

**ANALISIS KINERJA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**Yoar Allyahmar Santoso**

**2115021077**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2026**

**ANALISIS KINERJA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH**

**Oleh :**

**YOAR ALLYAHMAR SANTOSO**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2026**

## ABSTRAK

### ANALISIS KINERJA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH

Oleh:

**Yoar Allyahmar Santoso**

Indonesia memiliki potensi energi gelombang laut yang besar sebagai sumber energi terbarukan, namun pemanfaatannya masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe gear (rack and pinion) searah skala laboratorium berdasarkan efisiensi konversi energi gelombang menjadi energi listrik. Sistem bekerja dengan memanfaatkan gerak naik-turun pelampung untuk menggerakkan mekanisme rack and pinion yang memutar generator DC. Variasi pengujian dilakukan pada panjang pelampung 50 cm, 55 cm, dan 60 cm serta kecepatan pengombak 46 RPM, 56 RPM, dan 62 RPM. Parameter yang diukur meliputi karakteristik gelombang, tegangan, arus, dan daya keluaran generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dimensi pelampung dan kecepatan pengombak memengaruhi efisiensi sistem, dengan pelampung 50 cm menghasilkan performa terbaik. Penelitian ini menunjukkan bahwa mekanisme rack and pinion searah berpotensi diterapkan sebagai sistem konversi energi pada PLTGL skala kecil.

**Kata kunci:** PLTGL, energi gelombang laut, *rack and pinion*, efisiensi, energi terbarukan.

## ***ABSTRACT***

### ***PERFORMANCE ANALYSIS OF THE UNIDIRECTIONAL GEAR (RACK AND PINION) TYPE OCEAN WAVE POWER GENERATOR MODEL***

***By:***

**Yoar Allyahmar Santoso**

Indonesia has significant potential for ocean wave energy as a renewable energy source, but its utilization remains limited. This study aims to analyze the performance of a laboratory-scale rack and pinion wave power plant (PLTGL) based on its efficiency in converting wave energy into electricity. The system operates by utilizing the up-and-down motion of a float to drive a rack and pinion mechanism that rotates a DC generator. Tests were conducted at float lengths of 50 cm, 55 cm, and 60 cm, with wave speeds of 46, 56, and 62 rpm. Parameters measured included wave characteristics, voltage, current, and generator output power. The results showed that variations in float dimensions and wave speed affected system efficiency, with the 60 cm float producing the best performance. This study demonstrates the potential for a rack and pinion unidirectional mechanism to be implemented as an energy conversion system in small-scale PLTGLs.

***Keywords:*** *PLTGL, wave energy, rack and pinion, efficiency, renewable energy.*

**LEMBAR PENGESAHAN**

Judul skripsi : ANALISIS KINERJA MODEL  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK  
AND PINION)* SEARAH

Nama mahasiswa : *Yoar Alfyahmar Santoso*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021077

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

NIP. 196908011999031002



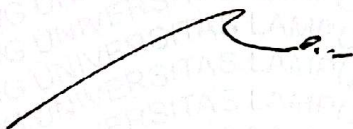
Nurcahya Nugraha, S.T., M.T.

NIP. 199510112024061001

**MENGETAHUI**

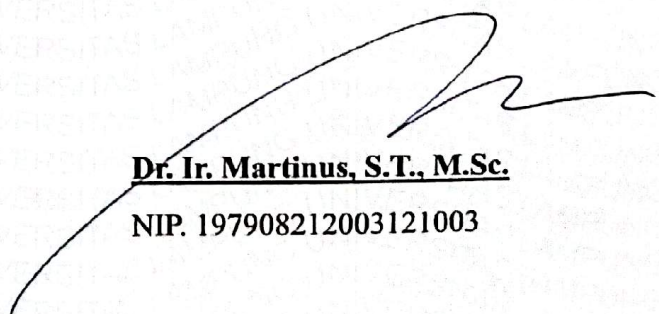
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

NIP. 197408162000121001



Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197908212003121003

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua Penguji**

**: Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**



**Anggota Penguji**

**: Nurcahya Nugraha, S.T., M.T.**

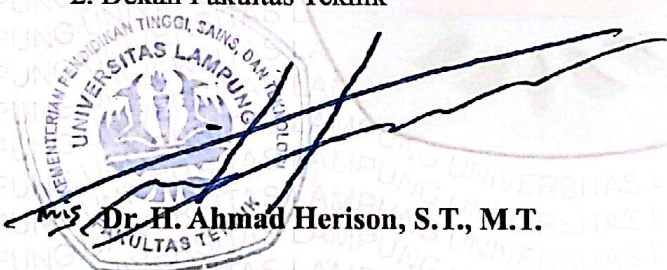


**Penguji Utama**

**: Ahmad Suudi, S.T, M.T.**

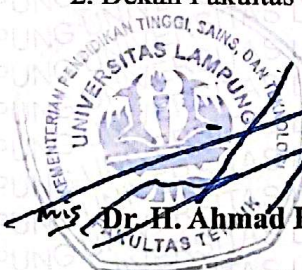


**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

**NIP. 196910302000031001**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 April 2026**

## PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa : Yoar Allyahmar Santoso  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021077  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Analisis Kinerja Model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Gear (Rack and Pinion) Searah**” adalah hasil karya ilmiah saya sendiri yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana pada Universitas Lampung. Skripsi ini tidak mengandung karya atau tulisan orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali yang telah disebutkan secara jelas dalam kutipan dan daftar pustaka sebagaimana layaknya karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Lampung.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran-dan saya bersedia menanggung segala akibat yang ada, apabila pernyataan ini tidak benar.

Bandar Lampung, 19 April 2026



Yoar Allyahmar Santoso

2115021077

## RIWAYAT HIDUP



Penulis Bernama Yoar Allyahmar Santoso, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 03 Juli 2003. Penulis merupakan anak dari pasangan Sugiyo dan Sumarsih. Sejak kecil, penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 1 Rajabasa Raya dan lulus pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 8 Bandar Lampung, yang diselesaikan pada tahun 2018, serta melanjutkan pendidikan menengah akhir di SMKN 2 Bandar Lampung dan berhasil lulus pada tahun 2021.

Penulis menjalankan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Triharjo, Kec. Merbau Mataram Kab. Lampung Selatan pada awal Januari – Februari 2024. Pada tahun 2024. Penulis berkesempatan untuk melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Budi Makmur Perkasa, Kabupaten Lampung Tengah dengan mengambil topik “Analisis Penentuan Efektivitas Mesin *Corrugated Cardboard* Menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada PT. Budi Makmur Perkasa”.

Tahun 2026 penulis menyelesaikan program studi S1 Teknik Mesin dengan judul skripsi “ANALISIS KINERJA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH”, di bawah bimbingan bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., dan Bapak Nurcahya Nugraha, S.T., M.T., serta Bapak Ahmad Suudi, S.T, M.T. sebagai pembahas.

## **MOTTO**

**“ Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah berjanji, bahwa  
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”**

**(Q.S Al-Insyirah: 5-6)**

**“Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir kedunia, jadi tidak  
mungkin aku tidak ada artinya”**

**(Saya Pribadi)**

**“Jika dalam hidupmu kamu tidak pernah bertemu dengan orang baik,  
maka jadilah orang baik untuk orang lain”**

**(Saya Pribadi)**

## HALAMAN PERSEMBAHAN



Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Sholawat serta salam selau tercurahkan kepada Nabiallah Nabi Muhammad SAW

### **KARYA TULIS INI SAYA PERSEMBAHKAN KEPADA**

#### **Ibunda dan Ayahanda Tercinta**

Yang selalu menjadi sumber kekuatan dan inspirasiku, memberikan semangat dan doa yang tiada henti-hentinya selalu menyertai. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan, serta pengorbanan tanpa hentinya yang tidak akan pernah bisa penulis balas sepenuhnya. Segala pencapaian ini adalah buah dari doa dan usaha kalian yang menyertai saya selama proses penyelesaian skripsi ini.

**Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2021**

**Serta**

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan nikmat-Nya kepada Penulis, sehingga Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul “ **ANALISIS KINERJA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE GEAR (RACK AND PINION) SEARAH**”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan bantuan baik secara materi maupun motivasi. Hal tersebutlah yang sangat memotivasi penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T, M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. Selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan arahan selama dibangku perkuliahan.
5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Nurcahya Nugraha, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Bapak Ahmad Suudi, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Seluruh Dosen, Staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas

Lampung.

9. Terima kasih tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta saya yakni Ayahanda Sugiyo dan Ibunda Sumarsih dengan segala pengorbanan, kerja keras, dan kasih sayangnya tulusnya selalu mendukung saya dalam setiap langkah. Skripsi ini kupersembahkan sebagai bentuk bakti dan penghormatan kepada kedua orang tua saya.
10. Terima kasih penulis sampaikan kepada adik perempuan satu satunya, Yosi Alya Fanessa, yang selalu membuat penulis termotivasi untuk bisa terus belajar menjadi sosok kakak yang dapat memberikan pengaruh baik, serta menjadi penutannya di masa yang akan datang kelak.
11. Saya mengucapkan terimakasih kepada Rezza Syakhdan Syaputra dan Marco Divaio teman seperjuangan skripsi saya yang selalu membantu dan berdiskusi dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.
12. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2021 yang ada di laboratorium termodinamika, motor bakar, mekanika struktur, dan fluida di jurusan teknik mesin.
13. Kepada seseorang yang tak kalah pentingnya, Desti Tiara Adelia. Terima kasih telah selalu sabar dalam menemani, membantu, meluangkan waktunya, tenaga dan pikirannya, serta dukungan dan motivasinya sampai saat ini.
14. Teman-teman yang berada di kampung halaman yang telah menjadi tempat cerita dan selalu memberi dukungan serta motivasi kepada penulis selama ini.
15. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya

Bandar Lampung, 08 Januari 2026

Penulis,

**Yoar Allyahmar Santoso**  
**NPM. 2115021077**

# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang dan Masalah .....	1
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Gelombang laut .....	7
2.2 Teori Gelombang laut.....	9
2.2.1 Teori Gelombang <i>Airy</i> .....	10
2.2.2 Teori Gelombang <i>Stokes</i> .....	10
2.2.3 Teori Gelombang <i>Cnoidal</i> .....	11
2.3 Metode Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Penghasil Energi Listrik .....	12
2.3.1 <i>Permanent Magnet Linear Buoy</i> .....	12
2.3.2 Sistem Pelamis .....	13
2.3.3 Sistem Kanal .....	13
2.3.4 Sistem Pelampung.....	14
2.3.5 <i>Ocean Thermal Energy</i> .....	14
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	16
2.4.1 PLTGL-OWC .....	16
2.4.2 PLTGL- AWS .....	17
2.4.3 PLTGL- Pelamis.....	18
2.4.4 PLTGL – Point Absorber.....	19
2.5 Energi Gelombang Laut .....	19
2.5 Gaya Apung.....	21
2.6 Motor DC ( <i>Direct Current</i> ) .....	23
2.7 Generator.....	24
2.7.1 Rotor.....	25

2.7.2 Stator .....	25
2.8 Standar Deviasi .....	27
2.9 Daya Listrik.....	27
2.9.1 Daya Aktif .....	28
2.9.2 Daya Reaktif.....	28
2.9.3 Daya Semu .....	28
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	30
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	30
3.3 Rancangan Teori Analisa.....	31
3.3.1.Rancangan Analisa .....	31
3.3.2 Sketsa Diagram Benda Bebas .....	33
3.4 Komponen Alat pada Pembangkit Listrik tenaga gelombang laut.....	34
3.5 Model Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	38
3.6 Sketsa Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	39
3.7 Sketsa Eksentrisitas Pengombak .....	40
3.8 Prosedur Pengambilan Data .....	41
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Data Spesifikasi Penelitian.....	43
4.1.1 Spesifikasi Gelombang.....	43
4.1.2 Data dimensi alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut .....	44
4.1.3 Spesifikasi Pelampung pembangkit listrik tenaga gelombang laut..	44
4.1.4 Spesifikasi Generator DC.....	45
4.2 Pembahasan Eksperimen dan Teoritis .....	45
4.2.1. Hasil Eksperimen .....	48
4.2.2 Pembahasan Eksperimen.....	54
4.2.3 Perhitungan Teoritis Daya Gelombang Laut .....	61
4.2.4 Perhitungan Potensial Energi Gelombang Laut .....	62
4.3 Validasi Efisiensi Kinerja Sistem PLTGL .....	69
<b>V. PENUTUP .....</b>	<b>72</b>
5.1 Kesimpulan .....	72
5.2 Saran.....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>74</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Sketsa <i>rack and pinion</i> .....	3
Gambar 2.1. Puncak dan lembah gelombang.....	8
Gambar 2.2. Komponen gelombang dasar.....	9
Gambar 2.3. Profil permukaan ombak.....	11
Gambar 2.4. Skema <i>Permanent Magnet Linear Buoy</i> .....	12
Gambar 2.5. PLTGL Sistem Pelamis.....	13
Gambar 2.6. PLTGL Sistem Kanal.....	14
Gambar 2.7. Skema <i>Ocean Thermal Energi Conversion</i> .....	16
Gambar 2.8. Skema PLTGL OWC.....	17
Gambar 2.9. PLTGL AWS.....	18
Gambar 2.10. PLTGL Pelamis.....	18
Gambar 2.11. PLTGL <i>Point Absorber</i> .....	19
Gambar 2.12. Posisi benda saat dicelupkan kedalam air.....	22
Gambar 2.13. Konstruksi pada motor DC .....	23
Gambar 2.14. Komponen pada Generator.....	25
Gambar 2.15. Komponen pada <i>Stator</i> .....	25
Gambar 2.16. Segitiga daya listrik.....	29
Gambar 3.1. <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	31
Gambar 3.2. Diagram benda bebas pada pelampung.....	33
Gambar 3.3. Pelampung PLTGL.....	35
Gambar 3.4. <i>Rack and gear pinion</i> .....	36
Gambar 3.5. <i>Linear Bearing</i> .....	36
Gambar 3.6. Generator.....	37
Gambar 3.7. Avometer.....	38
Gambar 3.8. Model alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut.....	38

Gambar 3.9. Skema alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut.....	40
Gambar 3.10. Sketsa eksentrisitas pengombak.....	40
Gambar 4.1. Jarak optimal penangkapan energi gelombang.....	46
Gambar 4.2. Grafik perbandingan tegangan dan kuat arus.....	55
Gambar 4.3. Grafik perbandingan daya.....	57
Gambar 4.4. Grafik standar deviasi data arus.....	58
Gambar 4.5. Grafik standar deviasi data tegangan.....	59
Gambar 4.6. Grafik standar deviasi daya.....	60
Gambar 4.7. Grafik hubungan RPM terhadap efisiensi pada variasi eksentrisitas pada pelampung 60cm.....	65
Gambar 4.8. Grafik hubungan RPM terhadap efisiensi pada variasi eksentrisitas pada pelampung 55cm.....	66
Gambar 4.9. Grafik hubungan RPM terhadap efisiensi pada variasi eksentrisitas pada pelampung 50cm.....	67
Gambar 4.10. Perbandingan nilai efisiensi dari penelitian terdahulu.....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Pengujian Karakteristik Gelombang .....	34
Tabel 3.2. Pengujian kinerja pembangkit listrik tenaga gelombang laut.....	34
Tabel 3.3. Spesifikasi pelampung.....	35
Tabel 3.4. Spesifikasi <i>Rack and gear pinion</i> .....	36
Tabel 3.5. Spesifikasi generator.....	37
Tabel 4.1. Data spesifikasi gelombang yang digunakan.....	43
Tabel 4.2. Spesifikasi PLTGL.....	44
Tabel 4.3. Spesifikasi pelampung Tabung.....	44
Tabel 4.4. Spesifikasi generator DC.....	45
Tabel 4.5. Nilai standar deviasi tabung 60 cm.....	49
Tabel 4.6. Nilai standar deviasi tabung 55 cm.....	51
Tabel 4.7. Nilai standar deviasi tabung 50 cm.....	53
Tabel 4.8. Perhitungan energi gelombang laut pelampung tabung 60 cm.....	63
Tabel 4.9. Perhitungan energi gelombang laut pelampung tabung 55 cm.....	64
Tabel 4.10. Perhitungan energi gelombang laut pelampung tabung 50 cm .....	64
Tabel 4.11. Konfigurasi Mekanisme pada Penelitian Sebelumnya.....	70

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Air laut di era modern ini telah banyak dimanfaatkan banyak negara sebagai sumber energi alternatif dan sebagai bahan yang bisa dimanfaatkan untuk membuat sesuatu yang berguna jika dimanfaatkan secara besar-besaran air laut ini akan berpotensi besar untuk mencukupi sumber energi listrik dimasyarakat untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Krisis energi telah menjadi permasalahan yang terus berlarut di Indonesia dan negara yang lain. Kebutuhan energi akan terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan penambahan jumlah penduduk, karena itu pemanfaatan air laut ini sangat berguna untuk mengatasi krisis energi listrik yang melanda diberbagai negara (Adriani,2020).

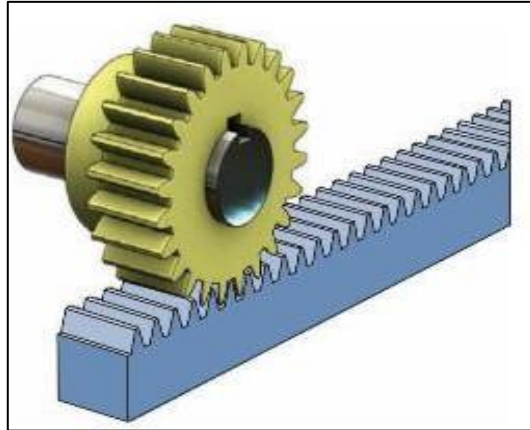
Sumber energi untuk kebutuhan listrik perlu dialihkan dengan menerapkan teknologi energi terbarukan. Dalam Rencana Umum Energi Nasional menargetkan pembaruan energi sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31 % pada tahun 2031 (Langer dkk., 2021). Sumber energi terbarukan yang potensial untuk memenuhi kebutuhan energi nasional adalah tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, tenaga sampah, termasuk tenaga gelombang laut. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan 70% berupa lautan, mempunyai potensi yang tinggi untuk menghasilkan energi laut untuk menghasilkan energi Listrik. Potensi energi laut dapat diperoleh dari energi gelombang air laut, energi pasang surut dan energi thermal laut.

Salah satu sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan sepenuhnya adalah energi gelombang laut. Energi gelombang laut pada dasarnya berasal

dari angin, yang awalnya juga berasal dari energi matahari. Pada saat angin berhembus di atas permukaan lautan, gesekan menimbulkan gerakan air dan menghasilkan gelombang. Walaupun jumlah energi gelombang laut jauh lebih rendah dari jumlah energi surya, namun energi gelombang laut memiliki kerapatan yang jauh lebih padat dari pada energi surya. Energi gelombang memiliki kurang lebih lima kali lebih padat dari energi surya, atau kepadatan mencapai 2-3 kW/m<sup>2</sup> (Parjiman dkk., 2015).

Berdasarkan studi literatur, perkembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) menunjukkan peningkatan yang signifikan, khususnya pada desain sistem konversi energi dan mekanisme transmisi daya. Berbagai pendekatan telah dikembangkan, seperti oscillating water column, point absorber, serta sistem mekanik berbasis gear untuk meningkatkan efisiensi konversi energi gelombang menjadi energi listrik (Drew dkk., 2009). Salah satu perkembangan yang banyak diteliti adalah penggunaan mekanisme rack and pinion yang mampu mengonversi gerak linier pelampung menjadi gerak rotasi secara lebih efektif dan sederhana secara konstruksi (Mott dkk., 2018). Seiring dengan perkembangan tersebut, penelitian ini mengadopsi mekanisme gear rack and pinion searah sebagai alternatif teknologi konversi energi gelombang laut yang berpotensi meningkatkan stabilitas sistem dan efisiensi pembangkitan listrik.

Konsep dasar dari model ini adalah memanfaatkan gerakan vertikal (naik-turun) dari pelampung akibat interaksi langsung dengan gelombang laut. Gerakan tersebut akan diteruskan ke sistem *gear* jenis *rack and pinion*, yang akan mengonversi gerakan linier menjadi gerakan rotasi pada poros, dan selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Penggunaan sistem *rack and pinion* searah bertujuan agar gerakan mekanik yang dihasilkan dari fluktuasi gelombang dapat dikonversi secara lebih stabil dan efisien menjadi energi listrik. Adapun gambar skema rack and pinion dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1.1 Sketsa rack and pinion

(Sumber: Mott dkk., 2018)

Penelitian ini juga merupakan kelanjutan dari studi sebelumnya (Nurkalam dan Malik, 2025), telah mengembangkan prototipe dasar PLTGL berbasis rack and pinion. Perbedaan utama pada studi lanjutan ini terletak pada modifikasi desain pelampung, yaitu dengan memperbesar dimensinya guna meningkatkan daya tangkap gelombang dan daya dorong ke sistem gear. Diharapkan, variasi ini dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan dan memperbesar daya listrik yang dihasilkan. Adapun kekurangan pada penelitian sebelumnya adalah daya listrik yang dihasilkan masih relatif kecil, yang disebabkan oleh keterbatasan dimensi pelampung sehingga gaya dorong gelombang yang diteruskan ke sistem mekanik belum optimal. Oleh karena itu, pada penelitian lanjutan ini dilakukan pembesaran dimensi pelampung sebagai solusi untuk meningkatkan gaya dorong yang diterima sistem rack and pinion, sehingga diharapkan daya listrik yang dihasilkan menjadi lebih besar serta efisiensi PLTGL dapat meningkat secara signifikan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh model PLTGL tipe *gear rack and pinion* searah, serta melakukan perbandingan terhadap hasil perhitungan teoritis sebagai validasi performa model. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi pada berbagai variasi karakteristik gelombang, seperti amplitudo dan frekuensi, yang diterapkan pada model.

Melalui pengembangan dan pengujian model ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan, serta mendukung penyediaan energi alternatif di wilayah pesisir yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Model ini juga diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan mendukung agenda nasional dalam pencapaian target transisi energi hijau.

## **1.2 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh model PLTGL tipe gear rack and pinion searah, serta melakukan perbandingan terhadap hasil perhitungan teoritis sebagai validasi performa model.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penulis menguji model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah ini hanya menggunakan media pembangkit gelombang skala laboratorium dan hanya menggunakan media air tawar yang tersedia di Laboratorium.
2. Gelombang air yang digunakan diperoleh dari media pembangkit gelombang yang frekuensinya dapat divariasikan sehingga didapatkan beberapa jenis teori gelombang.

## **1.4 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam menyusun skripsi ini adalah sebagai berikut:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi penjelasan singkat terkait permasalahan yang akan diambil yang terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan tentang landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung perumusan masalah yang akan dibahas atau dianalisa. Tinjauan pustaka juga merupakan sumber-sumber yang digunakan dalam menganalisis dan menghitung data-data yang diperoleh saat penelitian.

## **BAB III METODOLOGI**

Bab ini berisikan tentang metode yang dilakukan penulis untuk mengumpulkan informasi, tempat dan waktu penelitian serta menerangkan alur penelitian, sebagaimana proses pengambilan data yang dilakukan.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang perhitungan data-data yang sudah diperoleh dan dilanjutkan dengan pembahasan hasil yang telah didapatkan.

## **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari data yang diperoleh dan pembahasan dari penulis tentang studi kasus yang diambil dalam penelitian. Kesimpulan yang diperoleh ditulis secara ringkas dan jelas, serta saran yang diberikan untuk kelanjutan dari penelitian. Kesimpulan dan saran ini bertujuan untuk penelitian berikutnya agar dapat lebih sempurna daripada penelitian sebelumnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan tentang referensi yang digunakan dalam penulisan dan penyusunan laporan penelitian.

**LAMPIRAN**

Lampiran berisikan data-data pelengkap yang tidak dicantumkan pada bab-bab sebelumnya dan juga sebagai pelengkap dari laporan penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang laut

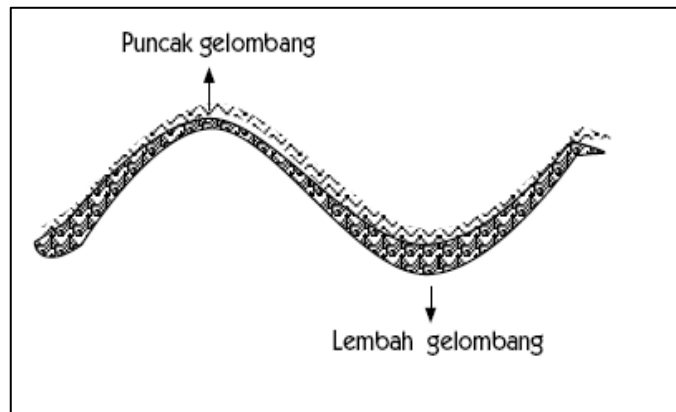
Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik *sinusoidal*. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik bumi - bulan - matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi (Kurniawan dkk., 2011). Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang geraknya akan terbentuk gelombang. (Waldopo, 2008)

Jenis-jenis gelombang ditinjau dari gaya pembangkitnya terdapat 3 jenis yaitu:

1. Gelombang Angin, merupakan gelombang yang disebabkan oleh tiupan angin di permukaan laut. Gelombang ini mempunyai periode yang sangat bervariasi, ditinjau dari frekuensi kejadiannya, gelombang angin merupakan gelombang yang paling dominan terjadi di laut.
2. Gelombang Pasang surut (Pasut), merupakan gelombang yang disebabkan oleh gaya tarik bumi terhadap benda -benda langit, benda langit yang paling besar pengaruhnya adalah Matahari dan Bulan, gelombang pasut lebih mudah diprediksi karena terjadi secara periodik mengikuti sesuai peredarannya.

3. Gelombang Tsunami, gelombang yang diakibatkan oleh gempa bumi tektonik atau letusan gunung api di dasar laut, tsunami merupakan gelombang yang sangat besar dan tinggi gelombangnya dapat mencapai lebih dari 10 meter.

Adapun puncak dan lembah gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut:



Gambar 2.1 Puncak dan Lembah Gelombang Laut  
(Sumber: Waldopo, 2008)

Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melewati suatu titik dalam jangka waktu tertentu. Kecepatan ialah cepatnya gelombang merambat, atau jarak yang ditempuh persatuan waktu. Untuk menghitung kecepatan dari suatu gelombang dapat menggunakan persamaan (1), serta untuk menghitung panjang dari suatu gelombang dapat menggunakan persamaan (2) (Aminuddin dkk., 2015).

$$C_w = \frac{Lw}{T} = \frac{\sigma}{K} \quad (1)$$

Dimana :

$C_w$  = Kecepatan rambat gelombang (m/s)

$Lw$  = Panjang gelombang (m)

$T$  = Periode gelombang (s)

$\sigma$  = Frekuensi sudut gelombang (rad/s)

$k$  = Bilangan gelombang (rad/s)

$$L_w = \frac{gT^2}{2\pi} \tan h \frac{2\pi d}{L_w} \quad (2)$$

Dimana :

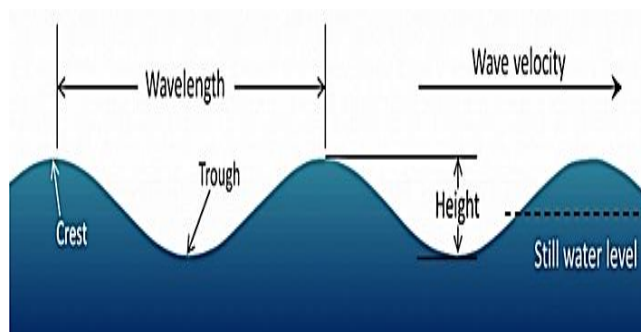
$L_w$  = Panjang gelombang (m)

$T$  = Periode gelombang (s)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$d$  = kedalaman air (m)

Menurut (Webb, 2017), gelombang dasar terdapat beberapa bagian, yaitu *crest*, *trough*, *wavelength*, *wave height*, *still water level*, *wave steepness*. Adapun komponen gelombang dasar dapat dilihat pada Gambar 2.2. berikut ini:



Gambar 2.1. Komponen gelombang dasar

(Sumber: Webb, 2017)

## 2.2 Teori Gelombang laut

Ada beberapa dengan berbagai derajat kerumitan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya adalah teori *Airy*, *Stokes*,

dan *Cnoidal* (Sundar, 2016). Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda, seperti yang dijelaskan di bawah ini:

### 2.2.1 Teori Gelombang *Airy*

Teori gelombang *Airy* (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tidak berotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa asumsi yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya coriolis (akibat perputaran bumi diabaikan).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak berotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan kompres sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

### 2.2.2 Teori Gelombang *Stokes*

Teori gelombang *Stokes* menggunakan amplitudo yang lebih besar daripada teori *Airy* untuk mengembangkan model gelombang. Dalam teori gelombang linear fluktuasi muka air hanya diberikan untuk orde pertama. Untuk gelombang amplitudo berhingga harus diperhitungkan besaran-besaran yang berorde lebih tinggi, yang mempunyai bentuk umum.

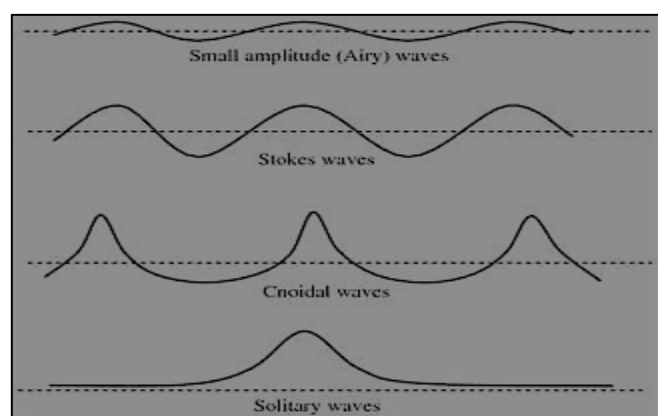
### 2.2.3 Teori Gelombang *Cnoidal*

Gelombang *Cnoidal* adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang. Model ini memberikan representasi yang lebih kompleks dari bentuk gelombang dan sering digunakan dalam situasi di mana gelombang tidak sinusoidal.

### 2.2.4. Teori Gelombang *Solitary*

Gelombang tunggal (gelombang soliter) bergerak tanpa mengubah bentuknya. Interaksi arus dengan topografi dasar laut atau fenomena lain seperti tsunami sering menyebabkan gelombang seperti ini. Teori ini sangat membantu menjelaskan perilaku gelombang yang memiliki energi tinggi dan dapat bergerak jauh tanpa kehilangan bentuknya. Gelombang ini tidak periodik dan tidak memiliki panjang gelombang yang pasti (Sundar, 2016).

Setiap teori menawarkan perspektif unik berdasarkan asumsi dan kondisi tertentu, mulai dari gelombang kecil yang dihasilkan oleh angin hingga gelombang besar yang muncul akibat interaksi kompleks di lautan. Adapun perbandingan profil dari beberapa teori ombak tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Profil Permukaan Ombak

(Sumber: Wilson, 1963)

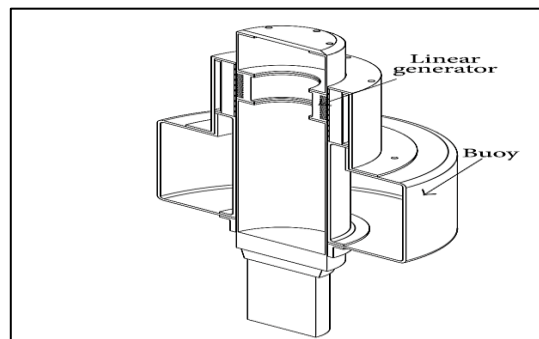
## 2.3 Metode Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Penghasil Energi Listrik

Metode yang dapat digunakan untuk pemanfaatan gelombang laut sebagai penghasil energi listrik, diantaranya :

### 2.3.1 *Permanent Magnet Linear Buoy*

Peneliti Universitas Oregon mempublikasikan temuan teknologi terbarunya yang diberi nama *Permanent Magnet Linear Buoy* (Rhinefrank dkk., 2006). Diberi nama *buoy* karena memang pada prinsip dasarnya, teknologi terbaru tersebut dipasang untuk memanfaatkan gelombang laut di permukaan. Berbeda dengan *buoy* yang digunakan untuk mendeteksi gelombang laut di permukaan. Prinsip dasar *buoy* penghasil listrik ini yaitu dengan mengapungkan di permukaan. Gelombang laut yang terus mengalir dan berirama bolak-balik dalam *buoy* ini akan diubah menjadi gerakan harmonis listrik. Sekilas bila dilihat dari bentuknya, *buoy* ini mirip dengan dinamo sepeda.

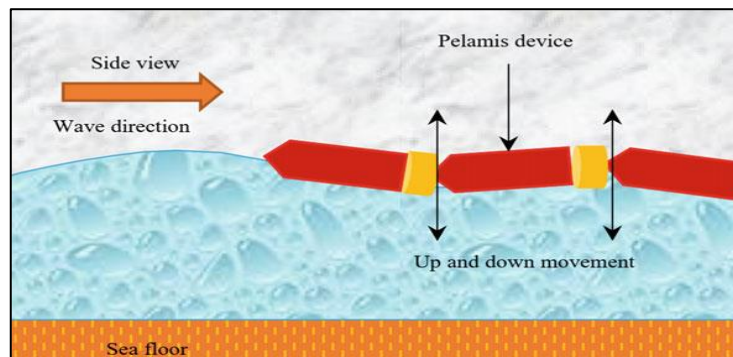
Bentuknya silindris dengan perangkat penghasil listrik pada bagian dalamnya. *Buoy* diapungkan di permukaan laut dengan posisi sebagian tenggelam dan sebagian lagi mengapung. Adapun ilustrasi dari *Permanent Magnet Linear Buoy* ada pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Skema *Permanent Magnet Linear Buoy*  
(Sumber: Si dkk., 2014)

### 2.3.2 Sistem Pelamis

Sistem pelamis dikembangkan oleh *ocean power delivery* (Twidell & Weir, 2006), pada sistem ini terdapat tabung-tabung yang sekilas terlihat seperti ular yang mengambang di permukaan laut sebagai penghasil listrik. Setiap tabung memiliki panjang sekitar 122 meter dan terbagi menjadi empat segmen. Setiap ombak yang melalui alat ini akan menyebabkan tabung silinder tersebut bergerak secara vertikal maupun lateral. Gerakan yang ditimbulkan akan mendorong piston diantara tiap sambungan segmen yang selanjutnya memompa cairan hidraulik bertekanan melalui sebuah motor untuk menggerakkan generator listrik. Agar tidak terbawa arus, setiap tabung ditahan di dasar laut menggunakan jangkar khusus. Prinsipnya menggunakan gerakan naik turun dari ombak untuk menggerakkan piston yang bergerak naik turun pula di dalam sebuah silinder. Adapun gambar ilustrasi dari prinsip kerja sistem pelamis ada pada gambar 2.5 dibawah ini



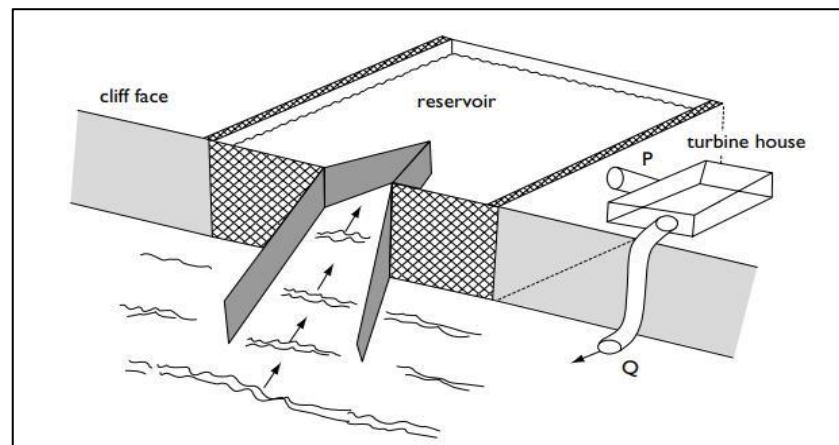
Gambar 2.5 PLTGL sistem pelamis

(Sumber: Shipon dkk., 2024)

### 2.3.3 Sistem Kanal

Peralatan ini biasa juga disebut sebagai *tapered channel* atau kanal meruncing atau dapat juga disebut sistem *tapchan*, sistem ini dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang dan membawanya ke dalam kolam penampung yang ditinggikan. Air yang mengalir keluar dari kolam

penampung ini yang akan digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar *hydropower* (prinsip dasar PLTA) dengan menyalurkan gelombang ke dalam reservoir atau kolam. Adapun ilustrasi cara kerja dari sistem kanal ada pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 PLTGL sistem kanal

(Sumber: Twidell & Weir, 2006)

#### 2.3.4 Sistem Pelampung

Sistem pelampung adalah sistem yang akan membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertikal dan rotasional pelampung. Alat ini dapat ditambatkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambat di dasar laut yang dapat menggerakkan pompa hidrolis

#### 2.3.5 *Ocean Thermal Energy*

Energi termal laut adalah energi yang terkandung dalam perbedaan suhu antara air laut hangat di permukaan dan air laut dingin di kedalaman. Antara 25°N dan 25°S, suhu air laut di permukaan berada di atas 26°C (Nithesh dkk., 2016). Pembangkit listrik energi panas air laut bisa dibangun dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu yang diperlukan sekurangnya 38°F antara suhu permukaan dan suhu bawah laut untuk keperluan ini. Cara ini dinamakan *Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC.

Berdasarkan siklus yang digunakan, OTEC dapat dibedakan menjadi tiga macam :

### 1. Siklus Tertutup

Pada alat OTEC dengan siklus tertutup, air laut permukaan yang hangat dimasukkan ke dalam alat penukar panas untuk menguapkan fluida yang mudah menguap misalnya seperti amonia. Uap amonia akan memutar turbin yang menggerakkan generator . uap amonia keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan dikembalikan untuk diuapkan kembali.

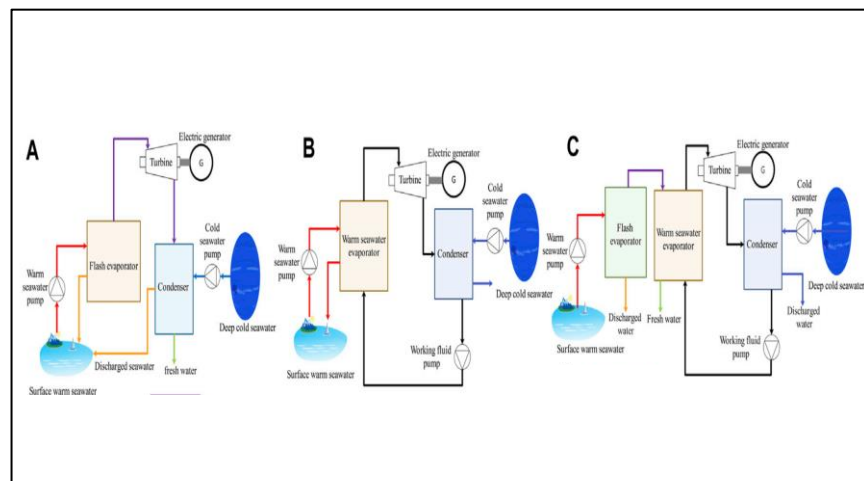
### 2. Sistem Terbuka

Pada siklus terbuka, air laut pada permukaan yang hangat langsung diuapkan pada ruang khusus bertekanan rendah. Uap yang dihasilkan digunakan sebagai fluida penggerak turbin bertekanan rendah. fluida uap keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan sebagai hasilnya diporeleh air desalinasi.

### 3. Sistem Gabungan

Pada siklus gabungan, air laut yang hangat masuk ke dalam ruang vakum untuk diuapkan dalam sekejap (*flash-evaporated*) menjadi uap (seperti siklus terbuka). Fluida uap tersebut kemudian menguapkan fluida kerja yang memutar turbin (seperti siklus tertutup). Selanjutnya fluida kembali dikondensasi menjadi air desalinasi. Fluida kerja populer digunakan adalah amonia karena tersedia dalam jumlah besar, murah dan muda ditransportasikan. Namun, amonia beracun dan mudah terbakar. Senyawa seperti CFC dan HCFC juga merupakan pilihan yang baik, sayangnya menimbulkan efek penipisan lapisan ozon. Hidrokarbon juga dapat digunakan, akan tetapi menjadi tidak ekonomis karena menjadikan OTEC sulit bersaing dengan pemanfaatan hidrokarbon secara langsung. Selain itu yang juga perlu diperhatikan adalah ukuran

pembangkit listrik OTEC bergantung pada tekanan uap dari fluida kerja yang digunakan. Semakin tinggi tekanan uapnya maka semakin kecil ukuran turbin dan alat penukar panas yang dibutuhkan, sementara ukuran tebal pipa dan alat penukar panas bertambah untuk menahan tingginya tekanan terutama pada bagian evaporator. Adapun skema dari ocean thermal energy conversion ada pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Skema *ocean thermal energy conversion*  
(sumber: Chen dan Huo, 2023)

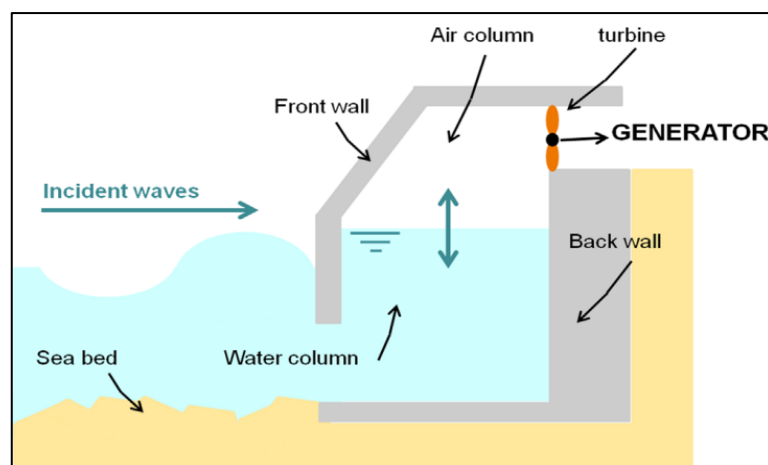
## 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Ada beberapa macam pembangkit listrik tenaga gelombang laut diantaranya adalah sebagai berikut ini:

### 2.4.1 PLTGL-OWC

PLTGL-OWC (*Oscillating Water Column*) adalah salah satu alternatif teknologi yang diciptakan menggunakan metode isolasi untuk mengubah energi gelombang air laut menjadi energi listrik (Nagifea, 2022). PLTGL-OWC sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang air laut yang memiliki komponen turbin dan ruang udara. Ruang udara ini terendam sebagian di bawah permukaan laut,

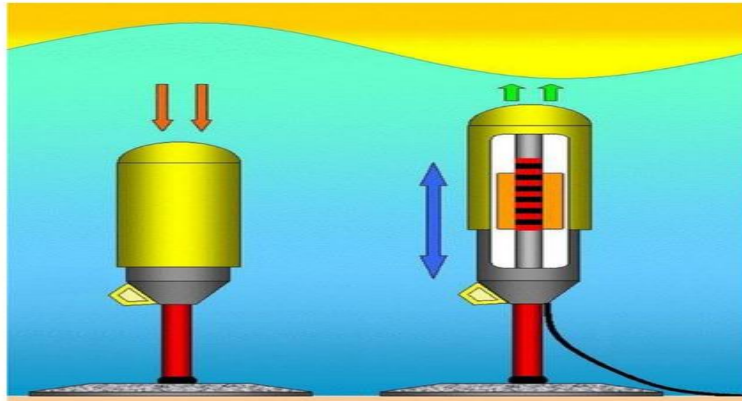
dan pada bagian bawahnya terbuka agar dapat bergerak naik turun. Pada saat ruang udara bergerak naik dan turun akan mendorong udara yang terdapat di dalam ruang tersebut melintasi turbin. Karena gelombang laut memiliki sifat selalu beresilasi, maka udara akan didorong atau ditarik melalui turbin. Pasang surut air laut sangat berpengaruh terhadap PLTGL-OWC, sehingga jika air laut mengalami pasang surut PLTGL-OWC tidak dapat beroperasi secara optimal (Agustina, 2022). Adapun ilustrasi cara kerja dari PLTGL OWC ada pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Skema PLTGL OWC  
(Sumber: Gayathri dkk., 2024)

#### 2.4.2 PLTGL- AWS

PLTGL-AWS (*Archimedes Wave Swing*) adalah pembangkit listrik yang menggunakan gelombang laut serta piston berisi udara. Piston tersebut akan mengapung di permukaan dan berkontraksi akibat adanya tekanan gelombang laut. Kemudian terdapat bagian yang dipasang di dasar laut dan terhubung dengan generator untuk mengubahnya menjadi energi listrik. Permukaan dasar laut yang datar menjadi komponen penting dalam pembangunan PLTGL-AWS. Hal tersebut memerlukan rancangan yang matang serta dana yang besar (Agustina, 2022). Adapun prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe archimedes wave swing ada pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 PLTGL AWS

(Sumber: Blackledge dkk., 2013)

### 2.4.3 PLTGL- Pelamis

PLTGL-Pelamis ialah pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang memiliki komponen berupa silinder yang digabungkan dengan sambungan khusus. Sambungan khusus ini terdiri dari penggerak hidrolik yang berfungsi sebagai pemompa. Dengan gerakan yang tercipta ini akan menggerakkan generator listrik dan kemudian akan menghasilkan daya. Dalam PLTGL-Pelamis diperlukan gelombang laut yang sangat besar agar dapat menggerakkan hidrolik untuk menghasilkan tenaga (Nagifea, 2022). Adapun prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe pelamis ada pada gambar 2.10 berikut ini.

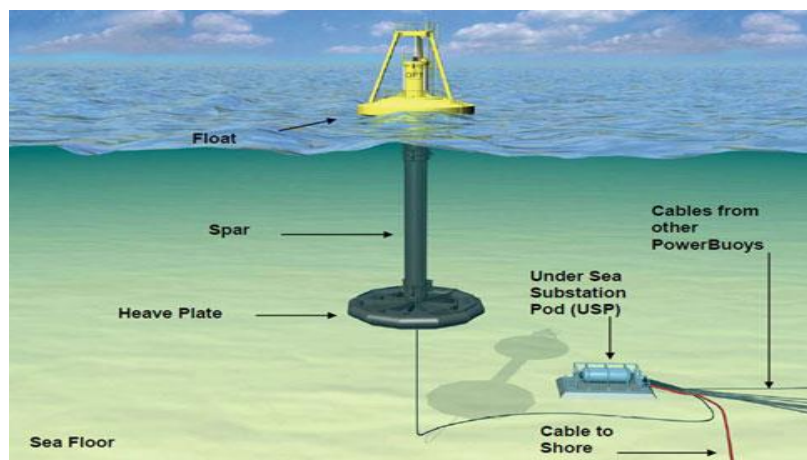


Gambar 2.10 PLTGL Pelamis

(Sumber: Kazmierkowski dan Jasinski, 2010)

#### 2.4.4 PLTGL – Point Absorber

PLTGL–Point Absorber merupakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang bekerja dengan memanfaatkan gerakan naik–turun (heave motion) dari sebuah pelampung yang berukuran relatif kecil dibandingkan panjang gelombang laut. Sistem ini umumnya terdiri dari satu unit pelampung yang mengapung di permukaan laut dan ditambatkan ke dasar laut, sehingga dapat bergerak mengikuti osilasi gelombang dari berbagai arah (Guo dkk., 2022).



Gambar 2.11 PLTGL *Point Absorber*

(Sumber: Xie dan Zuo, 2013)

## 2.5 Energi Gelombang Laut

Tenaga gelombang dan arus laut merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Kedua sumber energi tersebut merupakan energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan oleh Indonesia. Energi gelombang laut memiliki keunggulan dalam kepadatan dan kontinuitas tinggi sehingga berpotensi untuk dikembangkan (Alamsah dkk., 2025). Energi laut sendiri dapat didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan dari dinamika massa air laut. Dengan wilayah laut yang memiliki proporsi 76,9% dari wilayah negaranya. Indonesia belum banyak memanfaatkan laut yang menjadi kekayaannya sebagai sumber energi. Pemanfaatan energi terbarukan perlu

dilakukan karena mengingat energi listrik yang dipakai saat ini diperoleh dari fosil yang dimana persediaannya semakin menipis. Menurut Vignesh et al. (2019) menyebutkan bahwa setidaknya ada lima jenis energi laut yang dapat digunakan, antara lain energi gelombang, energi pasang surut, energi arus laut, energi gradien suhu laut, dan energi gradien salinitas laut (Vidura dkk., 2022).

Adapun total energi yang terdiri dari energi potensial dan kinetik seperti yang diberikan oleh teori Airy menjadi persamaan berikut ini (Parjiman dkk., 2018).

$$E_p = E_k = \frac{\rho g h^2 \lambda b}{16} \quad (3)$$

Dimana:

$E_p$  = energi potensial gelombang per satuan panjang gelombang (J)

$E_k$  = energi kinetik gelombang per satuan panjang gelombang (J)

$\rho$  = massa jenis air laut (sekitar 1025 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = tinggi gelombang (m)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$b$  = lebar gelombang (m)

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai energi total gelombang laut menggunakan persamaan (4) berikut ini:

$$E_w = E_p + E_k = \frac{\rho g h^2 \lambda b}{8} \quad (4)$$

Adapun daya gelombang laut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) (Liang dkk., 2017):

$$P_w = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g \quad (5)$$

Untuk Kecepatan kelompok gelombang  $C_g$  dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$C_g = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \frac{L}{T} \quad (6)$$

Untuk mencari,  $k$  yaitu adalah bilangan gelombang dapat menggunakan persamaan:

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (7)$$

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai energi teoritis dapat menggunakan persamaan (8) dan energi aktual dapat menggunakan persamaan (9) berikut ini:

$$E_t = P_w \times \Delta t \quad (8)$$

$$E_a = \sum_{i=0}^n P_i \times \Delta t \quad (9)$$

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai efisiensi yaitu dapat menggunakan persamaan (10) berikut ini:

$$\eta_{PLTGL} = \frac{E_a}{E_t} \times 100\% \quad (10)$$

## 2.5 Gaya Apung

Daya apung, atau sering disebut juga gaya apung (*buoyant force*), adalah gaya ke atas yang diberikan oleh fluida (zat cair atau gas) terhadap suatu benda yang sebagian atau seluruhnya tercelup di dalamnya. Fenomena ini terjadi karena adanya perbedaan massa jenis yang berbeda. Tekanan fluida

meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Akibatnya, bagian bawah benda yang tercelup mengalami tekanan yang lebih besar dibandingkan bagian atasnya, sehingga menghasilkan resultan gaya ke atas inilah yang disebut daya apung. Secara sederhana, daya apung adalah kemampuan fluida untuk "mendorong" benda ke atas. Prinsip Archimedes merupakan landasan utama dalam memahami konsep daya apung. Prinsip ini menyatakan bahwa "Sebuah benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya dalam suatu fluida akan mengalami gaya ke atas (daya apung) yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut." (Hamna dkk., 2025).

Secara matematis, Prinsip Archimedes dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_a = \rho v g \quad (11)$$

Di mana:

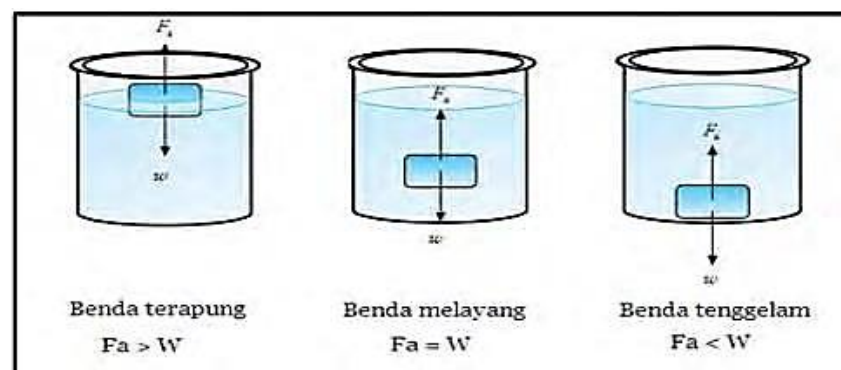
$F_a$  = gaya apung (dalam Newton, N).

$\rho$  = massa jenis fluida (dalam kilogram per meter kubik,  $\text{kg/m}^3$ ).

$V$  = volume benda yang tercelup dalam fluida (dalam meter kubik,  $\text{m}^3$ ).

$g$  = percepatan gravitasi (sekitar  $9.8 \text{ m/s}^2$  di permukaan Bumi).

Adapun posisi benda saat dicelupkan ke dalam air dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini.

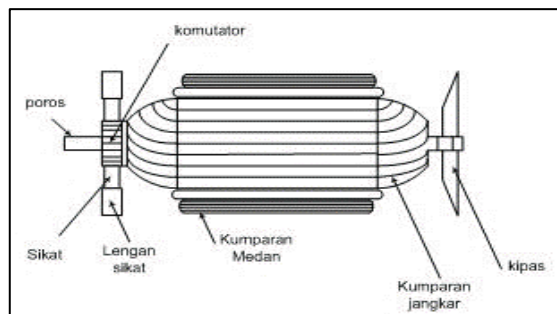


Gambar 2.12 posisi benda saat dicelupkan ke dalam air

(Sumber: Maulana, 2015)

## 2.6 Motor DC (*Direct Current*)

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Dalam motor DC terdapat dua kumparan yaitu kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet dan kumparan jangkar yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya gaya gerak listrik (ggl E). Jika arus dalam kumparan jangkar berinteraksi dengan medan magnet, akan timbul torsi (T) yang akan memutar motor (Nugroho dkk., 2015). Dengan mengingat hukum kekekalan energi, proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik dapat dinyatakan sebagai berikut: Energi listrik sebagai input = Energi mekanik sebagai output + energi yang diubah menjadi panas + Energi yang tersimpan dalam medan magnet. Untuk konstruksi pada motor DC dapat dilihat pada gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Konstruksi pada motor DC

(Sumber: Firmansyah dan Marniati, 2017)

Pada saat gaya  $F$  dibangkitkan, konduktor bergerak didalam medan magnet dan akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) yang merupakan reaksi (lawan) terhadap tegangan penyebabnya. Agar proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik (motor) dapat berlangsung, tegangan sumber harus lebih besar dari gaya gerak listrik lawan. Torsi akan memutar rotor bila yang terbangkit telah memiliki torsi lawan dari motor dan beban (Setiawan, 2017). Rumus kecepatan putar ( $n$ ), yaitu :

$$n = \frac{Vt - La.Ra}{K.\phi} \quad (12)$$

Dimana:

$V_t$  = Tegangan jangkar (V)

$I_a$  = Arus Jangkar (A)

$R_a$  = Tahanan jangkar

$n$  = Putaran (RPM)

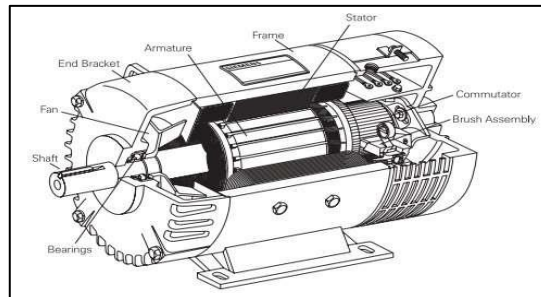
$\Phi$  = Fluks / kutub

$K$  = Konstanta

## 2.7 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dan lain-lain. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC ataupun DC. Generator sinkron adalah suatu mesin listrik yang digunakan untuk memproduksi energi listrik dari sumber mekanikal dengan menggunakan induksi elektromagnetik. (Zulhakim dkk., 2023).

Prinsip kerja dari generator sinkron adalah apabila kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan mensuplai arus searah (DC) terhadap kumparan medan, maka dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan akan menimbulkan *fluks*. Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor generator segera dioperasikan, sehingga rotor akan berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan jumlah putaran yang diharapkan. Perputaran generator tersebut dari rotor akan sekaligus memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan rotor. Medan putar yang terdapat pada rotor tersebut, selanjutnya akan diinduksikan pada kumparan jangkar, sehingga kumparan jangkar yang terdapat pada stator generator akan menghasilkan *fluks* magnetik yang berubah-ubah nilainya setiap waktu. Adanya perubahan fluks yang terdapat suatu kumparan medan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung kumparan medan tersebut (Bandri, 2013). Adapaun komponen komponen pada generator dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.14 Komponen pada generator  
(Sumber: Nugraha dan Sobhita, 2025)

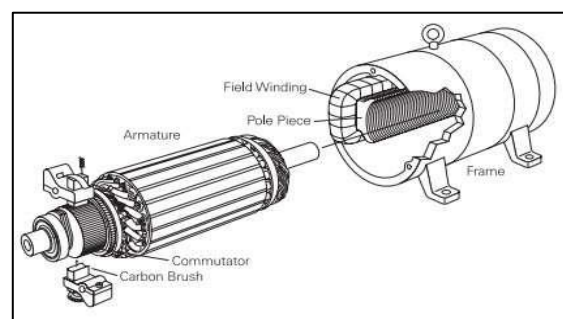
Adapun komponen utama dari generator yang berperan dalam proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik yaitu sebagai berikut:

### 2.7.1 Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar dan berperan dalam menghasilkan medan magnet, yang kemudian menciptakan tegangan untuk diinduksikan ke stator. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan yang dialiri arus searah melalui cincin geser dan sikat (Farhan dkk., 2021).

### 2.7.2 Stator

*Stator (armature)* adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak (Armansyah & Sudaryanto, 2016).



Gambar 2.15 Komponen pada Stator  
(Sumber: Nugraha dan Sobhita, 2025)

Berdasarkan arus yang dihasilkan terdapat dua jenis generator yaitu generator DC (arus searah) dan generator AC (arus bolak balik). Generator AC adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang menghasilkan arus bolak-balik. Berdasarkan operasi mesin terdapat dua jenis generator AC yang umum digunakan, yaitu generator sinkron dan generator asinkron.

1. Generator sinkron adalah jenis generator di mana kecepatan putaran rotor sama dengan kecepatan medan putar stator. Kecepatan sinkron dihasilkan dari rotasi rotor dengan kutub-kutub magnet yang bergerak pada kecepatan yang sama seperti medan putar di stator. Pada generator sinkron, kumparan medan berada di rotor, sedangkan kumparan jangkar terletak di stator (Farhan dkk., 2021).
2. Generator asinkron memiliki kecepatan putaran rotor yang berbeda dari kecepatan medan putar stator, seperti pada generator induksi. Generator induksi sering digunakan pada pembangkit listrik skala kecil karena memiliki harga yang lebih terjangkau, tidak memerlukan sikat, memiliki konstruksi yang sederhana, serta mudah dan murah dalam perawatannya (Aminuddin, 2020). Generator yang sering digunakan dalam pembangkit listrik adalah generator asinkron (Utami, 2010).

Generator DC adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang menghasilkan arus searah. Prinsip kerjanya didasarkan pada hukum Faraday, yang menyatakan bahwa gaya gerak listrik (ggl) akan diinduksi dalam suatu konduktor ketika konduktor tersebut memotong garis-garis fluks magnetik yang berubah-ubah (Mahaganti dkk., 2014). Berdasarkan cara menghasilkan fluks pada kumparan, generator ini dibagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

1. Generator penguatan bebas mendapatkan sumber penguatan medan magnet dari sumber listrik eksternal yang terpisah.
2. Generator penguatan sendiri memperoleh penguatan medan magnet dari energi listrik yang dihasilkan oleh mesin itu sendiri.

## 2.8 Standar Deviasi

Standar deviasi, juga dikenal sebagai standar simpangan baku, adalah suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar variasi suatu kelompok atau standar penyimpangan dari rata-ratanya. Untuk populasi,  $\sigma$  atau  $\sigma_n$  adalah simbol simpangan baku, dan untuk sampel,  $s$ ,  $d$ , atau  $\sigma_{n-1}$ . Variansi adalah kuadrat simpangan baku. Fokusnya adalah untuk menentukan tingkat variasi atau penyebaran data. Simbol variansi populasi adalah  $\sigma^2$ , sedangkan simbol variansi sampel adalah  $S$  (Febriani, 2022). Terdapat dua rumus utama untuk menghitung standar deviasi, untuk standar deviasi data sampel dapat dilihat pada persamaan (13) dan untuk standar deviasi data populasi dapat dilihat pada persamaan (14).

$$s = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (13)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum fi(xi - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (14)$$

## 2.9 Daya Listrik

Daya listrik adalah ukuran dari tingkat konsumsi energi dalam suatu sirkuit atau rangkaian listrik. Ini menggambarkan seberapa banyak energi listrik yang digunakan dalam setiap periode waktu. Satuan untuk mengukur daya listrik adalah Watt. Di mana  $1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/detik}$ , sehingga untuk menghitung suatu daya listrik dapat menggunakan persamaan (15) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$P = \frac{E}{t} \quad (15)$$

Adapun persamaan untuk menghitung daya listrik yang diserap oleh resistor pada rangkaian seri dan rangkaian paralel dapat ditulis dalam bentuk persamaan (16) sebagai berikut (Jaya dan Aponno, 2023) :

$$\mathbf{P = V \times I} \quad (16)$$

Menurut (Setiaji dkk., 2022), daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu sebagai berikut:

### 2.9.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah istilah yang merujuk pada daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban dalam sebuah sistem listrik. Biasanya, nilai daya aktif lebih rendah daripada daya semu. Daya aktif dihitung dengan mengalikan daya semu dengan faktor daya (cosinus phi). Nilai daya aktif dapat menurun karena adanya beban listrik yang menghasilkan daya reaktif. Untuk menghitung suatu daya aktif dapat menggunakan persamaan (17) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$\mathbf{P = V \times I \times \cos \phi} \quad (17)$$

### 2.9.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah bentuk daya yang dapat menyebabkan kerugian dalam sistem listrik, sehingga dapat mengakibatkan penurunan nilai faktor daya (cosinus phi). Satuan dari daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif). Untuk menghitung suatu daya reaktif dapat menggunakan persamaan (18) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$\mathbf{Q = \sqrt{S^2 - P^2}} \quad (18)$$

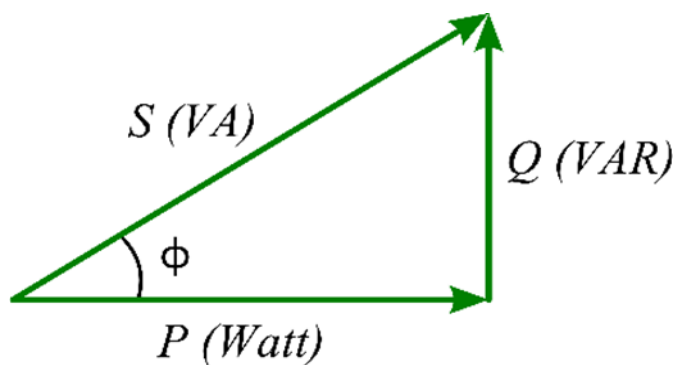
### 2.9.3 Daya Semu

Daya semu adalah istilah yang merujuk pada total daya yang dihitung dalam sistem listrik sebelum dimuat dengan beban listrik. Unit pengukuran daya semu adalah VA (Volt Ampere). Beban yang

menunjukkan daya semu adalah yang bersifat resistif (R). Peralatan listrik atau beban dalam rangkaian listrik yang resistif tidak dapat mengalami penghematan karena tegangan dan arus listriknya memiliki faktor daya sebesar 1. Untuk menghitung suatu daya aktif dapat menggunakan persamaan (19) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$S = V \times I \quad (19)$$

Hubungan dari ketiga daya diatas disebut dengan sistem segitiga daya. Segitiga daya listrik adalah representasi geometris dari hubungan antara tegangan, arus, dan daya dalam sebuah rangkaian listrik yang linier. Dalam segitiga daya, komponen-komponen ini diwakili oleh panjang sisi-sisi segitiga dan sudut-sudutnya. Segitiga ini membantu dalam pemahaman dan perhitungan komponen-komponen daya listrik, seperti daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Adapun segitiga daya listrik dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut ini:



Gambar 2.16. Segitiga daya listrik

(Sumber: Setiaji dkk., 2022)

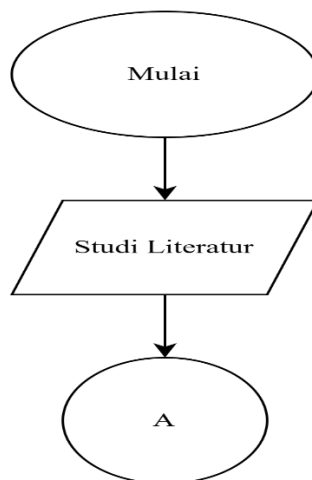
### III. METODOLOGI PENELITIAN

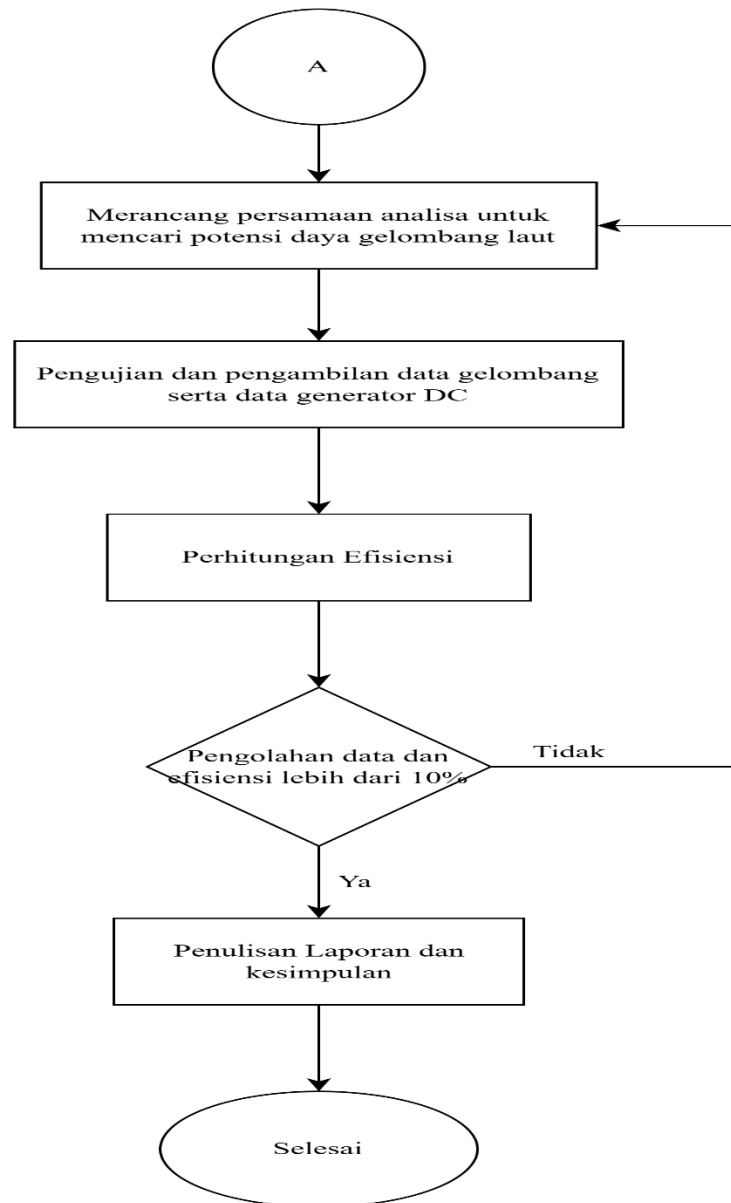
#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dimulai dari bulan Agustus 2025 sampai bulan Desember 2025. Sebelum melakukan penelitian, penulis melakukan studi literatur yaitu mencari beberapa referensi yang berkaitan dengan topik penelitian. Penelitian ini dilakukan untuk melihat kinerja pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Adapun alur pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:





Gambar 3.1 *Flow Chart* Penelitian

### 3.3 Rancangan Teori Analisa

#### 3.3.1. Rancangan Analisa

Rancangan pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan data gelombang pada media pembangkit gelombang yang ada di Laboratorium Mekanika Struktur Universitas Lampung. Variasi data gelombang ini

dilakukan untuk menganalisis nilai efisiensi energi yang diperoleh dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah. Saat melakukan eksperimen penelitian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali di setiap variasi data gelombang, kemudian di rata-ratakan. Proses pengambilan data dilakukan selama 1 menit dalam satu kali eksperimen. Setelah memperoleh data eksperimen dari setiap variasi gelombang, kemudian membandingkan data energi eksperimen dengan data energi teoritis.

Untuk memperoleh data potensi daya gelombang laut secara teoritis dapat menggunakan persamaan (20):

$$P_w = \frac{1}{8} \rho g h^2 C_g \quad (20)$$

Untuk Kecepatan kelompok gelombang  $C_g$  dapat dihitung menggunakan persamaan

$$C_g = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \frac{L}{T} \quad (21)$$

Untuk mencari,  $k$  yaitu adalah bilangan gelombang dapat menggunakan persamaan

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (22)$$

Setelah memperoleh nilai daya gelombang laut, maka energi teoritis dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (24) dan energi aktual dapat menggunakan persamaan (25) berikut ini:

$$E_t = P_w \times \Delta t \quad (24)$$

$$E_a = \sum_{i=0}^n P_i \times \Delta t \quad (25)$$

Setelah mendapatkan nilai  $E_t$  dan  $E_a$  yang diperoleh dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah, maka nilai efisiensi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (26):

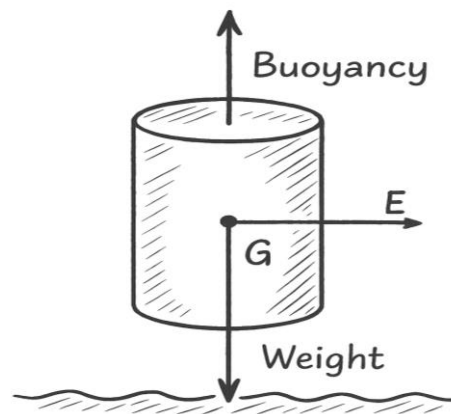
$$\eta_{PLTGL} = \frac{E_a}{E_t} \times 100 \quad (26)$$

Adapun persamaan untuk menghitung daya listrik yang diserap oleh resistor pada rangkaian seri dan rangkaian paralel dapat ditulis dalam bentuk persamaan (27) sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (27)$$

### 3.3.2 Sketsa Diagram Benda Bebas

Adapun diagram benda bebas dari pelampung pembangkit listrik tenaga gelombang laut adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram benda bebas pada pelampung

Gaya apung timbul akibat Hukum Archimedes, yaitu Suatu benda yang terbenam sebagian atau seluruhnya dalam fluida akan mengalami gaya ke atas sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut

Adapun rancangan eksperimen dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.1 Pengujian Karakteristik Gelombang

Eksentrisitas	Kecepatan RPM	Tinggi gelombang (cm)	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi Gelombang (Hz)	Periode Gelombang (s)
2	46				
3	56				
4	62				
2	46				
3	56				
4	62				
2	46				
3	56				
4	62				

Tabel 3.2 Pengujian kinerja pembangkit listrik tenaga gelombang laut

Eksentrisitas	Kecepatan RPM	Rata-rata arus (V)	Rata-rata tegangan (mA)	Rata-rata daya (mW)
2	46			
3	56			
4	62			
2	46			
3	56			
4	62			
2	46			
3	56			
4	62			

### 3.4 Komponen Alat pada Pembangkit Listrik tenaga gelombang laut

Adapun komonen peralatan yang digunakan pada model pembangkit listrik tenaga gelombang laut searah antara lain sebagai berikut:

## 1. Pelampung

Pelampung digunakan sebagai alat penyerapan energi gelombang yang daya naik turunnya akan diteruskan ke bearing satu arah. Gambar 3.3 berikut ini merupakan pelampung PLTGL.



Gambar 3.3 Pelampung PLTGL

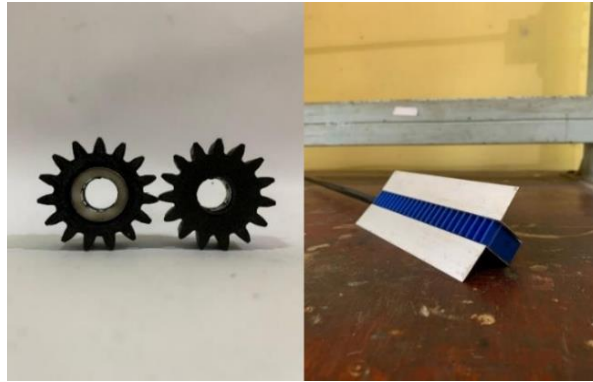
Adapun spesifikasi dari pelampung yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.3. Spesifikasi pelampung

Parameter	Data
Diameter	15,24 cm
Panjang	60 cm
Berat	2,7 kg

## 2. Rack and gear pinion

*Rack and pinion* adalah sebuah mekanisme transmisi gerak yang digunakan untuk mengubah gerakan putar (rotasi) menjadi gerakan lurus (linear), atau sebaliknya. Adapun *rack and pinion* yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 *Rack and gear pinion*

Adapun spesifikasi dari *Rack and gear pinion* yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.4. Spesifikasi *Rack and gear pinion*

Parameter	Data
Bahan	<i>Polylactic Acid Plus</i>
Jumlah Gigi <i>Rack</i>	15 Puncak
Jumlah Gigi <i>Pinion</i>	24 Puncak
Diameter Gear	39,90 mm
Panjang Pinion	150 mm

#### 4. *Linear Bearing*

*Linear bearing* ini berfungsi untuk mengurangi gesekan dan memungkinkan poros atau rail untuk bergerak secara bebas dalam satu arah linier. Adapun *linier bearing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 *Linear Bearing*

## 5. Generator

Generator adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Adapun generator yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.6 Generator

Adapun spesifikasi dari genenrator yang diperoleh dari buku panduan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.5. Spesifikasi generator

Spesifikasi	Data
Model	4681A20091U
Jenis generator	DC
Tegangan	310V
Arus	200 mA
Kecepatan	1.400 RPM
Torsi	3 GF.CM
Resistensi	120 $\Omega$

## 6. Avometer (Multimeter)

Avometer (multitester) adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya listrik yang dihasilkan dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (rack and pinion) searah. Selain itu avometer ini juga berfungsi untuk mengkalibrasi hasil tegangan (V) dan arus (A) yang keluar dari generator. Adapun avometer dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini:



Gambar 3.7 Avometer

### 3.5 Model Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Gambar 3.8 merupakan model alat pemangkit Listrik tenaga gelombang laut. Model alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan 4 buah pelampung, 4 pelampung tersebut saling bergantian memutar poros dengan bantuan rack gear and pinion sehingga perputaran poros yang berkelanjutan dapat membuat generator dapat menghasilkan Listrik.



Gambar 3.8 Model alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut

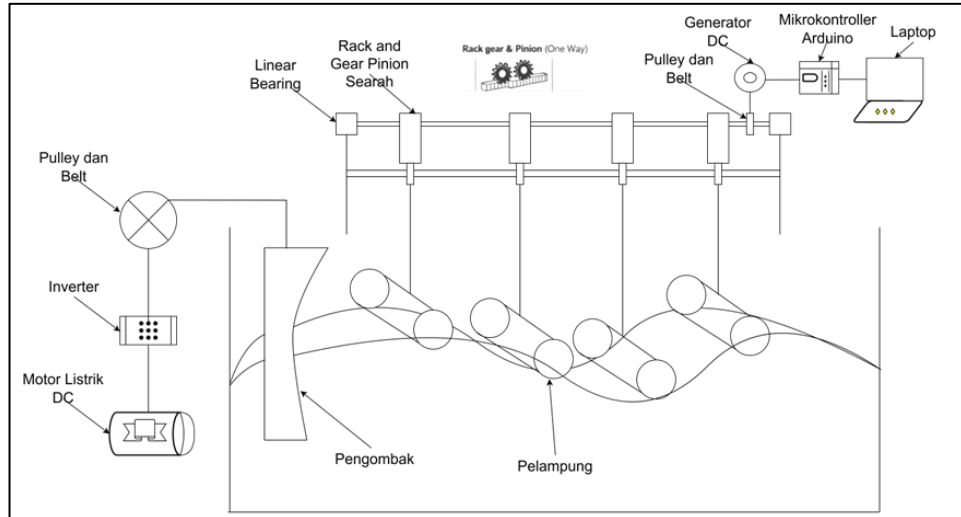
### 3.6 Sketsa Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Gambar 3.9 merupakan skema alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut. pengoperasiannya dimulai dengan mengatur kecepatan RPM, menggunakan 3 variasi kecepatan RPM yang memiliki perbedaan antara panjang gelombang, frekuensi, periode, dan tinggi gelombangnya.

Setelah mengatur kecepatan yang diinginkan, langkah selanjutnya memasang pelampung, pengujian ini menggunakan panjang pelampung, yaitu pelampung 50, 55 dan 60 cm, pelampung ini menggunakan diameter yang sama sehingga perbandingan dapat diukur dengan sesuai. Apabila 4 pelampung sudah terpasang di batang, lalu dapat dihidupkan motor penggerak berupa motor listrik Dc. Ombak akan terjadi dan menggerakkan pelampung turun naik. Gaya gelombang inilah yang membuat pelampung turun naik, dapat dilihat pada gambar 3.9 pelampung terhubung dengan batang pelampung dan rack gear and pinion, pelampung menggerakkan pinion yang ada pada lintasan rack gear naik turun, lalu dipasangkan bearing satu arah pada pinion, membuat gaya naik saja yang diserap oleh poros. Poros membuat gerak vertikal menjadi gerak berputar, lalu dari poros dihubungkan juga ke pulley and belt, pulley menggunakan perbandingan 4:1. Putaran yang dihasilkan oleh Pulley akan dihubungkan ke generator, generator akan mengubah gerak mekanik menjadi energi listrik.

Generator tersebut dihubungkan ke display pembaca listrik dan arduino, karena generator menghasilkan energi listrik membuat lampu pada display menyala dan juga arduino bisa menangkap tegangan dan arus yang dihasilkan generator, arduino yang sudah di setting dan di kalibrasi dihubungkan ke komputer dengan bantuan software arduino ide akan menampilkan pembacaan tegangan dan tegangan, lalu untuk mengubah untuk mengubah variasi kecepatan RPM dapat mengubah setting pengatur pengombak. Untuk mengatur jenis pelampung bisa melepaskan pelampung lalu mengganti dengan ukuran yang berbeda, setelah itu data bisa dibandingkan. Pengambilan data pengujian menggunakan waktu pengujian 1 menit dan 3 kali percobaan, hasil dari pengujian variasi eksentrisitas dan

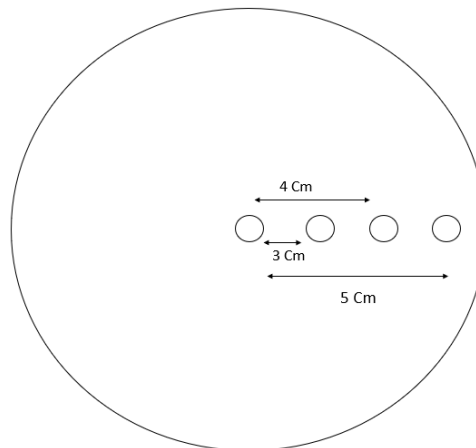
variasi kecepatan RPM dibandingkan dengan metode teoritis. Gambar 3.9 berikut ini merupakan skema dari alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut.



Gambar 3.9 Skema alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut

### 3.7 Sketsa Eksentrisitas Pengombak

Eksentrisitas merupakan jarak titik pusat ke titik tertentu sebuah alat pemutar pada pengombak, semakin jauh jarak dari titik pusat ke titik tersebut maka ombak yang dihasilkan semakin besar. Gambar 3.10 merupakan sketsa eksentrisitas pada pengombak



Gambar 3.10 Sketsa eksentrisitas pengombak

### 3.8 Prosedur Pengambilan Data

Adapun prosedur pengambilan data yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan eksperimen, yaitu media pembangkit gelombang, AVO meter, model pembangkit listrik tenaga gelombang laut *tipe gear (rack and pinion)* searah, kunci pas ring 12 mm, dan laptop yang sudah dilengkapi *software Arduino*.
2. Atur eksentrisitas pada media pembangkit gelombang menggunakan kunci pas ring 12 mm dengan variasi 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.
3. Pasang pelampung silinder ukuran 50cm ke bagian linear bearing dan hubungkan kedalam poros lalu kencangkan dengan menggunakan mur
4. Nyalakan laptop, buka *software Arduino*, lalu hubungkan laptop ke *Arduino Uno* yang terdapat di dalam kotak *display* pembangkit listrik tenaga gelombang laut.
5. Hubungkan media pembangkit gelombang ke sumber listrik.
6. Hidupkan media pembangkit gelombang dengan menekan tombol ON, lalu putar potensiometer pada inverter dari angka 0 ke angka 9, 11, dan 12
7. Kalibrasi tegangan, arus, dan daya menggunakan AVO meter dengan menghubungkan kedua *probe* ke sensor pada kotak *display*.
8. Catat hasil pengukuran yang muncul di layar monitor selama 1 menit.
9. Matikan media pembangkit gelombang dengan memutar potensiometer ke angka 0 dan menekan tombol OFF.
10. Tunggu hingga air pada media pembangkit gelombang kembali tenang.

11. Ulangi langkah 5 sampai 9 sebanyak 5 kali untuk memperoleh data yang konsisten.
12. Ulangi langkah 3 sampai 11 untuk setiap variasi ukuran pelampung.
13. Ulangi langkah 2 hingga 10 untuk setiap variasi eksentrisitas.
14. Selesai.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian model pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dengan variasi pelampung tabung 60 cm, 55 cm, dan 50 cm serta eksentrisitas 2, 3, dan 4, diperoleh bahwa setiap ukuran pelampung memiliki karakteristik kinerja dan efisiensi yang berbeda. Pelampung tabung 60 cm memiliki efisiensi terendah 7,01% pada eksentrisitas 2 dan RPM 46 serta tertinggi 20,03% pada eksentrisitas 4 dan RPM 56. Pelampung tabung 55 cm memiliki efisiensi terendah 7,69% pada eksentrisitas 2 dan RPM 62 serta tertinggi 18,74% pada eksentrisitas 4 dan RPM 56. Pelampung tabung 50 cm memiliki efisiensi terendah 8,18% pada eksentrisitas 2 dan RPM 62 serta tertinggi 24,35% pada eksentrisitas 4 dan RPM 56. Selain itu, setiap eksentrisitas memiliki RPM optimal yang berbeda dalam menghasilkan efisiensi maksimum. Pada eksentrisitas 2 efisiensi tertinggi diperoleh pada 56 RPM, pada eksentrisitas 3 pada 46 RPM, dan pada eksentrisitas 4 kembali pada 56 RPM. Secara umum, peningkatan eksentrisitas cenderung meningkatkan energi gelombang dan daya listrik yang dihasilkan. Namun, efisiensi tidak selalu meningkat secara linier karena adanya peningkatan beban mekanik dan kerugian sistem. Dengan demikian, pelampung tabung 50 cm dengan eksentrisitas 4 merupakan konfigurasi terbaik pada model PLTGL yang diuji.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada pengujian pembangkit listrik tenaga gelombang laut adalah sebagai berikut :

1. Media kolam uji sebaiknya dilengkapi katup pengisian ulang air agar tidak memerlukan pengurusan manual saat terjadinya masalah pada kolam sehingga proses pengujian menjadi lebih efisien.
2. Mekanisme pergantian eksentrisitas perlu disederhanakan agar proses pengambilan data dapat dilakukan dengan lebih cepat dan mudah.
3. Model PLTGL yang telah dikembangkan masih perlu penyempurnaan desain agar kinerja sistem dapat dimaksimalkan dan efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi.
4. Perlu dilakukan pengujian variasi tipe dan bentuk pelampung untuk memperoleh pelampung dengan performa dan efisiensi yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, A. (2020). Pemanfaatan air laut sebagai sumber cadangan energi listrik. *Vertex Elektro*, 12(2), 22-33. <https://doi.org/10.26618/jte.v12i2.4019>
- Agustina, S., Yusup, M., Dwijayanti, S., Otong, M., & Suprpto, B. Y. (2022). Desain Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Keseimbangan Gyroscope. *Jurnal Surya Energy*, 5(2), 50-54. <https://doi.org/10.32502/jse.v5i2.3328>
- Alamsah, A., Wahjudi, A., Moon, P. J., Hamidi, N., & Widhiyanuriyawan, D. (2025). Potensi Energi Arus dan Tinggi Gelombang Laut Indonesia Berdasarkan Data Penginderaan Jauh. *TECHNO-SOCIO EKONOMIKA*, 18(1), 49-59. <https://doi.org/10.32897/techno.2025.18.1.4087>
- Aminuddin, J., Abdullatif, R. F., dan Wihantoro. (2015). Persamaan Energi Untuk Perhitungan Dan Pemetaan Area Yang Berpotensi Untuk Pengembangan. *Wave*, 9(1), 9–16.
- Armansyah, S., & Sudaryanto, S. (2016). Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal. *Journal of Electrical Technology*, 1(3). <https://doi.org/10.30743/jet.v1i2.203>
- Bandri, S. (2013). Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Genertor Sinkron (Aplikasi Pltg Pauh Limo Padang). *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 42-48. <https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/494>
- Blackledge, J., Coyle, E., Kearney, D., McGuirk, R., & Norton, B. (2013). Estimation of wave energy from wind velocity.
- Chen, W., & Huo, E. (2023). Opportunities and challenges of ocean thermal energy conversion technology. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1207062.
- Farhan, M., Hidayat, R., dan Saragih, Y. (2021). Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 Pltmh Curug. *Jurnal Simetrik*, 11(1), 398–403. <https://doi.org/10.31959/js.v11i1.653>
- Febriani, S. (2022). Analisis Deskriptif Standar Deviasi. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 910–913. <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/8194>
- Firmansyah, A., & Marniati, Y. (2017). Pemodelan Karakteristik Motor DC Shunt, Motor DC Seri, dan Motor DC Kompon Menggunakan Matlab Simulink

- sebagai Media Pembelajaran Modul Praktikum Mesin-mesin Listrik. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(1), 63-73.
- Gayathri, R., Chang, J. Y., Tsai, C. C., & Hsu, T. W. (2024). Wave energy conversion through oscillating water columns: a review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 342.
- Hamna, H., BK, M. K. U., Novianti, D., Aulia, D., & Mulyani, M. (2025). Analisis Dampak Daya Apung Terhadap Benda di Lingkungan Sekitar pada Praktikum Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam. *Jurnal Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam (JP-IPA)*, 6(01), 1-10. <https://doi.org/10.56842/jp-ipa.v6i01.437>
- Jasron, J. U., Mangesa, D. P., Boimau, K., Tarigan, B. V., Maliwemu, E. U., & Salombe, M. (2022). Analisa Potensi Gelombang Laut sebagai Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Perangkat Oscillating Water Column (OWC) Di Wilayah Perairan Laut Timor. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 9(01), 14-20.
- Kazmierkowski, M. P., & Jasiński, M. (2010, May). Power electronics for renewable sea wave energy. In *2010 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment* (pp. 4-9). IEEE.
- Kresnadana, P., & Ansori, A. (2023). DESAIN GENERATOR LINIER UNTUK MEMANEN ENERGI GELOMBANG. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(01), 33-40. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/50775%0A>  
<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/50775/41602>
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., & Suratno, S. (2011). Variasi bulanan gelombang laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3). <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i3.104>
- Langer, J., Quist, J., & Blok, K. (2021). Review of renewable energy potentials in Indonesia and their contribution to a 100% renewable electricity system. *Energies*, 14(21), 7033.
- Liang, B., Shao, Z., Wu, G., Shao, M., & Sun, J. (2017). New equations of wave energy assessment accounting for the water depth. *Applied Energy*, 188, 130-139.
- Mahaganti, I., Tumaliang, H., Nelwan, A. F., dan Pakiding, M. (2014). Pra-desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Generator Asinkron. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 3(3), 12-18. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/4822>
- Maulana, A. (2015). Analisa Perbandingan Energi Listrik Yang Dihasilkan Mekanisme Pltgl Sistem Pelamis Antara Susunan Berbaris Dan Berbanjar Dengan Variasi Frekuensi Gelombang. *Jurnal Teknik ITS*, 5(1), 1-5.

- Mott, R. L., Vavrek, E. M., dan Wang, J. (2018). Machine Elements In Mechanical Design Sixth Edition. In Pearson (pp. 241–285). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367853853-8>
- Nagifea, F. Y. (2022). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl) Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 10(2), 17-24. <https://doi.org/10.30869/jtech.v10i2.968>
- Nugraha, A. T., & Sobhita, R. A. (2025). Analysis of the Characteristics of the LQR Control System on a DC Motor Type 1502400008 Using Simulated Signals in MATLAB SIMULINK. *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology*, 3(1), 66-75.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). Analisa motor DC (Direct Current) sebagai penggerak mobil listrik. *vol, 2*, 28-34.
- Parjiman, P., Daryanto, D., Subekti, M., & Rifan, M. (2015). Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 50-55. <https://doi.org/10.22441/jte.v9i2.4068>
- Setiaji, N., Sumpena, dan Sugiharto, A. (2022). Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik. *Jurnal Tekonologi Industri*, 11(1), 1–8.
- Setiawan, D. (2017). Sistem Kontrol Motor Dc Menggunakan Pwm Arduino Berbasis Android System. *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 15(1), 7-14. <http://dx.doi.org/10.24014/sitekin.v15i1.4131>
- Shipon, M. R., Ali, M. S., Kabir, M. A., Abdullah-Al-Mamun, M., & Farrok, O. (2024). Pelamis Wave Energy Converter. In *Oceanic Wave Energy Conversion: Advancement of Electrical Generators* (pp. 45-66). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Si, J., Feng, H., Su, P., & Zhang, L. (2014). Design and analysis of tubular permanent magnet linear wave generator. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 258109.
- Sundar, V. (2016). Ocean wave mechanics : applications in marine structures.
- Syukur, D. (2013). Generator Sinkron Tiga Fasa. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Utami, S. (2010). Potential Study of Sea Wave Power System Using Oscillating Water Column (OWC) in Thirty Marine Areas Indonesia. (Bahasa Indonesia). *Teknik Elektro*.
- Vidura, A., & RL, W. (2022). Mukhtasor, “Potensi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Di Perairan Selatan Pulau Jawa Dalam Mendukung Ketahanan Energi,” *J. Ketahanan Energi*, 8(1), 32-48.
- Vignesh, S., Thangamani, J. S., Poongundran, T., Joshva, S. S., & Sathish, D. (2019). Wave energy harvester. *IJRESM E*, 2, 194-6.

- Waldopo. (2008). Perairan Darat dan Laut. Dra. Asih Priati, 7.
- Wilson, B.W. (1963). Conditions of existence for types of Tsunami waves. Proc. XIIIth General Assembly Jugg, Berkeley, California, Aug
- Xie, J., & Zuo, L. (2013). Dynamics and control of ocean wave energy converters. *International Journal of Dynamics and Control*, 1(3), 262-276.
- Zulhakim, A., Handayani, Y. S., & Priyadi, I. Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Generator Sink-ron Tiga Fasa di Unit 1 PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi. <https://doi.org/10.33369/teknosia.v17i1.28708>