

# **TUGAS AKHIR**

## **PERANCANGAN ALAT KONVERSI ENERGI TENAGA GELOMBANG AIR DENGAN MENGAPLIKASIKAN TEKNIK PENDULUM**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**ANDRI MUSTAFA**  
**1607230024**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Andri Mustafa  
NPM : 1607230024  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga  
Gelombang Air Dengan Mengaplikasikan Teknik  
Pendulum  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 8 Maret 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

Dosen Penguji



Sudirman Lubis, S.T., M.T.

Dosen Penguji



Chandra A Siregar S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,



Andri, S.T., M.T.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Andri Mustafa  
Tempat /Tanggal Lahir : Serapuh/21 Juli 1998  
NPM : 1607230024  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga Gelombang Air Dengan Mengaplikasikan Teknik Pendulum”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 8 April 2021

Saya yang menyatakan,



Andri Mustafa

## ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi pengembangan sumber daya kelautan yang sangat besar karena Indonesia adalah Negara kepulauan terbesar di dunia, salah satu potensi tersebut adalah gelombang laut. Energi gelombang laut dapat dipanen dengan berbagai mekanisme. Salah satunya mekanisme pendulum dimanfaatkan untuk memanen energi ini. Mekanisme ini dapat berupa pendulum horizontal dan pendulum vertikal yang ditempatkan di atas ponton. Tempat dilaksanakannya kegiatan penelitian ini adalah laboratorium teknik mesin universitas muhammadiyah sumatera utara. Penelitian ini akan merancang 3 konsep alat konversi energi listrik tenaga gelombang dengan mengaplikasikan teknik pendulum, memilih satu konsep dari tiga konsep yang dirancang, menganalisa kuat arus listrik yang dihasilkan alat konversi energi listrik tenaga gelombang dengan mengaplikasikan teknik pendulum. Berdasarkan uji konsep pada rancangan alat pembangkit listrik tenaga gelombang teknik pendulum konsep 2 yang memenuhi kriteria untuk dibuat rancangan pembuatannya, Setelah pengujian alat di dapat hasil dengan ketinggian air 30 cm, tinggi gelombang 2 cm dan panjang gelombang 66 cm menghasilkan listrik 0,01 mdcA.

Kata kunci : Perancangan, Konversi Energi, Teknik pendulum, energi gelombang air

## **ABSTRACT**

*Indonesia has a very large potential for developing marine resources because Indonesia is the largest archipelagic country in the world, one of these potentials is sea waves. Ocean wave energy can be harvested in many ways. One of them is the pendulum being used to harvest this energy. This mechanism can be a horizontal pendulum and a vertical pendulum placed over the pontoon. The place where this research activity is carried out is the mechanical engineering laboratory of Muhammadiyah University of North Sumatra. This study will design 3 concepts of a wave-powered electric energy conversion device by applying the pendulum technique, selecting one concept from the three designed concepts, analyzing the electric current generated by the wave power electric energy conversion device by applying the pendulum technique. Based on the concept test on the design of the wave power generator, pendulum technique, concept 2 that meets the criteria for the design, After testing the tool, the results can be obtained with a water height of 30 cm, a wave height of 2 cm and a wavelength of 66 cm producing 0.01 mdcA of electricity.*

*Key words: Design, Energy Conversion, Pendulum technique, Water Wave Energy*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga Gelombang Air Dengan Mengaplikasikan Teknik Pendulum” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra. A Siregar S.T.,MT selaku Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar S.T., M.T selaku Dosen Penguji I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sudirman Lubis S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Affandi ST. MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansuri Siregar ST. MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Bapak Muriadi dan Ibu Suherly, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Sahabat-sahabat penulis: Mhd Diki Saragih , Fahrin Syaputra Siregar, Gianto, Imam Akbar Tanjun, Syaifi dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 8 April 2021



Andri Mustafa

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Gelombang Laut	4
2.2. Klasifikasi Gelombang	5
2.2.1. Gelombang Linier	5
2.2.2. Gelombang Non Linier	8
2.3. Sistem Pendulum	8
2.3.1. Pendulum Sederhana	8
2.3.2. Pendulum Vertikal Di Atas Ponton	10
2.3.3. Triple Pendulum	10
2.3.4. Bandul Pendulum	11
2.4. Teori Tambahan	13
2.5. Pemodelan Dan Simulasi	13
2.6. Rumus Perhitungan	16
2.6.1. Menghitung Energi Gelombang	16
2.6.2. Kerapatan Energi Yang Di Hasilkan PLTG Sistem Pendulum	17
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>21</b>
3.1 Tempat dan Waktu	21
3.1.1 Tempat	21
3.1.2 Waktu	21
3.2 Bahan dan Alat	22
3.2.1. Bahan	22
3.2.2. Alat	25
3.3 Bagan Alir Penelitian	28
3.4 Rancangan Alat Penelitian	29
3.5 Prosedur Penelitian	30

3.5.1	Langkah-langkah perancangan alat	30
3.5.2	Langkah-langkah pengujian	31
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>32</b>
4.1.	Hasil Gambar Sketsa Perancangan Sistem Pendulum	32
4.1.1	Sketsa Konsep 1	32
4.1.2	Sketsa Konsep 2	33
4.1.3	Sketsa Konsep 3	34
4.2.	Pemilihan Konsep Rancangan	34
4.3.	Gambar Rancangan	36
4.3.1.	Gambar Teknik	37
4.3.2.	Kerangka Atas dan Kerangka Bawah	37
4.3.3.	Poros	38
4.3.4.	Pendulum	38
4.3.5.	Roda Gigi	39
4.3.6.	Sprocket	40
4.3.7.	Rantai	40
4.3.8.	Generator	40
4.3.9.	Ponton	41
4.3.10.	Baut	41
4.3.11.	Bearing	41
4.3.12.	Daftar Harga	42
4.4.	Spesifikasi Alat	42
4.5.	Analisa Pengujian Alat	43
4.5.1.	Energi yang dihasilkan Gelombang	45
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>47</b>
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>48</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	
	<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
	<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Waktu Penelitian	21
Tabel 4.1	Pemilihan Konsep	35
Tabel 4.2	Daftar suku cadang dan harga	42
Tabel 4.3	Spesifikasi	42
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Alat	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Pergerakan Partikel Zat Cair	4
Gambar 2.2	Pergerakan Air Laut	5
Gambar 2.3	Tatanan Gelombang Air, Suatu Gelombang Linier Mempunyai Profil Sinusoidal	6
Gambar 2.4	Sifat-sifat gelombang pada berbagai kondisi kedalaman (a) kedalaman air, (b) kedalaman menengah, (c) shallow water	6
Gambar 2.5	Sketsa profil gelombang non-linier	8
Gambar 2.6	Ayunan sederhana	9
Gambar 2.7	Pendulum Vertikal Di Atas Ponton	10
Gambar 2.8	Teori Tripel Pendulum	10
Gambar 2.9	Penentuan sudut	11
Gambar 2.10	Sistem bandul	12
Gambar 2.11	Model Konfigurasi	14
Gambar 2.12	Hubungan sudut simpang absolut pendulum dan tiang, serta sudut simpang relative pendulum terhadap tiang	15
Gambar 3.1	Generator	22
Gambar 3.2	Kabel	22
Gambar 3.3	Besi Hollow	23
Gambar 3.4	Ponton	23
Gambar 3.5	Poros	24
Gambar 3.6	Roda Gigi	24
Gambar 3.7	Rantai	25
Gambar 3.8	Bearing	25
Gambar 3.9	Laptop	26
Gambar 3.10	Solidwork	26
Gambar 3.11	Multimeter	27
Gambar 3.12	Bagan Alir Penelitian Alir	28
Gambar 3.13	Pendulum vertical dengan ponton segiempat	29
Gambar 3.14	Pendulum vertical dengan ponton segienam	29
Gambar 3.15	pendulum rotari dengan ponton segienam	30
Gambar 4.1	Sketsa Konsep 1	32
Gambar 4.2	Sketsa Konsep 2	33
Gambar 4.3	Sketsa Konsep 3	34
Gambar 4.4	Pohon objektif untuk pemilihan konsep	35
Gambar 4.5	Rancangan	36
Gambar 4.6	Gambar Teknik	37
Gambar 4.7	Kerangka atas dan Kerangka bawah	38
Gambar 4.8	Poros	38
Gambar 4.9	Bandul	39

Gambar 4.10	Roda Gigi	39
Gambar 4.11	Sprocket	40
Gambar 4.12	Rantai	40
Gambar 4.13	Generator	40
Gambar 4.14	Ponton	41
Gambar 4.15	Baut	41
Gambar 4.16	Bearing	41
Gambar 4.17	Tinggi Air 30 cm	43
Gambar 4.18	Mesin Pendorong Gelombang Air	44
Gambar 4.19	Ketinggian dan Panjang Gelombang	44
Gambar 4.20	Mengukur Arus	45

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Besaran	Satuan
$F_t$	Gaya Pada Bandul	N
$E_p$	Energi Potensial	J
$E_{wd}$	Energi density	J/m <sup>2</sup>
$F$	Frekuensi	Hz
$F_{wave}$	Gaya Gelombang	N
$g$	Gravitasi Bumi	M/S <sup>2</sup>
$H$	Ketinggian Gelombang	M
$I$	Panjang Bandul	M
$L$	Panjang Pendulum	M
$M$	Massa Bandul	Kg
$T$	Priode gelombang	S
$P_{wave}$	Daya Gelombang	W
$w$	Lebar Gelombang	M
$\rho$	Massa Jenis Air	Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$	Panjang Gelombang	m
$\omega$	Frekuensi Gelombang Melingkar	rad/sec
$\beta$	Sudut Pendulum	°



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi pengembangan sumber daya kelautan yang sangat besar karena Indonesia adalah Negara kepulauan terbesar di dunia. Salah satu potensi tersebut adalah gelombang laut. Teknologi pengembangan energy dari laut tersebut dapat memecahkan masalah energy listrik sebagai Negara kepulauan, apalagi masih banyak pulau-pulau atau daerah-daerah terpencil yang memerlukan penanganan khusus termasuk penyediaan energy listrik. Teknologi ini dapat memperkuat nilai tawar bangsa Indonesia dalam hal teknologi energy baru dan terbarukan. Salah satunya dengan pengembanagan teknologi Konversi Energi Tenaga Gelombang Laut Dengan Mengaplikasikan Teknik Pendulum.

Laut memiliki potensi untuk digali energi gelombangnya karena memilikigelombang laut yang cukup besar, seperti di pantai barat pulau sumatera, pantai selatan jawa, sampai kepulauan Nusa Tenggara Timur, di perairan laut kepulauan Natuna dan dilaut di wilayah Indonesia Bagian Timur.

Gelombang laut adalah undulasi permukaan laut dengan ketinggian beberapa meter, dimana ketinggian gelombang adalah jarak antara bawah palung dan bagian atas puncak terdekat. Angin merupakan pembangkit utama gelombang yang terjadi di permukaan laut. Angin berhembus di atas permukaan laut dan mentransfer energinya melalui partikel air sesuai dengan arah angin. Gelombang yang terjadi di laut memiliki pergerakan yang acak dan kompleks, dimana tinggi dan periode gelombang sulit dirumuskan secara akurat. Dengan memanfaatkan energi gelombang air laut diharapkan bisa memenuhi kebutuhan energi dunia saat ini. Energi gelombang laut dapat dipanen dengan berbagai mekanisme. Salah satunya mekanisme pendulum dimanfaatkan untuk memanen energi ini. Mekanisme ini dapat berupa pendulum horizontal dan pendulum vertikal yang ditempatkan di atas ponton.

Pembangkit listrik gelombang adalah mengubah energi kinetik energi gelombang, yang tidak dapat secara langsung menggerakkan generator listrik berputar. Energi kinetik dari gelombang harus ditransformasikan. Transformasi

dari energi gelombang menjadi energi potensial udara banyak digunakan. Gelombang menekan udara diruang udara untuk menghasilkan udara terkompresi, yang selanjutnya menggerakkan turbin dan generator listrik untuk memutar untuk menghasilkan energi listrik.

Teknologi konversi gelombang laut sistem Pendulum dipilih karena selain tidak membutuhkan biaya yang besar, teknologi ini juga cocok di daerah dengan topografi pantai yang curam. Berkaitan dengan kondisi tersebut, penelitian ini mempelajari bagaimana potensi energi gelombang laut dengan merancang prototype alat konversi energi tenaga gelombang dengan mengaplikasikan teknik Pendulum untuk pengembangan pembangkit listrik sistem teknik pendulum.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan bisa di rumuskan suatu masalah tentang

1. Bagaimana merancang alat konversi energy tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.
2. Bagaimana menentukan konsep perancangan alat uji pendulum.
3. Bagaimana menganalisa kinerja alat konversi energy tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.

## 1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

- a. Menentukan 3 konsep alat konversi energi listrik tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.
- b. Menganalisa alat konversi energi listrik tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.

#### 1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang alat konversi energy tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.
2. Mampu menentukan konsep alat konversi energy listrik tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.
3. Mampu menganalisa kinerja alat konversi energy tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.

#### 1.5. Manfaat

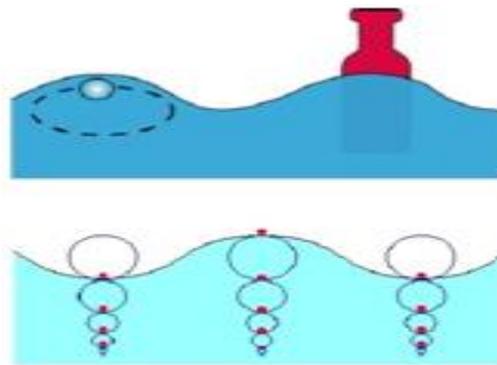
Manfaat dari hasil penelitian ini adalah untuk mengetahui cara perancangan dan pembuatan alat konversi energy tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum serta mengetahui cara kerja alat konversi energy tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang Laut

Menurut Putra, Sarwoko, & Rusdinar gelombang laut adalah pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus, permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Angin diatas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak, alunan/bukit, dan merubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang atau ombak. Gelombang atau ombak yang terjadi di lautan dapat diklarifikasikan menjadi beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitnya. Ada tiga macam gelombang laut yang terbentuk akibat aktivitas angina (Putra, Sarwoko, & Rusdinar):

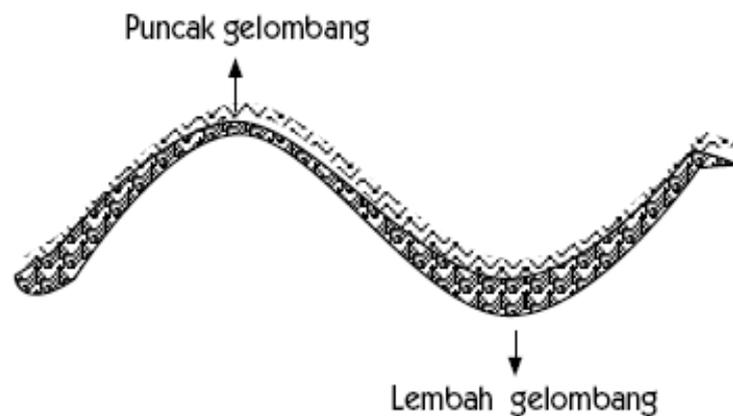
1. Swell adalah gelombang laut dengan perioda panjang.
2. Sea adalah gelombang laut tak beraturan yang dibentuk oleh angina.
3. Surf adalah gelombang pecah pada kawasan pantai.



Gambar 2.1 Ilustrasi Pergerakan Partikel Zat Cair Pada Gelombang  
(Putra, Sarwoko, & Rusdinar)

Sedangkan menurut Wijaya, dia mengatakan bahwa gelombang laut sukar dijabarkan dengan pasti, tetapi dapat diformulasikan dengan pendekatan. Berbagai macam teori pendekatan digunakan untuk memberikan informasi ilmiah tentang sifat gelombang lautan pada suatu tingkat fenomena yang aktual. Suatu teori sederhana tentang gelombang lautan dikenal sebagai teori dari Airy atau teori gelombang linier. Selanjutnya para ahli membedakan sifat gelombang laut sebagai gelombang linier dan gelombang non-linier.

Jadi, jika ditinjau dari sifat pengukurannya gelombang laut dibedakan menurut ketinggian serta periode alunannya. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi gelombang lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan (Wijaya, 2010).



Gambar 2.2. Gambar Pergerakan Air Laut (Wijaya, 2010)

## 2.2 Klasifikasi Gelombang

### 2.2.1. Gelombang Linier

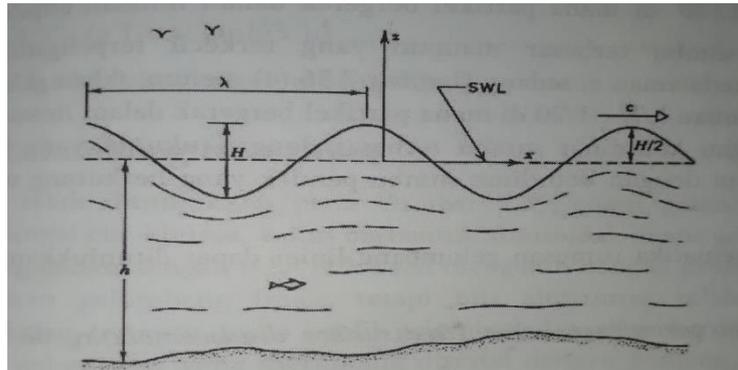
Di dalam buku mesin konversi energi gelombang linier, dalam pengertian selanjutnya disebut SWELL, merupakan gelombang bentuk sinusoidal dengan panjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya (lihat Gambar 2.3). Potensi dari gelombang linier tergantung kedalaman dari dasar lautnya. Dalam istilah teknik, kedalaman air akan potensial bila :

$$h/\lambda \geq \frac{1}{2} \quad (2.1)$$

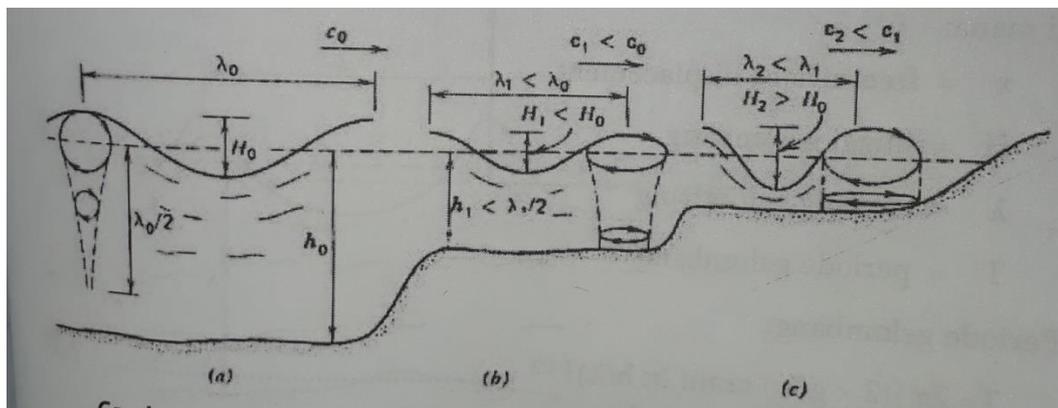
di mana:

$h$  = kedalaman diukur dari permukaan laut (SWL)

$\lambda$  = panjang gelombang



Gambar 2.3 Tatanan gelombang air, suatu gelombang linier mempunyai profil sinusoidal (Wijaya, 2010).



Gambar 2.4 Sifat-sifat gelombang pada berbagai kondisi kedalaman (a) kedalaman air,  $h > \lambda/2$ , (b) kedalaman menengah,  $\lambda/2 > h > \lambda/20$ ; (c) shallow water,  $h < \lambda/2$  (Wijaya, 2010)

Gambar 2.4 (a) menunjukkan laut dalam dengan harga  $h / \lambda \geq \frac{1}{2}$ , di medium. gambar 2.4 (b) dimana harga  $h/\lambda$  ditunjukkan dalam interval  $\frac{1}{2} < h < 1/20$  di mana partikel bergerak dalam lintasan elips dengan koordinat sumbu terbesar maupun yang terkecil terpengaruh oleh koordinat kedalaman z, sedangkan gambar 2.4 (c) menunjukkan gelombang pada kedalaman  $h/\lambda < 1/20$  dimana partikel bergerak dalam lintasan elips tetapi dengan koordinat sumbu terbesar dengan ukuran yang konstan (tetap) tetapi dengan koordinat sumbu pendek yang berkurang menurut sumbu z.

Secara matematika rumusan gelombang linier dapat di tunjukan sebagai berikut:

- a. Pemindahan permukaan bebas (free surface displacement), dirumuskan dengan

$$\eta = (H/2) \operatorname{csch}(2\pi x/\lambda = 2\pi t/T) \quad (2.2)$$

di mana:

- x = free surface displacement
- H = tinggi gelombang
- $\lambda$  = panjang gelombang
- T = periode gelombang

- b. Priode gelombang

$$T = 2\pi[(2x g/\lambda) \operatorname{coth}(2\pi h/\lambda)]^{-1/2} \quad (2.3)$$

Atau

$$T = 1/f = 2\pi/\omega \quad (2.4)$$

di mana;

- f = frekuensi
- $\omega$  = frekuensi gelombang melingkar =  $2\pi f$

- c. Panjang gelombang

$$\lambda = (T^2/2\pi) \tan(2\pi h/\lambda) \quad (2.5)$$

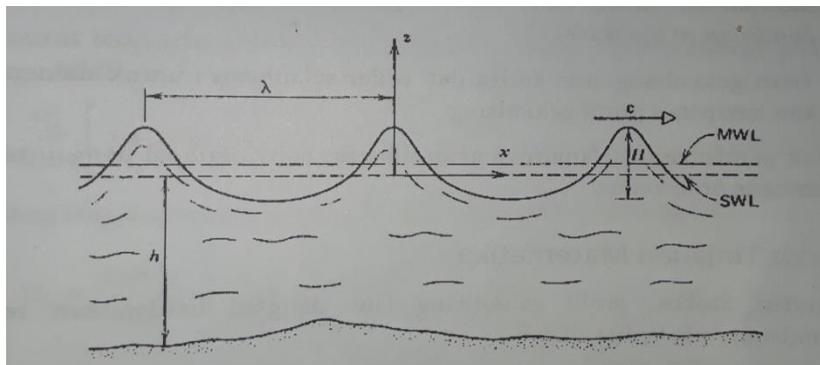
- d. Fase kecepatan

$$c = \lambda/T = (g T/2\pi) \tan(k h) \quad (2.6)$$

di mana k adalah angka gelombang =  $\frac{2\pi}{\lambda}$

## 2.2.2 Gelombang Non Linier

Di dalam buku mesin konversi energi juga dijelaskan bahwa suatu gelombang linier mempunyai ciri khusus, yakni berbentuk sinusoidal seperti telah di tunjukan pada gambar 2.1. Suatu gelombang dilaut yang dalam dengan nilai  $H/\lambda$  kecil mengalun dengan profil sinusoidal merupakan gelombang linier, tetapi bila alunanya telah mencapai kedangkalan tertentu maka profil gelombangnya akan berubah dengan puncak gelombang yang meruncing disertai dengan panjang gelombang yang mengecil (lihat gambar 2.5)



Gambar 2.5 Sketsa profil gelombang non-linier (Cormick & Michael, 1981).

Perubahan tersebut di sebabkan oleh pengaruh dasar lautan. Profil gelombang yang terjadi tersebut gelombang non-linier. Pada gelombang non-linier, permukaan air laut (SWL) dan muka air rata-rata (MWL) mempunyai selisih tertentu. Bila batas SWL dan MWL berhimpitan maka gelombang non-linier akan berubah kembali menjadi gelombang linier. Untuk gelombang non-linier, kedudukan SWL selalu dibawah MWL (Cormick & Michael, 1981).

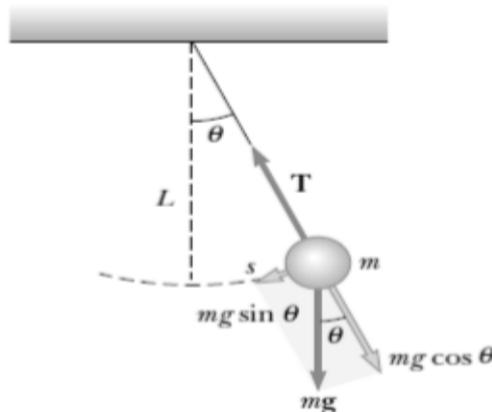
## 2.3 Sistem Pendulum

### 2.3.1. Pendulum sederhana

Kusumastuti, Triwinarno, & Guntur mengatakan pergerakan pendulum dapat dikatagorikan sebagai getaran bebas teredam. Hal ini dikarenakan gaya pemulih/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 peredaman torsional. Adapun

free body diagram untuk pendulum dengan kemiringan lempeng ponton datar tertentu sebagai berikut.

Sedangkan Suwarno mengatakan pendulum sederhana terdiri dari bandul dengan massa  $m$  digantungkan dengan tali dengan panjang  $L$  seperti terlihat pada gambar 2.6 (Suwarno, 2015).



Gambar 2.6. Ayunan sederhana(Wijaya, 2010).

Persamaan matematis dari gambar 2.6 dapat diberikan:

$$F_t = -mg \sin \theta = m \frac{d^2s}{dt^2} \quad (2.7)$$

Dimana:

$F_t$  = gaya pada bandul (N)

$M$  = massa bandul (kg)

$g$  = gravitasi ( $9,81m/s^2$ )

$\theta$  = sudut (rad) yang terjadi antara garis normal dengan bandul

$L$  = panjang tali pada bandul (m)

Untuk sudut yang cukup kecil diperoleh  $\sin \theta \approx \theta$  dan  $s = \theta L$  maka persamaan (2.7) dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{g}{L} \theta \quad (2.8)$$

Penyelesaian persamaan (2.8) secara umum diperoleh :

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (2.9)$$

Dengan

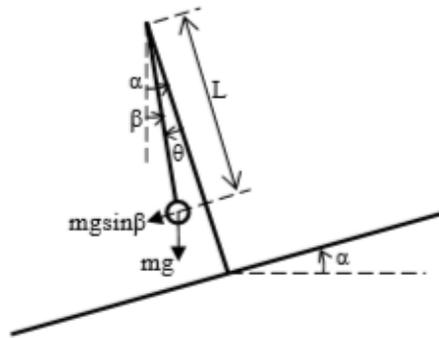
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ (rad/s)} \quad (2.10)$$

Periode pendulum dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (2.11)$$

### 2.3.2. Pendulum Vertikal Di Atas Ponton

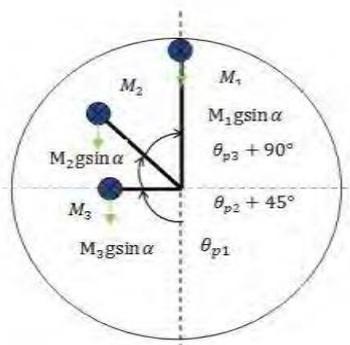
Menurut Suryanto, & Mawarni ponton yang bergerak bolak-balik karena gelombang laut menyebabkan bandul berayun yang kemudian memutar poros. Gerak bandul vertikal pada konverter energi mengikuti suatu persamaan gerak sesuai dengan model yang dinamis (Suryanto, & Mawarni, 2019).



Gambar 2.7 Pendulum Vertikal Di Atas Ponton (Suryanto, & Mawarni, 2019)

### 2.3.3. Triple pendulum

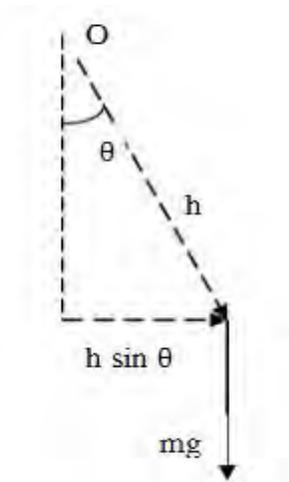
Kusumastuti, Triwinarno, & Guntur mengatakan sebagai acuan dari pergerakan pendulum pada Teori Pendulum Sederhana. Maka, dihasilkan teori triple pendulum sebagai berikut :



Gambar 2.8 Teori Tripel Pendulum (Kusumastuti, Triwinarno, & Guntur, 2012)

### 2.3.4. Bandul Pendulum

Bandul pendulum menurut Kusumastuti, Triwinarno, & Guntur adalah bandul yang berosilasi secara bebas pada suatu sumbu tertentu dari suatu benda rigid (kaku) sembarang. Pada bandul fisis, bentuk, ukuran dan massa benda tidak bisa diabaikan. Jika sebuah benda digantungkan pada poros O, kemudian diberi simpangan  $\theta$  dan dilepaskan, maka benda itu akan berosilasi karena adanya torka pulih sebesar dengan  $mg$  adalah gaya berat,  $h \sin \theta$  adalah dengan  $mg$  adalah gaya berat,  $h \sin \theta - m g h \sin \theta$  adalah lengan, dan  $h$  itu sendiri merupakan jarak antara poros ke pusat massa PM (Kusumastuti, Triwinarno, & Guntur, 2012).



Gambar 2.9. Penentuan sudut (Kusumastuti, Triwinarno, & Guntur, 2012).

Jika redaman diabaikan maka persamaan gerak dalam system bandul fisis ini adalah:

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -m g h \sin \theta \quad (2.12)$$

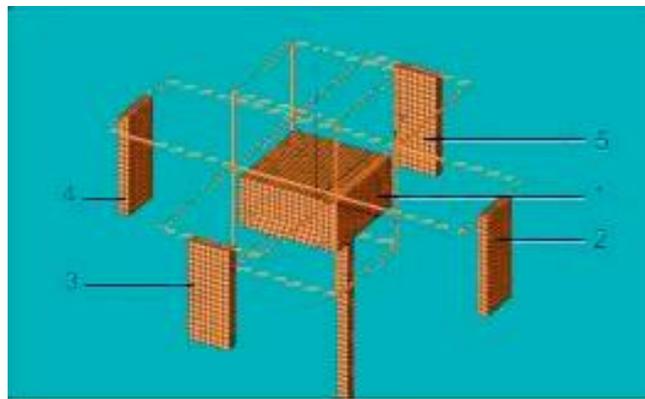
Dengan  $I$  adalah suatu momen inersia benda rigid dihitung terhadap titik poros. Jika benda itu diberi simpangan kecil  $\theta$  maka  $\sin \theta \approx \theta$  sehingga persamaan gerak berubah menjadi:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{mgh}{I} \theta = 0 \quad (2.13)$$

Solusi dari persamaan ini adalah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgh}} \quad (2.14)$$

Sedangkan menurut Hongzhou & Hui, 2014 bandul utamanya digunakan untuk menyerap energi gelombang dalam arah horizontal, sedangkan ponton tengah berperan dalam menyediakan daya apung dan melindungi perangkat konversi di dalamnya. Setelah beberapa penyederhanaan yang diperlukan, sistem pendulum dimodelkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.12. Ponton tersebut dinamai struktur 1; keempat pendulum tersebut dinamai masing-masing struktur 2, struktur 3, struktur 4 dan struktur 5 (Hongzhou & Hui, 2014).



Gambar 2.10 sistem bandul

#### 2.4. Teori Tambahan

Ada banyak cara dalam memanfaatkan energi yang ada di Indonesia, menurut C A Siregar dan A Marabdi Siregar menyatakan bahwa bukan hanya luas lautannya yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, tetapi Indonesia juga merupakan negara dengan iklim tropis yang memiliki sinar/radiasi matahari yang berlimpah dan sangat menjanjikan. Hal ini mendasari bahwa seluruh wilayah/daerah yang berada di iklim tropis sangat berpotensi untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan energi matahari dapat dilakukan dengan 2 cara yakni konversi panas dan konversi pembangkit listrik tenaga surya (fotovoltaik) (C A Siregar A M Siregar,2019). Selain itu, energi lain yang terdapat di Indonesia begitu banyak yang dapat dimanfaatkan untuk dijadikan energi listrik contohnya tenaga angin, C A Siregar A M Siregar juga menambahkan sejumlah besar penelitian sedang dilakukan pada

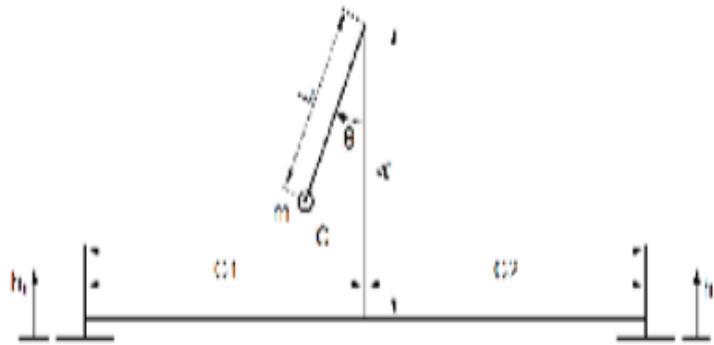
energi terbarukan, khususnya pada ekstraksi tenaga angin. Dengan pesatnya perkembangan industri tenaga angin, keandalan turbin angin telah menjadi hotspot dalam tenaga angin. Tenaga angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah di negara kita dan ramah lingkungan karena menekan emisi CO<sub>2</sub>, oleh karena itu kita dapat memperoleh listrik tanpa batas dari energi angin. Tenaga angin adalah energi yang berguna dari angin. Pembangkit listrik tenaga angin mengubah tenaga angin menjadi energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana yaitu putaran turbin angin diteruskan ke rotor generator dimana generator tersebut memiliki lilitan tembaga yang berfungsi sebagai stator (C A Siregar A M Siregar, 2019)

Pemanasan global terjadi bukan karena sendirinya tetapi ada beberapa faktor pemicu seperti gas buang dari hasil pembakaran mesin industri. A M Siregar, C. A. Siregar, dan M. Yani menjelaskan Emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu sumber polusi udara. Emisi gas buang yang dihasilkan berupa karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC), dan oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>). Bahan bakar secara umum mengandung unsur-unsur karbon, hydrogen, oksigen, nitrogen dan belerang. Dalam pembakaran sempurna, gas buang hasil pembakaran berupa karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) serta udara yang tidak terlibat pembakaran. Namun pembakaran sempurna sulit dicapai, sehingga terdapat gas buang hasil pembakaran lain seperti CO, HC, dan juga NO<sub>x</sub>, karena 79% udara untuk pembakaran terdiri dari nitrogen (A M Siregar, C. A. Siregar, dan M. Yani, 2019). Dengan merealisasikan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dapat mencegah dan mengurangi pemanasan global juga pencemaran udara dari emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Altenator adalah suatu alat elektromekanikal yang mengkonversi daya mekanis menjadi energi elektrik. Pada prinsipnya generator dapat juga disebut sebagai altenator, tetapi biasanya altenator lebih mengacu pada bentuk yang lebih kecil yang biasa digunakan pada otomotif (Teli Handayani). Altenator memiliki 4 bagian yang penting (Lubis sudirman, Siregar irpansyah, & Siregar A M, 2020 ).

## 2.5. Pemodelan dan Simulasi

Menurut Noerpamoengkas dan Ulum Model konfigurasi ini menggunakan model yang digunakan Eky *et al* dengan menghilangkan kekakuan dan redaman pada ponton/pelampung. Hal ini mengamsumsikan gerak penompang mekanisme pendulum vertical sama dengan gerak landasan pelampung yang terkena gelombang laut. Eksitasi berupa kemiringan ponton/pelampung dengan profil sinusoidal. Berbeda dengan yang dilakukan Eky *el al*, pemodelan menggunakan metode persamaan variable keadaan. Metode ini memungkinkan mengambil respon system dinamis lebih dari satu, tidak seperti metode input-output atau fungsi transfer. Model konfigurasi ponton/pelampung dan pendulum dapat diilustrasikan pada gambar 2.9 (Noerpamoengkas & Ulum. 2015).



Gambar 2.11. Model Konfigurasi (Noerpamoengkas & Ulum. 2015)

Pada gambar 2.9, eksitasi ponton disimbolkan  $h_l$  sebagai eksitasi ponton sisi kiri, dan  $h_r$  panjang sisi tengah kanan ponton,  $C$  panjang total ponton, dan  $A$  tinggi tiang pendulum. Parameter dan variable pada pendulum antara lain  $m$  sebagai massa bola pendulum,  $L$  panjang pendulum dan  $\Theta$  sudut simpang pendulum terhadap tiang pendulum. Adapun input eksitasi disisi kiri dan kanan ponton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$h_l = H_l \cdot \sin(\omega_{hl} \cdot t) \quad (2.15)$$

$$h_r = H_r \cdot \sin(\omega_{hr} \cdot t - \varphi) \quad (2.16)$$

$$\alpha = (h_l - h_r)/C \quad (2.17)$$

Dimana:

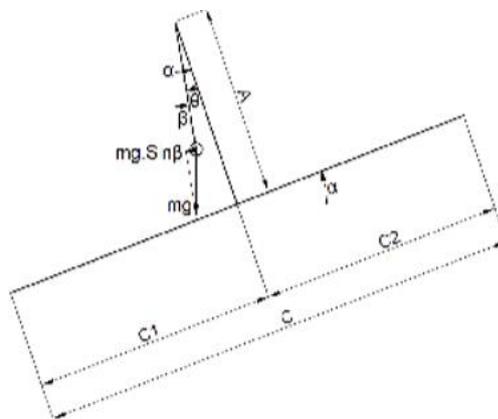
$H_l = \text{Amplitudo } h_l$

$H_r = \text{Amplitudo } h_r$

$\omega_{hl} = \text{Frekuensi } h_l$

$\omega_{hr} = \text{Frekuensi } h_r$

$\varphi = \text{Beda fase antara } h_l \text{ dan } h_r \text{ dengan } h_l \text{ mendahului } h_r$



Gambar 2.12. Hubungan sudut simpang absolut pendulum dan tiang, serta sudut simpang relative pendulum terhadap tiang . (Noerpamoengkas & Ulum. 2015).

Hal yang perlu diperhatikan dalam analisis gerak pendulum vertical ini adalah hubungan sudut simpang pendulum dan tiang, baik absolut terhadap garis semu vertical maupun relative antar keduanya, Gambar 2.10 diberikan identifikasi susut-sudut simpang tersebut sebagai berikut,  $\alpha$  adalah sudut simpang ponton terhadap garis semu horizontal atau/sama dengan sust simpang tiang pendulum terhadap garis semu vertical,  $\beta$  adalah sudut simpang pendulum terhadap garis semu vertical, dan  $\theta$  adalah susut simpang pendulum relatife terhadap tiang pendulum. Hubungan antara sudut-sudut tersebut dalam sebuah persamaan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\alpha = \beta + \theta \quad (2.18)$$

Dari persamaan diatas, dapat diketahui bahwa jika  $\alpha$  sama dengan nol maka hubungan antar sudut  $\beta$  dan  $\theta$  adalah sebagai berikut.

$$\beta = -\theta \quad (2.19)$$

Acuan simpangan pendulum untuk persamaan gerak osilasi pendulum tetap menggunakan sudut  $\beta$  karena *datum* gerak osilasi pendulum dalam berbagai kondisi adalah pada garis semu vertical yang menyinggung pangkal pendulum. Adapun momen inersia pendulum adalah sebagai berikut.

$$J_p = m.L^2 \quad (2.20)$$

Perhitungan tentang torsi inersia pendulum adalah sebagai berikut:

$$T_p = J_p \cdot \ddot{\beta} \quad (2.21)$$

$$T_p = m.L^2 \cdot \ddot{\beta} \quad (2.22)$$

Perhitungan tentang gaya pembalik pendulum adalah sebagai berikut:

$$F_p = m.g.\text{Sin } \beta.L \quad (2.23)$$

## 2.6. Rumus Perhitungan

### 2.6.1. Menghitung Energi Gelombang

Bandul akan bergoyang diakibatkan oleh gelombang, frekuensi gelombang laut juga sangat menentukan terhadap besarnya gaya yang dihasilkan. Frekuensi gelombang laut bervariasi disetiap daerah dan dipengaruhi oleh kecepatan hembusan angin diatas permukaan laut. Pada sistem pembangkit ini akan digunakan empat bandulan untuk menghasilkan putaran yang lebih besar dan stabil (Zamri, Mura, Asmed, Elvis, & Adril, 2015).

Menurut Zamri, Mura, Asmed, Elvis, & Adril energi gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{H_s^2 T_e}{2} \quad (2.24)$$

Dimana :

$H_s$  = Significant wave height

$T_s$  = Avg time between upward movements across mean (s)

$P$  = Power in Kw per meter of wave crest lengh

Deformasi dalam mekanika kuantum adalah perubahan sebuah benda dari kondisi semula ke kondisi terkini. Makna dari —kondisi dapat diartikan sebagai serangkaian posisi dari semua partikel yang ada di dalam benda tersebut. Penyebab terjadinya deformasi dapat disebabkan oleh gaya eksternal, gaya internal (seperti gravitasi atau gaya elektromagnetik) atau perubahan temperatur

di dalam benda (pemuatan). (Lubis sudirman, Siregar chandra A, Siregar irpansyah,& Hasibuan edi sarman 2020).

### 2.6.2. Kerapatan energi yang dihasilkan pltg sistem pendulum

Dalam menghitung besarnya energi gelombang laut dengan metode pendulum, hal yang pertama yang harus diketahui adalah ketersediaan akan energi gelombang laut. Total energi gelombang laut dapat diketahui dengan menjumlahkan besarnya energi kinetik dan energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut tersebut. Energi potensial adalah energi yang ditimbulkan oleh posisi relatif atau konfigurasi gelombang laut pada suatu sistem fisik. Bentuk energi ini memiliki potensi untuk mengubah keadaan objek-objek lain di sekitarnya, contohnya, konfigurasi atau gerakannya. Besarnya energi potensial dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Navarro,D,dkk 2008)

$$P.E. = mg \frac{y(x,t)}{2} \quad (2.25)$$

Dimana:

$m = wpy$  : Massa Gelombang (kg)

$\rho$  : massa jenis air laut (kg/m<sup>3</sup>)

$w$  : lebar gelombang (m) (diasumsikan sama dengan luas *chamber* pada pendulum).

$Y = y(x,t) = a \sin(kx - \omega t)$  (m) : persamaan gelombang (diasumsikan gelombang sinusoidal).

$a = h/2$  : amplitudo gelombang.

$h$  : ketinggian gelombang (m)

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$  : konstanta gelombang

$\lambda$  : panjang gelombang (m)

$\omega = \frac{2\pi}{T}$  (rad/sec) : frekuensi gelombang.

$T$  : periode gelombang (sec)

Maka persamaan energi potensial ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$P.E. = w\rho g \frac{y^2}{2} = w\rho g \frac{\alpha^2}{2} \sin^2 (kx - \omega t) \quad (2.26)$$

Selanjutnya dihitung besarnya energi potensial gelombang lebih dari 1 periode, diasumsikan bahwa gelombang hanya merupakan fungsi dari x terhadap waktu, sehingga didapatkan persamaan  $y(x,t) = y(x)$ . Jadi didapatkan:

$$dP.E. = 0.5 w\rho g a^2 \sin^2 (kx - \omega t) dx \quad (2.27)$$

Berdasarkan persamaan  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$  dan  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , maka didapatkan persamaan:

$$P.E. = \frac{1}{4} w\rho g a^2 \lambda \quad (2.28)$$

Besarnya energi kinetik lebih dari 1 periode adalah sebanding dengan besarnya energi potensial yang dihasilkan.

$$K.E. = \frac{1}{4} w\rho g a^2 \lambda \quad (2.29)$$

Dimana energi kinetik adalah bagian energi yang berhubungan dengan gerakan dari gelombang laut. Setelah besarnya energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat dihitung total energi yang dihasilkan selama lebih dari 1 periode dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E_W = P.E. + K.E. = \frac{1}{2} w\rho g a^2 \lambda \quad (2.30)$$

Total energi yang dimaksud disini adalah jumlah besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut yang didapatkan melalui penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang dimilikinya. Melalui persamaan diatas, maka dapat dihitung besarnya *energy density* (EWD), daya listrik (PW), dan *power density* (PWD) yang dihasilkan gelombang laut. Untuk menentukan besarnya *energy density* (EWD) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut ini.

$$E_{WD} = \frac{E_W}{\lambda w} = \frac{1}{2} \rho g a^2 \quad (\text{J/m}^2) \quad (2.31)$$

*Energy density* adalah besarnya kerapatan energi yang dihasilkan gelombang laut tiap 1 satuan luas permukaan. Untuk menentukan besarnya daya listrik (PW) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut ini.

$$P_w = \frac{E_w}{T} \quad (\text{W}) \quad (2.32)$$

Dimana *wave power* adalah besarnya daya listrik yang mampu dihasilkan oleh gelombang laut. Untuk menentukan besarnya *power density* (PWD) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan 2.9 berikut ini (Wijaya, 2010).

$$P_{wD} = \frac{P_w}{\lambda_w} = \frac{1}{2T} \rho g a^2 \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.33)$$

Besarnya energi potensial dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Safitri DKK 2016).

$$E_p = mg \frac{y(x,t)}{2} \quad (2.34)$$

dengan  $P E$  adalah energi potensial gelombang (Joule),  $m$  adalah massa air laut yang masuk ke ruang sistem OWC (kg) dan  $g$  merupakan percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Bentuk persamaan pada gelombang yaitu :

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (2.35)$$

Nilai energi potensial tiap panjang gelombang didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = \int_0^\lambda E_p dx \quad (2.36)$$

Sehingga didapatkan persamaan energi potensial tiap panjang gelombang yaitu :

$$E_p = \frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda \quad (2.37)$$

Energi potensial gelombang yang telah lewat dari satu periode gelombang memiliki nilai yang sama dengan energi kinetiknya. Sehingga energi kinetik gelombang dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_K = \frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda \quad (2.38)$$

Energi gelombang adalah energi mekanik gelombang yang merupakan total dari energi potensial gelombang dan energi kinetik gelombang, sehingga.

$$E_M = E_P + E_K$$

$$E_M = \left(\frac{1}{4}\rho w g A^2 \lambda\right) = \left(\frac{1}{4}\rho w g A^2 \lambda\right)$$

$$E_M = \frac{1}{2}\rho w g A^2 \lambda \quad (2.39)$$

Dari energi mekanik gelombang akan didapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh gelombang dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{E_M}{T}$$

$$P = \frac{\rho w g A^2}{2T}$$

Dengan  $\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$  dan  $A = \frac{h}{2}$  maka

$$P = \frac{1}{16\pi}\rho w g^2 h^2 T \quad (2.40)$$

dengan  $P$  merupakan daya listrik (Watt),  $w$  adalah lebar ruang,  $\rho$  merupakan massa jenis air laut (kg/m<sup>3</sup>),  $g$  adalah percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>),  $h$  adalah tinggi gelombang laut (m) dan  $T$  adalah periode gelombang laut (detik).

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu

#### 3.1.1. Tempat

Tempat di pelaksanaan kegiatan penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

#### 3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah kannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai di nyatakan selesai.

Tabel 3.1 waktu penelitian

No	Uraian Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur	■	■				
3	Bab 1 s/d Bab 3	■	■	■			
4	Seminar Proposal			■			
5	Survey Bahan				■		
6	Pemilihan Konsep Pembuatan				■	■	
7	Perancangan Alat					■	
8	Pengujian Alat					■	■
9	Pengambilan Data						■
10	Penyelesaian Tulisan						■
11	Sidang Sarjana						■

### 3.2. Bahan dan Alat

#### 3.2.1. Bahan

Adapun bahan yang di gunakan dalam pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Generator

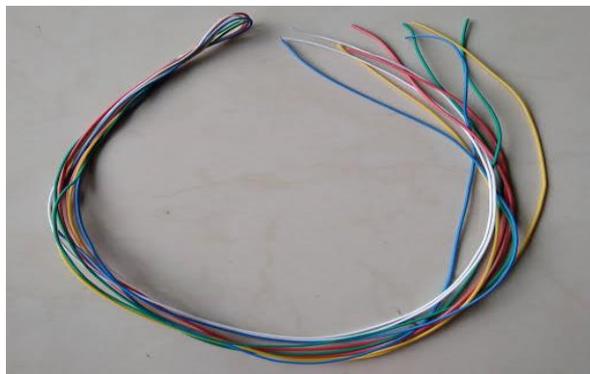
Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi.



Gambar 3.1 Generator.

##### 2. Kabel

Kabel dalam bahasa Inggris disebut cable merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal atau listrik dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 3.2 kabel

### 3. Besi Hollow

Besi hollow adalah besi berbentuk batangan berongga yang berfungsi sebagai kerangka dari prototype yang akan dibuat.



Gambar 3.3. Besi hollow

### 4. Ponton

Ponton adalah suatu jenis kapal yang dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung, yang digunakan sebagai kapal mengangkut bandul yang terintegrasi dengan dinamo.



Gamabar 3.4 Ponton

## 5. Poros

Poros adalah suatu elemen mesin yang berbentuk silindris memanjang dengan penampang yang biasanya berbentuk lingkaran yang memiliki fungsi sebagai penyalur daya atau tenaga melalui putaran sehingga poros ikut berputar.



Gambar 3.5 Poros

## 6. Roda Gigi

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya.



Gambar 3.6 Roda Gigi

## 7. Rantai

Jarak yang cukup jauh yang memisahkan antara dua buah poros mengakibatkan tidak memungkinkan menggunakan transmisi langsung dengan roda gigi. Rantai adalah salah satu penghubung yang terbuat dari besi dan mempunyai penampang yang cocok disambungkan dengan roda gigi.



Gambar 3.7 Rantai

## 8. Bearing

Untuk mengurangi gesekan antara dua benda yang bergerak relatif satu sama lain.



Gambar 3.8 Bearing

### 3.2.2 Alat

Ada pun alat yang di gunakan pada perancangan dan penelitian ini adalah solid works dan ampere meter .

#### 1. Laptop

Laptop merupakan alat perangkat keras yang digunakan untuk membantu proses desain perancangan suatu benda dengan software solidworks.



Gambar 3.9 Laptop

#### 2. Solidwork

Diterjemahkan dari bahasa Inggris SolidWorks adalah program pemodelan komputer yang dibantu desain dan computer dibantu teknik komputer yang berjalan terutama pada Microsoft Windows. Meskipun dimungkinkan untuk menjalankan SolidWorks di MacOS, itu tidak didukung oleh SolidWorks. SolidWorks diterbitkan oleh Dassault Systèmes.

Fungsi Software Solidworks. Sebagai software CAD, Solidworks dipercaya sebagai perangkat lunak untuk membantu proses desain suatu benda atau bangunan dengan mudah. Solidworks banyak digunakan untuk merancang roda gigi, mesin mobil, casing ponsel dan lain-lain.



Gambar 3.10 Sofwer solidworks

### 3. Multimeter

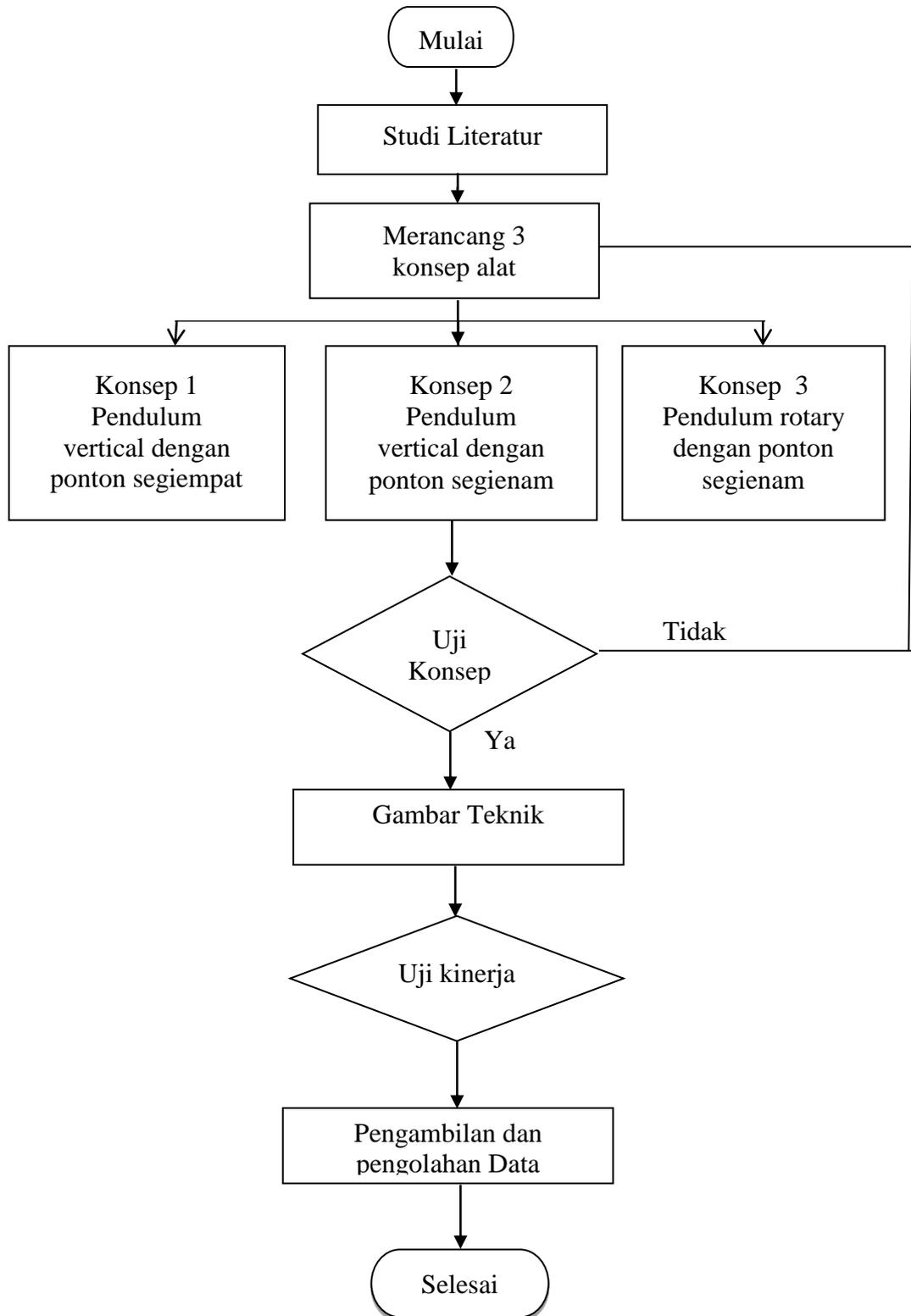
Multimeter atau multimeter adalah alat pengukur listrik yang sering dikenal sebagai VOM (Volt-Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), maupun arus (amperemeter). Ada dua kategori multimeter: multimeter digital atau DMM (digital multi-meter)(untuk yang baru dan lebih akurat hasil pengukurannya), dan multimeter analog. Masing-masing kategori dapat mengukur listrik AC, maupun listrik DC.

Sebuah multimeter merupakan perangkat genggam yang berguna untuk menemukan kesalahan dan pekerjaan lapangan, maupun perangkat yang dapat mengukur dengan derajat ketepatan yang sangat tinggi.



Gambar 3.11 Multimeter

### 3.3. Bagan Alir Penelitian Rancangan Alat Penelitian



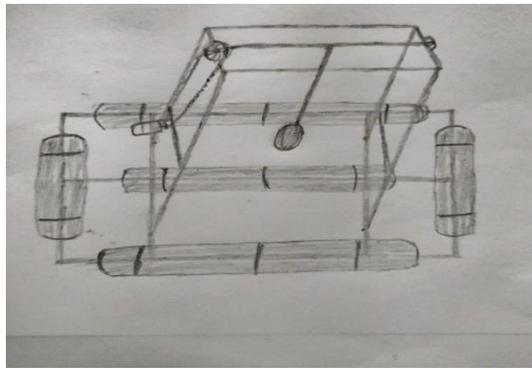
Gambar 3.12 Bagan Alir Penelitian

### 3.4. Rancangan Alat Penelitian

Dalam penelitian ini akan di rancang alat konversi energi tenaga gelombang teknik pendulum, ada pun konsep yang di buat untuk rancangan alat penelitian adalah sebagai berikut.

#### a). Konsep 1 Pendulum Vertical dengan Ponton Segiempat

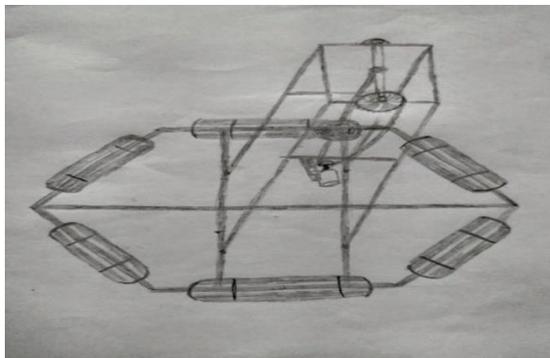
Pada konsep pendulum dengan ponton segiempat ini pada saat air bergerak naik turun ponton akan bergerak terombang-ambing seiringa air yang bergerak kemudian bandul yang berayun-ayun akan menggerakkan roda gigi, kemudian rantai yang terhubung dengan roda gigi akan memutarakan sprocket yang terhubung langsung di generator sehingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 3.13 Pendulum Vertical dengan Ponton Segiempat

#### b). Konsep 2 Pendulum Vertical dengan Ponton Segienam

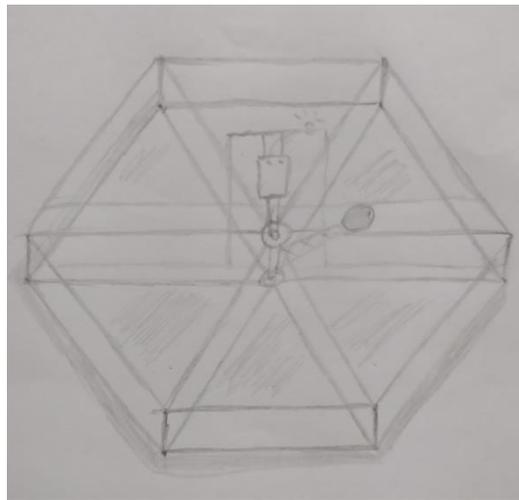
Pada konsep pendulum vertical dengan ponton segienam ini cara kerjanya sama dengan konsep yang pertama hanya saja berbeda bentuk kerangka bawah dan ponton. Pada konsep kedua ini kerangka bawah nya berbentuk segienam dan kemungkinan akan lebih stabil diatas permukaan air.



Gambar 3.14 Pendulum Vertical dengan Ponton Segienam

### c.). Konsep 3 Pendulum Rotary dengan Ponton Segienam

Pada konsep ini pada saat air bergerak naik turun, posisi pendulum yang horizontal akan bergerak rotary, kemudian poros yang terhubung langsung dengan pendulum yang bergerak rotari akan langsung menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 3.15 Pendulum Rotari dengan Ponton Segienam

## 3.5. Prosedur Penelitian

### 3.5.1. Langkah-Langkah Perancangan Alat

Adapun langkah-langkah perancangan alat konversi energy tenaga gelombang teknik pendulum adalah sebagai berikut :

1. Mencari sepuluh referensi atau literature yang berkaitan tentang pembangkit listrik tenaga gelombang teknik pendulum.
2. Membuat 3 konsep rancangan alat pembangkit listrik tenaga gelombang teknik pendulum.
3. Menguji konsep yang telah di buat.
4. Membuat gambar teknik dari konsep yang dipilih.
5. Menguji kinerja alat konversi energy tenaga gelombang teknik pendulum dan pengambilan data.

### 3.5.2. Langkah-langkah Pengujian

Adapun langkah-langkah pengujian alat konversi energy tenaga gelombang teknik pendulum adalah sebagai berikut :

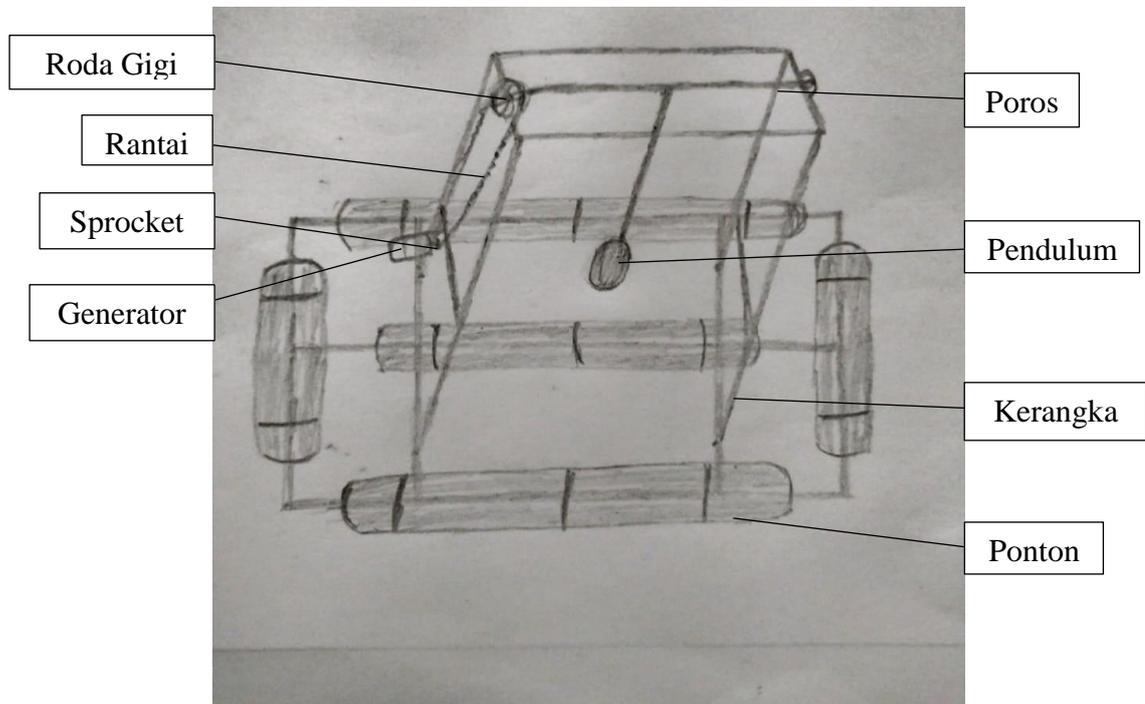
1. Mempersiapkan alat uji konversi energy tenaga gelombang laut teknik pendulum dan mesin gelombang buatan.
2. Memasang alat uji konversi energy tenaga gelombang laut teknik pendulum kedalam bak gelombang buatan.
3. Melihat kuat arus listrik yang dihasilkan dari gelombang laut buatan dengan menggunakan multimeter.
4. Mencatat hasil pengujian alat konversi energy tenaga gelombang teknik pendulum.
5. Setelah pengujian dilakukan membersihkan lokasi pengujian dan merapikan alat-alat yang telah digunakan.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Gambar Sketsa Perancangan Sistem Pendulum

#### 4.1.1 Sketsa Konsep 1

Pada Sketsa konsep pertama ini pendulum vertical dengan ponton segiempat ini pada saat air bergerak naik turun ponton akan bergerak terombang-ambing seiring air yang bergerak kemudian bandul yang berayun-ayun akan menggerakkan roda gigi, kemudian rantai yang terhubung dengan roda gigi akan memutar sprocket yang terhubung langsung di generator sehingga menghasilkan energi listrik..



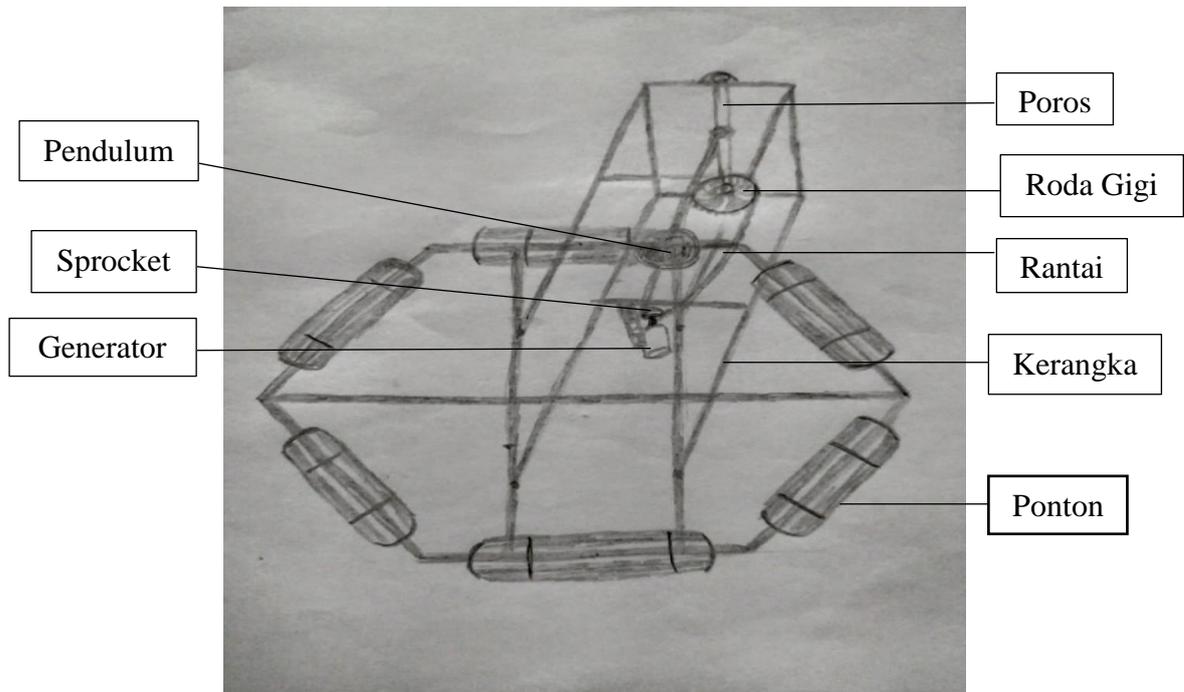
Gambar 4.1 Sketsa Konsep 1

Adapun bagian-bagian yang terdapat pada sketsa di atas adalah :

1. Generator
2. Sprocket
3. Rantai
4. Roda gigi
5. Poros
6. Pendulum
7. Kerangka
8. Ponton

#### 4.1.2 Sketsa Konsep 2

Pada sketsa konsep kedua pendulum vertical dengan ponton segienam ini kerangka bawah berbentuk segienam. Prinsip kerja dari konsep ini sama dengan konsep 1, hanya berbeda bentuk kerangka nya saja.



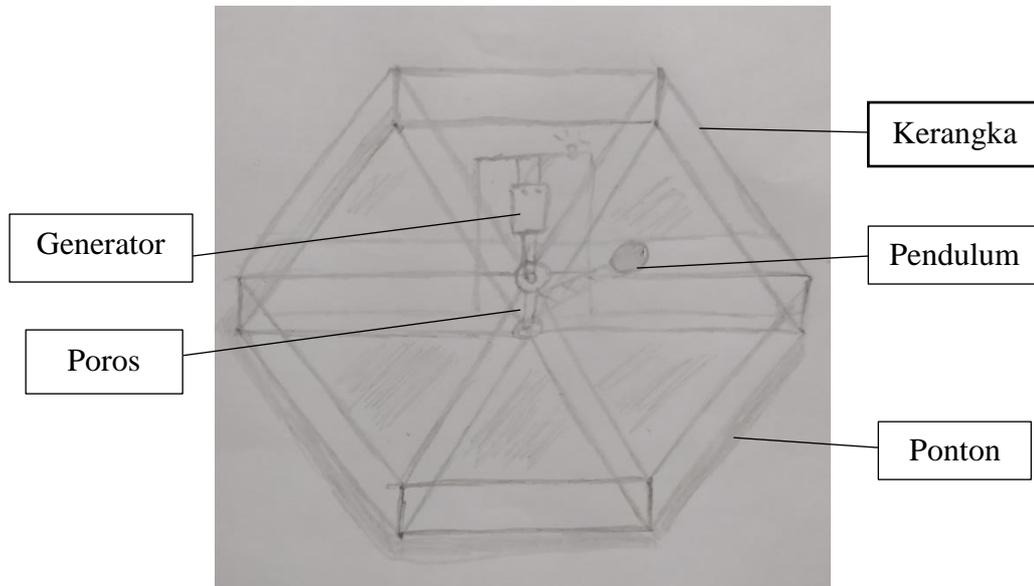
Gambar 4.2 Sketsa Konsep 2

Adapun bagian-bagian yang terdapat pada sketsa di atas adalah :

1. Generator
2. Sprocket
3. Rantai
4. Roda gigi
5. Poros
6. Pendulum
7. Kerangka
8. Ponton

#### 4.1.3 Sketsa Konsep 3

Pada sketsa konsep ini pada saat air bergerak naik turun, posisi pendulum yang horizontal akan bergerak rotary, kemudian poros yang terhubung langsung dengan pendulum yang bergerak rotari akan langsung menggerakkan generator.



Gambar 4.3 Sketsa konsep 3

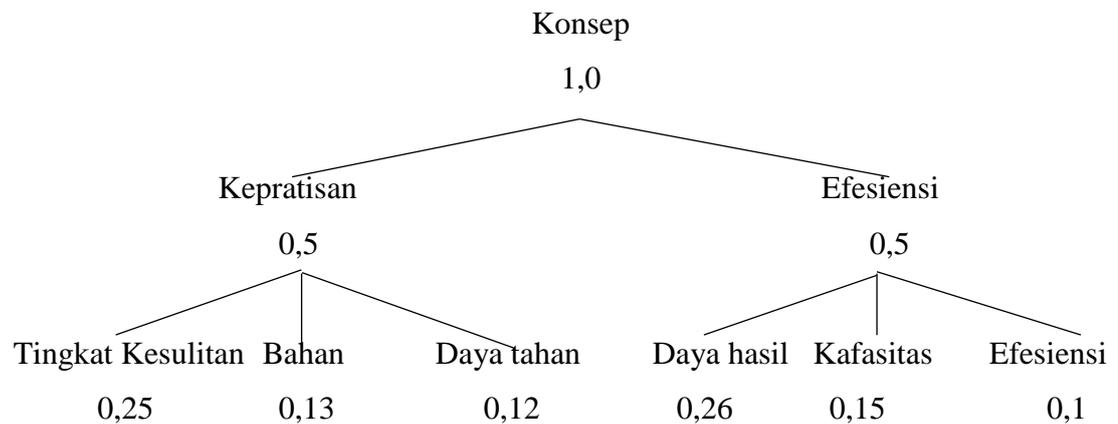
Adapun bagian-bagian yang terdapat pada sketsa di atas adalah :

1. Generator
2. Poros
3. Pendulum
4. Ponton
5. Kerangka

#### 4.2. Pemilihan Konsep Rancangan

Dalam proses pemilihan konsep rancangan alat uji tenaga gelombang laut tehnik pendulum telah dibuat menjadi tiga konsep terbaik. Oleh karena itu, penulis memilih satu konsep untuk melakukan sebagai alat uji tenaga gelombang tehnik pendulum yaitu pendulum vertical dengan ponton segi enam. Konsep ini memiliki keseimbangan yang efisien dari konsep konsep yang lainnya. Dengan menggunakan nilai skala 5 yang dimulai dari 0 hingga 4, kriteria tertentu diberi

pemeringkatan dan pada akhirnya penjumlahan dengan nilai terbesar yang dianggap paling baik. Untuk pemilihan konsep alat konversi energi tenaga gelombang dengan tehnik pendulum akan ditentukan kriteria yang dianggap sesuai yang terlihat pada pohon objektif dibawah.



Gambar 4.4 pohon objektif untuk pemilihan konsep.

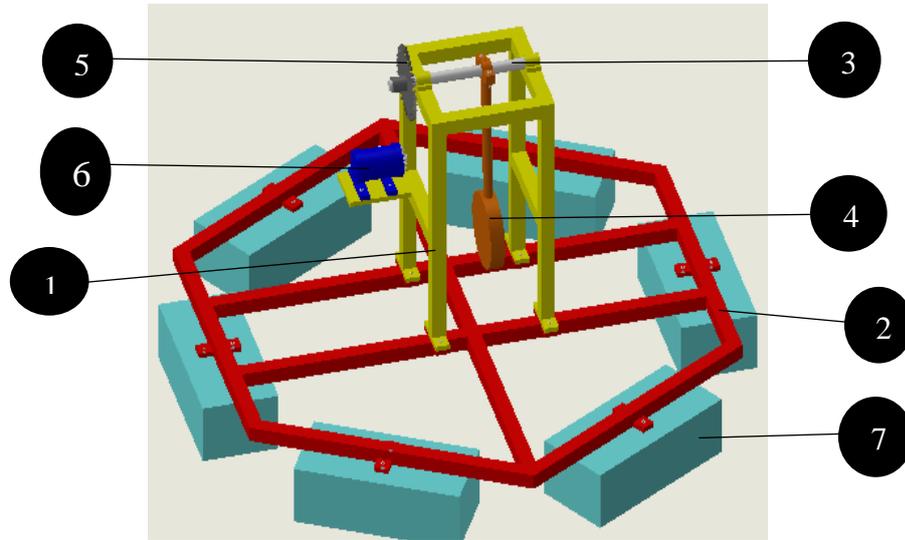
Hasil pemilihan konsep ini telah ditinjau dari kepraktisan dan efisiensinya, maka dari itu jenis konsep 1 yang mendapat penilaian terkecil dibanding dari dua konsep yang lainnya, dan jenis konsep 2 tersebut mendapatkan penilaian tertinggi kedua, dan jenis konsep yang terakhir mendapatkan penilaian tertinggi yang pertama. Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Pemilihan Konsep

Kriteria	Faktor Pemberat	Konsep 1			Konsep 2			Konsep 3		
		Besaran	Angka	Nilai	Besaran	Angka	Nilai	Besaran	Angka	Nilai
Tingkat kesulitan	0,25	Sangat Sulit	2	0,5	Mudah	6	1,5	Sulit	4	1
Bahan	0,13	Mahal	2	0,26	Murah	4	0,52	Murah	4	0,52
Daya tahan	0,12	Rendah	2	0,24	Sedang	4	0,48	Tinggi	6	0,72
Daya yang di hasilkan	0,26	Sedang	4	1,04	Sedang	4	1,04	Besar	6	1,56
kapasitas	0,15	Besar	6	0,72	Kecil	2	0,3	Besar	6	0,9
Efisiensi	0,1	Kecil	2	0,24	Sedang	4	0,4	Besar	6	0,6
Hasil				3			4,24			5,3

#### 4.3. Gambar Rancangan

Setelah pemilihan konsep yang telah dilakukan yaitu konsep pendulum vertical dengan ponton segi enam, terdapat sebuah rancangan gambar teknik sebelum pembuatan terselesaikan. Gambar tersebut dapat terlihat dibawah ini.



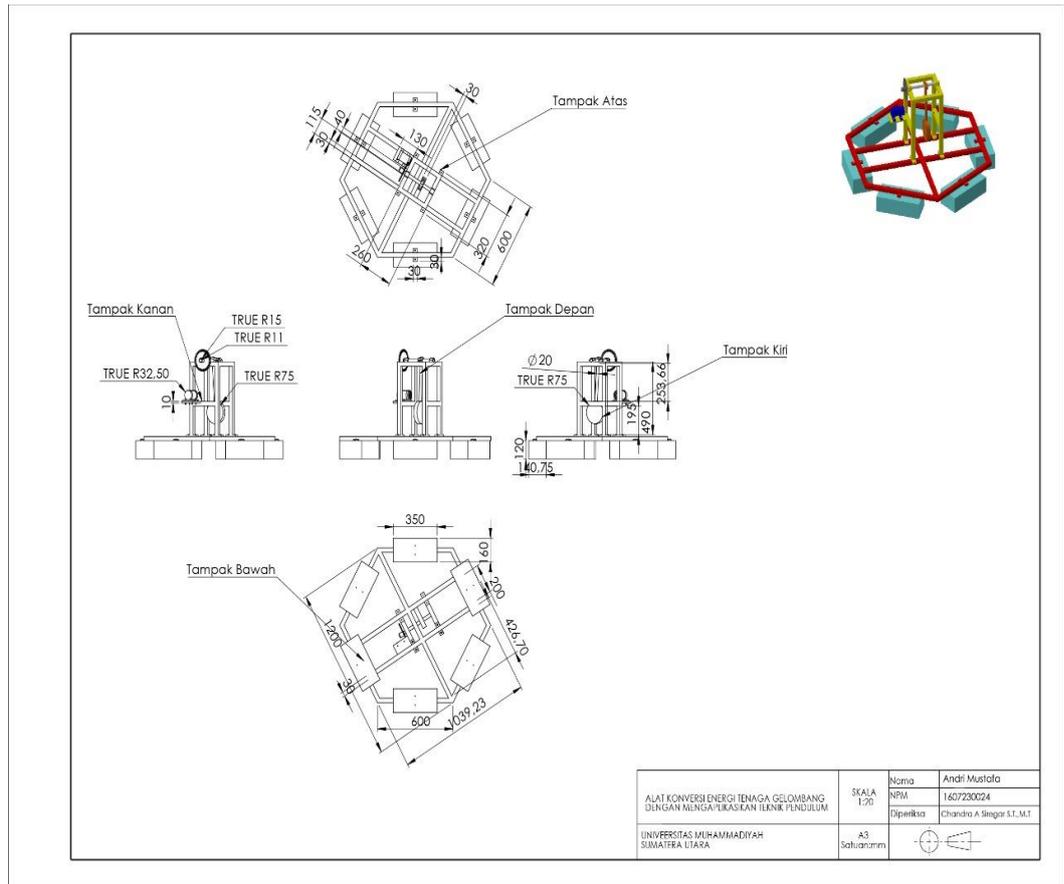
Gambar 4.5 Gambar Rancangan

Pada gambar rancangan diatas, terdapat bagian-bagian alat uji pembangkit listrik tenaga gelombang laut tehnik pendulum :

1. Kerangka Atas
2. Kerangka Bawah
3. Poros
4. Pendulum
5. Roda Gigi
6. Generator
7. Ponton

#### 4.3.1. Gambar Teknik

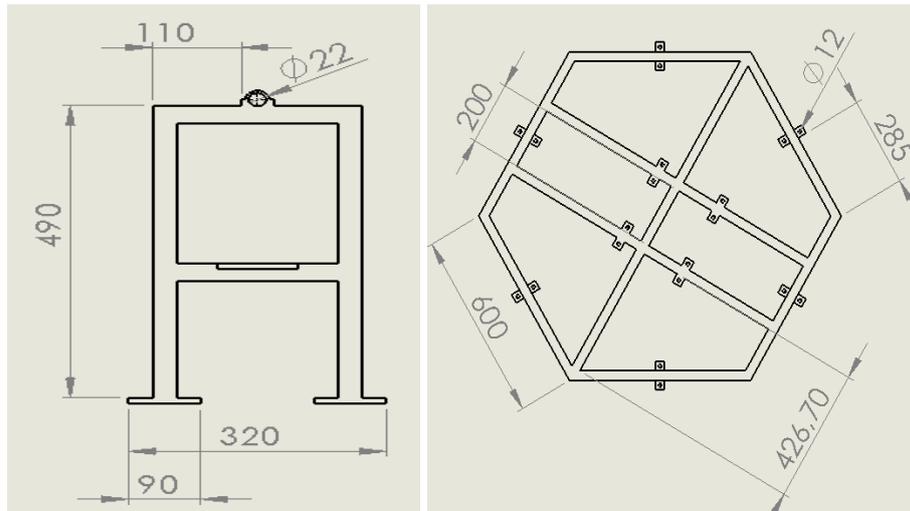
Setelah membuat gambar rancangan menggunakan konsep pendulum vertikal dengan ponton segienam pada alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum, gambar rancangan ini dibuat menggunakan *software solidwork* 2014. Gambar teknik tersebut dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4.6 Gambar Teknik

#### 4.3.2. Kerangka Atas dan Kerangka Bawah

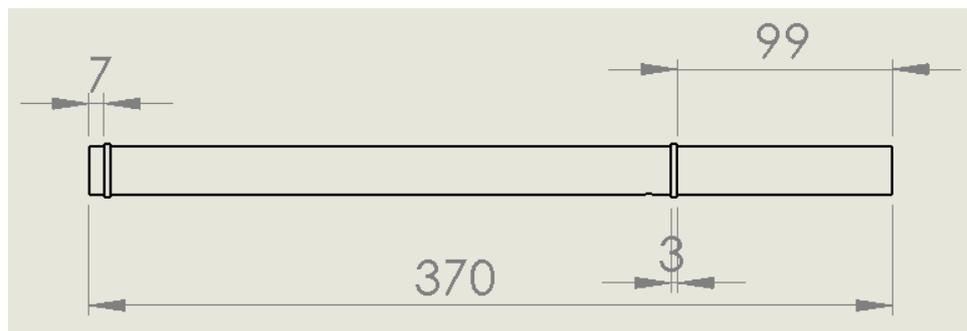
Kerangka ini dirancang terpisah supaya bisa bongkar pasang , kerangka berfungsi sebagai penyangga utama untuk komponen pada pembangkit listrik dengan metode pendulum.



Gambar 4.7 Kerangka atas dan kerangka bawah

#### 4.3.3. Poros

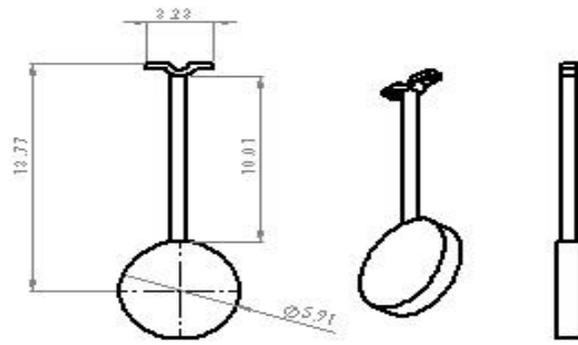
Poros berfungsi sebagai penyalur daya atau tenaga melalui putaran sehingga poros ikut berputar.



Gambar 4.8 Poros

#### 4.3.4. Pendulum (Bandul)

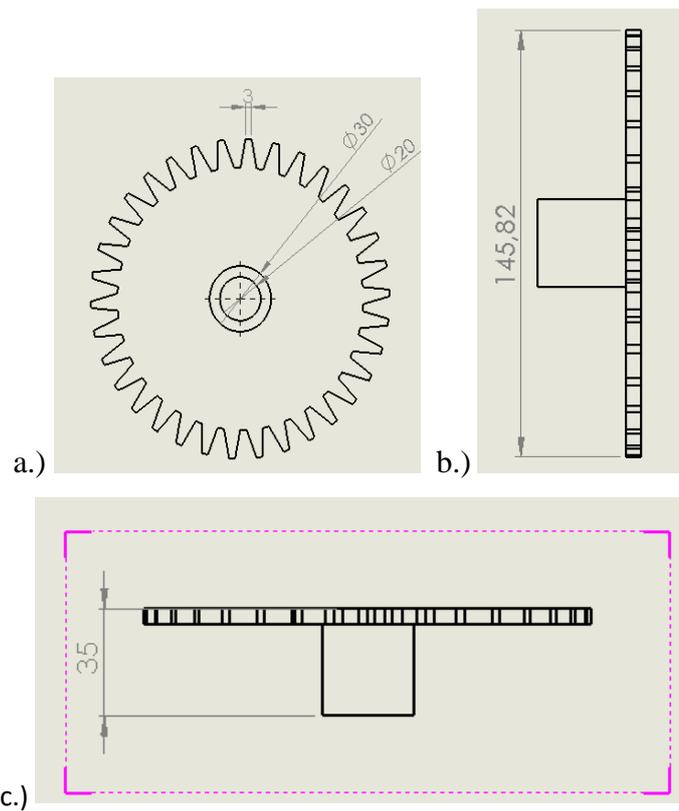
Bandul berfungsi sebagai penggerak utama dari alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum.



Gambar 4.9 Bandul

#### 4.3.5. Roda gigi

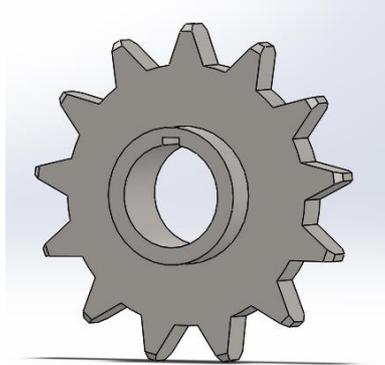
Roda gigi berfungsi untuk meneruskan gerak mekanik dari poros ke sprocket.



Gambar 4.10 Roda Gigi; a.) Tampak depan; b.) Tampak samping;  
c.) Tampak atas

#### 4.3.6. Sprocket

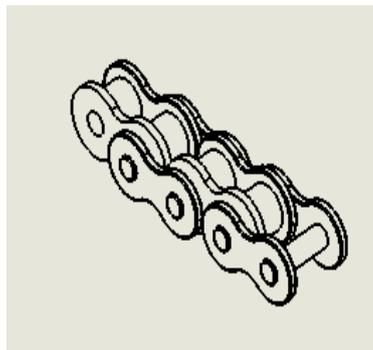
Sprocket berfungsi untuk mengubah arah gerak bolak balik pada roda gigi menjadi satu arah.



Gambar 4.11 Sprocket

#### 4.3.7. Rantai

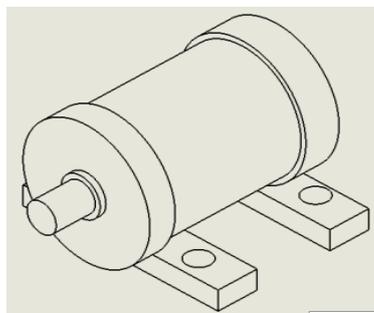
Rantai berfungsi untuk menghubungkan dan meneruskan gerak mekanik dari roda gigi ke sprocket.



Gambar 4.12 Rantai

#### 4.3.8. Generator

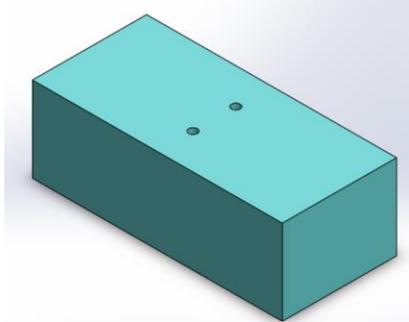
Generator ini berfungsi sebagai pengubah energy mekanik menjadi energy listrik.



Gambar 4.13 Generator

#### 4.3.9. Ponton

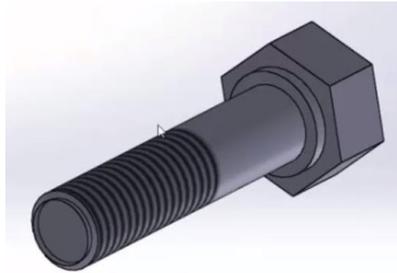
Pipa/Ponton berfungsi sebagai pelampung pada pembangkit listrik tenaga gelombang air.



Gambar 4.14 Ponton

#### 4.3.10. Baut 10 mm

Baut berfungsi sebagai penyambung kerangka atas dan kerangka bawah



Gambar 4.15 Baut

#### 4.3.11. Bearing

Bearing berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua benda yang bergerak relatif satu sama lain.



Gambar 4.16 Bearing

#### 4.3.12. Daftar Harga

Pada komponen – komponen yang digunakan dalam pembuatan alat uji pembangkit listrik tenaga gelombang teknik pendulum memiliki harga yang berbeda setiap komponennya, pada table 4.2 dibawah ini dapat kita lihat daftar harga setiap komponennya.

Tabel 4.2. Daftar suku cadang dan harga pada pembangkit listrik tenaga gelombang sistem pendulum

No	Suku Cadang	Harga pembelian Rp	Banyak
1	Besi Hollow	100.000	1
2	Generaor	150.000	1
3	Roda gigi	20.000	1
4	Besi Poros	100.000	1
5	Multitester	150.000	1
6	Baut dan mur	25.000	10
7	Bearing	30.000	2
8	Sprocket	50.000	1
9	Pipa pvc	450.000	1
10	Rantai	50.000	1
11	Klem pipa	180.000	12
12	Dop pvc	240.000	12
	Jumlah	1.445.000	44

#### 4.4 Spesifikasi Alat

Spesifikassi alat konversi energi gelombang teknik pendulum yang akan di buat dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah.

Tabel 4.3 spesifikasi

	Dimensi Pendulum(mm)
Panjang/mm	1200
Lebar/mm	1039
Tinggi/mm	610
Diameter bandul	150
Panjang lengan bandul	253

Panjang ponton	350
Diameter ponton	127
Dimensi bearing(mm)	
Diameter luar/mm	32
Diameter dalam /mm	14
Diameter poros/mm	14
Engine	
Daya	12 volt
Putaran	1900 rpm

#### 4.5 Analisa Pengujian Alat

Dalam kesempatan ini akan di lakukan pengujian untuk memastikan bahwa alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum ini dapat bekerja. Pada pengujian ini dilakukan pengujian analisa tinggi air kolam terhadap daya listrik, dan tinggi air kolam terhadap panjang gelombang yang di hasilkan. Ada pun langkah-langkah pengujian yang dilakukan pada pengujian alat ini yaitu :

1. Mengisi air kolam gelombang setinggi 30 cm.

Kolom ombak di isi air hingga setinggi 30 cm dari dasar kolam, ketinggian air dapat di lihat dari meteran yang terdapat di dinding kolam.



Gambar 4.17 Tinggi air 30 cm

2. Menyalakan mesin pendorong air ( mesin gelombang air ).

Setelah melakukan pengisian air didalam kolam selanjutnya menyalakan mesin pendorong air.



Gambar 4.18 Mesin Pendorong Gelombang Air

3. Melihat tinggi dan pajang gelombang yang di hasilkan.

Setelah menyalakan mesin gelombang maka selanjutnya melihat berapa tinggi dan panjang gelombang air yang dihasilkan.



Gambar 4.19 Ketinggian dan Panjang Gelombang

4. Mengukur arus pada generator menggunakan multimeter.

Selanjutnya setelah mesin gelombang dinyalakan maka menghasilkan gelombang air yang naik turun di dalam kolom gelombang air buatan yang menyebabkan bandul pada alat pembangkit listrik tenaga gelombang air sistem pendulum bergerak menggerakkan roda gigi lalu ditransmisikan ke generator,

kemudian mengukur berapa arus yang dihasilkan pada pendulum vertical dengan ponton segienam.



Gambar 4.20 Mengukur arus

Dari hasil pengujian alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil pengujian alat

Tinggi Air (cm)	Tinggi Gelombang (cm)	Panjang Gelombang (cm)	Arus yang Dihasilkan (m,dca)
30	2	66	0,01

Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum pada saat pengujian kolam gelombang buatan diisi air dengan ketinggian 30 cm menghasilkan tinggi gelombang 2 cm, panjang gelombang 66 cm, kemudian arus yang dihasilkan 0,01 mdcA.

#### 4.5.1 Energi Yang Di Hasilkan Gelombang

Besarnya energi potensial dari gelombang pada ketinggian air 30 cm dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = \frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda$$

Dimana :  $\rho$  = massa jenis air

$w$  = adalah lebar ruang

$g$  = percepatan gravitasi bumi

$A$  = amplitudo gelombang

$\lambda$  = panjang gelombang

$$E_p = \frac{1}{4} \cdot 1000 \frac{kg}{m^2} \cdot 1 \cdot (0,01^2) \cdot 0,066 = 0,00165 \text{ J}$$

$$\text{Dimana } A^2 = \sin\left(\frac{60}{17}\right) = 0,01 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{66}{1000} = 0,066 \text{ m}$$

Berdasarkan rumus (2.38) dan (2.39) maka di peroleh energi kinetik gelombang sama dengan energi potensial.

$$E_K = \frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda$$

$$E_K = \frac{1}{4} \cdot 1000 \frac{kg}{m^2} \cdot 1 \cdot (0,01^2) \cdot 0,066 = 0,00165 \text{ J}$$

Energi gelombang adalah energi mekanik gelombang yang merupakan total dari energi potensial gelombang dan energi kinetik gelombang, sehingga:

$$E_M = E_p + E_K$$

$$E_M = \left(\frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda\right) = \left(\frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda\right)$$

$$E_M = \frac{1}{2} \rho w g A^2 \lambda$$

$$E_M = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^2} \cdot 1 \cdot (0,0016^2) \cdot 0,066 = 0,0844 \text{ J}$$

Jadi besarnya energi yang di dapat pada energi potensial, energi kinetik, energi mekanik adalah  $E_p = 0,00165 \text{ J}$ ,  $E_K = 0,00165 \text{ J}$ ,  $E_M = 0,0844 \text{ J}$ .

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan pada alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum ini telah selesai dirancang dengan menggunakan aplikasi solidwork dan memilih konsep kedua yaitu pendulum vertical dengan ponton segienam.
2. Hasil dari pengujian alat konversi energi tenaga gelombang air dengan mengaplikasikan teknik pendulum hasil yang didapat adalah pengujian ketinggian air pada kolam gelombang 30 cm menghasilkan tinggi gelombang 2 cm, panjang gelombang 66 cm, energi potensial 0,00165 J, energi kinetik 0,00165 J, energi mekanik 0,0844 J, dan menghasilkan arus listrik 0,01 mdcA.

#### 5.2. Saran

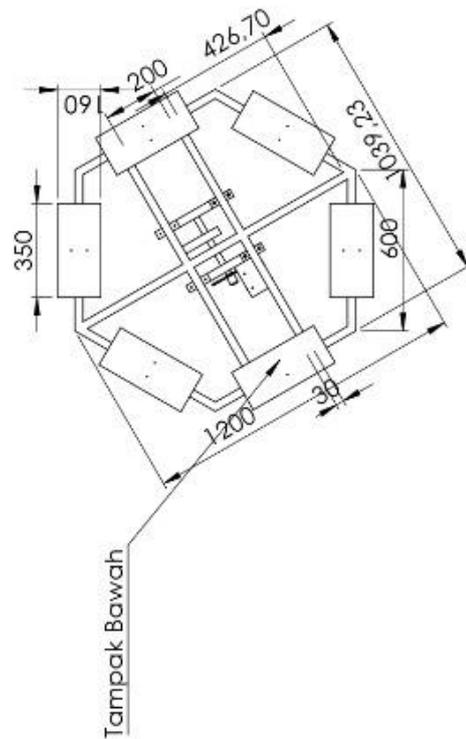
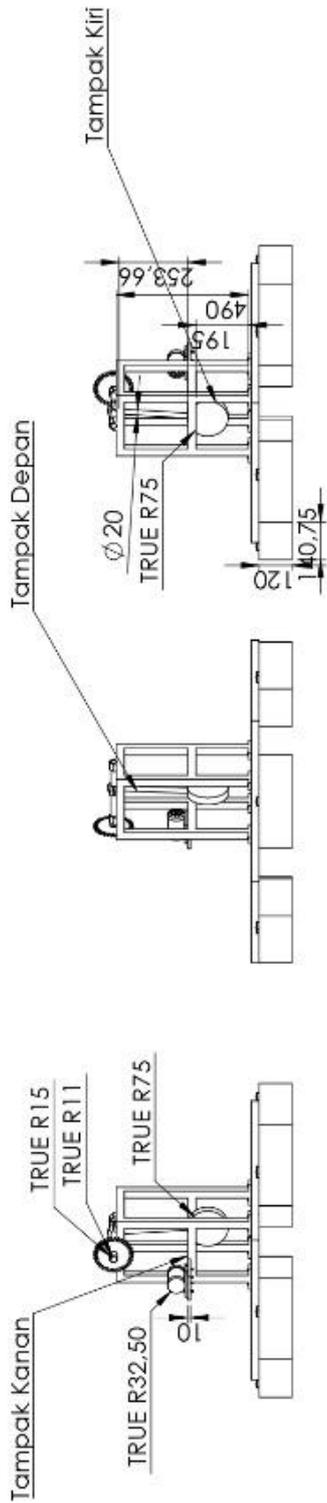
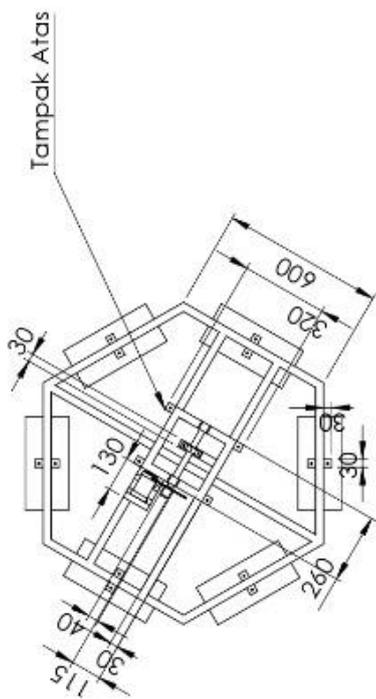
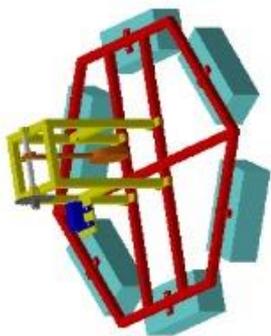
Berdasarkan dari hasil penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, maka penulis memberikan saran kepada pembaca penelitian ini, untuk menambah informasi tentang alat pembangkit listrik tenaga gelombang. Dan kemudian bagi peneliti lainnya, untuk mendapatkan pengkajian tentang alat pembangkit listrik tenaga gelombang dan sebagai sumber referensi terkait dengan alat pembangkit listrik tenaga gelombang teknik pendulum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hongzhou. H, & Hui. L. (2014). *Numerical Simulation Of the Pendulum System In a Buoy Pendulum*. Energy Procedia, 2030-2033.
- Kusumastuti. A, Triwinarno. Y, & Guntur.L.H, (2012). Studi Eksperimen Karakteristik Putaran Pendulum Pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Tiga Pendulum. *Jurnal Teknik Pomits I* (2), 2.
- Lubis. Sudirman, Siregar. Irpansyah, & Siregar. A. M., (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. Vol. 3, No. 2, September 2020, Halaman 85-92 ISSN 2622-7398
- Lubis. Sudirman, Siregar, Chandra, A, Siregar Irpansyah, & Hasibuan Edi Sarman, (2020). Kajian Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis. ISSN 2622-7398 Vol. 3, No. 1, Maret 2020, Hal : 1 - 10
- Mc Cormick & Michael, E., (1981) .*OCEAN Wave Energy Conversion*, John Wiley And Sons, Newyork
- Navarro, D, Dkk, 2008. *Wave Energy Conversion*. USA : Departemen Of Architecture And Marien Enginnering.
- Noerpamoengkas Ardi & Ulum Miftahul. (2015). Pemodelan Pengaruh Frekuensi Dan Amplitudo Eksitas Terhadap Respon Gerak Dan Daya Mekanis Pendulum Vertikal Pada Konverter Energi Gelombang Laut. ISBN 978-602-98569-1-0.
- Putra Andhika Rendy, Massarwoko, Rusdinar Angga, (2016). Desain dan implementasi pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan pendulum. Vol 3 (1), 15.
- Safitri, L. E., Jumarang, M. I., & Apriansyah, A. (2016). Studi Potensi Energi Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column (OWC)* di Perairan Pesisir Kalimantan Barat. *Positron*, 6(1), 8–16. <https://doi.org/10.26418/positron.v6i1.14536>.
- Siregar, Chandra, A. dan Siregar, A. M., (2019), Studi Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Terhadap Destilasi Air Laut Memanfaatkan Nergi Matahari, vol. 2, No. 2, sept 2019, 165-170. Medan : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Siregar, A. M., and Siregar, Chandra, A., (2019). *Reliability Test Prototype Wind Turbine Savonius Type Helical As An Alternative Electricity Generator*, Medan : University of Muhammadiyah Sumatera Utara

- Siregar, A. M., Siregar Chandra, A, dan Yani, M., (2019), Rekayasa saluran gas buang sepeda motor guna mengurangi pencemaran udara, vol. 2, No. 2, sept 2019, 171-179, Medan : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Suryanto Hendri & Mawarni Indah Drajat. (2019). Analisis Potensi Daya Mekanis Yang Dihasilkan Konverter Energi Metode Bandul Vertikal Di Air Tenang. *Simetris*, Vol 13 (2)
- Suwarno Untoro Djoko. (2015). Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang alumunium. Prosiding SKF
- Wijaya, I. W. (2010). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi *Oscilating Water Column*. *Pembangkit Listrik Tenaga* , 9 (2), 165.
- Zamri. Aidil, Mura.Yusri, Asmed, & Adril. Elvis. (2015). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Empat Bandul. ISSN : 2407-1846, e-ISSN : 2460-8416.

# **LAMPIRAN**



ALAT KONVERSI ENERGI TENAGA GELOMBANG DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK PENDULUM	SKALA 1:20	Nome	Andri Mustafa
		NPM	1607230024
		Diperiksa	Chandra A. Silegar S.T., M.T.
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	A3 Satuan:mm		



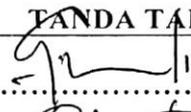
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Andri Mustafa

NPM : 1607230024

Judul Tugas Akhir : Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga Gelombang Air Dengan Mengaplikasikan Teknik Pendulum.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
<b>Pembimbing – I</b>	<b>: Chandra A Siregar.S.T.M.T</b>	:	
<b>Pemanding – I</b>	<b>: Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T</b>	:	
<b>Pemanding – II</b>	<b>: Sudirman Lubis.S.T.M.T</b>	:	.....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607230194	RIZA FAUZI PRATAIMA	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 06 Sya'ban 1442 H  
20 Maret 2021 M

Ketua Prodi. T. Mesin



  
Andri.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Andri Mustafa  
NPM : 1607230024  
Judul T.Akhir : Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga Gelombang Air Dengan Mengaplikasikan teknik Pendulum.

Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Ahmad Marabdi.Srg.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
  1. Perbaiki kalimat per tujuan -
  2. Buat Gbr. Jelaskan
  3. Tambah dokumentasi gambar
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....  
.....

Medan 06 Sya'ban 1442H  
20 Maret 2021M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- I

  
Ahmad Marabdi siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Andri Mustafa  
NPM : 1607230024  
Judul T.Akhir : Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga Gelombang Air Dengan Mengaplikasikan teknik Pendulum.

Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Ahmad Marabdi.Srg.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....  
.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 06 Sya'ban 1442H  
20 Maret 2021M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi.S.T.M.T



Dosen Pembanding- II

  
Sudirman Lubis.S.T.M.T





**UMSU**

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12

Website: <http://teknik.umsu.ac.id> E-mail: [teknik@umsu.ac.id](mailto:teknik@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor :1058/II.3-AU/UMSU-07/F/2020**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 14 September 2020 dengan ini Menetapkan :

Nama : **ANDRI MUSTAFA**  
NPM : 1607230024  
Program Studi : **TEKNIK MESIN**  
Semester : **IX(SEMBILAN)**  
Judul Tugas Akhir : **PERANCANGAN ALAT KONVERSI ENERGI TEBAGA GELOMBANG  
DENGAN MENGAPLIKASIKAN TEKNIK PENDULUM**

Pembimbing – I : **CHANDRA A SIREGAR, ST, MT**

Dengan demikian diizinkan untuk menulis Tugas Akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Penulisan Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (Satu) Tahun dan tanggal yang big : sditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,  
Medan, 27 Muharram 1442 H  
15 September 2020 M



Dekan

**Alfansury Siregar, S.T, M.T**

**NIDN : 0101017202**

Cc. File



## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

### Perancangan Alat Konversi Energi Tenaga Gelombang Dengan Mengaplikasikan Teknik Pendulum

Nama : Andri Mustafa  
NPM : 1607230024

Dosen Pembimbing 1 : Chandra A Siregar S.T.,M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	7/1/20	Perbaiki Bab 1 dan 2	P
2.	9/1/20	Perbaiki Bab 2, Lanjut Bab 3	P
3.	13/1/20	Perbaiki Bab 3	P
4.	27/2/20	Lanjut Bab 4	P
5.	17/3/20	Perbaiki Bab 4	P
6.	8/3 - 2021	All, Semhas	P



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Andri Mustafa  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Tempat Tanggal Lahir : Serapuh , 21 Juli 1998  
Alamat : Huta Margomulyo  
Agama : Islam  
E-Mail : [andrimustafa2017@gmail.com](mailto:andrimustafa2017@gmail.com)  
No. Hp : 082387323702

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 091261 Perk. Bangun Tahun 2004-2010
2. SMP Negeri 1 Gunung Malela Tahun 2010-2013
3. SMK Negeri 2 Pematang Siantar Tahun 2013-2016
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2016-2021