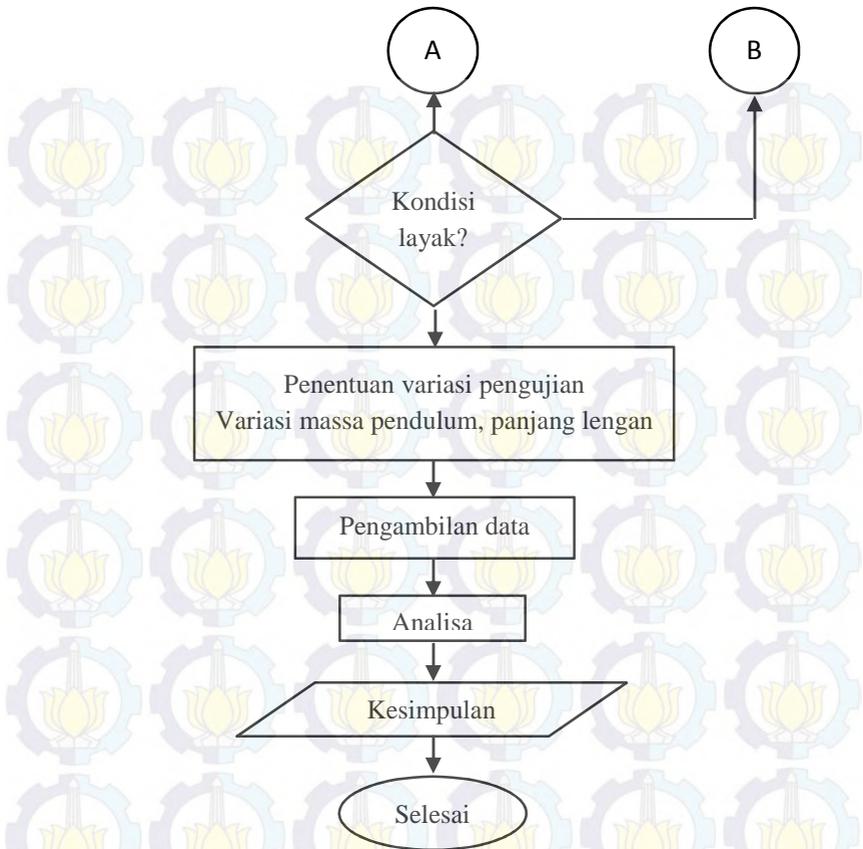
### METODE PENELITIAN

Tujuan Tugas Akhir dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) – Ponton *Single* Pendulum (PSP) ini adalah untuk melakukan studi eksperimental dan mengetahui besar energi listrik beserta karakteristiknya terhadap variasi massa pendulum, panjang lengan, frekuensi dan amplitudo gelombang air. Untuk memenuhi tujuan tersebut dilakukan beberapa tahapan pengujian sebagai berikut.

#### 3.1. Diagram Alir (*Flowchart*) Penyusunan Tugas Akhir

Langkah - langkah secara umum penyusunan Tugas Akhir seperti pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Flowchart penyusunan Tugas Akhir

### 3.2. Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

Selama pengerjaan tugas akhir ini, penulis membagi pengerjaan tugas ini dalam beberapa tahapan pengerjaan. Tahapan pengerjaan tugas akhir ini antara lain :

### 3.2.1. Studi Literatur

Sebelum dilakukan penelitian, dilakukan studi terlebih dahulu mengenai beberapa literatur dan referensi yang berkaitan dengan pola pergerakan *single* pendulum, energi kinetik gelombang dan energi listrik dari generator. Literatur yang dipelajari berupa tugas akhir, jurnal, diktat perkuliahan dan *textbook*.

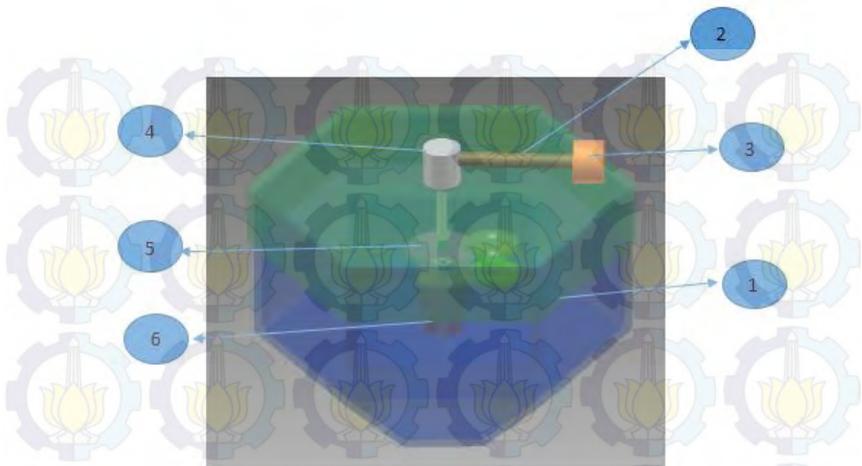
### 3.2.2 Identifikasi Masalah

Pada Tugas Akhir ini, masalah diidentifikasi menjadi dua yaitu berupa input dan output. Dimana input yang diberikan berupa variasi massa pendulum, panjang lengan, frekuensi dan amplitudo gelombang. Dengan *output* berupa energi listrik yang dilihat dari besarnya voltase keluaran.

### 3.2.3 Re – Desain Mekanisme PLTGL – PSP

Pada Tugas Akhir ini, melalui desain ponton yang sudah ada dilakukan perancangan kembali dengan mengoptimalkan massa pendulum dan panjang lengan pendulum terhadap poros utama ponton sehingga menghasilkan energi listrik yang paling besar.

Ponton yang sudah ada terdiri dari *single* pendulum dengan *gearbox* dan generator pada bagian lambung ponton. Prinsip kerja alat ini adalah dengan menggunakan putaran, pendulum menghasilkan energi mekanik untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik. Sebelum masuk ke generator, batang pendulum dihubungkan terlebih dahulu pada *gearbox* untuk meningkatkan putaran. Mekanisme *gearbox* menggunakan *oneway bearing* untuk menyearahkan putaran bolak - balik pendulum akibat gelombang air seperti gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model PLTGL Ponton *Single* Pendulum

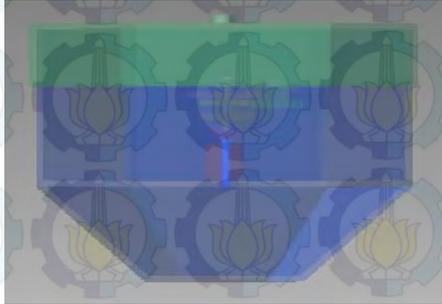
Keterangan Gambar :

1. Ponton
2. Lengan Pendulum
3. Pendulum
4. Poros Utama
5. Roda Gigi
6. Generator

Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Ponton *Single* Pendulum (PLTGL-PSP) ini dibutuhkan komponen - komponen agar mekanisme bekerja dengan baik. Berikut ini adalah komponen – komponen PLTGL Ponton *Single* Pendulum beserta fungsinya:

1. Ponton  
Ponton adalah suatu jenis kapal dengan lambung datar yang mengapung. Ponton ini digunakan untuk mengangkat mekanisme seluruh komponen dari PLTGL Ponton *Single* Pendulum. Pada penelitian ini ponton harus mengapung apabila dibebani mekanisme PLTGL. Ponton ini didesain

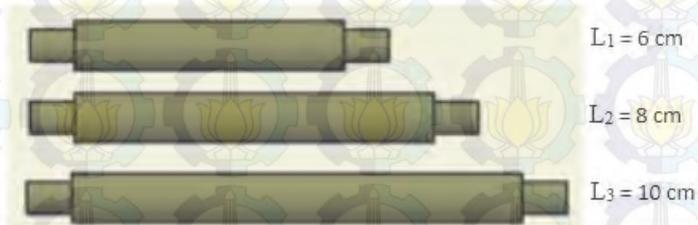
tidak stabil tetapi harus mengapung. Ketidakstabilan ponton dibutuhkan agar dengan olakan ombakan yang kecil ponton dapat memutar pendulum. Gambar 3.3 menunjukkan bentuk ponton yang dibuat.



Gambar 3.3 Ponton

## 2. Lengan Pendulum

Lengan pendulum merupakan komponen penghubung antara bandul dan poros utama. Dalam hal ini lengan pendulum di buat dalam tiga variasi seperti gambar 3.4.



Gambar 3.4 Lengan Pendulum

## 3. Pendulum

Pendulum merupakan beban untuk menggerakkan generator melalui gearbox. Dalam hal ini pendulum di buat dalam 3 variasi seperti gambar 3.5.



$m_1 = 216 \text{ gr}$

$m_2 = 180 \text{ gr}$

$m_3 = 144 \text{ gr}$

Gambar 3.5 Pendulum

#### 4. Poros Utama

Poros Utama merupakan poros yang menghubungkan antara pendulum dengan roda gigi untuk menggerakkan generator seperti gambar 3.6.

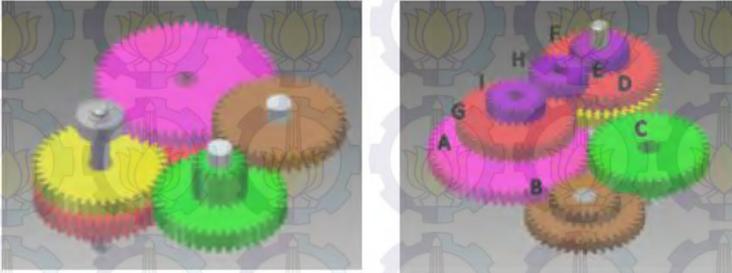


Gambar 3.6 Poros utama

#### 5. Roda Gigi

Roda gigi yang digunakan dalam PLTGL Ponton *Single* Pendulum ini terbuat dari bahan plastik dengan jumlah enam buah. Roda gigi ini dipasang bertujuan untuk menyearahkan putaran dari bandul yang putarannya berubah-ubah. Putaran bandul yang berubah-ubah ini terbentuk akibat ketidakstabilan ponton yang terhempas oleh kekuatan gelombang. Gambar 3.7

adalah sketsa roda gigi yang dipakai pada PLTGL Ponton *Single* Pendulum.



Gambar 3.7 Sketsa roda pada PLTGL Ponton *Single* Pendulum

Roda gigi A adalah roda gigi utama yang tersambung dengan poros utama. Pasangan roda gigi A adalah roda gigi B dan C sebagai pembesar ratio putaran. Pasangan roda gigi C adalah roda gigi D sebagai penerus putaran ke poros yang terpasang juga roda gigi E dan F, dimana roda gigi E dan F sebagai *one-way gear*. Roda gigi E dan F penyearah dari putaran poros utama yang arah putarannya berubah-ubah. Putaran roda gigi E dilanjutkan roda gigi G, dimana dimensi kedua roda gigi E dan G harus sama. Dan roda gigi F berpasangan dengan roda gigi H dan roda gigi H berpasangan dengan roda gigi I. Dimana roda gigi F, H dan I memiliki dimensi yang sama. Roda gigi I dan G dipasang pada poros yang meneruskan ke gearbox generator.

#### 6. Generator

Generator yang digunakan pada penelitian PLTGL - PSP ini adalah motor DC yang putarannya dibalik. Spesifikasi generator dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Spesifikasi motor DC

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY						S&L	
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE	OUTPUT	TORQUE	CURRENT		
			rpm	A	rpm	A	mmN	gcm	W	mmN	gcm	A
RF-300FA-12350	1.5~6.0	3V CONSTANT	3500	0.022	2830	0.093	0.48	4.9	0.14	2.51	26	0.39

Motor DC pada model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Motor DC pada model mekanisme PLTGL sistem Ponton *Single* Pendulum

### 3.2.4 Penentuan Variasi Pengujian

Dalam pengujian dibutuhkan beberapa variasi untuk keperluan studi eksperimental. Pada pengujian kali ini variasi pengujian dibatasi terhadap massa pendulum, panjang lengan, frekuensi dan amplitudo gelombang laut. Dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini

$$\tan \alpha = \frac{m_m \cdot l_2 \cdot \cos \theta}{m_p \cdot l_1}$$

Dengan nilai batasan dan asumsi,

$$l < 12 \text{ cm}$$

$$m_p = 2.35 \text{ kg}$$

$$l_1 = 7.1752 \text{ cm}$$

$$l_2 = 10 \text{ cm}$$

$$\theta \text{ awal kondisi stabil} = 6^\circ$$

Sehingga, didapatkan nilai massa stabil sebesar

$$m_m = \frac{0.1051 \cdot 2.35 \text{ kg} \cdot 7.1775 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 0.177 \text{ kg} = 177 \text{ gr} \approx 180 \text{ gr}$$

Penggunaan sudut  $\theta$  awal sebesar  $6^\circ$  dikarenakan dalam perancangan kemiringan stabil berada pada rentang sudut  $0^\circ$  sampai  $7^\circ$ - $10^\circ$  dimana *metacenter* tidak berubah dan fungsi sinus hampir linier. Dengan menggunakan perhitungan yang sama. Didapatkan perencanaan variasi lengan dan massa pendulum seperti pada tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2. Perencanaan panjang lengan dan massa pendulum

Variasi (ke - )	Massa (gr)	Lengan (cm)
1	144	10
2	180	8
3	216	6

### 3.2.5. Variasi Massa Pendulum

Pada pengujian ini penggunaan massa pendulum dibatasi untuk 3 variasi massa yaitu  $m_1=144$  gr,  $m_2=180$  gr,  $m_3=216$  gr. Pemilihan ini berdasar pada penyesuaian terhadap model mekanisme dan dimensi dari Ponton PLTGL - PSP.

### 3.2.6. Variasi Panjang Lengan

Pada pengujian ini, panjang lengan pendulum yang akan diberikan pada model mekanisme PLTGL – PSP menyesuaikan dimensi ponton sehingga didapatkan ukuran sebesar  $L_1=6$  cm;  $L_2=8$  cm;  $L_3=10$  cm. Ketiga ukuran lengan

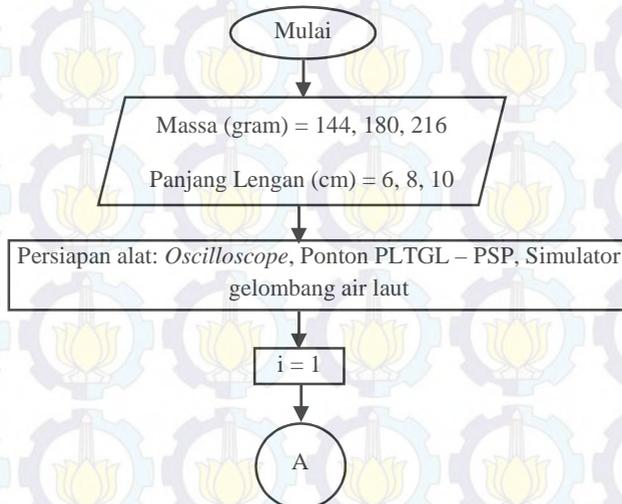
tersebut ditentukan berdasarkan pada lebar ponton yang hanya berukuran 30 cm dan lengan ponton yang diletakkan pada poros bagian tengah. Dikarenakan pada kenyatannya lengan pendulum tidak menggunakan material ringan seperti aluminium maka dirancang panjang lengan untuk tidak melebihi ukuran ponton.

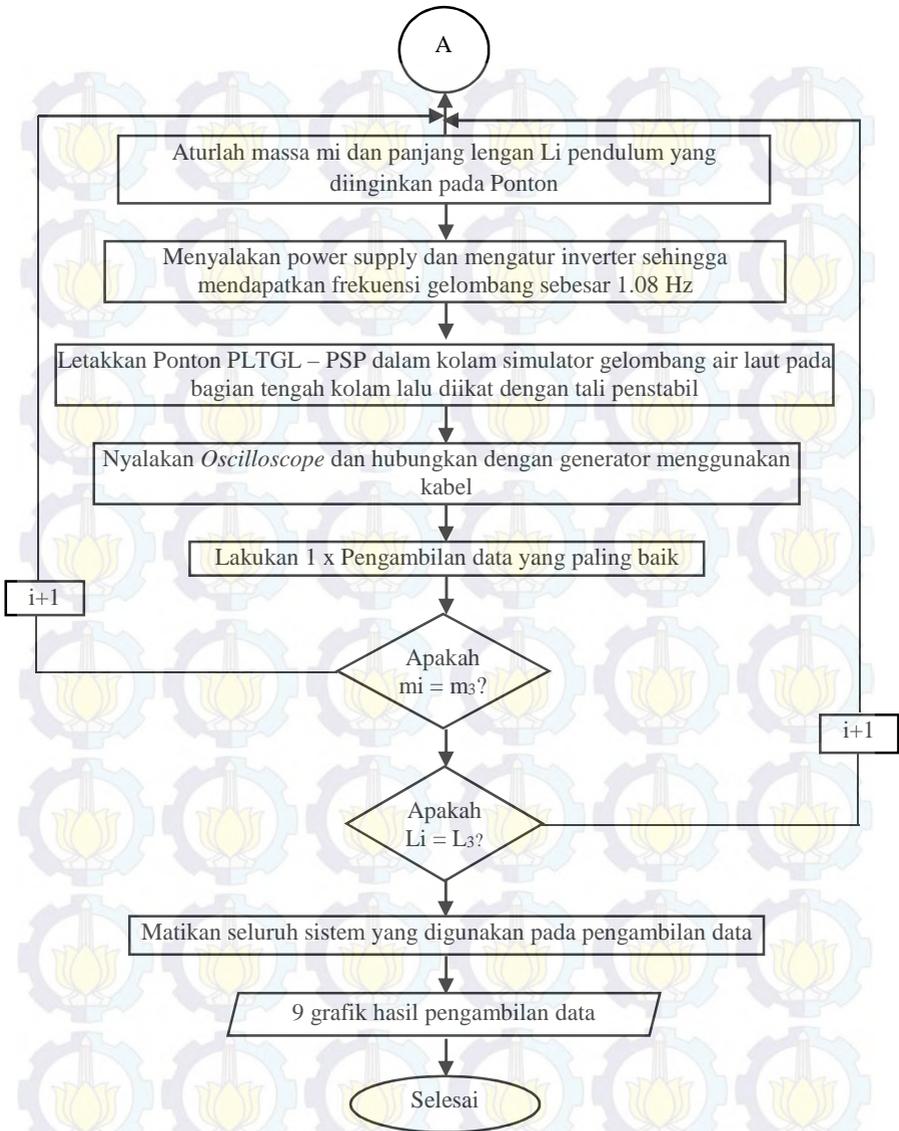
### 3.2.7. Pengambilan Data

Pengambilan data Ponton PLTGL - PSP 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 massa pendulum dan variasi panjang lengan pendulum.

### 3.2.8. Diagram Alir Pengambilan Data

Langkah - langkah dalam mengambil data pengujian PLTGL – PSP dapat disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.9.





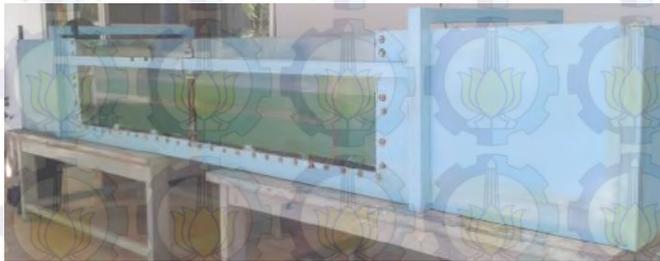
Gambar 3.9 Diagram alir pengambilan data

### 3.2.9. Peralatan Pengujian

Untuk melakukan studi eksperimental pada model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum ini dibutuhkan beberapa peralatan pengujian.

#### 1. Kolam

Kolam merupakan media untuk dilakukannya pengujian terhadap model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum ini dimana pada kolam tersebut dapat dihasilkan gelombang yang merupakan sumber utama dalam membangkitkan listrik melalui mekanisme yang dirancang. kolam yang digunakan seperti gambar 3.10.



Gambar 3.10. Kolam

#### 2. Model Mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum

Dalam dilakukannya pengujian tentunya menggunakan mekanisme yang telah dirancang yakni model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum dimana pada mekanisme ini terdiri atas komponen utama yakni ponton yang terkena gelombang laut mengakibatkan pendulum berputar dan diteruskan ke *gearbox* sebelum masuk ke generator, sehingga dapat menghasilkan listrik. Model mekanisme PLTGL Ponton *Single* Pendulum dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 PLTGL Ponton *Single Pendulum*

### 3. Perekam Data dan Pengolah Data

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 . Data tersebut berupa grafik voltase bangkitan induksi elektromagnetik terhadap waktu. *Digital Storage Oscilloscope* dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Digital Storage Oscilloscope*

### 3.2.10. Format Lembar Hasil Pengambilan Data

Lembar hasil pengambilan data digunakan untuk mencatat data voltase keluaran yang dihasilkan oleh generator pada Ponton PLTGL - PSP. Besar voltase keluaran dapat dilihat pada layar *oscilloscope*. Format dari lembar hasil pengambilan data seperti pada Tabel 3.3

Tabel 3.3. Contoh tabel data hasil pengujian

Panjang Lengan (cm)	Massa Pendulum (gr)	Vrms (Volt)
6	144	
	180	
	216	
8	144	
	180	
	216	
10	144	
	180	
	216	

### 3.2.11. Analisa

Data yang diperoleh dari hasil pengujian adalah berupa grafik dan voltase keluaran yang tertera pada layar *oscilloscope*. Dari data tersebut akan diolah dengan menggunakan matlab untuk menghilangkan *noise* yang terjadi sehingga dapat diketahui daya yang dihasilkan generator.

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Teoritis

Pada analisa teoritis digunakan persamaan dasar seperti yang telah dijelaskan pada BAB 2 yaitu, persamaan 2.6 mengenai mengenai daya yang dibangkitkan oleh gelombang air. Adapun persamaan daya gelombang laut adalah sebagai berikut.

$$P_W = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad (4.1)$$

Dimana,

$P_{wave}$  = wave power

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$H$  = tinggi gelombang (meter)

$T$  = periode

Adapun persamaan untuk mencari besar daya listrik adalah sebagai berikut.

$$T = m \times g \times \sin \beta \times L \cdot \sin \theta \quad (4.2)$$

$$P = T \times \omega \quad (4.3)$$

$$P = m \times g \times \sin \beta \times L \cdot \sin \theta \times \omega \quad (4.4)$$

$$P_e = P_{\text{mekanik}} \quad (4.5)$$

$$V \times I = \text{Torsi} \times \omega \quad (4.6)$$

Dimana,

$T$  = torsi pada pendulum

$m$  = massa pendulum

$g$  = gaya gravitasi

$L$  = lengan pendulum

$P$  = Daya

$P_m$  = Daya Mekanik

$P_e$  = Daya Elektrik

$I$  = Arus

#### 4.1.1 Contoh Perhitungan

Untuk mengetahui dan membandingkan energi bangkitan yang dihasilkan dari mekanisme PLTGL ini diperlukan contoh perhitungan. Contoh perhitungan ini bertujuan untuk menjelaskan energi yang dihasilkan dalam penelitian ini dan membandingkan hasil perhitungan daya bangkitan gelombang laut dengan daya hasil dari eksperimental. Adapun data-data perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$\rho = 996.95 \text{ kg/m}^3$

$A_{(S=175; F=12)} = 0,035 \text{ m}$

$H = 2 * A = 0,07 \text{ m}$

$f = 1.08 \text{ Hz} = 0.92 \text{ sec (periode)}$

$A = 0.035 \text{ meter}$

$$H = 0.07 \text{ meter}$$

$$= 3.1416$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Ditanya:

a) Daya gelombang laut ( $P_W$ )

b) Daya Eksperimen ( $P_{eks}$ )

c) Efisiensi mekanisme

Jawab:

a) Daya gelombang laut ( $P_W$ )

$$P_W = \frac{\rho \times g^2 \times H^2 \times periode}{32 \times \pi}$$

$$P_W = \frac{996.95 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.07 \text{ m}^2 \times 0.92 \text{ sec}}{32 \times 3.1416}$$

$$= 4.3278 \text{ Nm/sec}$$

b) *Power* yang dihasilkan eksperimen ( $P_{eks}$ )

$$P_{eks} = V_{eks} \times I_{eks}$$

$$P_{eks} = 0,142171 \text{ Volt} \times 0,03268 \text{ A} = 0.00464 \text{ Watt}$$

c) Efisiensi Mekanisme

$$\text{Efisiensi \%} = \frac{P_{eks}}{P_{wave}} \times 100$$

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{0.00464}{4.3278} \times 100 = 0.1072\%$$

## 4.2 Analisa Eksperimen

Pada analisa eksperimen akan ditampilkan data-data yang diperoleh saat dilakukannya eksperimen. Adapun data-data yang diperoleh berupa nilai voltase dan bentuk gelombang yang terekam dalam alat *oscilloscope*. Adapun ponton yang merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Ponton *Single* Pendulum (PLTGL - PSP) ini ditampilkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ponton PLTGL – PSP dalam simulator gelombang air

Keterangan:

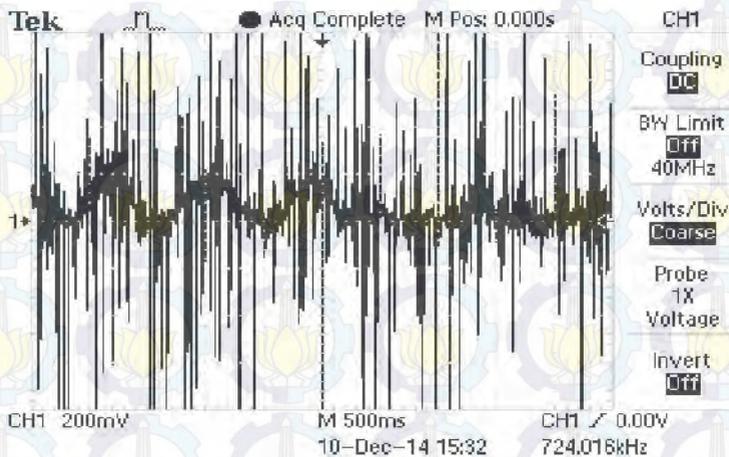
1. Sistem Ponton
2. Massa Pendulum
3. Lengan Pendulum
4. Roda Gigi Penerus dan penyearah
5. Motor DC

Pada gambar 4.1 di atas, menunjukkan ponton PLTGL – PSP yang digunakan saat eksperimen yang diposisikan pada bagian tengah kolam simulator gelombang air. Dimana kedua ujung ponton diikatkan dengan menggunakan tali penstabil pada dinding kolam sehingga letak ponton tidak berubah-ubah ketika terkena

gelombang dan memudahkan proses pengamatan serta pengambilan data. Adapun ponton terdiri dari komponen pendukung seperti terlihat pada gambar 4.1 yang telah dijelaskan secara terperinci pada BAB 3 berisi metodologi selama penelitian dilakukan. Bagian motor disambungkan ke *oscilloscope* dengan menggunakan kabel. Melalui *oscilloscope* didapatkan nilai voltase atau daya bangkitan dari ponton.

#### 4.2.1 Pengolahan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope*. Hasil dari *oscilloscope* akan menunjukkan nilai dari voltase atau daya bangkitan yang dihasilkan pada model mekanisme PLTGL – PSP dapat dilihat pada gambar 4.2. Data yang dihasilkan oleh *oscilloscope* tidak berupa voltase efektif karena terdapat *noise* (getaran di luar sistem) saat pengambilan data, sehingga dilakukan proses *smoothing* dan *filter* dengan menggunakan *software* Matlab.



Gambar 4.2 Data hasil eksperimen yang terekam oleh alat *oscilloscope*

Dari gambar 4.2 terlihat *noise* yang terbaca pada layar *oscilloscope* sangatlah besar. Oleh karena itu, pengambilan data yang dilakukan tidak menggunakan metode *single seq* melainkan metode *run-stop*. Pada gambar 4.2 terlihat hasil rekaman metode *run-stop* bahwa gelombang terputus atau tidak rekam penuh (*full record*) sebaliknya jika digunakan *single seq*. Saat menggunakan metode *single seq* khusus pada penelitian ini, data yang terekam bukanlah data akibat pergerakan ponton tetapi akibat *noise*.

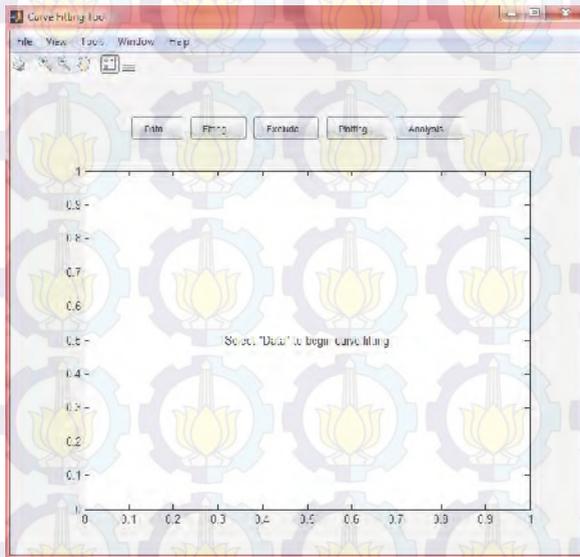
Setelah diperoleh data hasil rekaman pada *oscilloscope*, hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengolahan data. Adapun beberapa tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Misal, pada  $m=216$  gr,  $L=10$  cm,  $A= 3.5$  cm,  $f=1.08$  Hz.
2. Lihat data excel hasil rekaman oleh *oscilloscope* pada gambar 4.3 berikut ini.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Record Len	2,00E+04		-2,15	0,140				
2	Sample In	2,00E+03		-2,155	0,114				
3	Trigger Pct	1,25E+02		-2,125	0,104				
4				-2,424	0,12				
5				2,492	0,128				
6				2,49	0,104				
7	Source (CH)			2,494	0,141				
8	Vertical (V)			-2,150	0,195				
9	Vertical Sl	2,00E+01		-2,151	0,112				
10	Vertical O	0,00E+00		-2,152	0,128				
11	Horizontal			-2,45	0,12				
12	Horizontal	5,00E+01		2,478	0,072				
13	Probe Att	Y		4,476	0,025				
14	Probe	0,00E+00		2,474	0,144				
15	Probe Att	1,00E+00		-2,173	0,173				
16	Model Nu	TC1001D		-2,177	0,128				
17	Serial Nu	C056894		-2,155	0,12				
18	Firmware	TVv22.01		-2,455	0,112				
19				4,484	0,088				
20				2,457	0,146				
21				2,46	1,016				
22				-2,178	0,104				

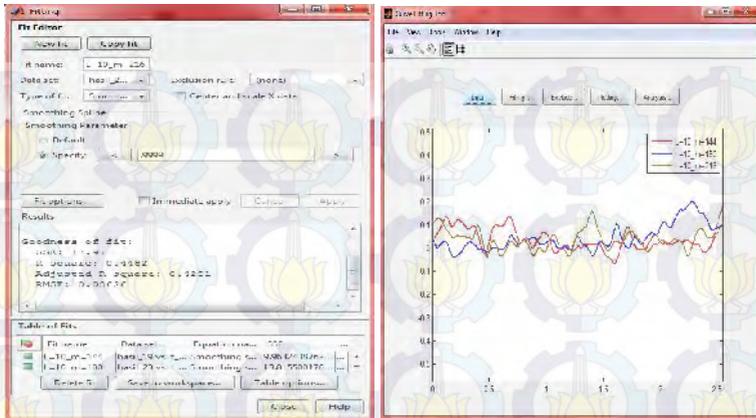
Gambar 4.3 Data hasil rekaman *oscilloscope*

3. Input data excel ke dalam matlab.
4. Ketik `fdatool` pada *command window*, pilih *normalized* dan ketik 0.2 – 0.8 pada kolom lalu pilih *object* hingga muncul data Hd pada *workspace*.
5. Ketik “`hasil=filter(Hd,voltase);`” Dimana *voltase* merupakan nama data yang dipanggil dari *workspace*.
6. Ketik `cftool` sehingga muncul gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 *Curve Fitting Tool*

7. Klik data untuk menginput data yang ingin diketahui besar RMS-nya.
8. Klik *fitting* setelah melakukan input data.
9. Klik *plotting* sehingga didapatkan data RMS dan gambar grafik perbandingan tegangan dan waktu seperti pada gambar 4.5 di bawah ini.



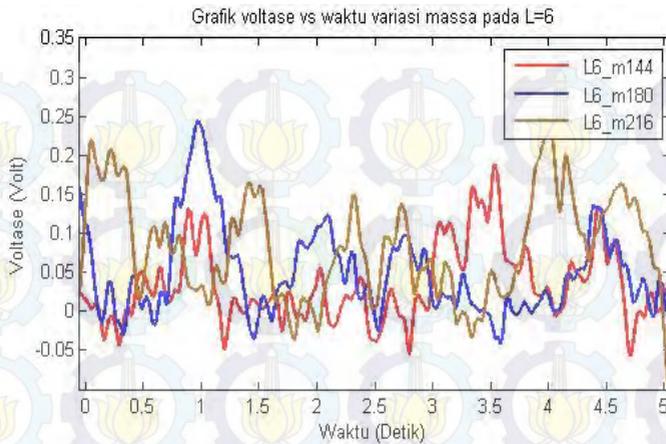
Gambar 4.5 Tampilan data RMS dan plot grafik data

Berdasar pada tampilan gambar 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa nilai RMS diperoleh sebesar 0.08626 (*block RMS*) disertai plot grafik voltase dan waktu. Dengan menggunakan metode yang sama diperoleh nilai RMS pada masing-masing voltase dari variasi massa dan lengan pendulum.

#### 4.2.2. Pengaruh massa pendulum terhadap energi listrik yang dihasilkan

##### 4.2.2.1. Variasi Massa Pendulum dengan $L=6$ cm

Pengaruh variasi massa pada pendulum dengan panjang lengan tetap yaitu sepanjang 6 cm, amplitudo tetap sebesar 3.5 cm dan frekuensi tetap sebesar 1.08 Hz, dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini. Dimana interval yang digunakan pada *oscilloscope* sumbu x 200 mV dan sumbu y 500 ms. Grafik waktu vs tegangan dengan variasi massa dan lengan tetap ( $L_1=6$  cm) dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut ini.



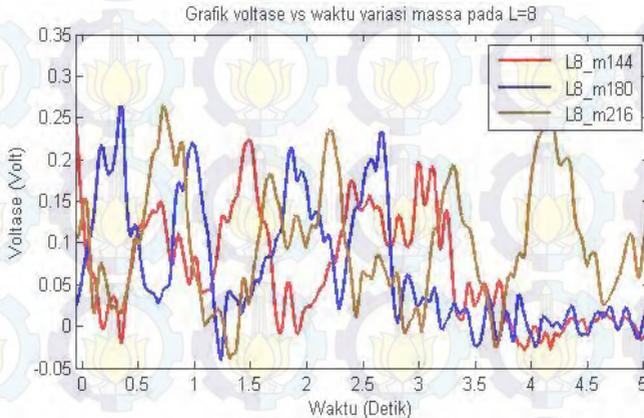
Gambar 4.6 Grafik waktu vs tegangan dengan variasi massa dan lengan tetap ( $L_1=6$  cm)

Pada gambar 4.6 terlihat grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu dan tegangan hasil dari pergerakan ponton dengan 3 variasi massa pada panjang lengan 6 cm. 3 variasi massa yang digunakan yaitu,  $m_1=144$  gram (0.144 kg),  $m_2=180$  gram (0.180 kg), dan  $m_3=216$  gram (0.216 kg). Grafik berwarna merah diberi nama L6m144 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 144 gram dan panjang lengan 6 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna biru diberi nama L6m180 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 180 gram dan panjang lengan 6 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna coklat diberi nama L6m216 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 216 gram dan panjang lengan 6 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik.

#### 4.2.2.2. Variasi Massa Pendulum dengan $L=8$ cm

Pengaruh variasi massa pada pendulum dengan panjang lengan tetap yaitu sepanjang 8 cm, amplitudo tetap sebesar 3.5 cm

dan frekuensi tetap sebesar 1.08 Hz, dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini. Dimana interval yang digunakan pada *oscilloscope* sumbu x 200 mV dan sumbu y 500 ms. Grafik waktu vs tegangan dengan variasi massa dan lengan tetap ( $L_2=8$  cm) pada gambar 4.7 berikut ini.



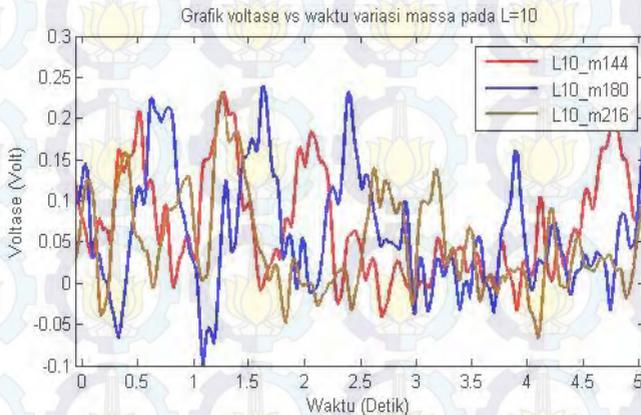
Gambar 4.7 Grafik waktu vs tegangan dengan variasi massa dan lengan tetap ( $L_2=8$  cm)

Pada gambar 4.7 terlihat grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu dan tegangan hasil dari pergerakan ponton dengan 3 variasi massa pada panjang lengan 8 cm. 3 variasi massa yang digunakan yaitu,  $m_1=144$  gram (0.144 kg),  $m_2=180$  gram (0.180 kg), dan  $m_3=216$  gram (0.216 kg). Grafik berwarna merah diberi nama L8m144 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 144 gram dan panjang lengan 8 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna biru diberi nama L8m180 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 180 gram dan panjang lengan 8 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna coklat diberi nama L8m216 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang

dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 216 gram dan panjang lengan 8 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik.

#### 4.2.2.3 Variasi Massa Pendulum dengan $L=10$ cm

Pengaruh variasi massa pada pendulum dengan panjang lengan tetap yaitu sepanjang 10 cm, amplitudo tetap sebesar 3.5 cm dan frekuensi tetap sebesar 1.08 Hz, dapat dilihat pada gambar 4.8 di bawah ini. Dimana interval yang digunakan pada *oscilloscope* sumbu x 200 mV dan sumbu y 500 ms. Grafik waktu vs tegangan dengan variasi massa dan lengan tetap ( $L_3=10$  cm) pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Grafik waktu vs tegangan dengan variasi massa dan lengan tetap ( $L_3=10$  cm)

Pada gambar 4.8 terlihat grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu dan tegangan hasil dari pergerakan ponton dengan 3 variasi massa pada panjang lengan 10 cm. 3 variasi massa yang digunakan yaitu,  $m_1=144$  gram (0.144 kg),  $m_2=180$  gram (0.180 kg), dan  $m_3=216$  gram (0.216 kg). Grafik berwarna merah diberi nama L10m144 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 144 gram dan panjang lengan 10 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik.

Grafik berwarna biru diberi nama L10m180 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 180 gram dan panjang lengan 10 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna coklat diberi nama L8m216 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 216 gram dan panjang lengan 10 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik.

#### 4.2.2.4 Analisa Variasi Massa dengan Panjang Lengan tetap

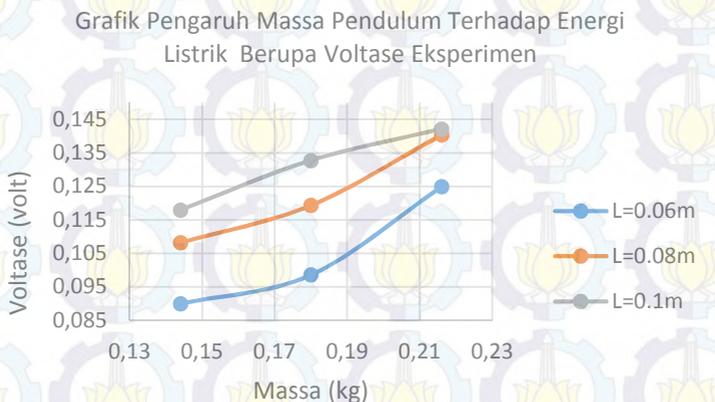
Nilai voltase dari variasi massa dengan panjang lengan tetap ditampilkan dalam bentuk tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Nilai voltase *Root Mean Square* pada variasi massa pendulum

Panjang Lengan (cm)	Massa Pendulum (gram)	Vrms (Volt)
6	144	0,0899
	180	0,0986
	216	0,1249
8	144	0,1082
	180	0,1194
	216	0,1404
10	144	0,1179
	180	0,1328
	216	0,1422

Adapun tabel 4.1 di atas merupakan tabel nilai tegangan rata-rata hasil eksperimen. Dimana memiliki bentuk grafik yang

berbeda-beda sesuai dengan data terekam pada *oscilloscope*. Adapun bentuk grafik voltase dapat dilihat pada pada gambar 4.9 di berikut ini.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh massa pendulum berupa voltase

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa terdapat tiga grafik berwarna biru, merah dan abu-abu. Grafik berwarna biru merupakan grafik hubungan voltase dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 6 cm dan diberi nama grafik “L=0.06m”. Grafik berwarna merah merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 8 cm dan diberi nama grafik “L=0.08m”. Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 10 cm dan diberi nama grafik “L=0.01m”.

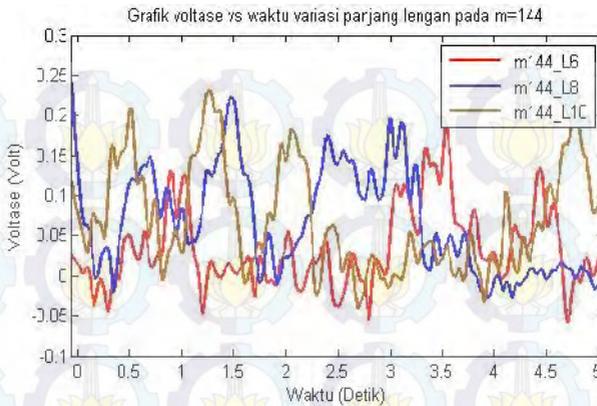
Pada gambar 4.9 *trendline* yang terbentuk pada ketiga grafik di atas adalah sama, yaitu semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya beban massa pada pendulum. Ketiga grafik di atas membentuk garis yang saling mendekati. Hal ini menandakan bahwa nilai ketiga grafik tidak jauh berbeda.

Adapun data voltase melalui eksperimen yang diperoleh pada penggunaan panjang lengan  $L=0.06$  m untuk massa sebesar  $0.144$  kg=  $0.0899$  volt,  $0.180$  kg=  $0.0986$  volt, dan  $0.216$  kg=  $0.1249$  volt, panjang lengan  $L=0.08$  m untuk massa sebesar  $0.144$  kg=  $0.1082$  volt,  $0.180$  kg=  $0.1194$  volt, dan  $0.216$  kg=  $0.1404$ , dan panjang lengan  $L=0.01$  m untuk massa sebesar  $0.144$  kg=  $0.1179$  volt,  $0.180$ kg=  $0.1328$  volt, dan  $0.216$  kg=  $0.1422$ . Hal ini sesuai bahwa besar nilai voltase sebanding dengan nilai massa pendulum. Sehingga semakin besar nilai massanya, maka nilai voltasepun akan semakin besar. Karena semakin besar massa, torsi yang dihasilkan semakin besar maka voltase yang dihasilkan semakin besar.

### **4.2.3 Pengaruh panjang lengan pendulum terhadap energi listrik yang dihasilkan**

#### **4.2.3.1 Variasi Panjang Lengan Pendulum dengan $m = 144$ gr**

Pengaruh variasi panjang lengan pendulum dengan massa pendulum tetap yaitu sebesar  $144$  gram, amplitudo tetap sebesar  $3.5$  cm dan frekuensi tetap sebesar  $1.08$  Hz, dapat dilihat pada gambar 4.9 di bawah ini. Dimana interval yang digunakan pada *oscilloscope* sumbu x  $200$  mV dan sumbu y  $500$  ms. Grafik waktu vs tegangan dengan variasi lengan dan massa tetap ( $m_1=144$  cm) pada gambar 4.10 berikut ini.



Gambar 4.10 Grafik waktu vs tegangan dengan variasi lengan dan massa tetap ( $m_1=144$  gr)

Pada gambar 4.10 terlihat grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu dan tegangan hasil dari pergerakan ponton dengan 3 variasi panjang lengan pada massa seberat 144 gram. 3 variasi panjang lengan yang digunakan yaitu,  $L_1=6$ cm (0.06 m),  $L_2=8$  cm (0.08 m),  $L_3=10$  cm (0.10 m). Grafik berwarna merah diberi nama m144L6 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 144 gram dan panjang lengan 6 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna biru diberi nama m144L8 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 144 gram dan panjang lengan 8 cm pada kisaran waktu 0 – 5 detik. Grafik berwarna coklat diberi nama m144L10 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 144 gram dan panjang lengan 10 cm pada kisaran waktu 0 – 5 detik.

#### 4.2.3.2 Variasi Panjang Lengan Pendulum dengan $m = 180$ gr

Pengaruh variasi panjang lengan pendulum dengan massa pendulum tetap yaitu sebesar 180 gram, amplitudo tetap sebesar 3.5 cm dan frekuensi tetap sebesar 1.08 Hz, dapat dilihat pada

gambar 4.11 di bawah ini. Dimana interval yang digunakan pada *oscilloscope* sumbu x 200 mV dan sumbu y 500 ms. Grafik waktu vs tegangan dengan variasi lengan dan massa tetap ( $m_2=180$  cm) pada gambar 4.11 berikut ini.

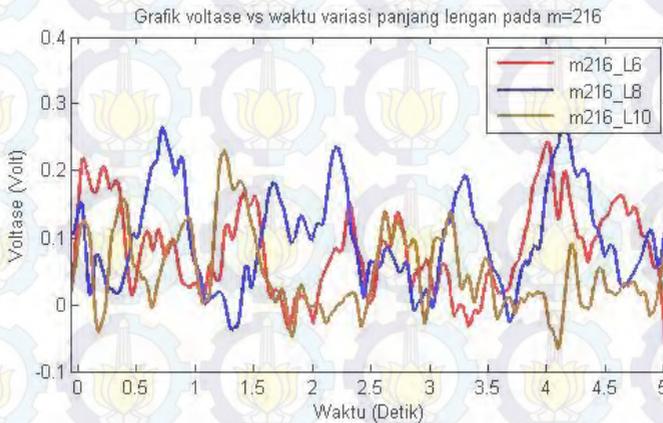


Gambar 4.11 Grafik waktu vs tegangan dengan variasi lengan dan massa tetap ( $m_2=180$  gr)

Pada gambar 4.11 terlihat grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu dan tegangan hasil dari pergerakan ponton dengan 3 variasi panjang lengan pada massa seberat 180 gram. 3 variasi lengan yang digunakan yaitu,  $L_1=6$ cm (0.06 m),  $L_2=8$  cm (0.08 m),  $L_3=10$  cm (0.1 m). Grafik berwarna merah diberi nama m180L6 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 180 gram dan panjang lengan 6 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna biru diberi nama m180L8 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 180 gram dan panjang lengan 8 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna coklat diberi nama m180L10 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 180 gram dan panjang lengan 10 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik.

### 4.2.3.3 Variasi Panjang Lengan Pendulum dengan $m = 216$ gr

Pengaruh variasi panjang lengan pendulum dengan massa pendulum tetap yaitu sebesar 216 gram, amplitudo tetap sebesar 3.5 cm dan frekuensi tetap sebesar 1.08 Hz, dapat dilihat pada gambar 4.12 di bawah ini. Dimana interval yang digunakan pada *oscilloscope* sumbu x 200 mV dan sumbu y 500 ms. Grafik waktu vs tegangan dengan variasi lengan dan massa tetap ( $m_3=216$  cm) pada gambar 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Grafik waktu vs tegangan dengan variasi lengan dan massa tetap ( $m_3=216$  gr)

Pada gambar 4.12 terlihat grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu dan tegangan hasil dari pergerakan ponton dengan 3 variasi panjang lengan pada massa seberat 216 gram. 3 variasi lengan yang digunakan yaitu,  $L_1=6$ cm (0.06 m),  $L_2=8$  cm (0.08 m),  $L_3=10$  cm (0.1 m). Grafik berwarna merah diberi nama m216L6 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 216 gram dan panjang lengan 6 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna biru diberi nama m216L8 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan

massa 216 gram dan panjang lengan 8 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik. Grafik berwarna coklat diberi nama m216L10 yang berarti menggambarkan pola grafik tegangan yang dihasilkan ponton dengan menggunakan massa 216 gram dan panjang lengan 10 cm pada kisaran waktu 0 - 5 detik.

#### 4.2.3.4 Analisa Variasi Panjang Lengan dengan Massa tetap

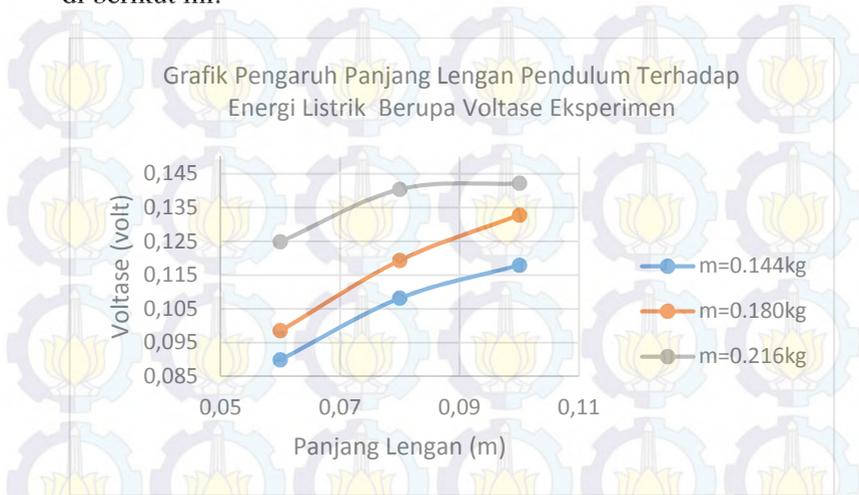
Nilai voltase dari variasi Panjang Lengan dengan Massa tetap ditampilkan dalam bentuk tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Nilai voltase *Root Mean Square* pada variasi panjang lengan

Massa Pendulum (gram)	Panjang Lengan (cm)	Vrms (Volt)
144	6	0,0899
	8	0,1081
	10	0,1179
180	6	0,0986
	8	0,1193
	10	0,1327
216	6	0,1249
	8	0,1404
	10	0,1421

Adapun tabel 4.2 di atas merupakan tabel nilai tegangan rata-rata hasil eksperimen. Dimana memiliki bentuk grafik yang berbeda-beda sesuai dengan data terekam pada *oscilloscope*.

Adapun bentuk grafik voltase dapat dilihat pada pada gambar 4.13 di berikut ini.



Gambar 4.13 Grafik pengaruh panjang lengan berupa voltase

Dari gambar 4.13 terlihat bahwa terdapat tiga grafik berwarna biru, merah dan abu-abu. Grafik berwarna biru merupakan grafik hubungan voltase dan massa yang didapat dari eksperimen pada massa 0.144 kg dan diberi nama grafik “ $m=0.144\text{kg}$ ”. Grafik berwarna merah merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada massa 0.180 kg dan diberi nama grafik “ $m=0.180\text{kg}$ ”. Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada massa 0.216 kg dan diberi nama grafik “ $m=0.216\text{kg}$ ”.

Pada gambar 4.13 *trendline* yang terbentuk pada ketiga grafik di atas adalah semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya panjang lengan pendulum. Ketiga grafik di atas membentuk garis yang saling mendekati. hal ini menandakan bahwa nilai ketiga grafik tidak jauh berbeda.

Adapun data besar voltase melalui eksperimen yang diperoleh pada massa=0.144 kg pada panjang lengan  $L=0.06\text{ m} = 0.0899\text{ volt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{m} = 0.1082\text{ volt}$ , panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 0.1179\text{ volt}$ . Voltase melalui eksperimen yang diperoleh pada massa=0.180 kg untuk panjang lengan  $L=0.06\text{m} = 0.0986\text{ volt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{m} = 0.1194\text{ volt}$ , panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 0.1328\text{ volt}$ . Voltase melalui eksperimen yang diperoleh pada massa=0.216 kg untuk panjang lengan  $L=0.06\text{m} = 0.1249\text{ volt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{m} = 0.1404\text{ volt}$ , panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 0.1422\text{ volt}$ . Hal ini sesuai bahwa besar nilai voltase sebanding dengan nilai Panjang Lengan Pendulum. Sehingga semakin panjang lengan pendulum, maka nilai voltasepun akan semakin besar. Karena semakin besar massa torsi yang dihasilkan semakin besar maka voltase yang dihasilkan semakin besar.

### **4.3. Pembahasan**

Pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil dari eksperimen dengan daya ombak . Sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai besarnya nilai optimum energi listrik yang dihasilkan pada penelitian ini dengan menggunakan ukuran massa dan panjang lengan yang tepat (perputaran pendulum mendekati stabil, konstan dan ponton tidak terlalu miring mendekati keadaan akan tenggelam).

#### **4.3.1 Pengaruh Massa Pendulum terhadap Energi Listrik yang Dhasilkan**

Nilai daya eksperimen dari variasi massa dengan panjang lengan tetap ditampilkan dalam bentuk tabel 4.3 dan gambar 4.14 berikut ini.

Tabel 4.3 Daya eksperimen pada variasi massa pendulum.

Panjang Lengan (m)	Massa Pendulum (kg)	Daya Eksperimen (mWatt)
0,06	0,144	2,182
	0,180	2,756
	0,216	3,512
0,08	0,144	2,970
	0,180	3,408
	0,216	4,107
0,10	0,144	3,633
	0,180	4,209
	0,216	4,646

Grafik Pengaruh Massa Pendulum Terhadap Energi Listrik Berupa Daya Eksperimen



Gambar 4.14 Grafik pengaruh variasi massa berupa daya

Dari gambar 4.14 terlihat bahwa terdapat tiga grafik berwarna biru, merah dan abu-abu. Grafik berwarna biru merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 6 cm dan diberi nama grafik “ $L=0.06\text{m}$ ”. Grafik berwarna merah merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 8 cm dan diberi nama grafik “ $L=0.08\text{m}$ ”. Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 10 cm dan diberi nama grafik “ $L=0.10\text{m}$ ”.

Pada gambar 4.14 *trendline* yang terbentuk pada ketiga grafik di atas adalah sama yaitu, semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya beban massa pada pendulum. Ketiga grafik di atas membentuk garis yang saling mendekati. Hal ini menandakan bahwa nilai ketiga grafik tidak jauh berbeda.

Adapun data besar daya listrik melalui eksperimen yang diperoleh pada penggunaan panjang lengan  $L=0.06\text{ m}$  untuk massa sebesar  $0.144\text{ kg}= 2.182\text{ mWatt}$ ,  $0.180\text{ kg}= 2.756\text{ mWatt}$ , dan  $0.216\text{ kg}= 3.512\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{ m}$  untuk massa sebesar  $0.144\text{ kg}= 2.970\text{ mWatt}$ ,  $0.180\text{ kg}= 3.408\text{ mWatt}$ , dan  $0.216\text{ kg}= 4.107\text{ mWatt}$ , dan panjang lengan  $L=0.10\text{ m}$  untuk massa sebesar  $0.144\text{ kg}= 3.633\text{ mWatt}$ ,  $0.180\text{ kg}= 4.209\text{ mWatt}$ , dan  $0.216\text{ kg}= 4.646\text{ mWatt}$ . Hasil ini sudah sesuai karena pada analisa secara teoritis dengan menggunakan massa pendulum yang lebih ringan, energi berupa daya bangkitan menjadi lebih kecil dan sebaliknya saat dilakukan penambahan beban pada massa pendulum maka daya bangkitan semakin besar. Hal ini dikarenakan penggunaan massa yang lebih berat meningkatkan torsi pada pendulum. Daya listrik yang terbesar pada panjang lengan  $L=0.10\text{ m}$  untuk massa sebesar  $0.216\text{ kg}= 4.646\text{ mWatt}$  dan daya listrik yang terkecil pada panjang lengan  $L=0.06\text{ m}$  untuk massa sebesar  $0.144\text{ kg}= 2.182\text{ mWatt}$ .

### 4.3.2 Pengaruh Panjang Lengan Pendulum terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

Nilai daya eksperimen dari variasi panjang lengan dengan massa tetap ditampilkan dalam bentuk tabel 4.4 dan gambar 4.15 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Daya eksperimen pada variasi panjang lengan

Massa Pendulum (kg)	Panjang Lengan (m)	Daya Eksperimen (mWatt)
0,144	0,06	2,182
	0,08	2,970
	0,10	3,633
0,180	0,06	2,756
	0,08	3,408
	0,10	4,209
0,216	0,06	3,512
	0,08	4,107
	0,10	4,646

Grafik Pengaruh Panjang Lengan Pendulum Terhadap Energi Listrik Berupa Daya Eksperimen



Gambar 4.15 Grafik variasi panjang lengan

Dari gambar 4.15 terlihat bahwa terdapat tiga grafik berwarna biru, merah dan abu-abu. Grafik berwarna biru merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada massa 0.144 kg dan diberi nama grafik “ $m=0.144\text{kg}$ ”. Grafik berwarna merah merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada massa 0.180 kg dan diberi nama grafik “ $m=0.180\text{kg}$ ”. Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik hubungan daya dan massa yang didapat dari eksperimen pada massa 0.216 kg dan diberi nama grafik “ $m=0.216\text{kg}$ ”.

Pada Gambar 4.15 *trendline* yang terbentuk pada ketiga grafik di atas adalah semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya panjang lengan pendulum. Ketiga grafik di atas membentuk garis yang saling mendekati. Hal ini menandakan bahwa nilai ketiga grafik tidak jauh berbeda.

Adapun data besar daya listrik melalui eksperimen yang diperoleh pada massa=0.144 kg pada panjang lengan  $L=0.06\text{ m} = 2.182\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{m} = 2.970\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 3.633\text{ mWatt}$ . Daya listrik melalui eksperimen yang diperoleh pada massa=0.180 kg untuk panjang lengan  $L=0.06\text{m} = 2.756\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{m} = 3.408\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 4.209\text{ mWatt}$ . Daya listrik melalui eksperimen yang diperoleh pada massa=0.216 kg untuk panjang lengan  $L=0.06\text{m} = 3.512\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.08\text{m} = 4.107\text{ mWatt}$ , panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 4.646\text{ mWatt}$ . Hasil ini sudah sesuai karena pada analisa secara teoritis dengan menggunakan panjang lengan pendulum yang lebih pendek, energi berupa daya bangkitan menjadi lebih kecil dan sebaliknya saat dilakukan penambahan panjang lengan pendulum maka daya bangkitan semakin besar. Hal ini dikarenakan penggunaan panjang lengan yang lebih panjang menambah berat pendulum maka meningkatkan torsi pada pendulum. Daya listrik terbesar pada massa=0.216 kg untuk panjang lengan  $L=0.1\text{m} = 4.646\text{ mWatt}$  dan

daya listrik terkecil pada massa=0.144 kg pada panjang lengan  $L=0.06 \text{ m} = 2.182 \text{ mWatt}$ .

#### 4.4 Effisiensi Mekanisme

##### 4.4.1 Effisiensi Pengaruh Variasi Massa Pendulum

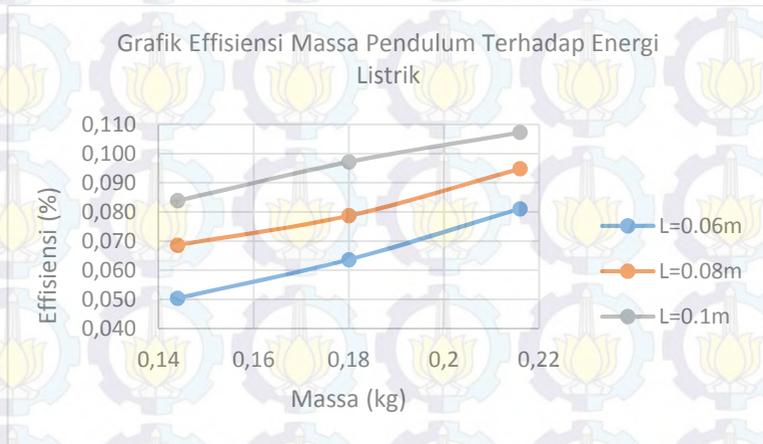
Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai effiseien daya ombak dengan daya eksperimen pada variasi massa pendulum.

Tabel 4.5 Effisiensi antara daya ombak dengan daya eksperimen pada variasi massa pendulum.

Panjang Lengan (m)	Massa Pendulum (kg)	Daya Eksperimen (mWatt)	Daya Ombak (Pw)	Eff (%)
0,06	0,144	2,182	4,3278	0,0504
	0,180	2,756	4,3278	0,0636
	0,216	3,512	4,3278	0,0811
0,08	0,144	2,970	4,3278	0,0686
	0,180	3,408	4,3278	0,0787
	0,216	4,107	4,3278	0,0949
0,10	0,144	3,633	4,3278	0,0839
	0,180	4,209	4,3278	0,0972
	0,216	4,646	4,3278	0,1073

Untuk mengetahui effisiensi dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Ponton *Single* Pendulum ( PLTGL-PSP ) maka dilakukan sebuah analisa dengan grafik effisiensi. Dimana dengan mengetahui effisiensi mekanisme maka

dapat dilakukan analisa lebih lanjut tentang upaya perbaikan dari model mekanisme PLTGL-PSP. Dari Tabel 4.5 dapat dilihat nilai efisiensi variasi massa antara daya eksperimen dengan daya ombak. Berikut Gambar 4.16 Grafik efisiensi massa pendulum antara daya eksperimen dengan daya ombak.



Gambar 4.16 Grafik efisiensi pengaruh massa pendulum

Dari gambar 4.16 terlihat bahwa terdapat tiga grafik berwarna biru, merah dan abu-abu. Grafik berwarna biru merupakan grafik hubungan efisiensi dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 6 cm dan diberi nama grafik “L=0.06m”. Grafik berwarna merah merupakan grafik hubungan efisiensi dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 8 cm dan diberi nama grafik “L=0.08m”. Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik hubungan efisiensi dan massa yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 10 cm dan diberi nama grafik “L=0.01m”.

Pada gambar 4.16 *trendline* yang terbentuk pada ketiga grafik di atas adalah sama yaitu, semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya beban massa pada pendulum. Ketiga

grafik di atas membentuk garis yang saling mendekati. Hal ini menandakan bahwa nilai ketiga grafik tidak jauh berbeda.

Adapun besar efisiensi yang diperoleh pada panjang lengan  $L=0.06$  m untuk massa sebesar  $0.144 \text{ kg} = 0.0504\%$ ,  $0.180 \text{ kg} = 0.0636\%$ , dan  $0.216 \text{ kg} = 0.0811\%$ , panjang lengan  $L=0.08$  m untuk massa sebesar  $0.144 \text{ kg} = 0.0686\%$ ,  $0.180 \text{ kg} = 0.0787\%$ , dan  $0.216 \text{ kg} = 0.0949\%$ , panjang lengan  $L=0.1$  m untuk massa sebesar  $0.144 \text{ kg} = 0.0839\%$ ,  $0.180 \text{ kg} = 0.0972\%$ , dan  $0.216 \text{ kg} = 0.1073\%$ . Hasil ini sudah sesuai karena pada analisa secara teoritis dengan menggunakan massa pendulum yang lebih ringan, efisiensi menjadi lebih kecil dan sebaliknya saat dilakukan penambahan beban pada massa pendulum maka efisiensi semakin besar. Hal ini dikarenakan penggunaan massa yang lebih berat meningkatkan torsi pada pendulum.

#### 4.4.2 Efisiensi Pengaruh Variasi Panjang Lengan Pendulum

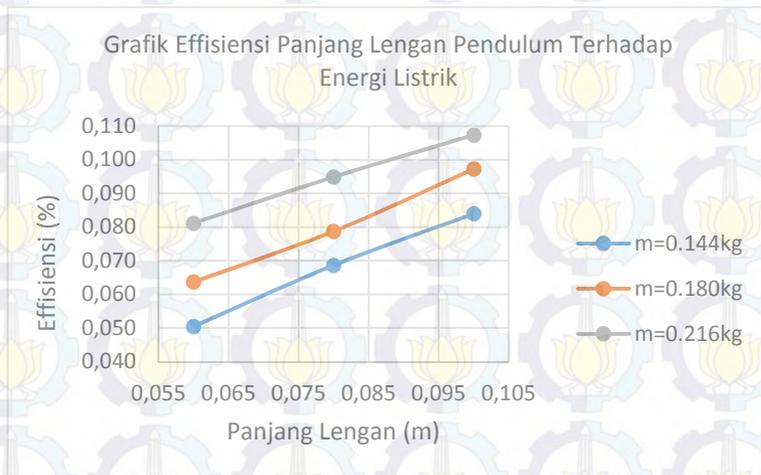
Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi daya ombak dengan daya eksperimen pada variasi panjang lengan pendulum.

Tabel 4.6 Tabel efisiensi antara daya ombak dengan daya eksperimen pada variasi panjang lengan.

Massa Pendulum (kg)	Panjang Lengan (m)	Daya Eksperimen (mWatt)	Daya Ombak (Pw)	Eff (%)
0,144	0,06	2,182	4,3278	0,0504
	0,08	2,970	4,3278	0,0686
	0,10	3,633	4,3278	0,0840
0,180	0,06	2,756	4,3278	0,0637
	0,08	3,408	4,3278	0,0787
	0,10	4,209	4,3278	0,0973

0,216	0,06	3,512	4,3278	0,0812
	0,08	4,107	4,3278	0,0949
	0,10	4,646	4,3278	0,1073

Untuk mengetahui efisiensi dari mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Ponton *Single* Pendulum ( PLTGL-PSP ) maka dilakukan sebuah analisa dengan grafik efisiensi. Dimana dengan mengetahui efisiensi mekanisme maka dapat dilakukan analisa lebih lanjut tentang upaya perbaikan dari mekanisme PLTGL-PSP. Dari Tabel 4.6 dapat dilihat nilai efisiensi panjang pendulum antara daya eksperimen dengan daya ombak. Berikut gambar 4.17 Grafik efisiensi panjang pendulum.



Gambar 4.17 Grafik efisiensi pengaruh panjang lengan pendulum

Dari gambar 4.17 terlihat bahwa terdapat tiga grafik berwarna biru, merah dan abu-abu. Grafik berwarna biru merupakan grafik hubungan efisiensi dan panjang lengan pendulum yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 6

cm dan diberi nama grafik “ $L=0.06m$ ”. Grafik berwarna merah merupakan grafik hubungan efisiensi dan panjang lengan pendulum yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 8 cm dan diberi nama grafik “ $L=0.08m$ ”. Grafik berwarna abu-abu merupakan grafik hubungan efisiensi dan panjang lengan pendulum yang didapat dari eksperimen pada lengan sepanjang 10 cm dan diberi nama grafik “ $L=0.1m$ ”.

Pada gambar 4.17 *trendline* yang terbentuk pada ketiga grafik di atas adalah sama yaitu, semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya panjang lengan pendulum. Ketiga grafik di atas membentuk garis yang saling mendekati. Hal ini menandakan bahwa nilai ketiga grafik tidak jauh berbeda.

Adapun data besar efisiensi yang diperoleh pada massa=0.144 kg pada panjang lengan  $L=0.06 m = 0.0504\%$ , panjang lengan  $L=0.08m = 0.0686\%$ , panjang lengan  $L=0.1m = 0.0840\%$ . Efisiensi yang diperoleh pada massa=0.180 kg untuk panjang lengan  $L=0.06m = 0.0637\%$ , panjang lengan  $L=0.08m = 0.0787\%$ , panjang lengan  $L=0.1m = 0.0973\%$ . Efisiensi yang diperoleh pada massa=0.216 kg untuk panjang lengan  $L=0.06m = 0.0812\%$ , panjang lengan  $L=0.08m = 0.0949\%$ , panjang lengan  $L=0.1m = 0.1073\%$ . Hasil ini sudah sesuai karena pada analisa secara teoritis dengan menggunakan panjang lengan pendulum yang lebih pendek, efisiensi menjadi lebih kecil dan sebaliknya saat dilakukan penambahan panjang lengan pendulum maka efisiensi semakin besar. Hal ini dikarenakan penggunaan lengan yang lebih panjang sehingga menambah berat pendulum maka meningkatkan torsi pada pendulum.

#### 4.5 Skala Model Mekanisme PLTGL-PSP

Skala model ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara skala laboratorium dengan mekanisme sesungguhnya di laut

lepas. Setiap laut dan pantai yang berada di Indonesia memiliki karakteristik gelombang yang berbeda-beda, sehingga dipilih salah satu laut di Indonesia yang dijadikan skala sebenarnya, yaitu Laut Jawa.

Berdasarkan Badan Meteorologi klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia, diketahui bahwa rata-rata tinggi gelombang yang terjadi di Laut Jawa adalah sekitar 0.7 m sampai dengan 2 m. Jika dipilih tinggi gelombang sebesar 1 m dan dibandingkan dengan model mekanisme PLTGL-PSP yang dibuat dengan efisiensi sebesar 0.1072% yang berada pada amplitudo gelombang 0.035 m atau tinggi gelombang 0.07 m, maka didapat skala antara mekanisme PLTGL-PSP yang berada di laut lepas dengan model mekanisme laboratorium sebesar 1:15.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisa dan pembahasan pada PLTGL ponton *single* pendulum dengan variasi massa dan panjang lengan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai daya terbesar untuk variasi massa pada massa 216 gram dan panjang lengan pendulum ( $L$ ) = 10 cm yaitu 4.646 mWatt.
2. Nilai daya terbesar untuk variasi panjang lengan pendulum pada panjang lengan pendulum ( $L$ ) = 10 cm dan massa 216 gram yaitu 4.646 mWatt.
3. Nilai efisiensi terbesar pada panjang lengan pendulum ( $L$ ) = 10 cm dan massa 216 gram yaitu 0,1073% .

#### **5.2 Saran**

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik adalah:

1. Proses perakitan saat pembuatan ponton dioptimalkan. Karena proses ini merupakan proses terpenting yang sangat mempengaruhi validitas data yang diperoleh saat eksperimen.
2. Diperlukan penyempurnaan pada simulator pembuat gelombang laut yang dapat mengkondisikan gelombang laut seperti asli.
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat memasang kaitan tali pada ponton sesuai pada titik engsel pada ponton tersebut.



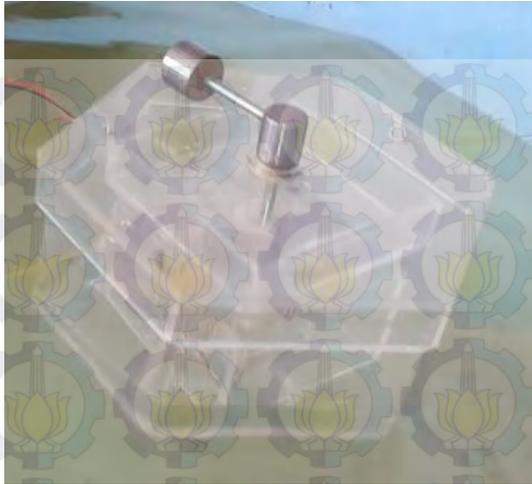
## LAMPIRAN PONTON



**Gambar Lampiran 1** Ponton Dengan panjang lengan 6 cm dan massa 144 gr



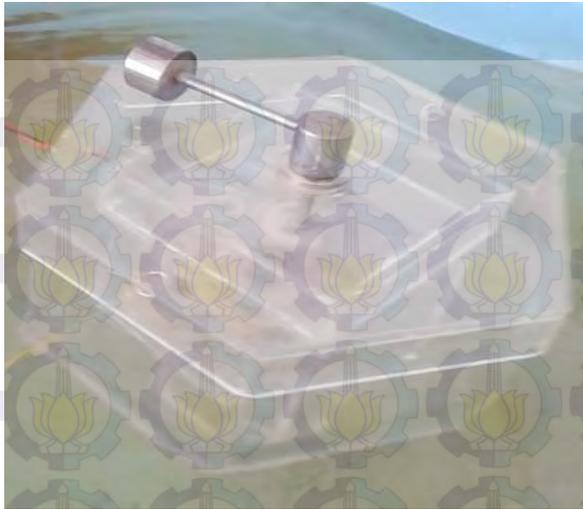
**Gambar Lampiran 2** Ponton Dengan panjang lengan 6 cm dan massa 180 gr



**Gambar Lampiran 3** Ponton Dengan panjang lengan 6 cm dan massa 216 gr



**Gambar Lampiran 4** Ponton Dengan panjang lengan 8 cm dan massa 144 gr



**Gambar Lampiran 5** Ponton Dengan panjang lengan 8 cm dan massa 180 gr



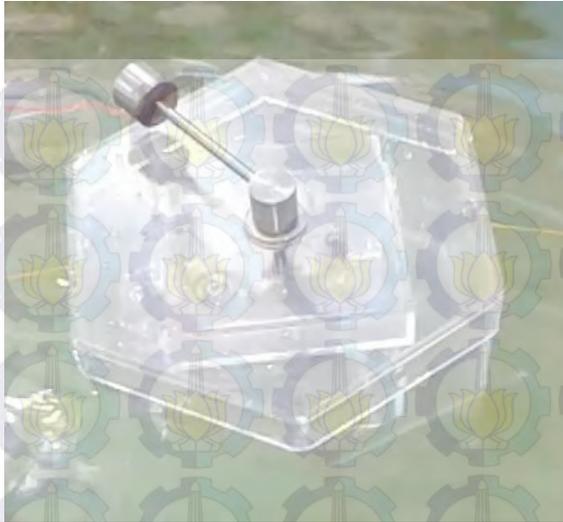
**Gambar Lampiran 6** Ponton Dengan panjang lengan 8 cm dan massa 216 gr



**Gambar Lampiran 7** Ponton Dengan panjang lengan 10 cm dan massa 144 gr



**Gambar Lampiran 8** Ponton Dengan panjang lengan 10 cm dan massa 180 gr



**Gambar Lampiran 9** Ponton Dengan panjang lengan 10 cm dan massa 216 gr



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2010. "World Energy Council". **International Ocean Energy Workshop**. Grand Palace Hotel, Surabaya, 17 Desember.

Intelligent Energy Europe. **Ocean Energy: State of The Art**. Europe

Lev A. Ostrovsky, Alexander I. Potapov, 2002. **Modulated Waves: Theory and Application**, Europe: Johns Hopkins University Press.

Mork, G., Barstow, S., Pontes, M.T. and Kabuth, A, 2010. "Assessing the global wave energy potensial". **Proceedings of OMAE 2010 (ASME), 29<sup>th</sup> International Conference on Ocean, Offshore Mechanics and Arctic Engineering**. Shanghai, China, 6 - 10 Juni.

Nihous, G.C., 2007. "A preliminary assessment of ocean termal energy conversion resources". **Journal of Energy Resources Technology**.

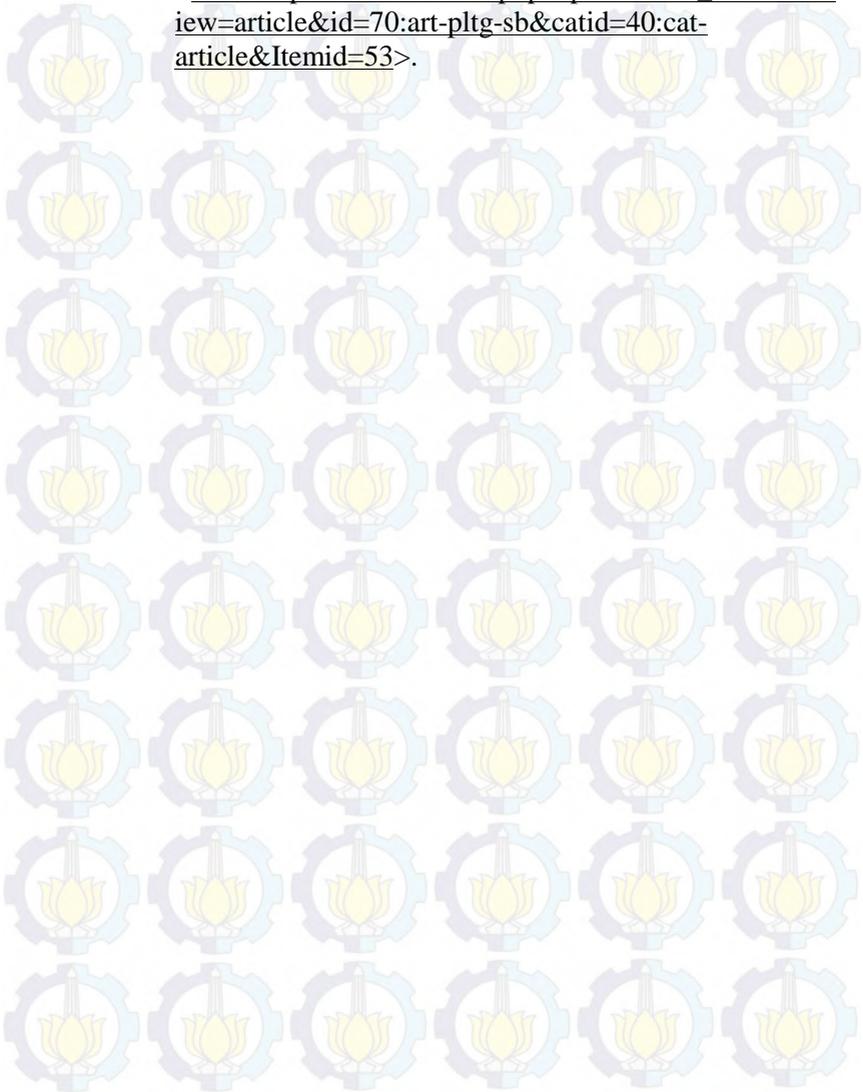
Ocean Energy Glossary. 2007. **Co - ordinated Action of Ocean Energy (CA - OE) within collaborative action with implementing Agreement on Ocean Energy Sistem (IEA - OES)**.

Prof. Dr. Mukhtasor. 2013. "Ocean Energy Policy and Development in Indonesia". **International Ocean Energy Workshop**. Grand Palace Hotel, Surabaya, 17 Desember.

Anonim, 17 Februari 2014. **Pelayaran Sungai dan Danau / Dasar – Dasar Kapal**, <URL: [http://id.wikibooks.org/wiki/Pelayaran\\_Sungai\\_dan\\_Danau/Dasar-dasar\\_Kapal](http://id.wikibooks.org/wiki/Pelayaran_Sungai_dan_Danau/Dasar-dasar_Kapal)>.

Balitbang Ketenagalistrikan PLN dan LPPM ITS, 2010. **Studi Pemodelan dan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga**

**Gelombang Laut - Sistem Bandulan (PLTGL - SB),**  
<[URL:http://aseli.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70:art-pltg-sb&catid=40:cat-article&Itemid=53](http://aseli.co/index.php?option=com_content&view=article&id=70:art-pltg-sb&catid=40:cat-article&Itemid=53)>.



## RIWAYAT HIDUP



Andromeda Yori dilahirkan di Batam pada tanggal 10 Maret 1991. Penulis merupakan putra pertama dari tiga bersaudara pasangan Yoldra Mandri dan Risnayenti.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN 1 Batam dan lulus pada tahun 2003, lalu melanjutkan studi ke SMPN 10 Batam dan lulus pada tahun 2006, kemudian penulis melanjutkan studi ke SMK Kartini Batam dan lulus pada tahun 2009. Setelah masa studi SMK selesai, penulis melanjutkan studi program Diploma ke Universitas Gadjah Mada Yogyakarta jurusan Teknik Mesin dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan program sarjana di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Desain. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Massa dan Panjang Pendulum terhadap Energi Listrik yang dihasilkan (Desain Ulang) Model Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Metode Ponton Single Pendulum”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini:

[andromedayori10@gmail.com](mailto:andromedayori10@gmail.com)