

**TUGAS AKHIR - ME184834**

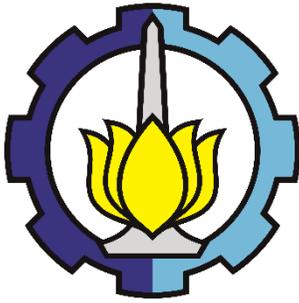
**MODEL SISTEM ELEKTRIK PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG AIR LAUT MENGGUNAKAN *PIEZOELECTRIC* DI PULAU  
GILI LABAK SUMENEP MADURA**

Pantou Janur Panjogi  
NRP. 04211746000015

Dosen Pembimbing:  
Juniarko Prananda, S.T., M.T.  
Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - ME184834**

**MODEL OF ELECTRICAL SYSTEM IN SEA WAVE POWER PLANT  
USING PIEZOELECTRIC IN SUMENEP MADURA GILI ISLAND**

*Pantou Janur Panjogi*  
*NRP. 04211746000015*

*Supervisors:*  
*Juniarko Prananda, S.T., M.T.*  
*Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng*

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Model Sistem Elektrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut  
Menggunakan Piezoelectric Di Pulau Gili Labak Sumenep Madura**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

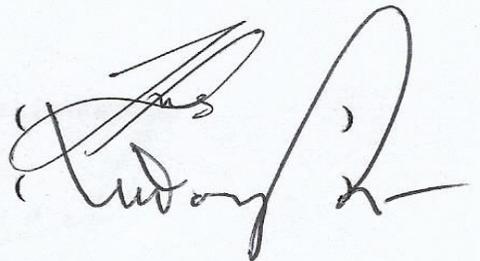
**Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*  
S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**PANTOU JANUR PANJOGI  
NRP : 0421 17 4600 0015**

**Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

- 1. Juniarko Prananda, S.T., M.T  
NIP. 1990 0605 2015 04 1001**
- 2. Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng  
NIP. 1958 0807 1984 03 1004**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

Model Sistem Elektrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut Menggunakan Piezoelectric Di Pulau Gili Labak Sumenep Madura

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*  
S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PANTOU JANUR PANJOGI  
NRP : 0421 17 4600 0015

Disetujui Oleh

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D  
NIP. 1979 0319 2008 01 1008

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**MODEL SISTEM ELEKTRIK PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA GELOMBANG AIR LAUT MENGGUNAKAN  
PIEZOELECTRIC DI PULAU GILI LABAK SUMENEP MADURA**

Nama : Pantou Janur Panjogi  
NRP : 0421174600015  
Dosen Pembimbing 1 : Juniarko Prananda, S.T., M.T.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng

**ABSTRAK**

Permasalahan energi merupakan masalah yang dari dulu diperbincangkan karena sumber energi yang tersedia di alam sudah sangat terbatas, sehingga diperlukan sumber energi yang tidak terbatas dan ramah lingkungan seperti gelombang laut yang digunakan sebagai pembangkit listrik. Salah satu media energy converter yang masih dikembangkan dan diteliti saat ini adalah material *piezoelectric*, sehingga pengkajian elemen *piezoelectric* belum selesai hingga saat ini. Pada tugas akhir ini dimodelkan dan dianalisa energi listrik bangkitan yang akan dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan tipe ponton *piezoelectric*. Pergerakan gelombang laut sebagai eksitasi mekanisme menggerakkan pelampung yang terletak dipermukaan air laut. Gerakan naik turun gelombang yang bergerak akan diteruskan ke sebuah massa pada mekanisme PLTGL. Massa tersebut menerima gaya bangkitan dan menyebabkan gerakan naik turun yang menggerakkan material *piezoelectric* dan mengalami defleksi karena pergerakan gelombang air laut. Hasil dari tugas akhir ini adalah terciptanya pemodelan dan analisa energi dari model PLTGL tipe pelampung *piezoelectric* yang mampu menghasilkan grafik respon antara lain displacement, kuat arus, voltase dan daya listrik bangkitan terhadap waktu. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan bahwa tinggi dan frekuensi gelombang laut serta jumlah elemen *piezoelectric* mempengaruhi daya bangkitan yang dihasilkan model ini.

**Kata kunci:** *Energi listrik bangkitan, Gelombang laut, Piezoelectric, PLTGL, Renewable Energy.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **MODEL OF ELECTRICAL SYSTEM IN SEA WAVE POWER PLANT USING PIEZOELECTRIC IN SUMENEP MADURA GILI ISLAND**

Name : Pantou Janur Panjogi  
NRP : 04211746000015  
Supervisor 1 : Juniarko Prananda, S.T., M.T.  
Supervisor 2 : Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng

### **ABSTRACT**

*The problem of energy is a problem that has always been discussed because energy sources available in nature are very limited, so it requires unlimited and environmentally friendly energy sources such as ocean waves that are used as electricity generation. One of the energy converter media that is still being developed and researched today is piezoelectric material, so the assessment of piezoelectric elements has not been completed until now. In this final project is modeled and analyzed the generation of electrical energy that will be generated by the Sea Wave Power Plant (PLTGL) with the type of piezoelectric pontoon. The movement of ocean waves as an excitation mechanism moves the buoy located on the surface of sea water. Movement of up and down moving waves will be forwarded to a mass in the PLTGL mechanism. The mass receives a rising force and causes up and down movements that move the piezoelectric material and experience deflection due to the movement of waves of sea water. The result of this thesis is the creation of energy modeling and analysis of the PLTGL piezoelectric buoy type model that is able to produce response graphs including displacement, current strength, voltage and power generation with respect to time. From the results of research that has been done, it is produced that the height and frequency of ocean waves and the number of piezoelectric elements affect the power generated by this model.*

**Keys note: Electricity Generation, Ocean Waves, Piezoelectric, PLTGL, Renewable Energy.**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Azza wa Jalla yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad ‘Alaihi Shalatu wa Salam, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir ini yang berjudul **“MODEL SISTEM ELEKTRIK PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG AIR LAUT MENGGUNAKAN PIEZOELECTRIC DI PULAU GILI LABAK SUMENEP MADURA”**.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dua orang tua yang telah kepayahan merawat, membesarkan, dan mendidik penulis, atas dukungan moril dan materil yang diberikan.
2. Adik kandung atas dukungan semangat yang diberikan.
3. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
4. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T dan Bapak Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan arahan, bimbingan, saran, dan motivasi.
5. Bapak Ede Mehta Wardhana, ST., MT selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama mahasiswa.
6. Vina Herliana sebagai partner yang selalu mendampingi dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Seluruh staff dan member Lab Marine Electrical and Automation System (MEAS) dan khususnya Alan Budi Pratama Putra dan Maulana Rakhim yang telah bersama-sama pengujian model Tugas Akhir.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun, semoga dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Sistem Perkapalan khususnya, dan civitas akademis ITS pada umumnya, serta dapat menjadi referensi untuk pengerjaan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 8 Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Skripsi.....	2
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Energi Gelombang.....	5
2.2 Klasifikasi dan Karakteristik Wave Energy Converter (WEC) .....	5
2.3 Jenis Gelombang .....	8
2.4 Pergerakan Gelombang.....	10
2.5 Energi Listrik .....	10
2.6 Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik .....	12
2.7 Elemen <i>Piezoelectric</i> .....	13
2.8 <i>Arduino Uno</i> .....	14
2.9 <i>SD Card Datalogger</i> .....	15
2.10 <i>LED (Light Emitting Dioda)</i> .....	16
2.11 <i>Micro SD 4GB</i> .....	17
2.12 Multimeter .....	17
2.13 <i>Powerbank</i> .....	18
2.14 <i>Pulau Gili Labak</i> .....	18
2.15 <i>Electromechanical Coupling Factor</i> .....	21

III METODOLOGI.....	23
3.1 Metodologi Penelitian.....	23
3.2 Studi Literatur .....	23
3.3 Pengumpulan Komponen .....	24
3.4 Perancangan Sistem Elektrik .....	24
3.5 Simulasi Model .....	25
3.6 Analisa dan Pembahasan .....	25
3.7 Kesimpulan dan Saran .....	25
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Pembuatan Model .....	27
4.2 Pengujian Data <i>Pizelectric</i> Pada Laut .....	29
4.3 Perhitungan Untuk Menentukan Daya (W).....	32
4.4 Perhitungan Untuk Menentukan Efisiensi Pada Sistem Elektrik ...	34
4.5 Perhitungan Untuk Menentukan <i>Scale Up</i> Jumlah Kebutuhan Piezoelektrik Pada Pulau Gili Labak.....	35
4.6 Perhitungan Untuk Menentukan Scale Up Kebutuhan Listrik Pada Pulau Gili Labak .....	36
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA .....	41

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Perkiraan sebaran daya gelombang dalam kW/m .....	5
<b>Gambar 2.</b> Diagram kerja oscillating water column (OWC) .....	6
<b>Gambar 3.</b> Diagram kerja buoy-type float - type WEC .....	7
<b>Gambar 4.</b> Kerja turbine-type WEC – overtopping WEC.....	7
<b>Gambar 5.</b> Pembentukan gelombang acak dari superposisi gelombang-gelombang reguler .....	8
<b>Gambar 6.</b> Perbandingan spektrum gelombang dari sejumlah formulasi.....	9
<b>Gambar 7</b> Karakteristik ombak.....	10
<b>Gambar 8.</b> Elemen Piezoelectric .....	13
<b>Gambar 9.</b> Elemen Piezoelectric .....	14
<b>Gambar 10.</b> Arduino Uno .....	14
<b>Gambar 11.</b> SD Card Datalogger .....	15
<b>Gambar 12.</b> Bentuk LED.....	16
<b>Gambar 13.</b> Micro SD 4GB .....	17
<b>Gambar 14.</b> Multimeter .....	17
<b>Gambar 15.</b> Powerbank.....	18
<b>Gambar 16.</b> Gambar Pulau Gili Labak .....	19
<b>Gambar 17.</b> letak di Pulau Gili Labak .....	20
<b>Gambar 18.</b> Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	23
<b>Gambar 19.</b> Diagram Proses Model .....	24
<b>Gambar 20.</b> Rancang Bangun.....	24
<b>Gambar 21.</b> 3D model pontoon .....	27
<b>Gambar 22.</b> Dimensi Cassing di atas Ponton .....	28
<b>Gambar 23.</b> Poros Bandul dan Piezoelektrik Pada Model Ponton .....	28
<b>Gambar 24.</b> Data dengan variasi cadik 25 cm sudu 20.....	28
<b>Gambar 25.</b> Data dengan variasi cadik 25 cm sudu 10.....	29
<b>Gambar 26.</b> Data dengan variasi cadik 25 cm sudu 5 .....	29
<b>Gambar 27.</b> Data dengan variasi cadik 20 cm sudu 20.....	30
<b>Gambar 28.</b> Data dengan variasi cadik 20 cm sudu 10.....	30
<b>Gambar 29.</b> Data dengan variasi cadik 20 cm sudu 5 .....	31
<b>Gambar 30.</b> Mekanisme Pengujian Pizoelectric .....	31
<b>Gambar 31.</b> Grafik variasi cadik 25 cm .....	34
<b>Gambar 32.</b> Grafik variasi cadik 20 cm .....	34

## DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1. Klasifikasi Energi Laut</i> .....	5
<i>Tabel 2. Kondisi Kualitas dan kedalaman perairan.</i> .....	20
<i>Tabel 3. Data Pontoon</i> .....	28
<i>Tabel 4. Data dengan variasi cadik 20 cm</i> .....	29
<i>Tabel 5. Data dengan variasi cadik 25 cm</i> .....	29
<i>Tabel 6. Data dengan variasi cadik 25 cm pada Daya</i> .....	33
<i>Tabel 7. Data dengan variasi cadik 20 cm pada Daya</i> .....	33
<i>Tabel 8. Data efisiensi dengan variasi cadik 25 cm</i> .....	35
<i>Tabel 9. Data efisiensi dengan variasi cadik 20 cm</i> .....	35
<i>Tabel 10. Data Scale Up Jumlah Piezoelektrik dengan variasi cadik 25 cm</i> .	36
<i>Tabel 11. Data Scale Up Jumlah Piezoelektrik dengan variasi cadik 20 cm</i> .	36
<i>Tabel 12. Data Scale Up Daya dengan variasi cadik 25 cm</i> .....	37
<i>Tabel 13. Data Scale Up Daya dengan variasi cadik 20 cm</i> .....	37

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Potensi sumber daya energi laut Indonesia yang meliputi energi gelombang, pasang surut, dan panas laut mencapai 727.000 MW dengan perkiraan energi efektif yang dapat dimanfaatkan dengan teknologi sekarang berkisar 49.000 MW. Hingga saat ini, sudah terdapat beberapa penelitian-penelitian dan pengembangan mengenai metode pemanen energi laut untuk dikonversi menjadi energi listrik sebagai pembangkit listrik di Indonesia, baik hanya dalam bentuk simulasi pemodelan mekanisme, hingga melakukan eksperimen secara langsung.

Dari beberapa jenis energi laut yang dapat dimanfaatkan, penelitian mengenai pemanfaatan energi gelombang laut dipilih sebagai tema penelitian ini karena teknologi yang ada sekarang paling siap untuk diterapkan di laut Indonesia. Selain itu, sudah terdapat pula studi atau penelitian mengenai lokasi-lokasi di Indonesia yang berpotensi menjadi lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL), salah satunya yaitu Pulau Gili Labak. Pulau Gili Labak terletak di Kabupaten Sumenep Pulau Madura, Jawa Timur dengan potensi energi laut sekitar 1300 W/m<sup>2</sup>.

Analisa energi listrik bangkitan yang akan dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan tipe pelampung-*piezoelectric*. Pergerakan gelombang laut sebagai eksitasi mekanisme menggerakkan pelampung yang terletak dipermukaan air laut. Gerakan naik turun gelombang yang bergerak akan diteruskan ke sebuah massa pada mekanisme PLTGL. Massa tersebut menerima gaya bangkitan dan menyebabkan gerakan naik turun yang menggerakkan material *piezoelectric* dan mengalami defleksi karena pergerakan gelombang air laut

*Piezoelectricity* adalah kemampuan suatu material yang dapat menghasilkan medan listrik atau potensial listrik sebagai respon akibat tekanan mekanik (Yabes, 2016). Efek *piezoelectric* adalah suatu efek yang reversible, dimana terdapat efek *piezoelectric* langsung (*direct piezoelectric effect*) dan efek *piezoelectric* balikan (*converse piezoelectric effect*). Efek piezoelektrik langsung adalah produksi potensial listrik akibat adanya tekanan mekanik. Sedangkan efek *piezoelectric* balikan adalah produksi tekanan akibat pemberian tegangan listrik, contohnya adalah kristal lead zirconate titanate yang akan mengalami perubahan dimensi sampai maksimal 0.1 % jika diberi tegangan listrik. (Tama, 2009)

Selain lokasi, sudah terdapat pula beberapa metode yang diteliti untuk menjadi pemanen energi gelombang laut diantaranya, salter duck, metode

pelampung, dan *piezoelectric*. Diantara metode tersebut, pada penelitian ini dilakukan penelitian dengan *piezoelectric*. *Piezoelectric* merupakan suatu material yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik ataupun sebaliknya. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa penggunaan *piezoelectric* untuk memanen energi laut secara langsung hanya mampu menghasilkan daya pada ukuran miliwatt. Hal ini menunjukkan bahwa perlunya sebuah mekanisme baru untuk memaksimalkan potensi defleksi dan frekuensi resonansi dari *piezoelectric*.

Untuk itu, pada tugas akhir ini dibuat sebuah model sistem elektrik pada *piezoelectric* dalam skala laboratorium dengan mengacu pada gelombang laut di daerah Gili Labak sebagai referensi pembuatan alat skala sebenarnya yang dapat diterapkan di pesisir pada laut di Pulau Gili Labak. Rancangan ini menggunakan mekanisme bangunan lepas pantai untuk meningkatkan energi *piezoelectric* hingga menghasilkan listrik. Dimana penelitian ini memanfaatkan energi kinetik yang dihasilkan oleh gelombang laut dan selanjutnya akan disalurkan menuju massa yang dilengkapi oleh bandul yang akan memukul *piezoelectric*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas maka masalah utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan model sistem elektrik pada *piezoelectric* dalam skala laboratorium dengan mengacu pada gelombang laut?
2. Berapa besar voltase listrik yang dihasilkan pada model sistem elektrik pada *piezoelectric* dalam skala laboratorium dengan mengacu pada gelombang laut?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan dan mengantisipasi melebarinya topik permasalahan, penulis memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Hanya membahas mengenai hasil voltase listrik yang dihasilkan *piezoelectric* (skala laboratorium).
2. Pembuatan model sistem elektrik pada metode *piezoelectric* dihasilkan.
3. Tidak menghitung kekuatan bangunan model.
4. Tidak mendesain kontruksi pada sistem.

## 1.4 Tujuan Skripsi

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, pada penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Untuk membuat rancangan model sistem elektrik pada metode *piezoelectric* dalam skala laboratorium dengan mengacu pada gelombang laut.
2. Untuk mendapatkan daya listrik yang dihasilkan pada model sistem elektrik pada *piezoelectric* dalam skala laboratorium dengan mengacu pada gelombang laut.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

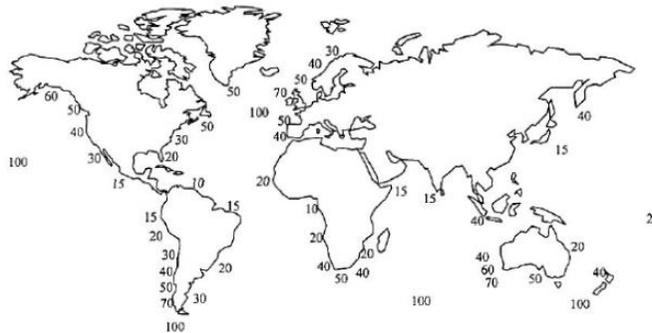
1. Mengetahui pembelajaran mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric* yang dapat menghasilkan energi listrik.
2. Sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut dalam skala yang sebenarnya.
3. Menyediakan sumber energi alternative untuk masyarakat.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Gelombang

Gelombang laut terbentuk dari energi matahari yang mempengaruhi udara lalu ke air. Energi matahari menciptakan angin yang meniup seluruh permukaan laut lalu mengubah energi angin tersebut menjadi energi gelombang. Energi gelombang ini dapat ditransmisikan pada jarak yang jauh dan dengan rugi yang kecil. Dan yang lebih penting adalah, terjadinya gelombang dapat diprediksi secara akurat beberapa hari sebelumnya. Lebih dapat diprediksi daripada energi angin dan energi matahari. Data yang ada menyatakan bahwa diperkirakan ada 8.000-80.000 TWh/yr. Gambar 1 menunjukkan sebaran daya gelombang dalam kW/m, satuan untuk menghitung energi gelombang pada puncak gelombang.



**Gambar 1.** Perkiraan sebaran daya gelombang dalam kW/m  
(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*, 2005)

### 2.2 Klasifikasi dan Karakteristik Wave Energy Converter (WEC)

Sumber energi laut diklasifikasikan menjadi dua yaitu konversi gelombang dan konversi arus seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1

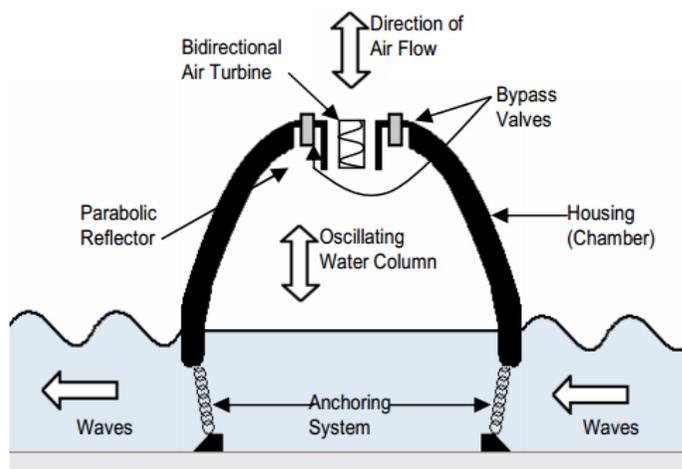
**Tabel 1.** Klasifikasi Energi Laut

<i>Ocean flow energy converter</i>		<i>Ocean wave energy converter (WEC)</i>	
<i>Tidal currents</i>	<i>Marine currents</i>	<i>Turbine -type</i>	<i>Buoy-type</i>
Tidal lagoon	Bi-directional turbine	Oscillating water column (OWC)	Tube type
Tidal dam	Uni-directional turbine	Overtopping wave energy converter	Float type

(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*, 2005)

#### 2.2.1 Turbine Type – Oscillating Water Column (OWC)

*Oscilating Water Columns* merupakan pembangkit yang memanfaatkan ketinggian gelombang air laut. Pada *Oscillating water columns*, gelombang air laut yang datang akan masuk ke *chamber* melalui bagian yang berada di bawah permukaan laut. Pergerakan osilasi air laut menyebabkan perbedaan tekanan udara yang terletak di dalam *chamber* dan di luar *chamber*. Pada pembangkit ini terdapat sebuah saluran penghubung yang pada sisi ujung luarnya terdapat turbin. Perbedaan tekanan udara yang dihasilkan akan menimbulkan pergerakan udara sehingga memutar turbin pada ujung saluran. Turbin yang berputar akan membangkitkan listrik. Skema yang lebih jelas ditunjukkan pada gambar 2.

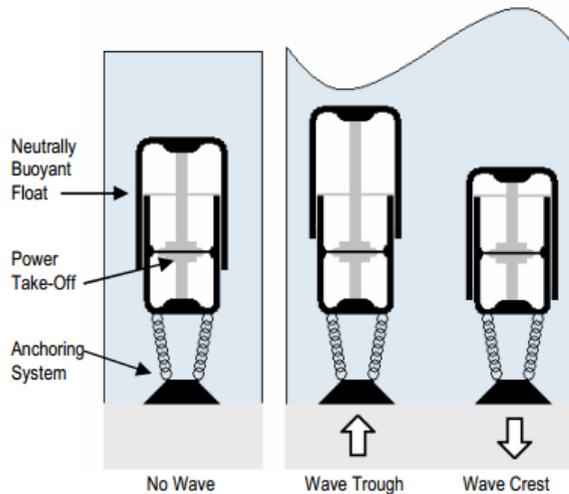


**Gambar 2.** Diagram kerja *oscillating water column (OWC)*  
(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey, 2005*)

### 2.2.2 *Buoy-type float - type WEC*

Merupakan jenis pembangkit listrik tenaga ombak yang menggunakan prinsip hukum Archimedes. Pembangkit ini memiliki dua buah bagian yaitu bagian statis dan bagian dinamis. Pada bagian dinamis terdapat pelampung yang akan bergerak ketika mendapat gaya angkat ke atas oleh air. Pelampung ini berupa silinder yang terbuat dari baja dan diisi oleh udara. Perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh gelombang laut akan digunakan untuk menggerakkan pelampung naik dan turun. Gerakan naik turu

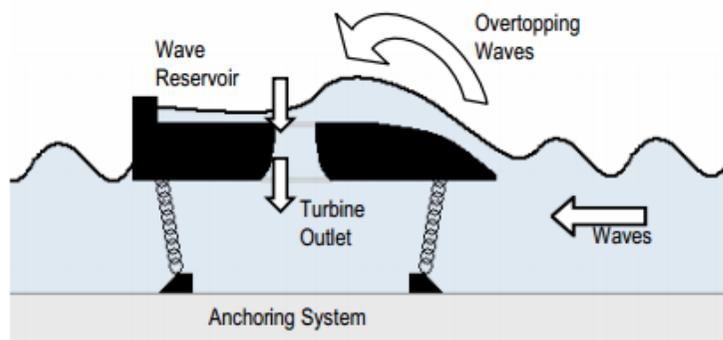
pelampung seperti yang ada pada gambar 3 ini lah yang digunakan untuk menghasilkan energi.



**Gambar 3.** Diagram kerja buoy-type float - type WEC  
(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*, 2005)

### 2.3.2 Turbine-type WEC – overtopping WEC

*Overtopping devices* merupakan reservoir air yang akan terisi oleh adanya gelombang air laut. Sistem yang digunakan dalam yaitu sistem pengkonsentrasian gelombang air laut. Sistem ini mengandalkan reflektor dan bagian landainya untuk mengkonsentrasikan gelombang air laut. Setelah gelombang air laut terkonsentrasi maka energi potensial yang terdapat pada gelombang air laut meningkat. Air masuk ke reservoir kemudian keluar melalui saluran yang terdapat di bagian bawah. Air inilah yang digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga dapat membangkitkan listrik.



**Gambar 4.** Kerja turbine-type WEC – overtopping WEC

## 2.3 Jenis Gelombang

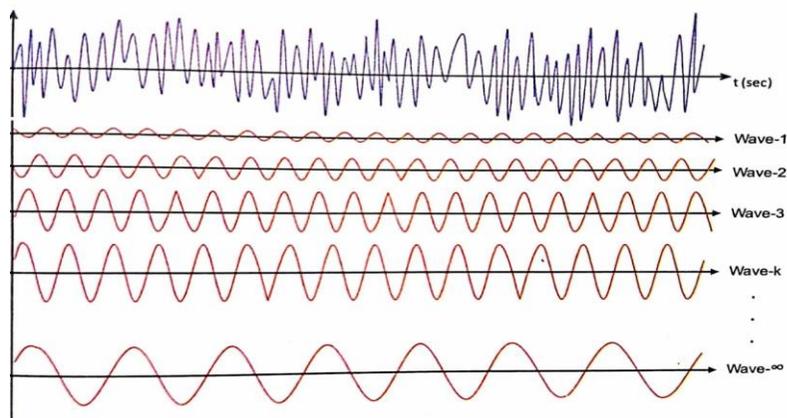
### 2.3.1 Gelombang Reguler

Gelombang reguler adalah pendekatan dari gelombang pada kenyataannya dengan asumsi-asumsi yang ada padanya. Berikut adalah asumsi yang dimaksud:

- Fluida dianggap homogen
- Tekanan permukaan diabaikan
- Tekanan pada permukaan bebas konstan dan uniform
- Fluida dianggap ideal (*inviscid* dan *incompressible*)
- Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubtukan selama bergerak
- Dasar laut dianggap datar, tetap *impermeable*, sehingga kecepatan vertikal didasar adalah nol.

### 2.3.2 Gelombang Irreguler

Gelombang irreguler adalah gelombang sesungguhnya yang ada di lautan yang terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah yang besar, yang secara teoretis mencapai jumlah yang tidak berhingga sebagai mana yang ditunjukkan oleh gambar 5.



**Gambar 5.** Pembentukan gelombang acak dari superposisi gelombang-gelombang reguler

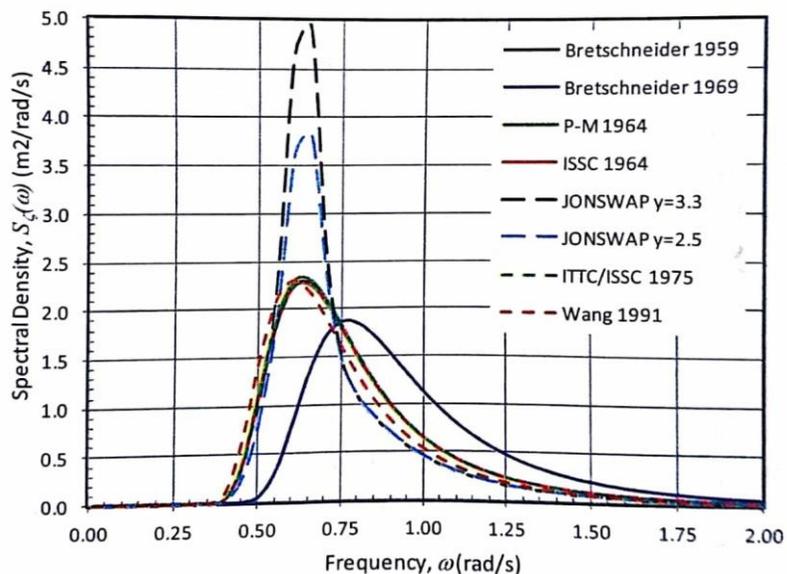
(sumber: *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*)

Penggambaran kerapatan energi yang ada pada gelombang irreguler adalah dengan cara menampilkan spektrum energi

gelombangnya. Ada beberapa bentuk formulasi yang digunakan untuk menampilkan spektrum gelombang antara lain yaitu:

- a. Bretschneider – 1959
- b. Bretschneider – 1969
- c. Pierson-Moskowitz – 1964
- d. ISSC – 1964
- e. JONSWAP
- f. ITTC/ISSC – 1975
- g. Wang – 1991

Dari semua formula di atas yang akhir-akhir ini banyak digunakan di perancangan bangunan lepas pantai di Indonesia adalah formula spektra JONSWAP karena dalam penelitiannya JONSWAP menggunakan data dari perairan tertutup di Laut Utara yang mirip dengan perairan pantai Indonesia. Pada gambar 6 dijelaskan perbandingan nilai kerapatan energi gelombang dalam domain frekuensi dengan harga tinggi signifikan  $H_s=4.0\text{m}$

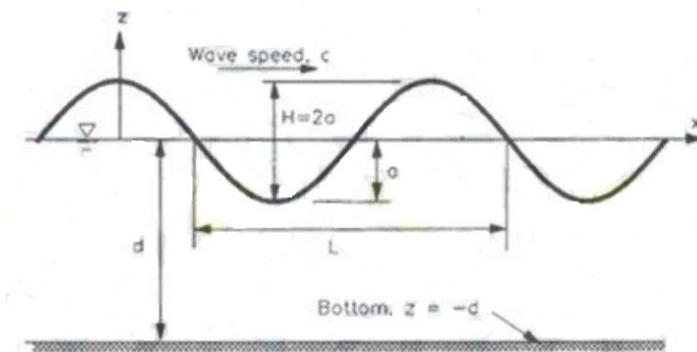


**Gambar 6.** Perbandingan spektrum gelombang dari sejumlah formulasi

(sumber: Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak)

## 2.4 Pergerakan Gelombang

Pada tahun 1845, Airy mengemukakan untuk pertama kalinya teori mengenai gelombang laut. Ini merupakan pemodelan gelombang laut linier.



**Gambar 7.** Karakteristik ombak (Yabes, 2016)

Gelombang bergerak pada sumbu  $x$ . Notasi yang ada didalam pemodelan yang dikembangkan Airy seperti gambar 7 adalah :

$d$  : jarak antara permukaan air laut rata dengan dasar laut (kedalaman laut)

$a$  : amplitudo gelombang

$H$  : tinggi gelombang =  $2a$

$L$  : panjang gelombang, jarak anantara dua puncak gelombang yang berurutan

Ketika ada ombak yang datang bergerak, air laut tersebut mendorong udara di bagian atas laut hingga puncak tertinggi gelombang. Gerakan yang sebaliknya terjadi saat ombak surut. Gerakan udara yang berbolak-balik inilah yang dimanfaatkan untuk melakukan gerakan untuk menggerakkan tuas yang dihubungkan dengan Pizoelektrik. Pergerakkan itu menyebabkan keluarannya menghasilkan voltase yang akan disimpan dibaterai.

## 2.5 Energi Listrik

Tegangan listrik adalah beda potensial listrik antara dua titik. Tegangan listrik terjadi karena adanya perbedaan muatan listrik diantara kedua titik tersebut. Tegangan listrik tidak bisa dilihat namun bisa

dirasakan dan diukur besarnya. Pada nilai tertentu, tegangan listrik bisa berbahaya bagi manusia.

### **2.5.1 Jenis Tegangan**

Berdasarkan aliran arusnya, tegangan listrik dibagi menjadi dua, yaitu Tegangan DC dan Tegangan AC. Tegangan DC adalah tegangan dengan aliran arus searah, sedangkan tegangan AC adalah tegangan dengan aliran arus bolak-balik. Masing-masing tegangan ini memiliki fungsi dan aplikasi yang berbeda-beda tergantung kondisi dan kebutuhan.

#### **2.5.1.1 Tegangan DC**

Adalah tegangan dengan aliran arus searah. Tegangan DC memiliki notasi/tanda positif pada satu titiknya dan negatif pada titik yang lain. Sumber-sumber tegangan DC diantaranya adalah elemen volta, battery, aki, solar cell dan adaptor/power supply DC. Pemasangan tegangan DC pada rangkaian harus benar sesuai kutubnya karena jika terbalik bisa berakibat kerusakan pada kedua bagian.

Aplikasi tegangan DC banyak kita jumpai pada peralatan elektronik portabel seperti handphone, remote, sepeda motor, mainan dan pemutar musik portabel. Sekarang ini sudah banyak dipakai sumber tegangan DC berupa battery yang bisa diisi ulang (recharge) jadi jika tegangan listrik pada battery habis bisa dibangkitkan lagi dengan mengisinya.

#### **2.5.1.2 Tegangan AC**

Tegangan dengan aliran arus bolak-balik. Tegangan AC tidak memiliki notasi/tanda seperti tegangan DC. Oleh karena itu pemasangan tegangan AC pada rangkaian boleh terbalik kecuali untuk aplikasi tegangan AC 3 phase pada motor listrik. Sumber-sumber tegangan AC diantaranya adalah listrik rumah tangga (dari PLN), genset, dinamo sepeda dan alternator pada mobil atau sepeda motor.

Ada dua jenis tegangan AC yaitu single phase dan triple phase atau 3 phase. Tegangan listrik AC yang kita pakai sehari-hari merupakan jenis tegangan AC single phase, artinya hanya ada satu phase dan ground/netral. Oleh karena itu tegangan AC single phase hanya membutuhkan dua titik kabel koneksi.

Tegangan AC 3 phase membutuhkan tiga kabel untuk bekerja, yaitu dikenal dengan istilah R, S dan T. Tegangan listrik 3 phase banyak dipakai pada dunia industri khususnya untuk menggerakkan motor listrik. Jika kita membutuhkan tegangan AC 3 phase namun hanya memiliki sumber tegangan AC single phase maka kita memerlukan sebuah inverter untuk membuat listrik single phase menjadi 3 phase.

## **2.6 Potensi Pengkonversian Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik**

Dari berbagai studi penelitian yang telah banyak dilakukan diberbagai negara yang salah satunya adalah Selandia Baru, dimana di pantai selandia baru tersebut dapat diketahui bahwa ketinggian ombak rata-rata dan periode yang diperoleh adalah sebesar 1 meter dengan periode 9 detik yang dapat membangkitkan listrik sebesar 4,3 kW per meter panjang dari ombak, sedangkan untuk rata-rata ombak dengan ketinggian 2-3 meter dapat membangkitkan dayalistrik sebesar 29kW. Ketinggian ombak 100 meter dengan periode 12 detik mampu menghasilkan daya listrik sebesar 600 kW pada per meter panjang ombak. Hal ini menandakan bahwa tinggi rata-rata gelombang dan periode gelombang sebanding dengan lurus dengan kemampuan dari menghasilkan daya listrik yang dimana semakin tinggi rata-rata ombak dan periodenya maka daya listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Sedangkan di Indonesia, dengan menggunakan data tinggi ombak yang diteliti oleh BPPT menyatakan bahwa wilayah Indonesia memiliki banyak ombak dengan ketinggian rata-rata diatas 2 meter dimana bisa dimanfaatkan sebagai dasar dalam melakukan pembangunan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan memanfaatkan energi gelombang laut yang ada.

Dari hasil yang telah dilakukan oleh BPPT kita dapat mengetahui bahwa potensi energi gelombang laut di selatan pulau jawa sekitar 19 kW/m panjang dari gelombang. Berarti bahwa untuk panjang dari pantai 1 meter pantai memiliki potensi energi listrik sebesar 19kW. Apabila ditinjau untuk panjang 1 km (1000m), maka potensinya menjadi  $19 \times 1000 = 19\text{Mw}$  (Mega Watt) dan seterusnya. Energi gelombang ini akan selalu ada disetiap saat dan gratis, sehingga sangat layak untuk dieksplotasi sebagai sumber energi alternatif terbarukan.

Menurut dari referensi potensi energi gelombang minimal yang dapat dimanfaatkan secara ekonomis adalah sebesar 15 Kw/m panjang gelombang. Hal ini berarti bahwa untuk di daerah indonesia yang dapat di eksploitasi meliputi pantai barat sumatra (15 Kw/m panjang gelombang), pantai selatan pulau Jawa (19 Kw/m Panjang gelombang), Selatan Bali dan NTB (18 Kw/m panjang gelombang), dan 10 sebagian daerah selatan Papua (15 Kw/m panjang gelombang).

Agar dapat mengetahui daya yang terdapat pada gelombang, maka pertama-tama harus diketahui energy gelombang yang tersedia. Energy gelombang total adalah jumlah dari energy kinetik dan energy potensial. Total energi kinetic dan potensial per satuan luas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = 1/2\rho gA^2 \quad (1.1)$$

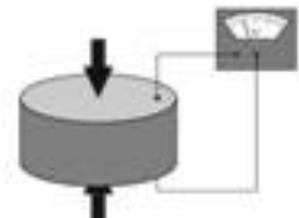
Dengan :  $g$  = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$\rho$  = densitas air ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$A$  = amplitudo gelombang (m)

## 2.7 Elemen Piezoelectric

Piezoelectric berasal dari bahasa Yunani yaitu, „pressure“ electricity, dimana sifat tersebut ditemukan oleh Curie bersaudara sekitar 100 tahun yang lalu. Material yang mempunyai sifat piezoelectric adalah material yang akan menimbulkan „electrical charge“ jika material tersebut mengalami deformasi secara mekanis, baik tekan atau tarik akibat tekanan, tarikan atau tekukan. Sifat material piezoelectric inilah yang banyak digunakan pada alat atau komponen pembangkit listrik (skala mikro) yang kompak, ringan dan efisien. Material piezoelectric merupakan material keramik yang sangat sensitif terhadap tegangan mekanik atau medan listrik. Jika tegangan mekanik diaplikasikan ke suatu material piezoelectric maka akan menghasilkan suatu medan listrik pada material tersebut. Fenomena ini disebut sebagai efek piezoelectric. Efek *piezoelectric* mendeskripsikan hubungan antara tegangan mekanik dengan tegangan listrik pada benda padat. Efek piezoelectric tersebut bersifat reversible, yaitu dapat menghasilkan direct piezoelectric effect (menghasilkan energi listrik jika diaplikasikan tegangan mekanik) atau dapat menghasilkan reverse piezoelectric effect (menghasilkan tegangan dan/atau regangan mekanik jika diaplikasikan beda potensial listrik).



Gambar .8 Elemen *Piezoelectric* (Yabes, 2016)

Pada gambar 8 merupakan foto elemen piezoelectric dengan tebal 0.11 mm. Tiap-tiap bentuk *piezoelectric* yang berbeda memiliki energi

bangkitan yang berbeda pula. Untuk besarnya energy bangkitan yang dihasilkan dipengaruhi oleh sifat mekanik dari piezo material yang digunakan. Selain itu energi bangkitan yang dihasilkan oleh piezo material dipengaruhi oleh energy atau usaha mekanik yang diterima oleh material piezo tersebut. Energi mekanik yang diterima oleh piezoelectric dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W_{\text{mech}} = F \cdot X_{\text{piezo}} \quad (1.2)$$

Dimana:

$F$  = gaya total yang bekerja pada piezoelectric  
(Newton)

$X_{\text{piezo}}$  = displacement pada material piezoelectric (m)



Gambar 9 Elemen Piezoelectric (Yabes, 2016)

## 2.8 Arduino Uno

*Arduino Uno* adalah *board* berbasis mikrokontroler pada *ATMega 328*. Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik dan tombol reset. Pin – pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tekanan bisa didapat dari adaptor AC – DC atau baterai untuk menggunakannya (Arduino, Inc., 2009).

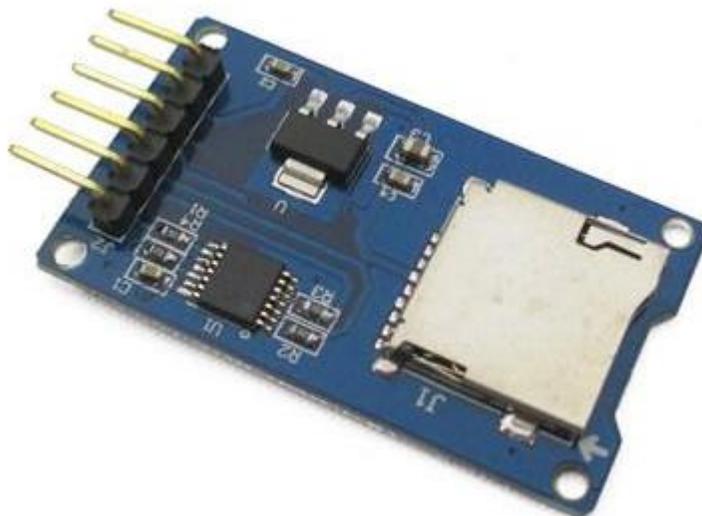


Gambar 10 Arduino Uno (Iman, 2018)

Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler ATmega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individu/perusahaan yang membuat clone arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level hardware. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui bootloader meskipun ada opsi untuk membypass bootloader dan menggunakan downloader untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP.

## 2.9 SD Card Datalogger

*Data Logger* adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk mencatat data dari waktu ke waktu yang terintegrasi dengan sensor serta instrumen. Secara singkat data logger diartikan sebagai alat untuk mencatat data atau data logging. *Data logger* merupakan alat yang menggunakan mikroprosesor dan memori internal yang digunakan untuk merekam data melalui sensor. Data logger secara fisik memiliki ukuran kecil dan memiliki teknologi terbaru sebagai alat untuk merekam data seperti suhu, tekanan air, kelembaban dll. Ada banyak jenis pada data logger dan biasanya ada yang menggunakan computer untuk mengkoneksikannya dan untuk mengaktifkannya menggunakan sebuah software. Hasil dari perekaman data dapat di lihat melalui komputer.



Gambar 11 *SD Card Datalogger*

## 2.10 LED (Light Emitting Dioda)

Light Emitting Diode atau sering disingkat dengan LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna Cahaya yang dipancarkan oleh LED tergantung pada jenis bahan semikonduktor yang dipergunakannya. LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata seperti yang sering kita jumpai pada Remote Control TV ataupun Remote Control perangkat elektronik lainnya.



Gambar 12 Bentuk LED (Yabes, 2016)

Dari gambar diatas dapat kita ketahui bahwa LED memiliki kaki 2 buah seperti dengan dioda yaitu kaki anoda dan kaki katoda. Pada gambar diatas kaki anoda memiliki ciri fisik lebih panjang dari kaki katoda pada saat masih baru, kemudian kaki katoda pada LED (Light Emitting Dioda) ditandai dengan bagian body LED yang di papas rata. Kaki anoda dan kaki katoda pada LED (Light Emitting Dioda) disimbolkan seperti pada gambar diatas. Pemasangan LED (Light Emitting Dioda) agar dapat menyala adalah dengan memberikan tegangan bias maju yaitu dengan memberikan tegangan positif ke kaki anoda dan tegangan negatif ke kaki katoda.

## 2.11 Micro SD 4GB

*Micro SD* adalah kartu memori non-volatile yang dikembangkan oleh SD Card Association yang digunakan dalam perangkat portable. Saat ini, teknologi microSD sudah digunakan oleh lebih dari 400 merek produk serta dianggap sebagai standar industri de-facto. Keluarga microSD yang lain terbagi menjadi SDSC yang kapasitas maksimum resminya sekitar 2GB, meskipun beberapa ada yang sampai 4GB. SDHC (High Capacity) memiliki kapasitas dari 4GB sampai 32GB. Dan SDXC (Extended Capacity) kapasitasnya di atas 32GB hingga maksimum 2TB. Keberagaman kapasitas seringkali membuat kebingungan karena masing-masing protokol komunikasi sedikit berbeda. mengenaanya.



Gambar 13 Micro SD 4GB (Iman, 2018)

Cara kerja *Micro SD* adalah menerima sinyal dari pengolahan modul pada *Arduino* transfer data secara continuous dan akan menyimpan data pada bit atau memori yang tersedia sesuai isi memori yang berkapasitas itu sendiri.

## 2.12 Multimeter

Multimeter adalah alat yang berfungsi untuk mengukur Voltage (Tegangan), Ampere (Arus Listrik), dan Ohm (Hambatan/resistansi) dalam satu unit. Multimeter sering disebut juga dengan istilah Multitester atau AVOMeter (singkatan dari Ampere Volt Ohm Meter). Terdapat 2 jenis Multimeter dalam menampilkan hasil pengukurannya yaitu Analog Multimeter (AMM) dan Digital Multimeter (DMM).



Gambar 14 Multimeter Analog dan Multimeter Digital (Iman, 2018)

Sehubungan dengan tuntutan akan keakurasian nilai pengukuran dan kemudahan pemakaiannya serta didukung dengan harga yang semakin terjangkau,

Digital Multimeter (DMM) menjadi lebih populer dan lebih banyak dipergunakan oleh para Teknisi Elektronika ataupun penghobi Elektronika.

Dengan perkembangan teknologi, kini sebuah Multimeter atau Multitester tidak hanya dapat mengukur Ampere, Voltage dan Ohm atau disingkat dengan AVO, tetapi dapat juga mengukur Kapasitansi, Frekuensi dan Induksi dalam satu unit (terutama pada Multimeter Digital).

### **2.13 Powerbank**

Powerbank adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat Elektronik. Hampir semua perangkat elektronik yang portabel seperti Handphone, Laptop, Senter, ataupun Remote Control menggunakan Baterai sebagai sumber listriknya. Dengan adanya Powerbank, kita tidak perlu menyambungkan kabel listrik untuk dapat mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Dalam kehidupan kita sehari-hari, kita dapat menggunakan Powerbank yang dapat di isi ulang (Rechargeable).



Gambar 15 Powerbank

### **2.14 Pulau Gili Labak**

Pulau Gili Labakini merupakan bagian dari wilayah pemerintah Kabupaten Sumenep, provinsi Jawa Timur. Secara administratif, Pulau Gili Labak lebih tepatnya masuk dalam wilayah Dusun Lembana, Desa Kombang, Kecamatan Talango. Secara koordinat, Gili Labak terletak pada titik 7012'10-3" lintang selatan dan 114002"47-4" bujur timur. Pulau kecil ini terletak di sebelah tenggara Pulau Madura. Dengan luas wilayah sekitar 5 ha, hanya dalam 30 menit bisa mengelilingi pulau kecil ini dengan berjalan kaki. Pulau berbentuk kecil melingkarini berada di sebelah tenggaradari Pulau Madura.



Gambar 16. Gambar Pulau Gili Labak

(Sumber: Salsabila Dela Kautsar, 2017)

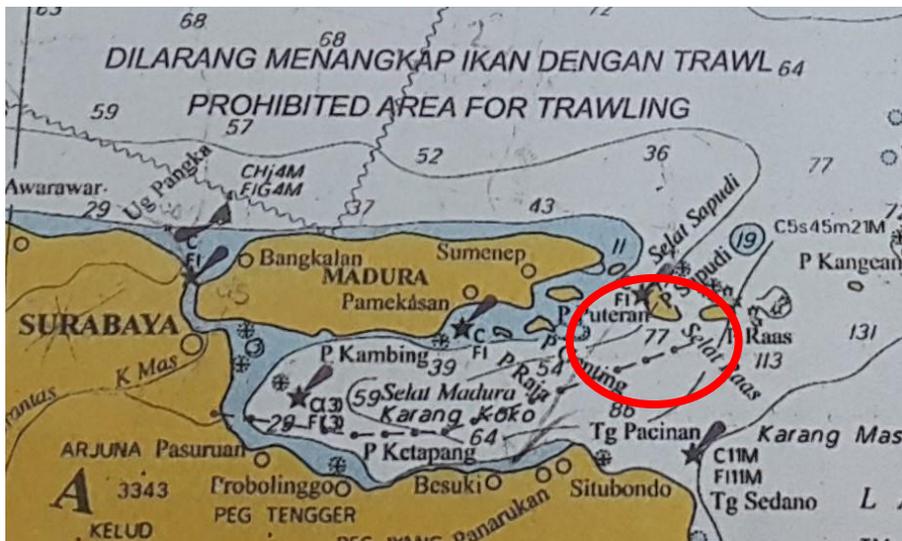
Untuk mencapai Gili Labak dari Sumenep tidak ada kendaraan reguler. Jalan satu – satunya adalah menyewa perahu – perahu nelayan dari Sumenep. Dari arah Surabaya bisa mengarahkan ke Terminal Bungurasih. Dari sana naik bus arah ke Madura dengan pemberhentian terakhir di Terminal Sumenep atau di Pelabuhan Kalianget dan melewati Tol Suramadu sehingga waktu tempuh total sekitar 4 hingga 5 jam dengan ongkos sekitar 1 juta/orang. Untuk bus ekonomi, pada keberangkatan pagi atau siang hari, jalur yang dilewati adalah menggunakan ferry melalui Pelabuhan Tanjung Perak sehingga waktu tempuh sekira 6 jam perjalanan dengan ongkos 1 juta /orang. Secara geografis terletak pada  $144^{\circ} 02' 276''$  Bujur Timur dan  $07^{\circ} 12' 172''$  Lintang Selatan. Disisi lain daerah ini juga mempunyai sumberdaya alam minyak bumi dan gas bumi yang sangat besar. Tetapi dalam pemanfaatannya terbukti belum optimal, dan dalam pemanfaatannya belum sepenuhnya untuk kesejahteraan masyarakat. Hal ini bisa dilihat dari masih banyak masyarakat Sumenep, terutama masyarakat kepulauan yang perekonomiannya masih rendah. Tujuan penelitian ini untuk pemetaan parameter fisik lahan yang akan digunakan untuk pemodelan daya dukung pemanfaatan, menilai daya dukung pulau Gili Labak di Kabupaten Sumenep. Dengan luas wilayah sekitar 5 ha, hanya dalam 30 menit bisa mengelilingi pulau kecil ini dengan berjalan kaki. Pulau berbentuk kecil melingkar ini berada di sebelah tenggara dari Pulau Madura.

Tabel 2 Kondisi Kualitas dan kedalaman perairan di Pulau Gili Labak

Stasiun	Suhu (°C)	pH	Salinitas	D.O (mg/l)	Substrat dasar	Kecerahan (%)	Kedalaman (m)
1	31,0	7,1	32	5,98	Pasir	100	1,0
2	31,0	7,1	31	8,59	Karang	100	2,8
3	30,9	7,1	30	8,09	Karang	100	10,0
4	31,2	6,9	30	8,58	Karang	100	1,5

(Sumber: Firman Farid Muhsoni, 2017)

Ada sekitar 37 Kepala Keluarga yang sudah menetap di Pulau Gili Labak. Total penduduk yang menetap di Pulau Gili Labak saat ini adalah 122 penduduk, dengan penduduk laki-laki 67 orang, perempuan 33 orang, dan anak-anak 12 orang (Data Kepala Desa Pulau Gili Labak). Namun untuk fasilitas listrik menggunakan sistem listrik bertenaga surya dan sistem listrik generator.



Gambar 17 letak di Pulau Gili Labak

(Sumber: Poltekel Surabaya, 2018)

Pulau Gili Labak yang terdapat pada peta mempunyai kedalaman laut 11 meter, Peta yang ditampilkan pada gambar diatas merupakan peta pelayaran yang digunakan untuk mengetahui keadaan laut saat kapal berlayar, peta seperti diatas pada umumnya digunakan diinstalasi pendidikan perkapalan, pelayaran kapal, TNI AL, dan lain sebagainya.

### **2.15 *Electromechanical Coupling Factor***

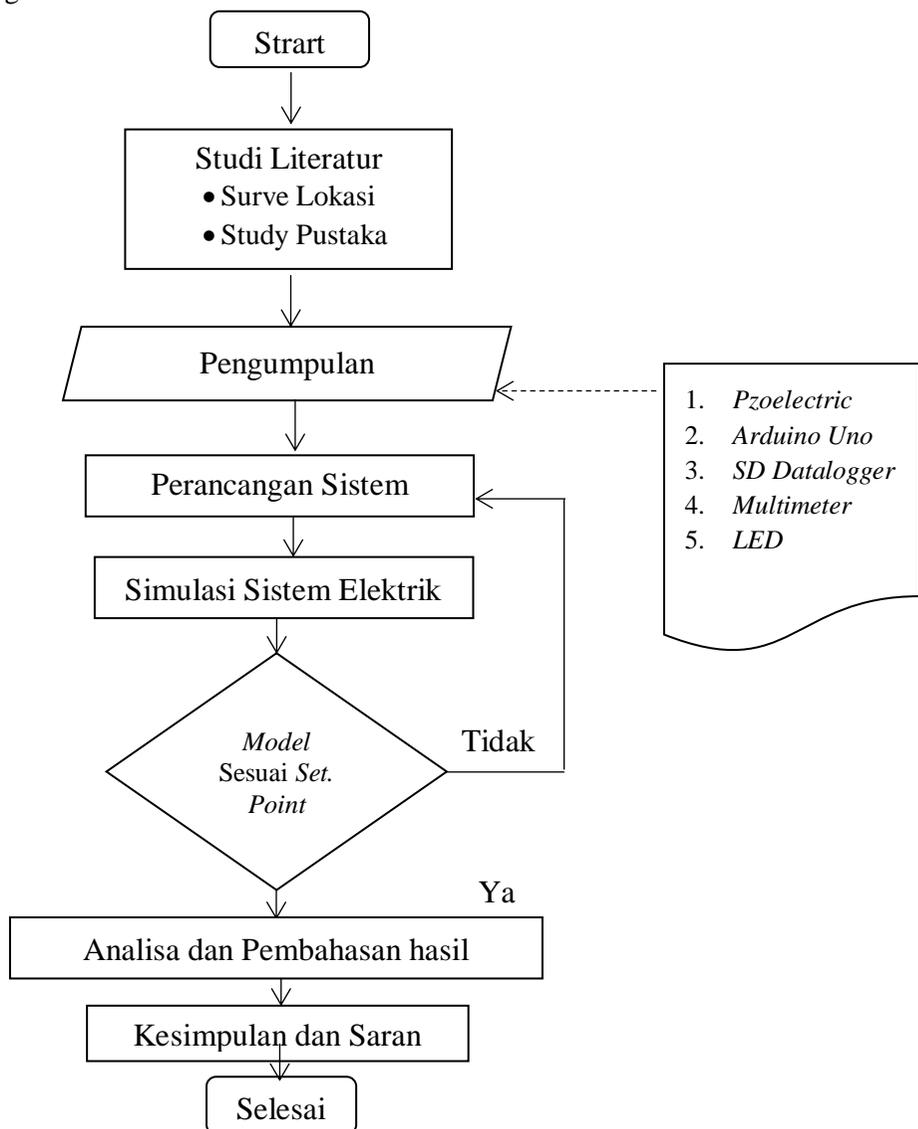
*Electromechanical coupling factor*,  $k$ , merupakan indikator efektifitas material *piezoelectric* dalam mengubah energi mekanik ke energi listrik.  $k$  disertai dua buah *subscript*, dimana dalam hal *direct effect subscript* pertama menunjukkan arah energi listrik yang dihasilkan dan *subscript* kedua menunjukkan arah dari energi mekanik yang diberikan. Nilai  $k$  tergantung pada spesifikasi yang diberikan oleh supplier keramik, yang merupakan nilai maksimum secara teoritis, pada frekuensi rendah, elemen *piezoelectric* keramik tertentu dapat mengubah 30% - 75% dari energi yang diberikan padanya ke bentuk lain, tergantung pada komposisi material *piezoelectric* dan arah pembebanan yang diberikan. Nilai  $k$  tinggi, yang mencerminkan efisiensi konversi energi, pada umumnya tidak memperhitungkan *dielectric losses* atau *mechanical losses*. Ketelitian pengukuran efisiensi ditentukan berdasar pada rasio konversi energi, yaitu energi yang dapat dihasilkan oleh elemen *piezoelectric* terhadap total energi yang diberikan pada elemen. Berdasar pada pengukuran tersebut, elemen *piezoelectric* dengan desain sistem yang baik dapat menghasilkan efisiensi mencapai 90%.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi Penelitian merupakan penentuan tujuan dan langkah dalam pengerjaan tugas akhir. Metodologi memiliki fungsi sebagai kerangka utama untuk menjadi penentu pembahasan dalam proses pengerjaan tugas akhir yang akan digunakan dalam proses analisis dan penyelesaian. Pada bab ini nantinya akan diuraikan mengenai proses dan sistematika pengerjaan tugas akhir.



Gambar. 18 Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

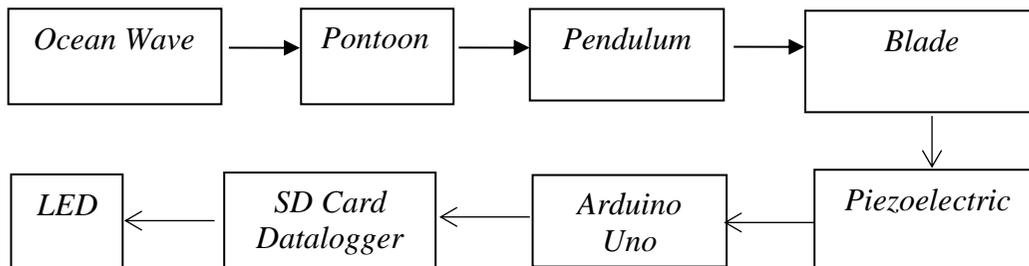
Studi literature dilakukan pembuatan *model* lebih lanjut yang dititikberatkan pada mekanisme dan analisa energy listrik yang dihasilkan oleh model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe ponton-*piezoelectric* sebagai *wave energy*. Energi gelombang laut sebagai inputan yang akan dirubah oleh *piezoelectric* sehingga menghasilkan listrik. Jumlah *piezoelectric* yang digunakan akan menentukan energi listrik yang dihasilkan. Bentuk dari refensi literatur dalam tugas akhir ini yaitu jurnal, buku, Internet, tugas akhir, serta paper.

### 3.3 Pengumpulan Komponen

Pengumpulan komponen merupakan yang nantinya menjadi sebuah *model* dalam tugas akhir ini, komponen tersebut selanjutnya untuk dilakukan perancangan. Sebelumnya telah menyelesaikan mekanik untuk bisa merancang guna menyesuaikan.

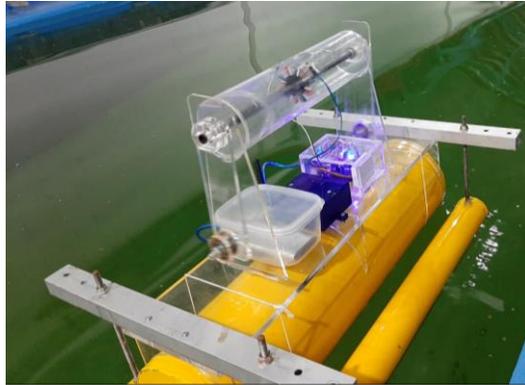
### 3.4 Perancangan Sistem Elektrik

Tahap ini dilakukan perancangan sistem elektrik yang nantinya dapat menghasilkan *Model*. Alat yang running dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu akan menghasilkan keluaran berupa tenaga listrik.



Gambar. 19 Diagram Proses *Model*

Pada diagram proses *model* merupakan urutan mula awal dari Gelombang laut menjadi sumber energy mekanik yang mengenai *pontoon* dan menyebabkan Bandul bergerak dan sekaligus membuat sudu berputar dan mengenai *Piezoelectric* menerima gaya tekan yaitu bending dan menyalurkan daya ke penyimpanan powerbank dan dikontrol oleh Arduino Uno guna menyimpan datalogger hasil Voltase dan LED sebagai beban.



Gambar. 20 Rancang Bangun

### 3.5 Simulasi Model

Pada tahap ini dilakukan simulasi dari hasil sistem elektrik yang telah dilakukan, untuk itu kita amati hasil dari keluaran alat tersebut dan terdapat indikator LED. Dibawah ini merupakan rangkaian komponen *piezoelectric* pada Model terletak secara sejajar didalam housing yang nantinya ditekan secara bersamaan sehingga sebagai *input* dari sistem elektrik.

Untuk besarnya energy bangkitan yang dihasilkan dipengaruhi oleh sifat mekanik dari piezo material yang digunakan. Selain itu energi bangkitan yang dihasilkan oleh piezo material dipengaruhi oleh energy atau usaha mekanik yang diterima oleh material piezo tersebut.

### 3.6 Analisa dan Pembahasan

Proses analisa dilakukan setelah menjalankan proses simulasi hasil sistem elektrik apabila telah dilakukan menghasilkan voltase akan menghasilkan suatu medan listrik pada material tersebut. Fenomena ini disebut sebagai efek *piezoelectric*. Efek *piezoelectric* mendeskripsikan hubungan antara tegangan mekanik dengan tegangan listrik pada benda padat. Efek piezoelectric tersebut bersifat reversible, yaitu dapat menghasilkan direct piezoelectric effect (menghasilkan energi listrik jika diaplikasikan tegangan mekanik) atau dapat menghasilkan reverse piezoelectric effect (menghasilkan tegangan dan/atau regangan mekanik jika diaplikasikan beda potensial listrik), namun apabila terjadi kegagalan maka harus kembali lagi pada proses perancangan sistem elektrik, maka mengetahui voltase yang dihasilkan dengan cara pembacaan dengan multimeter. Pada umumnya tidak memperhitungkan dielectric losses atau mechanical losses. Ketelitian pengukuran efisiensi ditentukan berdasar pada rasio konversi energi, yaitu energi yang dapat dihasilkan oleh elemen piezoelectric terhadap total energi yang diberikan pada elemen. Berdasar pada

pengukuran tersebut, elemen piezoelectric dengan desain sistem yang baik dapat menghasilkan efisiensi mencapai 90%. semakin tinggi gelombang dan semakin banyak elemen Piezoelectric yang digunakan maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

### **3. 7 Kesimpulan dan Saran**

Setelah dilakukan analisa terhadap data yang didapat, maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan dari seluruh kegiatan yang dilakukan. Kesimpulan yang dihasilkan merupakan jawaban dari permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini. Kesimpulan dapat diperoleh dari hasil rangkuman semua proses dan data yang dilakukan selama mengerjakan tugas akhir. Pada akhir pengerjaan tugas akhir ini akan diberikan beberapa saran terkait proses dan hasil dari tugas akhir. Dengan adanya saran tersebut dapat diharapkan menjadi acuan dalam mengembangkan penelitian selanjutnya.

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

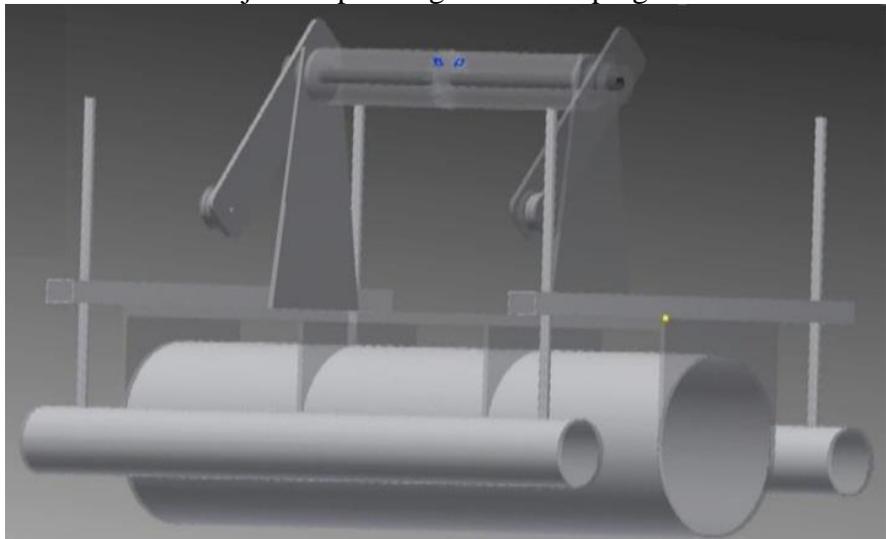
Pada bab ini akan dianalisa dan dibahas tentang energi listrik bangkitan yang dihasilkan oleh mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan metode pelampung-*piezoelectric*. Analisa dan pembahasan ini dimulai dengan analisa gaya bangkitan yang dihasilkan oleh penekan, kemudian dilakukan analisa hasil SD Card Datalogger dan pembahasan terhadap beban lampu LED, serta jumlah elemen *piezoelectric*.

#### **4.1 Pembuatan Model**

Pembuatan model dilakukan dengan menggunakan bahan dasar akrilik. Proses yang dilakukan adalah sebagai berikut:

##### **4.1.1 Pemodelan 3D**

Ini adalah tahap pertama yaitu pembuatan bentuk 3D-nya untuk mengetahui keseluruhan rupa dari pontoon yang akan dibuat. Gambar 19 menunjukkan pandangan dari samping

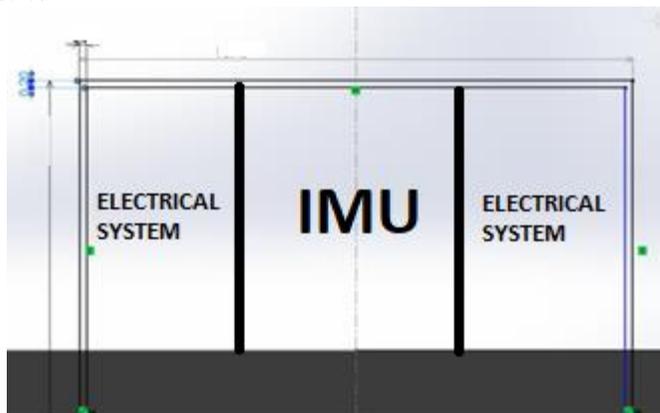


*Gambar 21. 3D model pontoon*

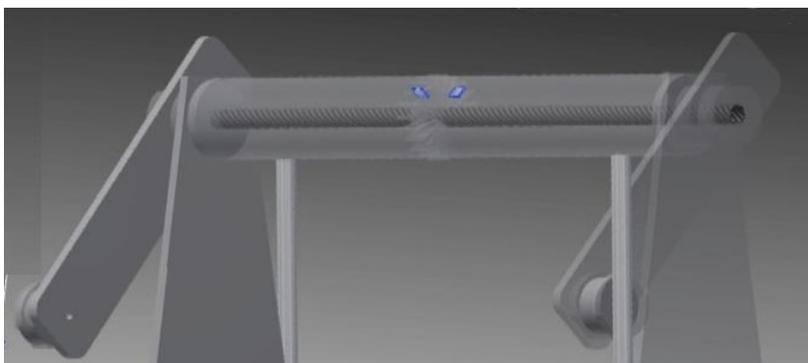
##### **4.1.2 Anotasi per bagian**

Pada tahap ini dilakukan menggambaran tiap bagian dengan menampilkan detail ukuran. Gambar ini lah yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemotongan. Pada gambar 21 ditunjukkan Dimensi Casing Bandul di atas Ponton yang akan ditempatkan *piezoelectric*. Adapun pada gambar 22 ditunjukkan Poros Bandul Pada

Model Ponton yang nantinya akan terhubung dengan penekan piezoelectric. .



**Gambar 22.** Dimensi Casing di atas Ponton



**Gambar 23.** Poros Bandul dan Piezoelektrik Pada Model Ponton

**Tabel 3 Data ponton**

Part	P (m)	L (m)	T (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	m (kg)	Jumlah	m total (kg)
Body	0,6	0,16	0,01	1190	0,096	0,00096	1,1424	1	1,1424
Dinding Piezoe	0,6	0,26	0,01	1190	0,156	0,00156	1,8564	2	3,7128
Dinding Poros	0,26	0,16	0,01	1190	0,0416	0,000416	0,49504	2	0,99008
Massa Bandul	0,03	0,02	0,02	1190	0,0006	0,000012	0,01428	6	0,08568
Frame	0,16	0,095	0,03	1190	0,0152	0,000456	0,54264	4	2,17056
Ponton 1	0,6	0,07	0,02	1190	0,26376	0,005275	6,277488	1	6,277488
Ponton 2	0,6	0,03	0,01	1190	0,11304	0,00113	1,345176	2	2,690352
<b>Total</b>									<b>17,06936</b>

## 4.2 Pengujian Data *Piezoelectric* Pada Laut

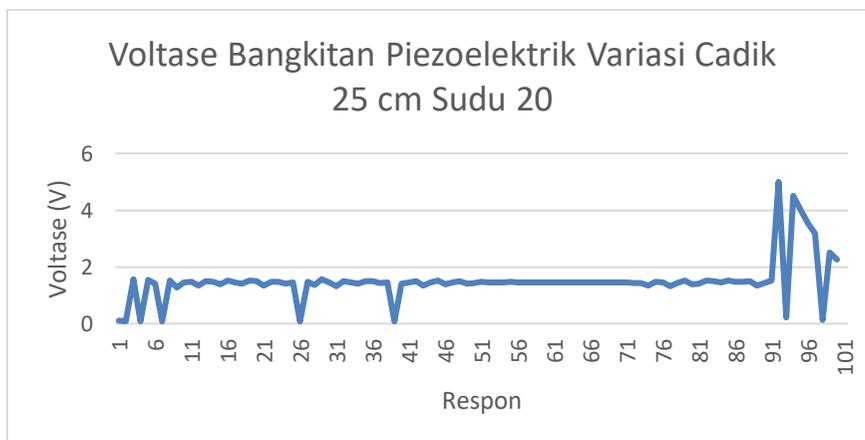
Pengujian dilakukan dengan dua variasi pada sudu-sudu dan cadik. Seluruh data SD Card terdapat pada lampiran. Terdapat variabel total voltase dengan jumlah sudu-sudu dan jarak cadik sebagai berikut.

**Tabel 4 Data dengan variasi cadik 20 cm**

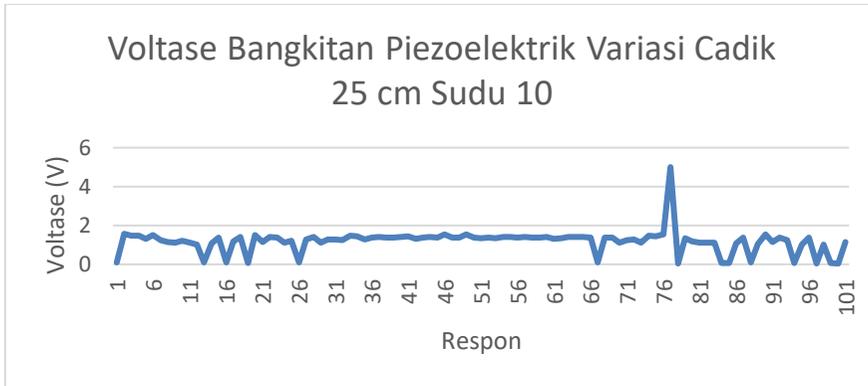
Jumlah sudu-sudu	Massa (Kg)	F (N)	Frequency (Hz)	Voltage Total (V)
5	0.14	0,6	42	89,05
10	0.14	0,6	42	99,9
20	0.14	0,6	42	111,08

**Tabel 5 Data dengan variasi cadik 25 cm**

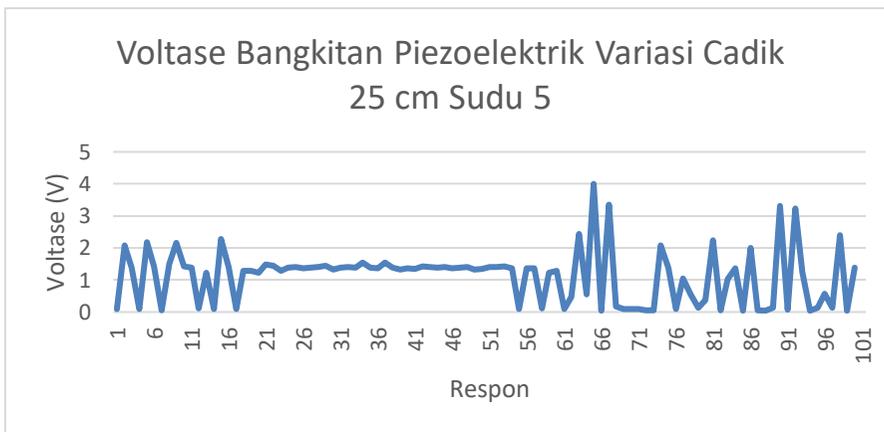
Jumlah sudu-sudu	Massa (Kg)	F (N)	Frequency (Hz)	Voltage Total (V)
5	0.14	0,6	42	112,35
10	0.14	0,6	42	119,05
20	0.14	0,6	42	149,21



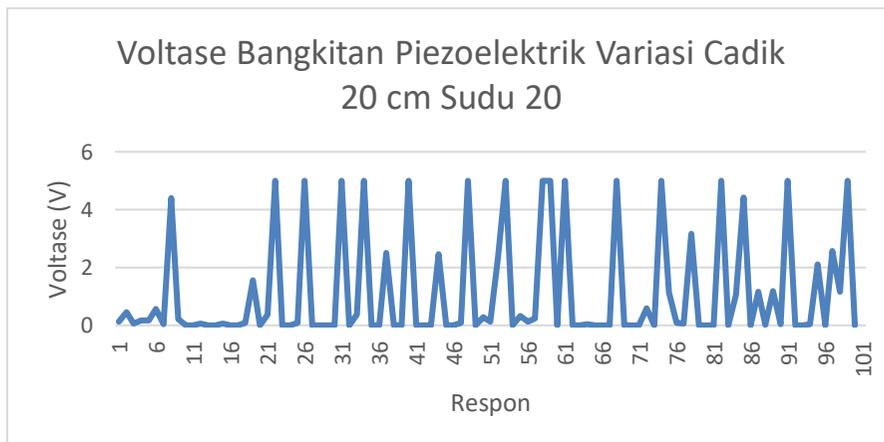
**Gambar 24 Data dengan variasi cadik 25 cm sudu 20**



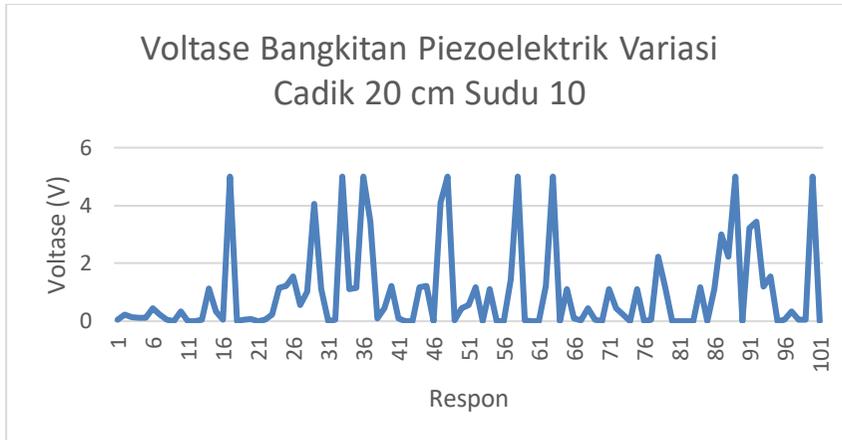
**Gambar 25 Data dengan variasi cadik 25 cm sudu 10**



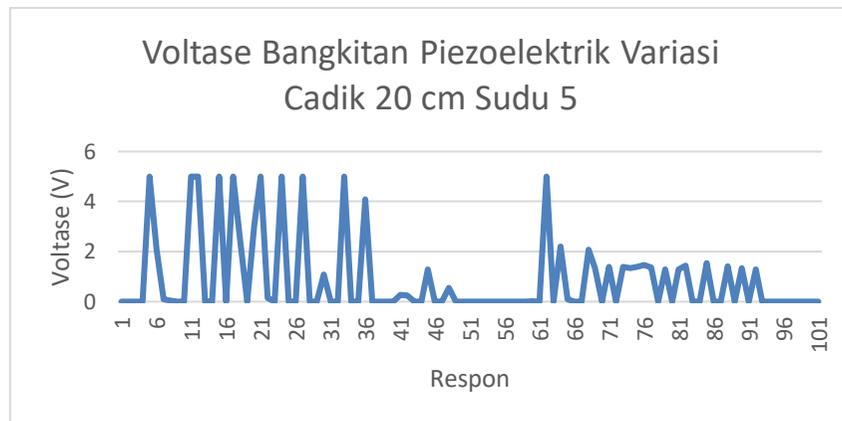
**Gambar 26 Data dengan variasi cadik 25 cm sudu 5**



**Gambar 27 Data dengan variasi cadik 20 cm sudu 20**



**Gambar 28** Data dengan variasi cadik 20 cm sudu 10



**Gambar 29** Data dengan variasi cadik 20 cm sudu 5



**Gambar 30.** Mekanisme Pengujian *Pizoelectric*

### 4.3 Perhitungan Untuk Menentukan Daya (W)

Dari data dan spesifikasi yang telah dipaparkan pada subbab 4.2, maka dapat dilakukan perhitungan. Dibawah ini adalah hasil perhitungan yang berguna untuk menunjang proses analisa teoritis pada satu respon cadik 20 cm sudu 5:

Massa Pelampung ( $m_p$ ) = 13 kg  
 Kedalaman Laut = 80 cm  
 Periode Gelombang (T) = 10 second  
 Tinggi Gelombang (H) = 25 cm  
 Panjang Gelombang ( $\lambda$ ) = 1 m  
 Massa Jenis ( $\rho$ ) = densitas air (1000 kg/m<sup>3</sup>)  
 Percepatan Gravitasi (g) = 9,81 kg m/s<sup>2</sup>

Pada Energi mekanik yang diterima oleh *piezoelectric minisense 100* pada plant dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W_{\text{mech}} = F \cdot X_{\text{piezo}}$$

Dimana:

F = gaya total yang bekerja pada *piezoelectric* (Newton)  
 $X_{\text{piezo}}$  = *displacement* pada material *piezoelectric* (m)

$$\begin{aligned} W_{\text{mech}} &= 1,5 \cdot 0,017 \\ W_{\text{mech}} &= 0,0255 \text{ J} \end{aligned}$$

Arus Bangkitan Material *Piezoelectric* dirumuskan sebagai berikut:

$$I = e \cdot X - C \cdot V$$

Dimana:

$e$  = Electromecanical Coupling Factor  
 $X$  = *displacement* pada material *piezoelectric* (m)  
 $C$  = *Kapasitansi Material* (F)  
 $v$  = Voltase 1 Respon (V)

$$\begin{aligned} &= 75\% \cdot 0,017 - 244\text{pf} \cdot 1,49 \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

Daya Bangkitan Material *Piezoelectric* dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

$P$  = Daya (W)  
 $I$  = Arus (A)  
 $v$  = Voltase (V)

$$= 1,49 \cdot 0,047$$

$$= 0,071 \text{ W}$$

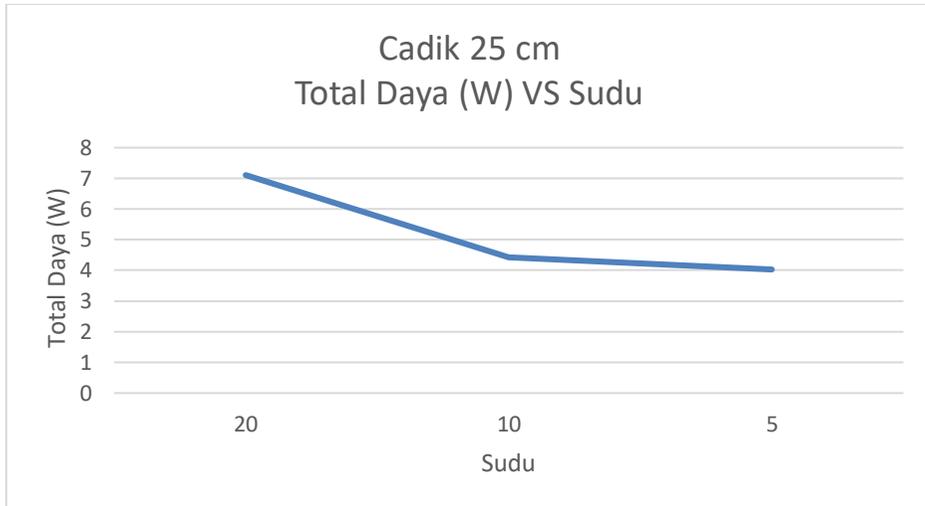
Perhitungan berdasarkan variasi Cadik dan Sudu pada *Piezoelectric* dapat dihitung pada tabel berikut :

**Tabel 6 Data dengan variasi cadik 25 cm**

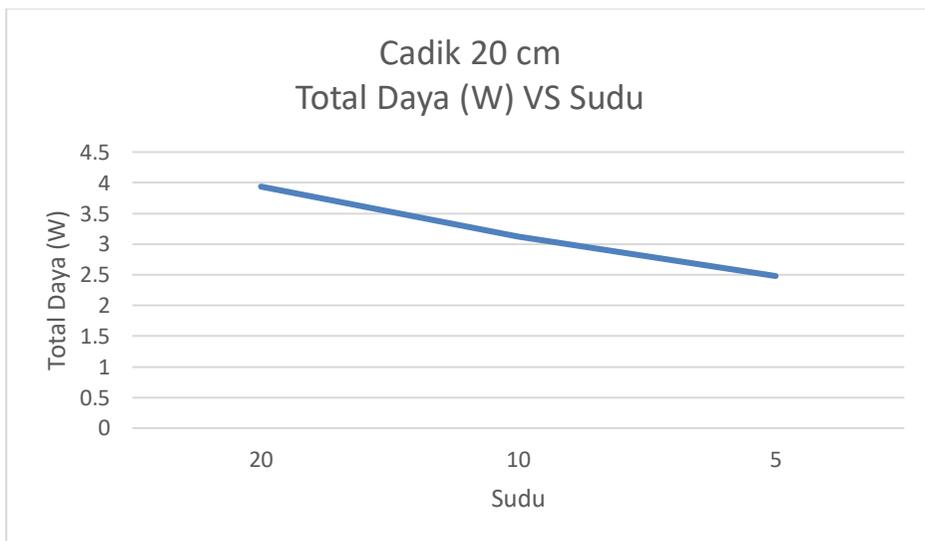
Cadik 25 cm					
Sudu	Energi Mekanik (J)	Voltase Bangkitan (V)	Arus Bangkitan (A)	Daya Bangkitan (W)	100 Respon (W)
20	0,0255	2,448705329	0,047623918	0,071059648	7,10596476
10	0,02465	2,367081818	0,037615181	0,044337390	4,433739031
5	0,0238	2,285458307	0,03585194	0,040279654	4,027965403

**Tabel 7 Data dengan variasi cadik 20 cm**

Cadik 20 cm					
Sudu	Energi Mekanik (J)	Voltase Bangkitan (V)	Arus Bangkitan (A)	Daya Bangkitan (W)	100 Respon (W)
20	0,0221	1,1108	0,03544634	0,039373794	3,937379403
10	0,021675	0,98911	0,031559926	0,031216238	3,121623848
5	0,0204	0,88168	0,028128934	0,024800719	2,480071867



**Gambar 31** grafik variasi cadik 25 cm



**Gambar 32** grafik variasi cadik 20 cm

#### **4.4 Perhitungan Untuk Menentukan Efisiensi Pada Sistem Elektrik**

Dari data mekanis yang dibutuhkan dan daya yang mampu dicover oleh piezoelektrik minisense 100 pada percobaan ini ditentukan nilai efisiensi pada sistem elektrik selama melakukan penelitian ini, berikut merupakan perhitungan dalam menentukan nilai efisiensi sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi } \eta = \frac{\text{Energi Keluaran}}{\text{Energi Masukan}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P}{F} \times 100\%$$

Dimana:

$P$  = Daya yang mampu disuplai Piezoelektrik

$F$  = Gaya yang diperlukan untuk membending Piezoelektrik

$$\eta = \frac{7,10596476}{0,6} \times 100\%$$

$$\eta = 11,8432746\%$$

**Tabel 8 Data efisiensi dengan variasi cadik 25 cm**

Cadik 25 cm			
Sudu	Gaya (N)	Daya (W)	Efisiensi (%)
20	0,6	7,10596476	11,8432746
10	0,6	4,433739031	7,389565052
5	0,6	4,027965403	6,713275671

**Tabel 9 Data efisiensi dengan variasi cadik 20 cm**

Cadik 20 cm			
Sudu	Gaya (N)	Daya (W)	Efisiensi (%)
20	0,6	3,937379403	6,562299005
10	0,6	3,121623848	5,202706413
5	0,6	2,480071867	4,133453112

#### 4.5 Perhitungan Untuk Menentukan *Scale Up* Jumlah Kebutuhan Piezoelektrik Pada Pulau Gili Labak

Dari piezoelektrik minisense 100 yang mampu mensuplai kebutuhan pada percobaan dan akan dihitung perencanaan jumlah *scale up* kebutuhan Piezoelektrik dengan kebutuhan listrik di Pulau Gili Labak, maka dapat dilakukan perhitungan. Dibawah ini adalah hasil perhitungan jumlah piezoelektrik yang dibutuhkan dalam satu waktu percobaan 100 respon berguna untuk menunjang proses analisa teoritis dan dapat hasil dari skala yang jumlah piezoelektrik minisense 100 sebagai berikut:

Jumlah Kepala Keluarga	= 44
Kebutuhan 1 Rumah	= 450W
Kebutuhan 1 Pulau	= 19800W

**Tabel 10 Data Scale Up Jumlah Piezoelektrik dengan variasi cadik 25 cm**

Cadik 25 cm						
Sudu	Simpangan	Sudut	Model	Scale Up Model	Daya	Scale Up Jumlah
20	8	5	40	332	1,4921	13270
10	8	10	80	210	1,17871	16799
5	13	20	260	68	1,1235	17624

**Tabel 11 Data Scale Up Jumlah Piezoelektrik dengan variasi cadik 20 cm**

Cadik 20 cm						
Sudu	Simpangan	Sudut	Model	Scale Up Model	Daya	Scale Up Jumlah
20	8	10	80	223	1,1108	17825
10	21	10	210	95	0,98911	20018
5	21	10	210	107	0,88168	22457

#### 4.6 Perhitungan Untuk Menentukan Scale Up Kebutuhan Listrik Pada Pulau Gili Labak

Dari data Daya yang mampu dicover oleh piezoelektrik minisense 100 pada percobaan dan akan dihitung perencanaan scale up dengan kebutuhan listrik di Pulau Gili Labak, maka dapat dilakukan perhitungan. Dibawah ini adalah hasil perhitungan yang berguna untuk menunjang proses analisa teoritis dan dapat hasil dari skala yang dihasilkan piezoelektrik minisense 100 sebagai berikut:

Jumlah Kepala Keluarga	= 44
Kebutuhan 1 Rumah	= 450W
Kebutuhan 1 Pulau	= 19800W

**Tabel 12 Data Scale Up Daya dengan variasi cadik 25 cm**

Cadik 25 cm		
Sudu	Total Daya	Scale Up
20	7,10596476	1:2786
10	4,433739031	1:4465
5	4,027965403	1:4915

**Tabel 13 Data Scale Up Daya dengan variasi cadik 20 cm**

Cadik 20 cm		
Sudu	Total Daya	Scale Up
20	3,937379403	1:5028
10	3,121623848	1:6342
5	2,480071867	1:7983

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan untuk tugas akhir ini.

1. Perancangan model ponton Trimaran yang digunakan untuk membantu proses pergerakan lengan dengan cara bersentuhan dengan gelombang laut pada sistem elektrik *Piezoelectric* Minisense 100 material yang mempunyai sifat akan menimbulkan *electrical charge* jika material tersebut mengalami deformasi secara mekanis, baik tekan atau tarik akibat tekanan, tarikan atau tekukan yang dihasilkan berjalan dengan baik.
2. Besar voltase listrik yang dihasilkan pada model sistem elektrik pada *piezoelectric* dalam skala laboratorium dengan mengacu pada gelombang laut pada setiap variable yaitu cadik 25 cm sudu 5 total 112,35 V, cadik 25 cm sudu 10 total 119,05 V, cadik 25 cm sudu 20 total 149,21 V, cadik 20 cm sudu 5 total 89,05 V, cadik 20 cm sudu 10 total 99,9 V, cadik 20 cm sudu 20 total 111,08 V. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa variasi cadik 25 cm sudu 20 memberikan respon *scale up* terbaik dengan nilai skala 1:2786 sedangkan variasi cadik 20 cm sudu 5 memberikan respon *scale up* terendah dengan nilai skala 1:7983, hasil *Scale Up* bisa dikatakan cukup kecil dari hasil perencanaan model dengan suplai kebutuhan sesungguhnya.

#### **5.2 Saran**

Dari tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

1. Ketika hendak menguji model rancang bangun dilaboratorium sebaiknya menentukan kesesuaian jadwal agar bisa menentukan pengujian dengan jadwal yang ditentukan.
2. Diperlukan penyempurnaan alat ukur (IMU) agar lebih handal dan tidak mudah putus koneksi atau *shifting*.
3. Piezoelektrik kurang karena sulitnya mencari tipe *Piezoelectric* Minisense 100 dipasaran.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. M. Wardhana, “Analisa Tegangan dan Penempatan Mooring pada Pontoon Pembangkit Tenaga Gelombang Laut - Sistem Bandulan,” 2012.
- [2] R. P. Utoyo, Analisa Dampak Temperatur Serta pH terhadap Produksi Biogas pada Bioreaktor Anaerob, Suruabaya, 2015.
- [3] Romadhoni, “ANALISA OLAH GERAK KAPAL DI GELOMBANG REGULER,” p. 8, 2016.
- [4] A. Muetze dan J. G. Vining, “Ocean Wave Energy Conversion – A Survey,” p. 8, 2005.
- [5] R. F. Kusuma, Simulasi Respon Gerak Ponton Trimaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Surabaya: -, 2014.
- [6] T. R. Arvisa, Uji Eksperimen Respon Gerakan Ponton Trimaran untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Surabaya: -, 2014.
- [7] D. K. Aji, “Artikel,” 20 July 2014. [Online]. Available: <https://ugmmagatrika.wordpress.com>.
- [8] E. B. Djatmiko, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, Surabaya: ITS Press, 2012.
- [9] O. P. Hentschel, L. P.-v. Scheidt, J. Wallaschek dan M. Denk, “Introduction and Evaluation of a Damping Determination Method Based on the short-Term Fourier Transform and Resampling,” *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, p. 13, 2015.
- [10] MIT, “Introduction to Frequency Domain Processing,” p. 55.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

Voltase Bangkitan Piezoelektrik						
No	Variasi Cadik 25 cm			Variasi Cadik 20 cm		
	Sudu 20	Sudu 10	Sudu 5	Sudu 20	Sudu 10	Sudu 5
1	0,1	0,1	0,09	0,12	0,06	0
2	0,09	1,58	2,09	0,45	0,22	0
3	1,57	1,48	1,39	0,07	0,15	0
4	0,09	1,46	0,09	0,17	0,11	0
5	1,54	1,3	2,17	0,18	0,11	5
6	1,41	1,52	1,42	0,56	0,44	2,08
7	0,08	1,23	0,06	0,05	0,22	0,08
8	1,53	1,16	1,51	4,4	0,06	0,04
9	1,27	1,1	2,16	0,22	0	0
10	1,46	1,2	1,42	0	0,33	0
11	1,47	1,12	1,39	0	0	5
12	1,34	1	0,12	0,06	0	5
13	1,51	0,09	1,22	0	0,06	0
14	1,47	1,09	0,09	0	1,12	0
15	1,38	1,39	2,27	0,06	0,33	5
16	1,53	0,09	1,41	0	0,05	0
17	1,45	1,17	0,1	0	5	5
18	1,42	1,42	1,29	0,08	0	2,44
19	1,53	0,06	1,29	1,56	0,05	0
20	1,49	1,51	1,23	0	0,08	3,05
21	1,35	1,16	1,48	0,37	0	5
22	1,47	1,42	1,44	5	0,06	0,14
23	1,48	1,39	1,29	0	0,22	0
24	1,42	1,12	1,38	0	1,16	5
25	1,46	1,22	1,4	0,08	1,22	0
26	0,08	0,09	1,37	5	1,55	0
27	1,48	1,27	1,38	0	0,55	5
28	1,37	1,41	1,41	0	1,01	0
29	1,56	1,1	1,45	0	4,05	0
30	1,45	1,29	1,32	0	1,11	1,09

31	1,33	1,29	1,38	5	0	0
32	1,49	1,23	1,4	0	0,06	0
33	1,45	1,48	1,38	0,36	5	5
34	1,41	1,44	1,55	5	1,1	0
35	1,49	1,29	1,39	0	1,16	0
36	1,49	1,38	1,36	0	5	4,09
37	1,43	1,4	1,54	2,5	3,44	0
38	1,45	1,37	1,38	0	0,09	0
39	0,08	1,38	1,33	0	0,44	0
40	1,4	1,41	1,37	5	1,22	0
41	1,45	1,45	1,35	0	0,09	0,26
42	1,51	1,32	1,42	0	0	0,25
43	1,34	1,38	1,41	0	0	0
44	1,45	1,4	1,39	2,45	1,17	0
45	1,52	1,38	1,4	0	1,22	1,3
46	1,38	1,55	1,37	0	0	0
47	1,45	1,39	1,38	0,08	4,11	0
48	1,51	1,36	1,41	5	5	0,54
49	1,42	1,54	1,32	0	0,04	0
50	1,43	1,38	1,35	0,29	0,44	0
51	1,47	1,33	1,4	0,13	0,55	0
52	1,46	1,37	1,4	2,32	1,17	0
53	1,45	1,35	1,42	5	0	0
54	1,46	1,42	1,36	0	1,11	0
55	1,47	1,41	0,09	0,32	0	0
56	1,45	1,39	1,37	0,13	0	0
57	1,45	1,4	1,36	0,23	1,44	0
58	1,45	1,37	0,12	5	5	0
59	1,45	1,38	1,23	5	0,04	0
60	1,45	1,41	1,28	0	0	0,01

61	1,45	1,32	0,1	5	0	0
62	1,45	1,35	0,47	0	1,22	5
63	1,45	1,4	2,44	0	5	0
64	1,45	1,4	0,54	0,05	0	2,21
65	1,45	1,42	4	0	1,11	0,1
66	1,45	1,36	0,04	0	0,09	0
67	1,45	0,09	3,35	0	0,04	0
68	1,45	1,37	0,18	5	0,44	2,08
69	1,45	1,36	0,1	0	0,06	1,33
70	1,45	1,12	0,1	0	0	0
71	1,45	1,23	0,1	0	1,11	1,4
72	1,43	1,28	0,06	0,58	0,44	0
73	1,44	1,1	0,05	0	0,22	1,39
74	1,35	1,47	2,09	5	0	1,35
75	1,47	1,44	1,39	1,13	1,11	1,38
76	1,45	1,54	0,09	0,08	0	1,47
77	1,33	5	1,04	0,06	0,06	1,36
78	1,43	0,04	0,54	3,16	2,22	0
79	1,52	1,35	0,13	0	1,18	1,3
80	1,39	1,18	0,38	0	0	0
81	1,41	1,1	2,23	0	0	1,28
82	1,53	1,1	0,06	5	0	1,43
83	1,5	1,1	1,03	0	0	0
84	1,45	0,06	1,37	1,06	1,17	0
85	1,53	0,05	0,04	4,41	0	1,54
86	1,48	1,09	2,01	0	1,1	0
87	1,47	1,39	0,06	1,16	3,01	0
88	1,5	0,09	0,04	0,01	2,22	1,42
89	1,34	1,04	0,13	1,19	5	0
90	1,44	1,54	3,31	0,04	0	1,35

91	1,52	1,13	0,08	5	3,22	0
92	5	1,38	3,24	0	3,44	1,29
93	0,22	1,23	1,24	0	1,19	0
94	4,51	0,06	0,04	0,05	1,55	0
95	4	1,03	0,13	2,11	0	0
96	3,55	1,37	0,56	0	0,06	0
97	3,19	0,04	0,13	2,58	0,33	0
98	0,14	1,01	2,4	1,17	0,05	0
99	2,52	0,06	0,04	5	0,05	0
100	2,26	0,04	1,38	0	5	0
101		1,13			0	0
Total (V)	149,21	119,05	112,35	111,08	99,9	89,05
Seluruh (V)	680,64					
Rata-rata	1,4921	1,178713	1,1235	1,1108	0,989109	0,881683

Source Code Arduino :

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
File myFile;

const int ledPin = 8;
const int PiezoPin = A0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Buka file di kartu microSD");
  if (!SD.begin(4)) { //tergantung di pin chipselect yang digunakan
    Serial.println("Gagal baca microSD!");
    return;
  }
  Serial.println("Sukses baca kartu microSD!");
  myFile = SD.open("coba.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.println("mencoba nulis data di file coba.txt");
    myFile.println("Data");
    // tutup file
    myFile.close();
    Serial.println("SELESAI!");
  } else {
    // jika gagal print error
    Serial.println("GAGAL TULIS coba.txt");
  }
  pinMode(ledPin,OUTPUT);
  pinMode(PiezoPin,INPUT);
}

void loop(){
  int sensorValue = analogRead(PiezoPin);
  float PiezoStatus = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
  myFile = SD.open("coba.txt", FILE_WRITE); //menulis File coba.txt
  // jika file sudah berhasil dibuka maka tulis data dimulai
  if (myFile) {
    Serial.println("mencoba nulis data di file coba.txt");
    myFile.println(PiezoStatus);
    // tutup file
    myFile.close();
    Serial.println("SELESAI!");
  }
}
```

```
} else {  
  // jika gagal print error  
  Serial.println("GAGAL TULIS coba.txt");  
}  
if(PiezoStatus>=3){  
  digitalWrite(ledPin,HIGH);  
  Serial.println(PiezoStatus);  
}  
else{  
  digitalWrite(ledPin,LOW);  
  Serial.println (PiezoStatus);  
}  
delay(500);  
}
```



## **BIODATA PENULIS**

Penulis bernama lengkap Pantou Janur Panjogi. Lahir di Gresik, 7 November 1995. Anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Sidokumpul II Gresik, SMPN 4 Gresik, SMA Muhammadiyah I Gresik, dan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Selama masa perkuliahan penulis bergabung sebagai anggota staff *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*. Selain itu penulis berkecimpung dalam bidang Kerohanian kampus seperti menjadi pengurus JMMI ITS dan mengikuti program perancangan mobil listrik Zelena ITS pada tahun 2016, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Model Sistem Elektrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut Menggunakan Piezoelectric Di Pulau Gili Labak Sumenep Madura**. Penulis dapat dihubungi di email berikut: [pantoujanurpanjogi@gmail.com](mailto:pantoujanurpanjogi@gmail.com)