

**STUDI EKSPERIMEN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Marco Divaio  
2115021061**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

**STUDI EKSPERIMEN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH**

**OLEH:**

**MARCO DIVAIO**

**Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2026**

## ABSTRAK

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

OLEH

MARCO DIVAIO

Pemanfaatan energi gelombang laut sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia terus dikembangkan untuk menghasilkan energi listrik. Penelitian ini mengkaji model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah yang memanfaatkan gerakan naik turun pelampung akibat gelombang untuk diubah menjadi gerak rotasi dan menggerakkan generator. Pengujian dilakukan pada skala laboratorium menggunakan media air tawar dengan pembangkit gelombang buatan. Variasi parameter meliputi eksentrisitas 2, 3, dan 4 cm, kecepatan putar poros 46, 56, dan 62 RPM, serta panjang tabung 50, 55, dan 60 cm. Hasil pengujian berupa tegangan, arus, dan daya listrik. Hasil pengujian dianalisis dan dibandingkan dengan perhitungan teoritis untuk menentukan efisiensi konversi energi, yang dihitung dari perbandingan energi listrik yang dihasilkan dengan energi teoritis gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja pembangkit dipengaruhi oleh variasi eksentrisitas, kecepatan putar poros, dan panjang tabung, sehingga sistem ini berpotensi dikembangkan sebagai pembangkit listrik ramah lingkungan di wilayah pesisir. meskipun masih diperlukan pengembangan desain dan pengujian lanjutan.

**Kata Kunci:** Energi Gelombang Laut, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, Energi Terbarukan, *Rack and Pinion*, Efisiensi Konversi Energi.

## ABSTRAK

### EXPERIMENTAL STUDY OF A GEAR-TYPE (RACK AND PINION) DIRECT DRIVE OCEAN WAVE POWER GENERATOR MODEL

By

MARCO DIVAIO

*The use of ocean wave energy as a renewable energy source in Indonesia continues to be developed to generate electricity. This study examines a unidirectional gear (rack and pinion) type ocean wave power plant model that utilizes the up and down movement of floats caused by waves to be converted into rotational motion and drive a generator. Testing was conducted on a laboratory scale using fresh water with an artificial wave generator. The parameters varied between eccentricities of 2, 3, and 4 cm, shaft speeds of 46, 56, and 62 RPM, and tube lengths of 50, 55, and 60 cm. The test results were in the form of voltage, current, and electrical power. The test results were analyzed and compared with theoretical calculations to determine energy conversion efficiency, which was calculated from the ratio of the electrical energy produced to the theoretical wave energy. The results of the study show that the performance of the generator is influenced by variations in eccentricity, shaft rotation speed, and tube length, so this system has the potential to be developed as an environmentally friendly power generator in coastal areas, although further design development and testing are still needed.*

**Keywords:** Ocean Wave Energy, Ocean Wave Power Plant, Renewable Energy, Rack and Pinion, Energy Conversion Efficiency.

Judul Skripsi : **STUDI EKSPERIMEN MODEL  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG LAUT TIPE GEAR (RACK  
AND PINION) SEARAH**

Nama Mahasiswa : **Marco Divaio**

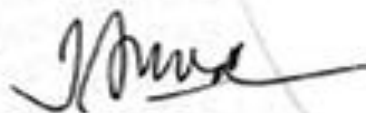
Nomor Pokok Mahasiswa : **2115021061**

Program Studi : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI,**  
Komisi Pembimbing

**Komisi Pembimbing I**



**Dr. Jamiatul Akmal, S. T., M. T.**  
NIP. 196908011999031002

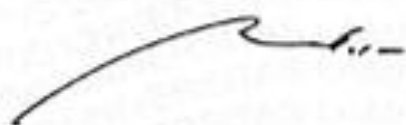
**Komisi Pembimbing II**



**Nureahya Nugraha, S. T., M. T.**  
NIP. 199510112024061001

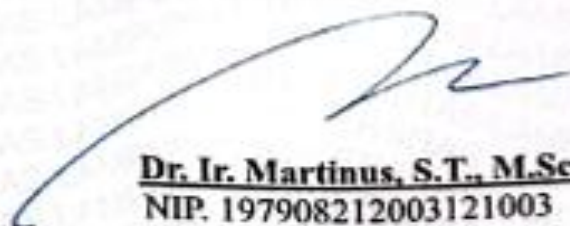
**MENGETAHUI**

**Ketua Jurusan  
Teknik Mesin**



**Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.**  
NIP. 197408162000121001

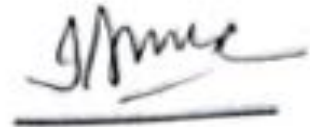
**Ketua Program Studi  
S1 Teknik Mesin**



**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**  
NIP. 197908212003121003

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji  
Ketua : **Dr. Jamlatul Akmal, S. T., M. T**




Anggota Penguji : **Nurchaya Nugraha, S. T., M. T.**



Penguji Utama : **Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



~~**Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**  
NIP. 196910302000031001~~

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **22 April 2026**

## PERNYATAAN PENULIS

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi berjudul “STUDI EKSPERIMEN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION) SEARAH*” merupakan hasil karya saya sendiri. Skripsi ini tidak berisi materi yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik pada perguruan tinggi mana pun, dan sejauh pengetahuan saya tidak mengandung karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Saya bertanggung jawab sepenuhnya atas keaslian dan kebenaran isi skripsi ini sesuai dengan etika keilmuan dan ketentuan yang berlaku di Universitas Lampung. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 22 April 2026

Pembuat pernyataan



**Marco Divalo**

**NPM. 2115021061**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang pada tanggal 04 Mei 2003 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Hendro Sulistiono dan Ibu Surhayati. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 1 Kampung Sawah Lama (2009-2015), kemudian melanjutkan studi di SMP Negeri 12 Bandar Lampung (2015-2018), serta SMA Negeri 12 Bandar Lampung (2018-2021). Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama masa kuliah, penulis aktif dalam dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dan mengikuti berbagai kegiatan jurusan yang menunjang pengembangan kemampuan akademik maupun organisasi. Penulis juga melaksanakan Program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rejomulyo, Kecamatan Pasir Sakti, Pada akhir tahun 2024 sebagai bagian dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Dalam bidang pengalaman industri, penulis mengikuti magang Industri di PT SKF Indonesia pada tahun 2024, dengan laporan berjudul **“Pengaruh Waktu Penghalusan Terhadap Deformasi Lingkaran Permukaan Outering Tipe 6002 Pada Mesin Fine Surface Finishing Outering Honing di PT SKF Indonesia”**. Pada tahun 2025, penulis melakukan penelitian tugas akhir berjudul **“Studi Eksperimen Model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Gear (Rack and Pinion) Searah”** dibawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S. T., M. T. dan bapak Nurcahya Nugraha, S. T., M. T. serta bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. sebagai pembahas.

## MOTTO

إِنَّمَا رَبِّي سَاهِدٌ

**"Sesungguhnya Tuhanku bersamaku, Dia akan memberi petunjuk kepadaku."**

**QS. As-Syu'ara: 62**

**"Batasilah pandangan kalian terhadap nikmat orang lain agar syukur kalian tidak redup"**

**(Marco)**

**"Jika sudah waktunya hujan akan turun, jika sudah tiba masanya bunga akan mekar, begitu juga dengan do'a-do'amu, jika sudah tiba saatnya pasti akan terwujud"**

**(Marco)**

## **PERSEMBAHAN**

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puji dan syukur ke hadirat-Nya atas rahmat dan karunia-Nya, sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

### **SKRIPSI INI PENULIS PERSEMBAHKAN KEPADA**

Ibu dan Ayah tercinta, terima kasih karena selalu hadir dengan kasih dan pengorbanan tanpa batas. Setiap doa yang kalian berikan menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan perjuangan ini. Ucapan terima kasih saja takkan pernah cukup untuk membalas segala kebaikan keduanya. Semoga karya ini bisa menjadi bukti bahwa doa dan kerja keras kalian tidak pernah sia-sia.

Kakak-kakak dan adik-adik tercinta yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan yang senantiasa diberikan. Semoga skripsi ini menjadi bukti bahwa doa kalian selalu dikabulkan.

**Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2021**

Serta

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kupanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-nya dan kesehatan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI EKSPERIMEN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH”. Tujuan dari penulis skripsi ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar S1 dan untuk melatih mahasiswa dalam berfikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih ada banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis meminta kritik dan saran yang dapat membangun dalam pembuatan skripsi ini.

Penulis

**Marco Divaio**

**NPM. 2115021061**

## SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T., yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah, dan perlindungan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan lancar dalam keadaan sehat. Shalawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad S.A.W., yang telah menuntun umatnya menuju akhlak mulia dan ilmu yang bermanfaat, sehingga mampu menjalani hidup dengan benar. Skripsi ini disusun sebagai bukti penyelesaian tugas akhir penulis. Diharapkan karya tulis ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu, khususnya di bidang mekanika, terutama mekanika struktur. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Penulis berharap karya ini bermanfaat bagi pembaca maupun pihak yang mengutipnya, serta dapat menjadi referensi untuk penelitian dan studi selanjutnya. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih 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 Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Nurcahya Nugraha, S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing II, atas saran, koreksi, dan masukan yang sangat membantu dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Ahmad Suudi, S.T, M.T., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bantuan selama masa perkuliahan.
8. Para staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan pelayanan dan bantuan yang sangat baik selama masa perkuliahan.
9. Kepada kedua orang tua tercinta, Ibu Surhayati dan Ayah Hendro Sulistiono, atas doa-doa yang senantiasa mengalir, kasih sayang yang tulus, serta pengorbanan yang tak ternilai, penulis mampu bertahan, berjuang, dan menyelesaikan skripsi ini sebaik-baiknya. Selalu ku berdoa kepada Allah agar diberikannya umur panjang. Selama 23 tahun aku dibimbing dan dididik dengan penuh kesabaran, selalu kuharap ketulusan kalian akan mendapat balasan sepotong surga dari Allah Yang Maha Pemurah. Hari ini, gelar S.T. ini penulis persembahkan sebagai bentuk bakti dan syukurku. Semoga setiap tetes pengorbanan dan cinta yang mengalir dalam darahku dapat menghadirkan kesuksesan dan kemudahan bagi kalian, agar sisa hidup dapat dijalani dengan bahagia sebelum kembali kepada-Nya.
10. Adik-adik tersayang Sesa, Zefan, Jepri, Zidan, Cello, yang menjadi penyemangat bagi penulis untuk terus berusaha dan berkembang. Semoga langkah kecil yang Abang tempuh hari ini dapat menjadi inspirasi dan jalan bagi masa depan kalian kelak.
11. Yoar selaku teman penelitian saya yang selalu membantu akan kekurangan saya dalam menyelesaikan skripsi ini
12. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2021 serta teman-teman yang berada di laboratorium Mekanika Struktur yang telah kebersamai, memberi motivasi, keceriaan dan semangat selama perkuliahan.
13. Seseorang dengan NPM 2117041009 untuk setiap dukungan, waktu, serta sudah setia menemani dan kebersamai penulis, senantiasa membantu dalam

proses penyusunan skripsi ini, memberikan hiburan saat menghadapi kesulitan, serta pengertian kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik. Semoga kita berdua dapat meraih kesuksesan dikemudian hari.

14. Bapak Lantip Hidayatulloh S.T. sebagai pembimbing lapangan selama pelaksanaan Magang Industri, yang selalu memberikan ilmu serta menciptakan suasana penuh canda dan kebersamaan selama kegiatan magang berlangsung.
15. Abangda Syaipudin Anwar, Rafif (kiting), Reynal, Sadam, Lutfi, Dimas, Kohar, Gandhi, Roni dan teman-teman Jekmanila yang lainnya yang selalu memberikan dukungan, canda tawa, semangat, dan keceriaan selama penyusunan skripsi ini.
16. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
17. Real Madrid, terlepas dari performa fluktuatif layaknya grafik tegangan eksperimen, klub ini mengajarkan saya dua hal penting dalam hidup yaitu bertahan dalam tekanan dan percaya bahwa masa sulit pasti berlalu. Skripsi ini mungkin selesai, tapi cinta saya ke Real Madrid tak akan pernah usai.
18. Terakhir, terima kasih kepada laki-laki yang Manis, sederhana, kuat, dan mandiri, yaitu diri saya sendiri, Marco Divaio. Terima kasih atas perjalanan panjang yang telah dilalui hingga sampai di titik ini. Banyak proses yang telah dilewati, banyak air mata yang dihapus dengan tangan sendiri, serta banyak lelah dan keluh kesah yang dipendam sendirian. Berbagai hal telah dijalani, dihadapi, dan diselesaikan dengan usaha sendiri. Hingga saat ini tetap kuat karena diri sendiri yang selalu berusaha agar semuanya terlihat baik-baik saja. Bangga atas setiap langkah kecil yang telah ditempuh. Meski mudah merasa lelah dan ingin menyerah, namun tetap berusaha untuk terus mencoba dan bertahan. Selamat menyambut kecemasan-kecemasan di tangga kehidupan berikutnya, selamat berpetualang di fase kehidupan selanjutnya, dan selamat berjuang menghadapi berbagai pertanyaan “kapan” yang seakan tidak ada habisnya. Belajar untuk terus berjuang dengan kekuatan diri sendiri. Tidak ada yang lebih indah selain menyaksikan proses dan pertumbuhan diri dari waktu ke waktu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan, baik dari segi penyajian maupun isi. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan pengembangan karya ilmiah di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 22 April 2026

Penulis,

**Marco Divaio**

**NPM. 2115021061**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Gelombang Laut .....	6
2.2 Karakteristik Gelombang Laut .....	8
2.3 Gaya Gelombang Laut.....	10
2.4 Energi Gelombang Laut .....	11
2.5 Daya Listrik.....	13
2.5.1 Daya Aktif (Watt).....	13
2.5.2 Daya Reaktif (VAr).....	14
2.5.3 Daya Semu .....	14
2.6 Gaya Apung ( <i>buoyant force</i> ).....	14
2.7 Persamaan Daya Gelombang Laut .....	15
2.8 Metode Taguchi.....	16
2.8.1 Tahap Perancangan Konsep .....	17
2.8.2 Tahap Perancangan Parameter.....	17
2.8.3 Tahap Perancangan Toleransi.....	17
2.9 Metode Anova .....	17

<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Komponen peralatan model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear ( <i>rack and pinion</i> ) searah.....	19
3.2.1 Rangka.....	19
3.2.2 <i>Pillow block bearing</i> .....	19
3.2.3 <i>Rack and pinion</i> .....	21
3.2.4 <i>Pulley</i> .....	23
3.2.5 <i>Linier bearing</i> .....	24
3.2.6 Kotak <i>display</i> .....	25
3.3 Alur Penelitian .....	28
3.4 Sistem Alat Pengujian .....	29
3.5 Peralatan Eksperimen .....	31
3.6 Rancangan Eksperimen .....	33
3.7 Prosedur pengambilan data .....	35
3.8 Pengolahan Data Taguchi.....	36
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1 Data Spesifikasi Penelitian.....	38
4.1.1 Spesifikasi Gelombang.....	38
4.2 Hasil Eksperimen dan Analisa.....	39
4.2.1 Prosedur Akuisisi Data dan Kalibrasi Instrumen .....	39
4.2.2 Data Eksperimen dan Variasi Parameter .....	39
4.2.3 Perhitungan Teoritis Daya Gelombang Laut.....	61
4.2.4 Perhitungan Potensial Energi Gelombang Laut .....	62
4.2.5 Analisis Perbandingan Efisiensi Mekanik Terhadap <i>Wave Steepnes</i> .....	63
4.3 Analisis dan Optimalisasi Parameter Menggunakan Metode Taguchi Pada PLTGL .....	64
4.3.1 Karakteristik Respons SNR Berdasarkan Tingkat Faktor Kontrol.....	65
4.3.2 <i>Analisis Main Effect Plot For Means dan Main Effect Plot For S/N Ratios</i> .....	67
4.4 Analisis Statistik Terhadap Eksentrisitas, RPM, dan Panjang Tabung.....	70
4.4.1 Analisis ANOVA Tegangan.....	70
4.4.2 Analisis ANOVA Arus (mA) .....	71
4.4.3 Analisis ANOVA Daya (W).....	73

<b>V. PENUTUP</b> .....	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>78</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Puncak dan lembah gelombang .....	6
Gambar 2.2 Karakteristik Gelombang.....	9
Gambar 2.3. Skema Parameter Gaya Vertikal pada <i>Silt Screen</i> .....	11
Gambar 3.1. <i>Pillow block bearing</i> .....	19
Gambar 3.2. <i>Rack and pinion</i> .....	21
Gambar 3.3. <i>Pulley</i> .....	24
Gambar 3.4. <i>Linear bearing</i> .....	24
Gambar 3.5. Sensor Tegangan DC .....	26
Gambar 3.6. Sensor Arus INA 219 .....	27
Gambar 3.7. Kotak Display .....	28
Gambar 3.8. <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	28
Gambar 3.9. Skema Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	30
Gambar 3.10. Media Pembangkit Gelombang .....	31
Gambar 3.11. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe <i>gear (rack and pinion)</i> searah.....	32
Gambar 3.12. <i>Avometer</i> (multitester).....	32
Gambar 4.1. Grafik Eksperimen Tegangan (V) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 2, Kecepatan Putar Poros 46 RPM, Panjang Tabung 50 cm .....	40
Gambar 4.2. Grafik Eksperimen Tegangan (V) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 3, Kecepatan Putar Poros 56 RPM, Panjang Tabung 60 cm .....	40

Gambar 4.3. Grafik Eksperimen Tegangan (V) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 4, Kecepatan Putar Poros 62 RPM, Panjang Tabung 55 cm.....	41
Gambar 4.4. Grafik Eksperimen Arus (mA) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 2, Kecepatan Putar Poros 46 RPM, Panjang Tabung 50 cm.....	43
Gambar 4.5. Grafik Eksperimen Arus (mA) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 3, Kecepatan Putar Poros 56 RPM, Panjang Tabung 60 cm.....	43
Gambar 4.6. Grafik Eksperimen Arus (mA) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 4, Kecepatan Putar Poros 62 RPM, Panjang Tabung 55 cm.....	44
Gambar 4.7. Grafik Eksperimen Daya (W) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 2, Kecepatan Putar Poros 46 RPM, Panjang Tabung 50 cm.....	46
Gambar 4.8. Grafik Eksperimen Daya (W) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 3, Kecepatan Putar Poros 56 RPM, Panjang Tabung 60 cm.....	46
Gambar 4.9. Grafik Eksperimen Daya (W) Terhadap Waktu Variasi Eksentrisitas 4, Kecepatan Putar Poros 62 RPM, Panjang Tabung 55 cm.....	47
Gambar 4.10. Grafik Distribusi Data Tegangan (V).....	59
Gambar 4.11. Grafik Distribusi Data Arus (mA) .....	60
Gambar 4.12. Grafik Distribusi Data Daya (W).....	61
Gambar 4.13. Grafik Efisiensi Mekanik <i>Wave Steepnes</i> .....	64
Gambar 4.14. Grafik <i>Main Effects Plot For Means</i> .....	69
Gambar 4.15. Grafik <i>Main Effects Plot For SN Ratios</i> .....	69
Gambar 4.16 Grafik <i>Main Effects Plot For Hasil Rata – Rata Tegangan</i> .....	71
Gambar 4.17 Grafik <i>Main Effects Plot For Hasil Rata – Rata Arus</i> .....	73
Gambar 4.18 Grafik <i>Main Effects Plot For Hasil Rata – Rata Daya</i> .....	74

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Spesifikasi <i>Pillow Block Bearing</i> .....	20
Tabel 3.2. Spesifikasi PLA+ ( <i>Polylactic Acid Plus</i> ).....	22
Tabel 3.3. Spesifikasi <i>Bearing</i> Searah.....	23
Tabel 3.4. Spesifikasi <i>Pulley</i> .....	24
Tabel 3.5. Spesifikasi <i>Linier Bearing</i> .....	25
Tabel 3.6. Spesifikasi Sensor Tegangan DC.....	26
Tabel 3.7. Spesifikasi Sensor Arus 5A .....	27
Tabel 3.8 Kombinasi Rancangan Eksperimen.....	33
Tabel 4.1 Spesifikasi Gelombang .....	38
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Nilai Rata-Rata Tegangan, Arus, dan Daya .....	50
Tabel 4.3 Distribusi Data.....	57
Tabel 4.4 Respons SNR.....	65
Tabel 4.5 Respons <i>Table For Means</i> .....	66
Tabel 4.6 Hasil ANOVA Tegangan (V) .....	71
Tabel 4.7 Hasil ANOVA Arus (mA) .....	72
Tabel 4.8 Hasil ANOVA Daya (W).....	73

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan karakteristik geografis yang didominasi oleh wilayah perairan laut. Sekitar dua pertiga wilayah Indonesia terdiri atas lautan dengan panjang garis pantai mencapai  $\pm 95.181$  km, sehingga menjadikan Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan sumber energi terbarukan berbasis kelautan (Pregiwati, 2019). Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan adalah energi gelombang laut. Gelombang laut terbentuk akibat adanya gaya pembangkit yang berasal dari tiupan angin, pergerakan benda di permukaan laut, aktivitas seismik, serta pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari (Drew, 2009). Energi yang terkandung dalam gelombang laut berupa energi kinetik dan energi potensial yang bersifat berkelanjutan dan ramah lingkungan, sehingga berpotensi menjadi sumber energi listrik alternatif.

Kebutuhan energi nasional di Indonesia menunjukkan kecenderungan meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, percepatan industrialisasi, serta perluasan aktivitas pada sektor transportasi dan manufaktur. Berdasarkan kajian energi nasional, konsumsi energi final Indonesia mengalami peningkatan signifikan dari sekitar 114 juta *Ton Oil Equivalent* (TOE) pada tahun 2010 menjadi lebih dari 165 juta TOE pada tahun 2019, dengan laju pertumbuhan rata-rata tahunan berkisar antara 4–5%. Meskipun konsumsi energi nasional terus mengalami peningkatan, komposisi energi di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh sumber energi fosil,

terutama batu bara dan minyak bumi, yang menyumbang lebih dari 80% terhadap total konsumsi energi. Penggunaan energi fosil tersebut dapat juga menunjukkan tingginya ketergantungan Indonesia pada sumber energi tidak terbarukan, yang berdampak pada peningkatan emisi gas rumah kaca serta meningkatkan kerentanan terhadap fluktuasi harga energi di pasar global. Sejalan dengan peningkatan konsumsi energi secara umum, kebutuhan energi listrik nasional juga menunjukkan tren pertumbuhan yang berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan oleh Paundra dan Nurdin (2022) mengungkapkan bahwa permintaan energi listrik di Indonesia diproyeksikan terus meningkat seiring dengan target pertumbuhan ekonomi nasional, sementara pemanfaatan energi terbarukan dalam sistem ketenagalistrikan masih belum mencapai tingkat yang optimal. Dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan mendukung pembangunan berkelanjutan, Pemerintah Indonesia melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) telah menetapkan target energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Namun demikian, capaian kontribusi energi terbarukan hingga saat ini masih berada di bawah target yang telah ditetapkan.

Sebagai upaya dalam menjawab peningkatan kebutuhan energi nasional serta masih rendahnya kontribusi energi terbarukan dalam energi Indonesia, pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif solusi strategis yang relevan dengan kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan. Energi gelombang laut merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari proses transfer energi angin ke permukaan laut dan memiliki kerapatan energi yang relatif tinggi dibandingkan dengan energi angin, seiring dengan massa jenis air laut yang lebih besar. Secara teoretis, daya gelombang laut per satuan panjang puncak gelombang dapat dinyatakan sebagai fungsi dari tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang. Falnes (2007) menyatakan bahwa energi gelombang laut memiliki potensi teknis yang besar dan dapat dimanfaatkan melalui berbagai teknologi konversi, antara lain *Oscillating Water Column* (OWC), *point absorber*, dan *attenuator*. Teknologi-teknologi tersebut bekerja dengan mengonversi energi kinetik dan energi potensial gelombang laut menjadi

energi mekanik, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui sistem generator. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nurkalam (2025) mengenai model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) berbasis mekanisme *rack and pinion* searah menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan pada skala laboratorium masih relatif rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sistem belum bekerja secara optimal dalam memanfaatkan energi gelombang laut sebagai sumber energi terbarukan. Rendahnya keluaran daya tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kerugian energi akibat gesekan pada komponen mekanis, desain komponen yang belum optimal, serta efisiensi konversi energi yang masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan dan penyempurnaan sistem guna meningkatkan kinerja PLTGL.

Penelitian ini melakukan perbaikan dan pembaruan terhadap beberapa komponen utama, yaitu pelampung, inverter, motor listrik, dan *pulley*. Perbaikan pada pelampung bertujuan untuk meningkatkan respons terhadap gelombang laut sehingga energi yang diperoleh dapat meningkat. Selain itu, penyesuaian pada inverter dan motor listrik dilakukan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Optimalisasi pada *pulley* dilakukan untuk memperoleh rasio putaran yang sesuai sehingga dapat meningkatkan daya keluaran sistem. Dengan adanya pengembangan pada komponen-komponen tersebut, diharapkan kinerja sistem PLTGL meningkat serta kerugian energi dapat diminimalkan, sehingga menghasilkan daya listrik yang lebih optimal dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kinerja model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (Rack and pinion)* secara eksperimental.
2. Menganalisis parameter terhadap kinerja model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (Rack and Pinion)* searah.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Penulis mengembangkan dan mengevaluasi suatu model pembangkit listrik tenaga gelombang laut skala laboratorium.
2. Penulis menguji alat dengan menggunakan suatu model pembangkit listrik tenaga gelombang laut skala laboratorium.
3. Penulis melaksanakan pengujian model pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan media air tawar, tanpa melibatkan air laut atau air asin.
4. Gelombang yang dihasilkan adalah gelombang yang merambat dalam satu arah.
5. Penelitian ini tidak menghitung kehilangan energi mekanik yang disebabkan oleh komponen sistem, sehingga analisis dilakukan berdasarkan asumsi kondisi ideal.

### 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. parafrase secara ilmiah dengan jelas.

#### **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 sumbe-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 memuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh. Kesimpulan disajikan secara ringkas dan jelas, sedangkan saran ditujukan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar lebih optimal.

### **DAFTAR PUSTAKA**

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

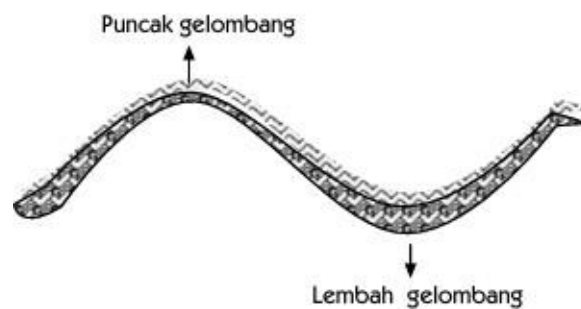
### **LAMPIRAN**

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 merupakan pergerakan air laut yang naik dan turun dengan arah tegak lurus permukaan yang membentuk kurva atau grafik *sinusoidal* (Holthuijsen, 2007). Gelombang laut yang membentuk sinusoidal terdiri dari beberapa komponen, yaitu puncak dan lembah. Parameter fisis yang berkaitan dengan gelombang adalah panjang, ketinggian, periode, dan kedalaman laut. Gelombang dengan amplitudo kecil atau linier, jarak dari puncak gelombang ke SWL (*Sea Water Level*) atau muka air normal dan jarak dari lembah ke SWL sama dengan *amplitude* gelombang (Irwan & Suaib, 2022). Dari penjelasan diatas dapat dilihat pada Gambar 2.1 puncak gelombang dan lembah gelombang berikut.



Gambar 2.1. Puncak dan lembah gelombang  
(Sumber: Waldopo, 2008)

Perubahan kedalaman laut menyebabkan bentuk gelombang yang menjalar dari laut dalam (*deep sea*) menuju pantai berubah. Ketika gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakannya di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah hasil dari tekanan dan gerakan antara air dan dasar laut. Pada saat gelombang terus bergerak di atas permukaan air, puncak gelombang menjadi lebih tajam dan lembahnya menjadi lebih datar. Fenomena ini menyebabkan gelombang pecah (Noptian dkk., 2020). Gelombang laut dapat diklasifikasikan berdasarkan gaya pembangkit laut dan menjadi beberapa jenis berdasarkan gaya pembangkitnya yang paling umum adalah angin, gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari, atau gelombang pasang surut dan gempa bumi (Nichols & Williams, 2009). Dilihat dari gaya pembangkitnya, ada tiga jenis gelombang yang berbeda yaitu:

1. Gelombang Angin, yang disebabkan oleh tiupan angin di permukaan laut; gelombang ini memiliki periode yang sangat bervariasi dan merupakan gelombang yang paling sering terjadi di laut.
2. Gelombang Pasang Surut (Pasut), yang disebabkan oleh gaya tarik bumi terhadap benda langit.
3. Gelombang tsunami adalah gelombang yang sangat besar yang terjadi karena gempa bumi tektonik atau letusan gunung api di dasar laut. Gelombang tsunami dapat mencapai tinggi lebih dari 10 meter (Kurniawan dkk., 2011).

Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah bahwa mereka adalah energi dalam transisi, yang dibawa oleh sifat aslinya. Gelombang laut adalah ketika dua massa benda bergesekan satu sama lain pada bidang geraknya, gelombang terbentuk. Gerakan air laut yang naik turun disebut gelombang (Tae dkk., 2015). Menurut Pinet (2009) gelombang laut memiliki beberapa komponen utama, yaitu *crest*, *trough*, *wavelength*, *wave height*, *still water level*, dan *wave steepness*. *Crest* merupakan titik tertinggi dari gelombang, sedangkan *trough* adalah titik terendahnya. *Wavelength* atau panjang gelombang adalah jarak horizontal antara dua titik gelombang yang berurutan, misalnya dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah. *Wave*

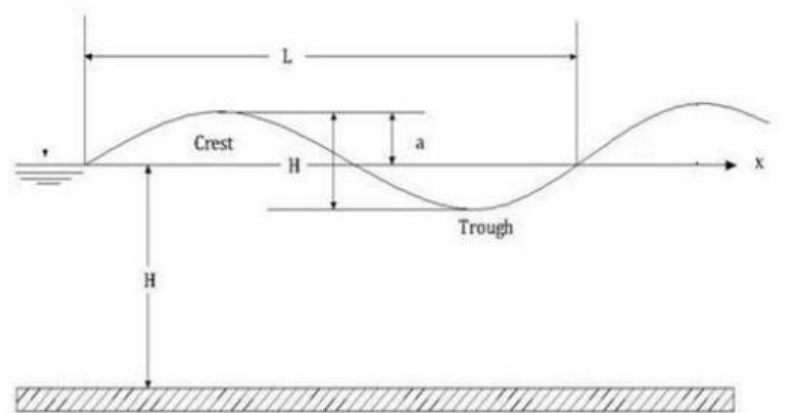
*height* adalah jarak vertikal antara puncak dan lembah gelombang. *Still water level* merujuk pada permukaan laut yang tenang tanpa adanya gelombang. Sementara itu, *wave steepness* adalah rasio antara tinggi gelombang (H) dan panjang gelombangnya (L), dan digunakan untuk menentukan apakah gelombang akan pecah atau tidak. Jika rasio H/L melebihi 1/7, gelombang cenderung menjadi tidak stabil dan akan pecah (Pinet, 2009 ; Holthuijsen, 2007).

## 2.2 Karakteristik Gelombang Laut

Gelombang laut terbentuk sebagai respons terhadap berbagai fenomena alam dan aktivitas buatan. Faktor-faktor pembangkitnya meliputi hembusan angin di permukaan laut (gelombang angin), gaya tarik gravitasi dari matahari dan bulan yang menyebabkan pasang surut, aktivitas tektonik seperti gempa bumi bawah laut dan letusan gunung berapi (tsunami), serta gerakan kapal di permukaan perairan (Triatmodjo, 1996). Karakteristik gelombang tersebut umumnya dijelaskan melalui sejumlah parameter fisis utama, yakni tinggi gelombang, periode gelombang, dan panjang gelombang, yang masing-masing merepresentasikan besaran energi dan dinamika gelombang di perairan laut. Karakteristik gelombang laut merupakan salah satu parameter utama yang memengaruhi dinamika pesisir, seperti sifat gelombang pantai, proses abrasi, dan pola arus laut di sekitar pantai. Pemahaman terhadap karakteristik ini sangat penting dalam menunjang perencanaan dan perancangan struktur bangunan pantai maupun pelabuhan. Informasi tersebut berperan strategis dalam upaya pengembangan dan pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan (Arianty dkk., 2017). Beberapa parameter terdapat besaran lain seperti kecepatan dan percepatan gelombang dapat diturunkan.

1. Panjang gelombang (L) merujuk pada jarak horizontal antara dua puncak gelombang yang berurutan, atau dapat diartikan sebagai interval antara dua titik tertinggi gelombang secara berturut-turut.

2. Periode gelombang ( $T$ ) adalah durasi waktu yang diperlukan oleh dua puncak atau dua lembah gelombang yang berurutan untuk melewati suatu titik tetap di permukaan laut.
3. Kecepatan rambat gelombang (celerity,  $C$ ) merupakan hasil bagi antara panjang gelombang dan periode gelombang ( $C = L/T$ ). Dalam hal ini, meskipun gelombang merambat dengan kecepatan tertentu, partikel air secara umum tidak ikut berpindah secara horizontal, melainkan hanya berosilasi di tempatnya.
4. Amplitudo ( $a$ ) didefinisikan sebagai setengah dari tinggi gelombang ( $H$ ), yaitu jarak vertikal dari muka air tenang ke puncak atau ke lembah gelombang (Dean dkk., 1984). Dari penjelasan karakteristik gelombang dapat kita lihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Karakteristik Gelombang

(Sumber: Dean dkk., 1984)

Gelombang laut umumnya merambat dari perairan laut dalam menuju wilayah pesisir, membawa energi yang signifikan dan berperan dalam proses pembentukan garis pantai. Energi gelombang tersebut mampu menghasilkan arus dengan arah tegak lurus maupun sejajar terhadap garis pantai, yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya transportasi sedimen (Cruz, 2007). Menurut Dijkstra (2008), gelombang laut merupakan salah satu parameter dominan yang memengaruhi dinamika wilayah pesisir dan laut, selain arus dan pasang surut. Oleh sebab itu, kajian terhadap karakteristik gelombang laut menjadi sangat penting guna mendukung upaya pengelolaan dan

pengembangan potensi wilayah pesisir secara optimal. Namun demikian, bentuk gelombang laut di alam pada umumnya bersifat kompleks, acak, serta sulit dimodelkan secara matematis akibat sifatnya yang *non-linier* (Triatmodjo, 1999).

### 2.3 Gaya Gelombang Laut

Gaya gelombang memiliki parameter gelombang yang dapat diterima, yaitu amplitudo dan frekuensi, sehingga posisi vertikal mekanisme terhadap permukaan gelombang tidak secara signifikan memengaruhi intensitas gaya gelombang yang dihasilkan (Susanto, 2016). Total gaya yang bekerja pada pelampung dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yaitu gaya gelombang, gaya apung, dan gaya gravitasi akibat massa pelampung. Hubungan ini menggambarkan bahwa dinamika gerak pelampung merupakan hasil interaksi antara gaya eksternal dari gelombang laut dan gaya internal akibat sifat fisik pelampung (Putri dkk, 2021).

Gaya yang bekerja pada suatu benda dalam fluida merupakan selisih antara tekanan ke atas yang diberikan oleh zat cair, yang dikenal sebagai gaya apung pelampung ( $F_{BP}$ ), dan gaya ke bawah akibat berat benda di udara ( $W$ ). Gaya vertikal ini, jika dilihat dari bagian pelampung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2, tampak seolah-olah menarik pelampung ke arah bawah. Dalam kondisi tanpa aliran fluida ( $U = 0$ ), gaya vertikal yang bekerja pada silt screen memiliki besar dan arah yang sebanding dengan tegangan pada material screen (Bangguna, 2013). Oleh karena itu, gaya vertikal pada silt screen ( $F_v$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) sebagai berikut.

$$F_v = F_{BP} - W \quad (1)$$

$$F_v = V \times (\Delta\gamma) \quad (2)$$

Dimana

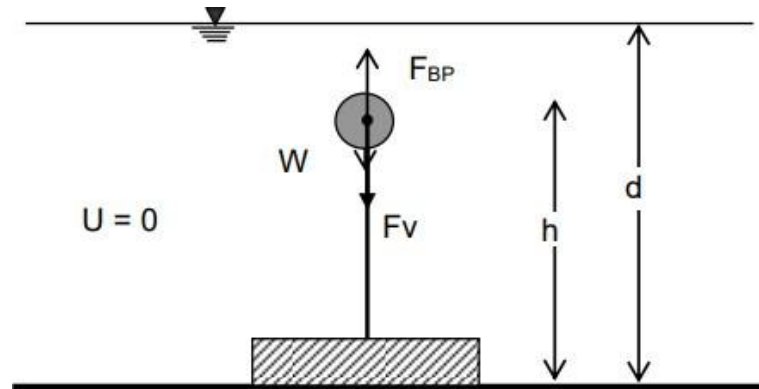
$F_v$  = gaya vertikal (N)

$F_{BP}$  = gaya apung pelampung (N)

$W$  = berat benda di udara (N)

$V$  = volume benda ( $m^3$ )

$\Delta\gamma$  = selisih berat jenis ( $N/m^3$ )



Gambar 2.3. Skema Parameter Gaya Vertikal pada Silt Screen  
(Sumber: Oliveira & Lemos., 2017)

## 2.4 Energi Gelombang Laut

Salah satu potensi kelautan yang masih belum banyak diketahui oleh masyarakat luas adalah kemampuan laut dan samudra dalam menghasilkan energi listrik. Beberapa negara seperti Inggris, Prancis, dan Jepang telah melakukan berbagai penelitian serta pengembangan dalam memanfaatkan potensi energi laut untuk pembangkitan listrik. Secara umum, energi dari samudra dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: energi pasang surut (*tidal power*), energi gelombang laut (*wave energy*), dan energi panas laut (*ocean thermal energy*). Energi pasang surut diperoleh dari pergerakan massa air laut yang disebabkan oleh fluktuasi ketinggian muka laut antara pasang dan surut. Sementara itu, energi gelombang berasal dari pergerakan gelombang laut yang menuju dan menjauhi pantai. Adapun energi panas laut memanfaatkan perbedaan suhu antara permukaan laut dan lapisan laut yang lebih dalam. Di Indonesia, pemanfaatan ketiga jenis energi ini masih memerlukan kajian dan pengembangan lebih lanjut. Namun, secara umum,

potensi pemanfaatan energi gelombang laut dan energi panas laut dinilai lebih tinggi dibandingkan dengan energi pasang surut (Mustofa dkk., 2017).

Adapun energi total gelombang laut menggunakan persamaan (3) (Parjiman dkk., 2015).

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g h^2 \lambda b}{8} \quad (3)$$

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan krisis energi adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, salah satunya yaitu energi gelombang laut. Di antara berbagai teknologi konversi energi gelombang, sistem *Oscillating Water Column* (OWC) merupakan salah satu metode yang dianggap paling potensial dan telah banyak diteliti oleh para ilmuwan. Teknologi OWC telah diimplementasikan di berbagai negara, termasuk Jepang. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan gerakan naik-turun permukaan air laut dalam suatu kolom yang tertutup sebagian, untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik (Pudjanarsa, 2006). Pemanfaatan energi gelombang laut sebagai sumber pembangkit listrik memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan sumber energi lainnya, antara lain:

1. Energi gelombang laut memiliki densitas energi yang relatif tinggi dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya. Gelombang laut terbentuk akibat tiupan angin yang dipicu oleh perbedaan suhu permukaan bumi karena variasi intensitas penyinaran matahari. Umumnya, intensitas energi matahari berada pada kisaran 0,1–0,3 kW/m<sup>2</sup>, sedangkan energi gelombang menawarkan potensi yang lebih besar.
2. Menurut Thorpe, perangkat konversi energi gelombang memiliki dampak lingkungan yang minimal. Perkiraan emisi siklus hidup dari perangkat yang dipasang di perairan pantai menunjukkan bahwa instalasi di laut lepas memiliki potensi dampak lingkungan yang paling kecil dibandingkan dengan jenis pembangkit lainnya.

3. Fluktuasi musiman energi gelombang cenderung sejalan dengan pola konsumsi energi, terutama di wilayah yang kebutuhan listriknya dipengaruhi oleh variasi suhu dan iklim.
4. Gelombang laut mampu merambat hingga jarak yang sangat jauh dengan kehilangan energi yang relatif rendah, sehingga memungkinkan transmisi energi yang efisien.
5. Studi menunjukkan bahwa perangkat penangkap energi gelombang mampu beroperasi dan menghasilkan listrik hingga 90% dari waktu pengamatan, menjadikannya lebih andal dibandingkan dengan banyak sistem pembangkit energi terbarukan lainnya (Rahman dkk., 2016).

## 2.5 Daya Listrik

Dalam Sistem Satuan Internasional (SI), satuan daya listrik adalah Watt (W), yang didefinisikan sebagai laju perubahan energi terhadap waktu. Secara teknis, daya merupakan hasil kali antara tegangan (Volt) dan arus listrik (Ampere) yang mengalir melalui suatu beban pada suatu waktu tertentu. Secara umum, daya listrik terbagi menjadi tiga komponen utama, yaitu:

### 2.5.1 Daya Aktif (Watt)

Daya aktif merupakan daya nyata yang digunakan untuk melakukan kerja seperti menghasilkan panas, cahaya, atau energi mekanik. Daya ini menyatakan besarnya energi yang benar-benar dikonsumsi oleh beban listrik dan dinyatakan dalam satuan Watt (W) dapat dilihat pada persamaan (4) (Sulistiyowati, 2012).

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (4)$$

Dimana

$P$  = Daya aktif (*Watt*)

$V$  = Tegangan (*Volt*)

$I$  = Arus (*Ampere*)

$\cos \varphi$  = Faktor daya.

### 2.5.2 Daya Reaktif (VAr)

Daya reaktif merupakan daya yang dibutuhkan oleh peralatan listrik ini akan berinduksi seperti motor dan transformator untuk membentuk medan magnet. Daya ini tidak menghasilkan kerja nyata, tetapi penting dalam mempertahankan kerja sistem listrik. Satuan daya reaktif adalah  $V_{Ar}$  (Volt-Ampere reaktif). Persamaannya dapat dilihat pada persamaan (5) (Sulistyowati, 2012).

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (5)$$

Dimana

$Q$  = Daya reaktif ( $V_{Ar}$ )

$\sin \varphi$  = Komponen sudut fasa antara arus dan tegangan.

### 2.5.3 Daya Semu

Daya semu adalah gabungan vektor dari daya aktif dan daya reaktif. Daya ini mencerminkan total daya yang disuplai oleh sumber listrik kepada beban, meskipun tidak seluruhnya dikonversi menjadi kerja nyata. Dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA). Persamaan matematisnya dapat dilihat pada persamaan (6) dan persamaan (7).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (6)$$

$$S = V \times I \quad (7)$$

Hubungan antara ketiga jenis daya ini digambarkan dalam bentuk segitiga daya (*power triangle*), di mana daya semu adalah sisi miring, daya aktif sebagai alas, dan daya reaktif sebagai tinggi (Sulistyowati, 2012).

## 2.6 Gaya Apung (*buoyant force*)

Gaya apung merupakan gaya yang memungkinkan suatu benda untuk mengapung dalam fluida, seperti air. Ketika suatu benda berada di dalam

cairan, akan timbul gaya ke atas yang dikenal sebagai gaya apung. Besarnya gaya ini bergantung pada hubungan antara berat benda dan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut. Prinsip dasar ini menjelaskan bahwa jika berat fluida yang dipindahkan lebih besar daripada berat benda, maka benda akan mengapung; sebaliknya, jika lebih kecil, benda akan tenggelam. Meskipun ukuran dan bentuk benda dapat memengaruhi stabilitasnya dalam fluida, faktor utama yang menentukan apakah suatu benda akan mengapung atau tidak adalah massa jenis relatif antara benda dan fluida. Gaya apung menjadi aspek penting dalam berbagai aplikasi teknik dan aktivitas kelautan, seperti perancangan kapal, perahu, dan kegiatan bawah air seperti menyelam (*scuba diving*) (Achmad, 2025).

Gaya apung (*buoyant force*) merupakan gaya vertikal ke atas yang bekerja pada suatu benda ketika benda tersebut berada sebagian atau seluruhnya di dalam suatu fluida, baik berupa zat cair maupun gas. Fenomena ini terjadi akibat adanya perbedaan tekanan fluida yang bergantung pada kedalaman; di mana tekanan fluida akan meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Secara fisis, daya apung menunjukkan kemampuan fluida dalam memberikan gaya dorong ke atas terhadap benda yang berada di dalamnya, dan merupakan manifestasi dari prinsip tekanan hidrostatik dalam fluida (Hamna dkk., 2025).

## 2.7 Persamaan Daya Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan fenomena osilasi naik–turun permukaan air laut yang terutama dihasilkan oleh transfer energi dari angin yang bertiup di atas permukaan laut. Interaksi antara gaya geser angin dan permukaan air menyebabkan terbentuknya riak awal yang merambat searah dengan arah angin. Apabila hembusan angin berlangsung secara kontinu dengan durasi dan jarak lintasan (*fetch*) yang memadai, riak tersebut akan berkembang menjadi gelombang laut dengan amplitudo dan panjang gelombang yang lebih besar. Besarnya daya yang dimiliki oleh gelombang laut dapat dilihat pada persamaan (8) berikut ini.

$$P_w = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \left(\cos \frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (8)$$

Dari nilai  $P_w$  atau daya gelombang tersebut didapatkan persamaan gaya gelombang yaitu dapat dilihat pada persamaan (9) berikut ini.

$$F_{wave} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi c g} \left(\cos \frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (9)$$

Keterangan:

$g$  = percepatan gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$\rho$  = densitas air (1000kg/m<sup>3</sup>)

$H$  = tinggi gelombang (m)

$T$  = periode gelombang (s) ( Nuh & Hendrowati, 2017).

## 2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan pendekatan modern dalam peningkatan kualitas melalui eksperimen yang dirancang secara sistematis, sebagai alternatif yang memberikan reliabilitas setara dengan metode *Statistical Process Control* (SPC). Pendekatan *off-line* yang dikembangkan oleh Taguchi terbukti efisien dalam meningkatkan mutu serta menurunkan biaya produksi. Inti dari rekayasa kualitas menurut Taguchi adalah menciptakan produk atau proses yang memiliki kinerja andal dan tetap stabil meskipun dipengaruhi oleh faktor luar yang sulit dikendalikan. Untuk itu, Taguchi mengembangkan suatu pendekatan perancangan kualitas yang menyeluruh, yang mencakup tiga tahapan utama, yaitu:

- a. Perancangan Sistem (*System Design*)
- b. Perancangan Parameter (*Parameter Design*)
- c. Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*) (Ross, 1996).

Metode Taguchi termasuk dalam kategori *off-line quality control*, yaitu pengendalian kualitas yang bersifat preventif dan diterapkan pada tahap perancangan produk atau proses sebelum masuk ke tahap produksi di tingkat

*shop floor* Pengendalian kualitas secara *off-line* ini terdiri dari tiga tahapan utama (Parkhan & Ayu, 2008).

### **2.8.1 Tahap Perancangan Konsep**

Tahap ini berkaitan dengan pengembangan ide dalam proses perancangan produk yang didasarkan pada kebutuhan konsumen. Beberapa metode yang umum digunakan meliputi *Quality Function Deployment*, *Design of Experiments*, *Dynamic Signal-to-Noise Optimization*, *Competitive Technology Assessment*, *Theory of Inventive Problem Solving*, dan *Pugh Concept Selection*.

### **2.8.2 Tahap Perancangan Parameter**

Tahap ini bertujuan untuk mengoptimalkan tingkat faktor pengendali agar produk tetap stabil meskipun terpengaruh oleh faktor gangguan (*noise*), sehingga dikenal sebagai *Robust Design*. Beberapa metode yang digunakan dalam tahap ini meliputi *Engineering Analysis*, *Dynamic and Static Signal-to-Noise Optimization*, *The System P-Diagram*, dan *Crossed Array Experiment*.

### **2.8.3 Tahap Perancangan Toleransi**

Tahap ini bertujuan menyeimbangkan antara biaya dan kualitas produk melalui penerapan matriks ortogonal, fungsi kerugian, dan analisis varians. Metode yang digunakan pada tahap ini mencakup *Quality Loss Function*, *Analysis of Variance (ANOVA)*, dan *Design of Experiments* (Parkhan & Ayu, 2008).

## **2.9 Metode Anova**

Statistika adalah ilmu yang mempelajari tentang cara mengumpulkan data, mengolah data, merangkum, dan menyajikannya agar lebih mudah dipahami. Selain itu, statistika juga digunakan untuk menganalisis data sehingga dapat ditarik kesimpulan dan diambil keputusan dengan mempertimbangkan risiko

tertentu sesuai dengan kondisi yang ada. Salah satu metode statistika yang sering digunakan dalam penelitian atau observasi adalah *Analysis of Variance* (ANOVA). Metode ini digunakan untuk menganalisis apakah terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara beberapa kelompok data (Fitrayudha dkk., 2020). Untuk menganalisis tingkat signifikansi setiap variabel, digunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA). ANOVA membagi variasi total data menjadi dua komponen utama, yaitu variasi yang disebabkan oleh model dan variasi yang berasal dari kesalahan eksperimen (*error residual*). Pembagian ini bertujuan untuk mengetahui apakah variasi yang dijelaskan oleh model memiliki pengaruh yang signifikan dibandingkan dengan variasi akibat kesalahan. Perbandingan tersebut dilakukan menggunakan nilai F (F-value), yang diperoleh dari rasio antara *mean square* model dan *mean square error residual*. Selain itu, p-value digunakan untuk menguji signifikansi statistik dari masing-masing koefisien dalam model, sehingga dapat dipahami pola interaksi antarvariabel yang diteliti. Dalam tabel ANOVA, nilai *p-value* yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa efek tersebut signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95% (Zulkepli dkk., 2016).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang dimulai dari bulan Agustus 2025 sampai dengan bulan Desember 2025.

#### 3.2 Komponen peralatan model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (*rack and pinion*) searah

Adapun komponen peralatan yang digunakan pada model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (*rack and pinion*) searah antara lain sebagai berikut:

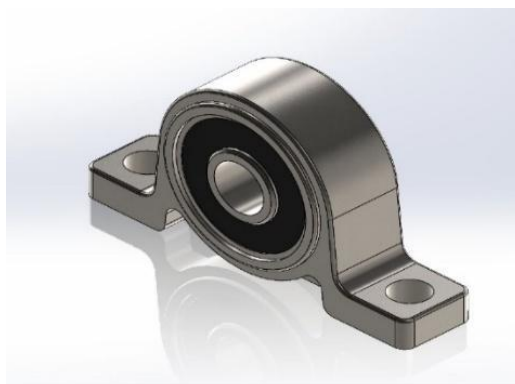
##### 3.2.1 Rangka

Rangka berfungsi sebagai struktur penopang bagi berbagai komponen dalam model pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Kontruksi rangka dirancang untuk menahan serta mendistribusikan beban dan gaya yang bekerja pada sistem secara optimal. Beban tersebut perlu didukung dan dialokasikan pada titik-titik tumpuan tertentu agar sistem dapat berfungsi secara efisien dan sesuai dengan tujuannya.

##### 3.2.2 *Pillow block bearing*

*Pillow block bearing* berfungsi sebagai penyangga poros berputar, yang dirancang untuk menahan beban radial serta beban aksial ringan dalam

berbagai aplikasi mekanis. Adapun *pillow block bearing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1. *Pillow block bearing*

Adapun spesifikasi dari *pillow block bearing* yang diperoleh dari buku panduan yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

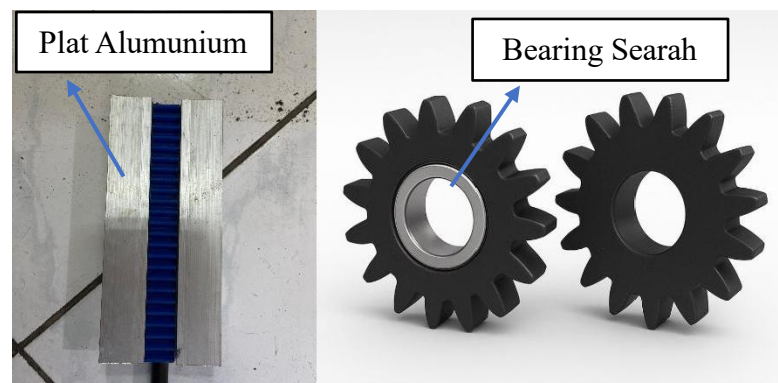
Tabel 3.1. Spesifikasi *Pillow Block Bearing*

<b>Spesifikasi</b>	<b>Data</b>
Wt. Kg	0.1
<i>Shaft size d (mm)</i>	10
<i>Dimensions (mm) A</i>	67
<i>Dimensions (mm) B</i>	16
<i>Dimensions (mm) E</i>	53
<i>Dimensions (mm) F</i>	35
<i>Dimensions (mm) G</i>	6
<i>Dimensions (mm) H</i>	18
<i>Dimensions (mm) L</i>	14
<i>Dimensions (mm) N</i>	4
<i>Dimensions (mm) S</i>	7
<i>Bolt size (mm)</i>	M6
<i>Standard part no.</i>	KP000-1-MM
<i>Corrosion resistant part no.</i>	KP000-1-MM-CR

Spesifikasi	Data
<i>Standard bearing no.</i>	K000-10MM
<i>Stainless bearing no.</i>	K000-10MM-CR
<i>Housing no.</i>	P000

### 3.2.3 *Rack and pinion*

*Rack and pinion* merupakan suatu mekanisme transmisi mekanik yang digunakan untuk mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linier, atau sebaliknya, melalui interaksi antara roda gigi (*pinion*) dan batang bergigi (*rack*). Adapun *rack and pinion* yang dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2. *Rack and pinion*

Komponen *rock and pinion* ini diproduksi menggunakan teknologi pencetakan tiga dimensi (*3D printing*). Teknologi *3D printing* memungkinkan pembuatan objek padat tiga dimensi dengan berbagai bentuk dan geometri berdasarkan file digital. Proses produksi diawali dengan perancangan model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD), yang kemudian diolah menjadi lapisan-lapisan tipis melalui proses *slicing*. Printer 3D kemudian membentuk objek secara bertahap dengan mencetak lapisan material secara berurutan, menggunakan bahan seperti plastik, logam, atau material lainnya sesuai dengan spesifikasi model digital. Pada implementasi ini, *rack and pinion* dicetak menggunakan material PLA+

(*Polylactic Acid Plus*) yaitu jenis polimer termoplastik yang bersifat ramah lingkungan karena berasal dari sumber alami. PLA+ memiliki keunggulan dalam menghasilkan permukaan cetakan yang lenih halus, tingkat detail yang tinggi, serta kemudahan dalam proses pencetakan karena dapat digunakan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan filamen lainnya. Adapun spesifikasi dari bahan PLA+ (*Polylactic Acid Plus*) yang diperoleh dari buku panduan yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Spesifikasi PLA+ (*Polylactic Acid Plus*)

<b>Kategori</b>	<b>Parameter</b>	<b>Data</b>
Kepatuhan termal	Suhu distorsi panas	53 °C, 0,45 Mpa
Kepatuhan termal	Indeks aliran leleh	5 g/10 menit (190°C/2,16kg)
Kepatuhan mekanis	Kepadatan	1,23 gram/cm <sup>3</sup>
Kepatuhan mekanis	Daya tarik	63 Mpa
Kepatuhan mekanis	Perpanjangan saat istirahat	20%
Kepatuhan mekanis	Kekuatan lentur	74 Mpa
Kepatuhan mekanis	Modulus lentur	1973 Mpa
Kepatuhan mekanis	Kekuatan dampak izod	9 kJ/m <sup>2</sup>
Kepatuhan mekanis	Daya tahan	4/10
Kepatuhan mekanis	Kemampuan mencetak	9/10
Parameter pencetakan 3d	Suhu ekstruder	210 – 230°C (Suhu yang disarankan 215°C)
Parameter pencetakan 3d	Suhu tempat tidur	45 – 60°C
Parameter pencetakan 3d	Kecepatan kipas	100%

Kategori	Parameter	Data
Parameter pencetakan 3d	Kecepatan pencetakan	40 – 100 mm/detik
Parameter pencetakan 3d	Permukaan bangunan yang direkomendasikan	Kertas masking, lem padat PVP, PEI

Pada bagian *rack* dilengkapi dengan pelat di sisi samping yang berfungsi sebagai elemen penahan untuk mencegah pergeseran posisi *pinion*. Komponen *pinion* menggunakan *bearing* searah, yaitu bantalan yang dirancang untuk menahan beban hanya dalam satu arah, baik aksial maupun radial. Bantalan ini memungkinkan rotasi bebas pada satu arah, namun membatasi atau menahan gerakan pada arah sebaliknya, sesuai dengan arah beban yang bekerja. Adapun spesifikasi dari bearing searah ini yang diperoleh dari buku panduan yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3. Spesifikasi Bearing Searah

Spesifikasi	Data
Diameter dalam	10 mm
Diameter luar	16 mm
Tebal	8 mm
No. model	EWC 1008

#### 3.2.4 Pulley

*Pulley* merupakan elemen mekanis yang berfungsi untuk mentransmisikan daya antar poros melalui media sabuk (*belt*). Mekanisme ini berkerja dengan cara mengubah arah gaya, mentransfer gerakan, serta mengatur arah rotasi. Sistem ini terdiri dari dua atau lebih pulley, dimana *pulley* penggerak (*driver pulley*) mentransfer energi mekanik ke pulley penerima (*driven pulley*) melalui sabuk yang terpasang diantaranya. Adapun *pulley* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

Gambar 3.3. *Pulley*

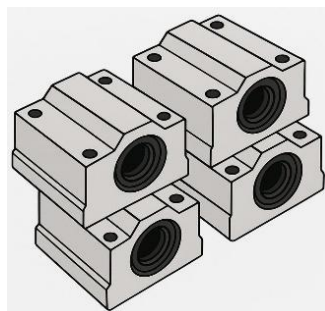
Adapun spesifikasi dari *pulley* dan *round belt* yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4. Spesifikasi *pulley*

<b>Kategori</b>	<b>Diameter luar (mm)</b>	<b>Diameter dalam (mm)</b>	<b>Jumlah alur</b>
<i>Pulley 1</i>	51	10	2
<i>Pulley 2</i>	25	8	2

### 3.2.5 *Linier bearing*

*Linier bearing* merupakan komponen mekanis yang berfungsi untuk mengurangi gaya gesek antara elemen yang bergerak, guna memungkinkan tranlasi *linier* dari poros dengan efesiensi tinggi dan tingkat akurasi yang stabil dalam satu arah gerak tertentu. Adapun *linier bearing* yang dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.

Gambar 3.4. *Linear bearing*

Adapun spesifikasi dari *linier bearing* yang diperoleh dari buku panduan yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut:

Tabel 3.5. Spesifikasi *linier bearing*

<b>Parameter</b>	<b>Data</b>
<i>Built-in bearing</i>	LM10UU
<i>Shaft diameter</i>	10 mm
Seal	2RS
W	40 mm
<i>Balls material</i>	<i>Chrome steel</i>
<i>Rolling element material</i>	<i>Chrome steel</i>
L	35 mm
<i>Cage material</i>	<i>Resin, steel</i>
F	26 mm
<i>Outer covering material</i>	<i>Aluminum alloy</i>
<i>Product weight</i>	0.092 kg

### 3.2.6 Kotak *display*

Kotak *display* berfungsi sebagai wadah sistematis yang dirancang untuk menampung dan mengatur berbagai komponen elektronik secara terorganisir. Tujuan dari penggunaan kotak ini adalah untuk memudahkan proses pemantauan, akses, serta menjaga kerapian dan keamanan seluruh komponen yang terintegrasi di dalamnya. Komponen-komponen utama yang terpasang di dalam kotak *display* antara lain sebagai berikut:

a. *Shunt* resistor

*Shunt* merupakan jenis resistor dengan nilai resistansi yang sangat rendah, berfungsi sebagai sensor arus. Prinsip kerjanya didasarkan pada pendeteksian penurunan tegangan (*voltage drop*) yang terjadi akibat aliran arus listrik melintasi resistor tersebut, sehingga memungkinkan perhitungan arus secara tidak langsung.

b. Lampu LED (*Light Emitting Diode*)

Lampu LED digunakan sebagai indikator visual untuk memberikan informasi mengenai status operasional dari sistem. Komponen ini

berfungsi sebagai penanda aktif atau tidaknya suatu perangkat atau kondisi tertentu dalam sistem.

c. *Digital power meter*

*Digital power meter* adalah modul elektronik yang berfungsi sebagai sensor pemantauan parameter kelistrikan pada arus searah (DC). Modul ini mampu mengukur dan menampilkan nilai tegangan, arus, daya, serta energi listrik secara real-time.

d. Sensor Tegangan DC

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur tegangan listrik arus searah (DC) sebagai bagian dari pemantauan sistem kelistrikan agar tetap beroperasi dalam batas aman dan sesuai dengan kebutuhan perangkat. Sensor tegangan DC ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Sensor Tegangan DC

(Sumber: Prabowo, dkk., 2020)

Adapun spesifikasi dari sensor tegangan DC yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut:

Tabel 3.6. Spesifikasi sensor tegangan DC

Parameter	Data
Resolusi tegangan analog	0,00489 V
Berat	4 g
Rentang deteksi tegangan	DC 0,02445 V to 25 V
Dimensi	28×14×13 mm (p×l×t)
Rentang tegangan input	DC 0 to 25 V

e. Sensor Arus INA 219

Sensor INA 219 memiliki fungsi melacak arus dan tegangan pada rangkaian listrik dan dilengkapi dengan interface I2C dan Smbus – Kompatibel yang memiliki kemampuan untuk melacak suplai tegangan dan shunt melalui konversi program dan filtering (Prasetyo dkk., 2021). Adapun sensor Arus INA 219 yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6. Sensor Arus INA 219

(Sumber: Prasetyo, dkk., 2021)

Adapun spesifikasi dari sensor arus 5A yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut:

Tabel 3.7. Spesifikasi sensor arus 5A

Parameter	Data
Tegangan Suplai	4,5V~5,5V DC
Rentang Deteksi Arus	-5A~5A
Sensitivitas	185 mV/A
Berat	3 g
Dimensi	31 × 13 × 14 mm (p × l × t)

f. Arduino

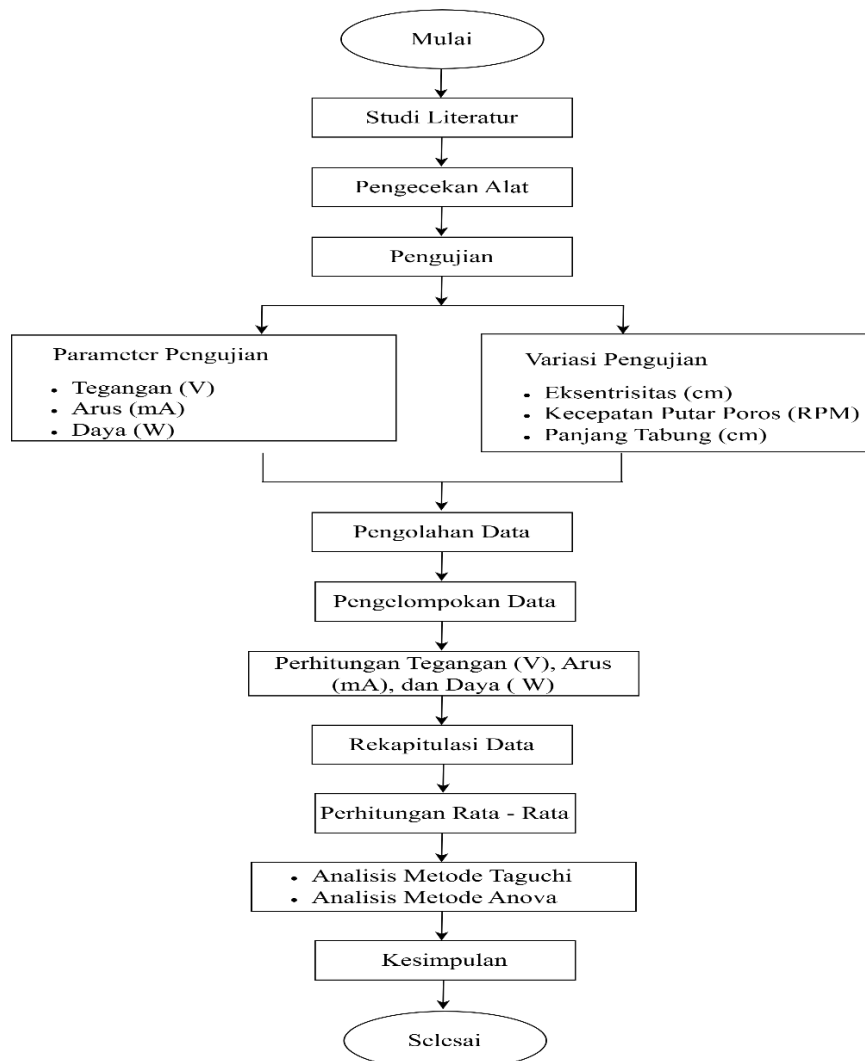
Arduino adalah mikrokontroler berbasis *open-source* yang dapat diprogram untuk mengendalikan berbagai perangkat elektronik melalui pemrosesan *input* dan pengeluaran *output* secara otomatis. Adapun arduino yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7. Kotak Display

### 3.3 Alur Penelitian

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



Gambar 3.8. *Flow Chart* Penelitian

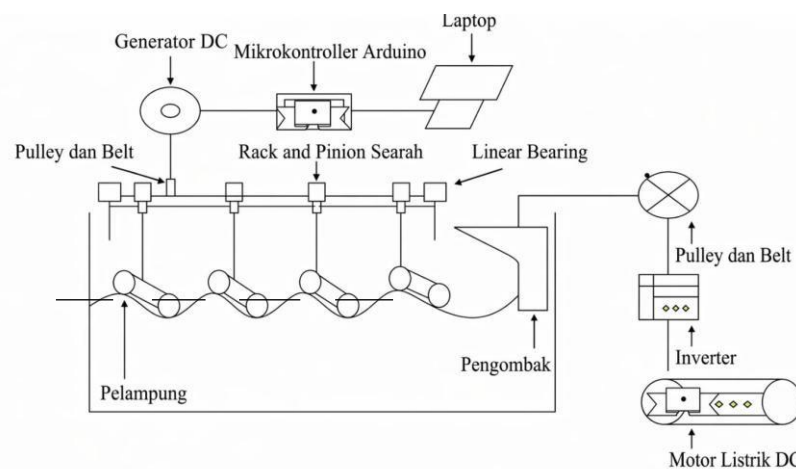
### 3.4 Sistem Alat Pengujian

Sketsa alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut ditunjukkan pada Gambar 3.9 Proses pengoperasian diawali dengan pengaturan kecepatan putar (RPM) pada motor penggerak sistem pembangkit gelombang. Penelitian ini menggunakan tiga variasi kecepatan putar 46, 56, 62 RPM, di mana setiap variasi menghasilkan karakteristik gelombang yang berbeda, meliputi panjang gelombang, frekuensi, periode, dan tinggi gelombang. Selain variasi kecepatan, penelitian ini juga melakukan pengaturan jarak eksentrisitas pada mekanisme pengombak. Eksentrisitas merupakan jarak antara pusat putaran poros dengan titik tumpu lengan eksentrik yang berfungsi menghasilkan gerakan osilasi. Variasi jarak eksentrisitas memengaruhi amplitudo gerakan mekanisme, sehingga berdampak langsung terhadap tinggi dan energi gelombang yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan tiga variasi eksentrisitas 2, 3, dan 4. Setelah parameter kecepatan dan eksentrisitas diatur, tahap selanjutnya adalah pemasangan pelampung. Penelitian ini menggunakan variasi panjang pelampung, yaitu 50 cm, 55 cm, dan 60 cm, dengan diameter yang sama untuk menjaga konsistensi parameter perbandingan. Pada desain sebelumnya, pelampung memiliki diameter 3 inci dan panjang 300 mm, namun daya listrik yang dihasilkan relatif rendah. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi dengan memperbesar dimensi pelampung menjadi diameter 6 inci dan panjang 600 mm guna meningkatkan respon gerak terhadap gelombang dan mengoptimalkan daya keluaran.

Setelah pelampung terpasang pada batang penghubung, motor listrik DC diaktifkan untuk menghasilkan gelombang buatan. Gelombang yang terbentuk menyebabkan pelampung bergerak naik dan turun mengikuti osilasi permukaan air. Gerakan vertikal ini diteruskan melalui batang pelampung menuju sistem *rack and pinion*. Pergerakan naik-turun pelampung menggerakkan *pinion* sepanjang lintasan *rack gear*. Pada sistem tersebut dipasang *bearing* satu arah (*one-way bearing*) sehingga hanya gerakan satu arah yang ditransmisikan ke poros, sementara gerakan balik tidak diteruskan. Mekanisme ini berfungsi mengonversi gerak vertikal menjadi gerak rotasi

pada poros. Selanjutnya, poros dihubungkan dengan sistem *pulley* dan *belt* dengan rasio perbandingan 4:1 untuk meningkatkan kecepatan putar sebelum diteruskan ke generator. Generator berfungsi mengonversi energi mekanik hasil rotasi menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke perangkat display pembacaan listrik serta mikrokontroler Arduino. Arduino yang telah dikonfigurasi dan dikalibrasi digunakan untuk merekam parameter listrik berupa tegangan dan arus.

Data hasil pengukuran ditampilkan melalui perangkat lunak Arduino IDE yang terhubung dengan komputer. Variasi kecepatan RPM dilakukan dengan mengatur sistem penggerak pembangkit gelombang, sedangkan variasi panjang pelampung dilakukan dengan mengganti pelampung sesuai ukuran yang telah ditentukan. Setiap kondisi pengujian dilakukan selama 1 menit dan diulang sebanyak tiga kali untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas data. Hasil pengujian yang diperoleh dari kombinasi variasi eksentrisitas, Panjang tabung, dan kecepatan putar. Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dimensi pelampung, kecepatan putar, dan jarak eksentrisitas terhadap performa sistem konversi energi gelombang laut dalam menghasilkan daya listrik, sehingga dapat diperoleh konfigurasi yang lebih optimal dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut skala laboratorium. Adapun Skema alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9. Skema Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

### 3.5 Peralatan Eksperimen

Adapun peralatan yang digunakan untuk eksperimen pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

#### 1. Media pembangkit gelombang

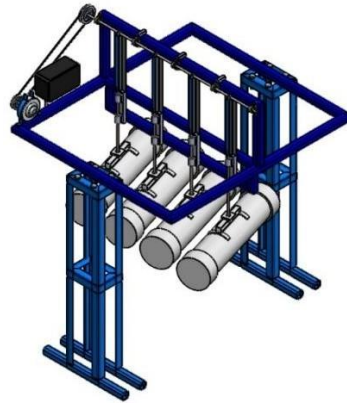
Alat ini merupakan perangkat pembangkit gelombang air dengan frekuensi yang dapat diatur, berfungsi sebagai sumber utama dalam pengujian sistem pembangkit listrik berbasis energi gelombang laut. Media pembangkit gelombang tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10. Media Pembangkit Gelombang

#### 2. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (*rack and pinion*) searah

Berikut ini merupakan model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (*rack and pinion*) searah yang dirancang menggunakan perangkat lunak solidworks, dengan mekanisme roda gigi tipe *rack and pinion* yang bergerak searah, dimana gerakan linier akibat naik turunnya gelombang diteruskan melalui mekanisme *rack and pinion* menjadi gerakan rotasi guna memutar poros generator. Gambar model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (*rack and pinion*) dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah

### 3. *Avometer* (Multitester)

*Avometer* merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan mekanisme *rack and pinion* searah. *Avometer* berfungsi untuk memverifikasi kestabilan keluaran listrik generator, sehingga berperan penting dalam pengujian dan validasi kinerja sistem. Adapun *avometer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 *Avometer* (Multitester)

4. Laptop
5. *Software arduino*
6. Kunci pas ring 12 mm

### 3.6 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen dalam penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Struktur, Universitas Lampung. Dalam penelitian ini, digunakan metode Taguchi untuk merancang eksperimen yang bertujuan mengevaluasi efisiensi konversi energi gelombang menjadi energi listrik. Metode Taguchi dipilih karena kemampuannya dalam mengoptimalkan parameter proses dengan jumlah eksperimen yang minimal, namun tetap mampu memberikan informasi yang signifikan mengenai pengaruh tiap faktor terhadap hasil keluaran. Terdapat tiga faktor utama yang dikaji dalam penelitian ini, masing-masing memiliki tiga level variasi, yaitu:

1. Kecepatan Putaran Poros (RPM): 46, 56, dan 62 rpm
2. Eksentrisitas: 2 cm, 3 cm, dan 4 cm
3. Panjang pipa: 50 cm, 55 cm, dan 60 cm

Dengan konfigurasi tersebut, digunakan desain eksperimen ortogonal array L9 ( $3^3$ ) yang menghasilkan sembilan kombinasi percobaan. Setiap kombinasi merepresentasikan satu kondisi unik dari parameter input. Pada masing-masing kombinasi, dilakukan pengukuran terhadap variabel output yang terdiri dari tegangan (Volt), arus (mA), daya listrik (Watt). Adapun kombinasi rancangan eksperimen yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.18 berikut:

Tabel 3.8 Kombinasi Rancangan Eksperimen

	Eksentrisitas (cm)	RPM	Panjang Tabung (cm)	Hasil	Nilai Rata - Rata	Nilai Standar Deviasi
<b>variasi 1</b>	2	46	50	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 2</b>	2	56	55	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		

Tabel 3.8 Kombinasi Rancangan Eksperimen

	Eksentrisitas (cm)	RPM	Panjang Tabung (cm)	Hasil	Nilai Rata - Rata	Nilai Standar Deviasi
<b>variasi 3</b>	2	62	60	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 4</b>	2	56	55	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 5</b>	3	56	60	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 6</b>	3	62	50	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 7</b>	4	46	60	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 8</b>	4	56	50	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		
<b>variasi 9</b>	4	62	55	Tegangan (V)		
				Arus (mA)		
				Daya (W)		

### 3.7 Prosedur pengambilan data

Adapun prosedur pengambilan data yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan seluruh peralatan eksperimen yang meliputi media pembangkit gelombang, AVO meter, pipa silinder dengan panjang 60cm, 55,cm, dan 50 cm, model pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan mekanisme *gear* tipe *rack and pinion* searah, kunci pas ring berukuran 12 mm, serta laptop yang telah terinstal perangkat lunak Arduino.
2. Mengatur nilai eksentrisitas pada media pembangkit gelombang menggunakan kunci pas ring 12 mm dengan tiga variasi eksentrisitas, yaitu 2 cm, 3 cm, dan 4 cm. Selain itu, dilakukan penggantian pipa uji dengan variasi panjang 50 cm, 55 cm, dan 60 cm. Selanjutnya, sistem dioperasikan pada tiga variasi kecepatan putar, yaitu 46 rpm, 56 rpm, dan 62 rpm, guna menganalisis pengaruh perubahan eksentrisitas, panjang pipa, dan kecepatan putar terhadap karakteristik gelombang yang dihasilkan.
3. Menyalakan laptop dan membuka aplikasi Arduino, kemudian menghubungkan laptop dengan mikrokontroler Arduino Uno yang terdapat dalam kotak display pembangkit listrik tenaga gelombang laut.
4. Menyambungkan media pembangkit gelombang ke sumber listrik.
5. Mengaktifkan media pembangkit gelombang dengan menyalakan inverter melalui tombol ON, kemudian melakukan pengaturan kecepatan putar dengan memutar potensiometer inverter sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan.
6. Melakukan kalibrasi terhadap parameter tegangan, arus, dan daya menggunakan AVO meter dengan cara menghubungkan kedua probe ke sensor yang tersedia pada kotak display.
7. Mencatat data hasil pengukuran yang ditampilkan pada monitor selama durasi satu menit.
8. Mematikan media pembangkit gelombang dengan memutar kembali potensiometer ke posisi 0 dan menekan tombol OFF.

9. Menunggu hingga kondisi permukaan air pada media pembangkit gelombang kembali stabil sebelum melanjutkan percobaan.
10. Mengulangi langkah ke-5 hingga ke-9 sebanyak 9 kali dalam 3 variasi guna memperoleh hasil data yang konsisten.
11. Melakukan pengulangan prosedur dari langkah ke-2 hingga ke-10 untuk setiap nilai variasi eksentrisitas yang telah ditentukan.
12. Selesai.

### 3.8 Pengolahan Data Taguchi

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode taguchi langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor merupakan aspek penting untuk memastikan ketelitian hasil eksperimen. Perhitungan derajat kebebasan digunakan untuk menentukan jumlah minimum percobaan yang diperlukan dalam menyelidiki faktor-faktor yang diamati.
2. Pemilihan matriks ortogonal yang tepat ditentukan berdasarkan jumlah faktor, tingkat interaksi yang diharapkan, serta jumlah level pada masing-masing faktor. Penempatan faktor-faktor, baik faktor kontrol maupun faktor gangguan beserta interaksinya, pada *orthogonal array* yang dipilih dilakukan dengan mengacu pada grafik linier dan tabel triangular. Grafik linier digunakan untuk menunjukkan kolom yang sesuai bagi setiap faktor, sedangkan tabel triangular memuat seluruh kemungkinan hubungan interaksi antar faktor (kolom) dalam suatu *orthogonal array*, sebagaimana dirancang oleh Taguchi.
3. Perhitungan *main effect* atau efek faktor utama merujuk pada analisis pengaruh masing-masing faktor maupun interaksinya terhadap hasil eksperimen. Terdapat dua metode perhitungan yang umum digunakan, yaitu:
  - a. Metode Rata-rata (*Average* atau *Standard Method*)  
Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh setiap faktor dan interaksi terhadap nilai tengah hasil yang diharapkan.

b. Metode Rasio S/N (*Signal-to-Noise Ratio*)

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh faktor dan interaksi terhadap tingkat variasi atau sebaran hasil yang diharapkan. Nilai yang diharapkan merupakan nilai yang bersifat meningkat, di mana semakin tinggi nilainya menunjukkan kualitas yang semakin baik. Formulasi fungsi tersebut dapat dilihat pada persamaan (10).

$$\eta = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (10)$$

4. Analisis data mencakup proses pengumpulan, pengorganisasian, dan pengolahan data, yang meliputi perhitungan serta penyajian hasil menggunakan metode statistik, seperti analisis variansi, uji hipotesis, dan penerapan rumus empiris pada data hasil percobaan.
5. Interpretasi hasil dilakukan setelah tahap percobaan dan analisis selesai, yang mencakup perhitungan persentase kontribusi serta penentuan selang kepercayaan faktor pada kondisi perlakuan selama pelaksanaan percobaan.
6. Percobaan konfirmasi merupakan tahap pengujian yang dilakukan untuk memverifikasi kesimpulan yang diperoleh. Tujuannya adalah memastikan kebenaran dugaan yang dibuat pada saat penentuan model performansi, faktor dan interaksinya, serta pengaturan parameter (faktor) optimal berdasarkan hasil analisis percobaan, sehingga dapat mencapai performansi yang diharapkan.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan melalui serangkaian pengujian eksperimental terhadap model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe gear (*rack and pinion*) searah pada skala laboratorium, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian skala laboratorium, kinerja model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe *gear rack and pinion* searah dievaluasi melalui parameter keluaran berupa tegangan, arus, dan daya listrik. Model yang dirancang menunjukkan kemampuan dalam mengonversi energi mekanik gelombang menjadi energi listrik, yang ditunjukkan oleh adanya keluaran listrik pada setiap variasi pengujian. Nilai kinerja optimum ditunjukkan pada kondisi tertentu, yaitu tegangan rata-rata tertinggi sebesar 9,740 V pada eksentrisitas 4 cm, kecepatan putar poros 56 rpm, dan panjang tabung 60 cm. Sementara itu, arus tertinggi sebesar 69,30 mA diperoleh pada eksentrisitas 4 cm, kecepatan putar poros 56 rpm, dan panjang tabung 50 cm, serta daya maksimum sebesar 0,734 W dihasilkan pada eksentrisitas 4 cm, kecepatan putar poros 46 rpm, dan panjang tabung 50 cm. Fluktuasi tegangan dan arus yang terjadi selama pengujian menunjukkan respons sistem terhadap dinamika gerakan gelombang. Secara keseluruhan, hasil tersebut mengindikasikan bahwa model pembangkit memiliki kinerja yang fungsional dan cukup stabil, serta menunjukkan potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam pemanfaatan energi gelombang laut.

2. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, variasi parameter pengujian yang meliputi eksentrisitas, kecepatan putar poros, dan panjang tabung berpengaruh terhadap kinerja model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe *gear rack and pinion* searah. Perubahan pada masing-masing parameter tersebut menyebabkan perbedaan nilai keluaran tegangan, arus, dan daya listrik selama proses pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi eksentrisitas sebesar 4 cm menghasilkan keluaran listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Selain itu, variasi kecepatan putar poros dan panjang tabung juga memberikan kontribusi terhadap perubahan besaran energi listrik yang dihasilkan, meskipun tidak sebesar pengaruh eksentrisitas. Berdasarkan hasil analisis varians (ANOVA), diperoleh nilai *p-value* untuk tegangan sebesar 0,009, arus sebesar 0,094, dan daya sebesar 0,064. Nilai *p-value* pada parameter tegangan menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik, sedangkan pada arus dan daya menunjukkan kecenderungan pengaruh yang lebih rendah. Hasil ini mengindikasikan bahwa faktor eksentrisitas merupakan parameter yang paling dominan dalam mempengaruhi kinerja sistem dibandingkan dengan parameter lainnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter tersebut berperan dalam menentukan kinerja sistem, namun eksentrisitas memiliki pengaruh yang paling signifikan dalam proses konversi energi gelombang menjadi energi listrik.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, terdapat tiga saran yang dapat diajukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Sistem transmisi mekanik, khususnya pada komponen *rack and pinion* serta *one-way bearing*, perlu dioptimalkan melalui pemilihan material dengan ketahanan aus yang baik serta penerapan toleransi manufaktur yang lebih presisi untuk meminimalkan kehilangan energi akibat gesekan.

Selain itu, diperlukan peningkatan kualitas pelumasan guna mengurangi hambatan gerak dan meningkatkan efisiensi mekanis sistem.

2. Rasio *pulley* dan *belt* perlu ditingkatkan untuk memperoleh perbandingan putaran yang lebih optimal antara input dan output. Penyesuaian rasio ini diharapkan mampu meningkatkan kecepatan putar generator sehingga keluaran daya listrik dapat meningkat secara signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, M. I., & Syarif, A. (2025). *Kaji Eksperimental Daya Apung Dan Frekwensi Natural Pada Sepeda Air (Waterbike)*. Jurnal MAHANDIA, 9(1), 39-48.
- Amarkarthik, A., Chandrasekaran, S., Sivakumar, K., & Sinhmar, H. (2012). *Laboratory experiment on using non-floating body to generate electrical energy from water waves*. Frontiers in Energy, 6(4), 361-365.
- Aprianto, R., Dianiswara, A., & Rahayuningsih, S. (2022, July). *Desain Catenary Mooring Line Pada Struktur Pemecah Gelombang Terapung dengan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut*. In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (Vol. 13, No. 01, pp. 780-786).
- Arianty, N., Mudin, Y., & Rahman, A. (2017). *Pemodelan refraksi gelombang dan analisis karakteristik gelombang laut di Perairan Teluk Palu*. Gravitasi, 16(2).
- Ariefianto, R. M., Hadiwidodo, Y. S., & Rahmawati, S. (2022). *Experimental study of a wave energy converter using a unidirectional cascaded gear system in a short-wave period*. International Journal of Technology, 13(2), 321-331.
- Arifin, J. (2020). *Prototip Oscillating Water Columb (Owc)*. Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 5(1).
- Bangguna, D. S. (2013). *Besarnya Koefisien Hambat (CD) Silt Screen Akibat Gaya Arus Dengan Model Pelampung Paralon Dan Kayu*. Maroso: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sintuwu Maroso, 1(01).
- Binh, P. C., Tri, N. M., Dung, D. T., Ahn, K. K., Kim, S. J., & Koo, W. (2016). *Analysis, design and experiment investigation of a novel wave energy converter*. IET Generation, Transmission & Distribution, 10(2), 460-469.
- Budiman, A., Asy'ari, H., & Hakim, A. R. (2012). *Desain Generator Magnet Permanen Untuk Sepeda Listrik*. Jurnal Emitor, 12(01), 59-67.

- Chandrasekaran, S., Amarkarthik, A., Sivakumar, K., Selvamuthukumar, D., & Sidney, S. (2013). *Experimental investigation and ANN modeling on improved performance of an innovative method of using heave response of a non-floating object for ocean wave energy conversion*. *Frontiers in Energy*, 7(3), 279-287.
- Chandrasekaran, S., & Raghavi, B. (2015). *Design, development and experimentation of deep ocean wave energy converter system*. *Energy procedia*, 79, 634-640.
- Cruz, J. (2007). *Ocean wave energy: current status and future perspectives*. Springer Science & Business Media.
- Dean, R.G., dan Dalrymple, R.A., 1984. *Water Wave Mechanics or Engineer and Scientists*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey.
- Dijkstra, H. A. (2008). *Dynamical oceanography* (Vol. 1, No. 4). Berlin: Springer.
- Drew, B., Plummer, A. R. and Sahinkaya, M. N. (2009). *A Review Of Wave Energy Converter Technology, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 223(8), pp. 887–902.
- Falnes, J. (2007). A review of wave-energy extraction. *Marine structures*, 20(4), 185-201.
- Falnes, J., & Kurniawan, A. (2020). *Ocean Waves and Oscillating Systems: Linear Interactions Including Wave Energy Extraction* (Vol.8). Cambridge University Press.
- Fitrayudha, A., Fajrin, J., & Anshari, B. (2020). *Analisis sifat mekanis komposit polyester sisal menggunakan metode anova*. *Jurnal Binawakya*, 14(7), 2817-2824.
- 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.
- Holthuijsen L.H. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. New York: Cambridge University Press.
- Irwan, I., & Suaib, S. (2022). *Potensi Pemanfaatan Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik di Desa Sapolohe, Kabupaten Bulukumba*. *Hydro Engineering*, 15 (2), 51-57.
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., & Suratno, S. (2011). *Variasi bulanan gelombang laut di Indonesia*. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3).
- Lebe, E. (2015). *Aliran Filsafat yang Mempengaruhi Konsep Fisika (Mekanika)*.

- 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.
- Lok, K. S. K. (2010). *Optimisation of the output of a heaving wave energy converter*. The University of Manchester (United Kingdom).
- Mustofa, Y. B., Arief, I. S., & Amiadji, A. (2012). *Analisa Gerakan Ponton Model Tripod untuk Energi Gelombang Sistem Bandulan*. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), G203-G206.
- Nichols, C.R., & Williams R.G. (2009). *Encyclopedia of Marine Science*. New York: Fact on File Inc.
- Noptian, S. R., Suhendi, A., & Salam, R. A. (2020). *Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Laut Menggunakan Accelerometer Berbasis Iot*. *eProceedings of Engineering*, 7(2).
- Nugroho, W. H. (2011). *Potensi Rancang Bangun Platform Tepi/Lepas Pantai Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Material PZT (Piezoceramics)*. *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 5(1), 1-4.
- Nuh, A. F., & Hendrowati, W. (2017). *Studi eksperimental energi listrik yang dihasilkan oleh mekanisme ocean wave energy harvester tipe pelampung bola dengan metode cantilever piezoelectric* (Doctoral dissertation, Sepuluh Nopember Institute of Technology).
- Nurkalam, T., M. 2025. *Rancang Bangun dan Pengujian Model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Gear (Rack and Pinion) Searah*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Oliveira, T. R. de, & Lemos, N. A. (2017). *Force and torque of a string on a pulley*. *arXiv*.
- Parjiman, P., Daryanto, D., Subekti, M., & Rif'an, M. (2015). *Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)*. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 50-55.
- Parkhan, A., & Ayu, R. E. P. (2008). *Setting Kombinasi Level Faktor Optimal Pembuatan Produk Toples Menggunakan Metode Taguchi*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*.
- Paundra, F., & Nurdin, A. (2022). *Study of the potential and development of renewable energy power in Indonesia: A review*. *Steam Engineering*, 3(2), 62-72.
- Pinet, P. R. (2019). *Invitation to oceanography*. Jones & Bartlett Learning.

- Prabowo, B. D., Siregar, I. R. S., Faidil, A., Alham, N. R., & Afandi, M. J. N. (2020). *Pengukuran arus dan tegangan pada prototipe PLTMH berbasis arduino dan multimeter*. Jurnal Media Elektro, 45-52.
- Pudjanarsa, A., & Nursuhud, D. (2006). *Mesin Konversi Energi* Yogyakarta; Penerbit Andi.
- Putri, R., Prayitnadi, R. P., & Wibowo, B. S. (2021, December). *Analisa Gaya Batang Lingkage Pada desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut*. In Proceedings Of National Colloquium Research and Community Service (Vol. 5, pp. 238-243).
- Prasetyo, Mochamad Aji, and Humaidillah Kurniadi Wardana. 2021. *Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino Dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT*. RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) 4 (2): 163.
- Rahman, S., Baeda, A. Y., & Umar, H. (2016). *Potensi Energi Gelombang sebagai Sumber Energi Alternatif di Pulau-Pulau Terluar Wilayah NKRI*. Jurnal Penelitian Enjiniring, 20(2), 32-38.
- Ross. P.J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, 2 nd Edition, Mc Graw – Hill Companies Inc., New York, 1996.
- Sinensis, A. R. (2017). *Sejarah dan filsafat sains sebagai pendekatan dalam pengajaran fisika pada konsep archimedes*. JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah), 1(1), 23-28.
- Sulistiyowati, R., & Febriantoro, D. D. (2012). *Perancangan prototype sistem kontrol dan monitoring pembatas daya listrik berbasis mikrokontroler*. Jurnal Iptek, 16(1).
- Susanto, I. (2016). *Studi Karakteristik Energi Listrik yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Metode Pelampung dengan Variasi Dimensi Pelampung dan Panjang Lengan* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Tae, V., Jasron, J. U., Nurhayati, N., & Koehuan, V. A. (2015). *Perencanaan Turbin Wells Sistem Osilasi Kolom Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Kapasitas 10 kW*. LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana (LJTMU), 2(2), 73-80.
- Thorpe, T. W. (1999). *A Brief Review Of Wave Energy*.
- Triatmodjo, B. (1996). *Perencanaan Pelabuhan, Beta Offset*. Yogyakarta. Capt. I Kadek Laju, SH., MM., M. Mar., lahir di.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai* (Yogyakarta: Beta Offset).

Waldopo. (2008). Perairan Darat dan Laut. Dra. Asih Priati, 7.

Zulkepli, S. A., Abdullah, M. P., & Khalik, W. M. A. W. M. (2016). *Removal of malachite green dye from aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes: An application of experimental design. Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20(2), 258–271.