

LAPORAN TUGAS AKHIR
PROTOTYPE

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN *RECOIL STARTER*
PADA KAPAL PROTOTIPE**



VIKRUL IRSYAD
NIT 09 21 014 1 07

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN *RECOIL STARTER*
PADA KAPAL PROTOTIPE**



VIKRUL IRSYAD

NIT 09 21 014 1 07

Disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : VIKRUL IRSYAD
Nomor Induk Taruna : 09 21 014 1 07
Program Studi : TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN
KAPAL

Menyatakan bahwa Karya Ilmiah Terapan yang saya tulis dengan judul :

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG
LAUT MENGGUNAKAN *RECOIL STARTER* PADA KAPAL PROTOTIPE**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam Karya Ilmiah Terapan tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 14 FEBRUARI 2026



VIKRUL IRSYAD
NIT. 09.21.014.1.07

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : RANCANG BANGUNG PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN
RECOIL STARTER PADA KAPAL PROTOTIPE

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : VIKRUL IRSYAD

NIT : 09 21 014 10 7

Jenis Tugas Akhir : Prototype / Proyek / Karya Ilmiah-Terapan

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui
untuk dilaksanakan Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 09 Agustus 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



DIANA ALIA, S.T, M. Eng
NIP. 199106062019022003



BUGI NUGRARA, SST., M. M. Tr.
NIP. 1987081420190021001

Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya



DHIRHAMSYAH, S. E., M. Pd.
NIP. 197504302002121002

PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR

Judul : Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang
Laut Menggunakan *Recoil Starter* Pada Kapal Prototipe

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : Vikrul Irsyad

NIT : 09.21.014.1.07

Jenis Tugas Akhir : Prototype / Proyek / Karya Ilmiah Terapan*


Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Uji Kelayakan Seminar Hasil


Surabaya, 22 Januari 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I


Dosen Pembimbing II


DIANA ALIA, S.T., M.Eng.
NIP. 199106062019022003


BUGI NUGRAHA, SST., M. M. Tr.
NIP. 1987081420190021001

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


Dirhamsyah, S.E., M.Pd.
NIP.197504302002121002

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
PROTOTYPE/PROYEK/KARYA ILMIAH TERAPAN**

**RANCANG BANGUNG PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN RECOIL STARTER
PADA KAPAL PROTOTIPE**

Disusun oleh:

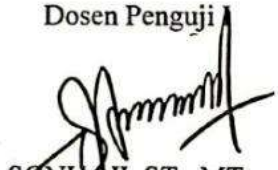
**VIKRUL IRSYAD
NIT. 09121014107**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

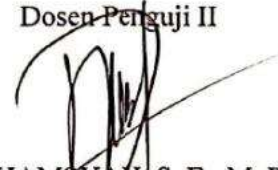
Surabaya, *08* SEPTEMBER 2025

Mengesahkan,


Dosen Penguji


SONHAJI, ST., MT.
NIP. 197707132023211004

Dosen Penguji II



DIRHAMSYAH, S. E., M. Pd.
NIP. 197504302002121002

Dosen Penguji III


DIANA ALIA, S.T., M.Eng.
NIP. 199106062019022003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


DIRHAMSYAH, S. E., M. Pd.
NIP. 197504302002121002

PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
PROTOTYPE/PROYEK/KARYA ILMIAH TERAPAN/KARYA TULIS
ILMIAH

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN RECOIL STARTER
PADA KAPAL PROTOTIPE

Disusun oleh:

VIKRUL IRSYAD
NIT. 0921014107

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya


Surabaya, *28 Januari*... 2026

Mengesahkan,


Dosen Penguji I


SONHAJI, ST., MT.
NIP. 197707132023211004

Dosen Penguji II



DIRHAMSYAH, S.E., M. Pd.
NIP. 197504302002121002

Dosen Penguji III


DIANA ALVA, S.T., M.Eng.
NIP. 199106062019022003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


DIRHAMSYAH, S.E., M. Pd.
NIP. 197504302002121002

ABSTRAK

VIKRUL IRSYAD, (2025) “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan *Recoil Starter* Pada Kapal Prototipe”. Dibimbing oleh Ibu Diana Alia, S. T, M. Eng, dan Bapak Bugi Nugraha, SST., M. M. Tr.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang memanfaatkan gerakan vertikal pelampung sebagai sumber energi mekanik, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sistem *recoil starter*. Sistem ini dirancang untuk diaplikasikan pada bagian belakang kapal prototipe. Gerakan naik-turun pelampung akibat gelombang laut diteruskan ke *recoil starter* melalui tali penggerak. Energi mekanik dari *recoil starter* kemudian dikonversi menjadi putaran satu arah yang stabil dan dialirkan ke *gearbox* untuk meningkatkan kecepatan rotasi sebelum akhirnya memutar generator DC (*Direct Current*). Listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai 12VDC VDC (*Voltage Direct Current*) dengan dukungan *buck-booster converter* sebagai penstabil tegangan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan rekayasa untuk menguji kinerja sistem sehingga dapat dievaluasi berdasarkan data empiris yang digunakan dalam perancangan dan pengembangan sistem. Sistem yang dirancang terdiri dari pelampung sebagai penangkap energi gelombang, *recoil starter* sebagai mekanisme pemutar awal, generator arus searah DC (*Direct Current*) sebagai penghasil energi listrik, *buck-booster converter* sebagai pengkondisi tegangan, baterai 12 VDC (*Voltage Direct Current*) sebagai penyimpan energi, serta sistem monitoring berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-017. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *recoil starter* mampu bekerja secara efektif dalam memutar generator, baik tanpa beban maupun dengan beban pelampung. Peningkatan putaran generator berbanding lurus dengan kenaikan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Sensor PZEM-017 menunjukkan tingkat akurasi pengukuran yang tinggi dengan persentase ketepatan mendekati 100% dibandingkan multimeter. Secara keseluruhan, sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai sumber energi alternatif skala kecil.

Kata kunci: Gelombang laut, *recoil starter*, pembangkit listrik

ABSTRACT

Vikrul Irsyad, (2025). " *Design and Construction of a Wave Power Plant Using a Recoil Starter on a Prototype Ship*". Supervised by Ms. Diana Alia, S.T., M.Eng., and Mr. Bugi Nugraha, SST., M.M.Tr.

This research aims to design and build a prototype wave power plant that utilizes the vertical movement of a buoy as a source of mechanical energy, which is then converted into electrical energy using a recoil starter system. This system is designed to be applied to the rear of a prototype ship. The up-and-down movement of the buoy due to ocean waves is transmitted to the recoil starter through a drive rope. The mechanical energy from the recoil starter is then converted into a stable one-way rotation and is channeled to a gearbox to increase the rotational speed before finally rotating a DC (Direct Current) generator. The generated electricity is stored in a 12VDC (Voltage Direct Current) battery with the support of a buck-booster converter as a voltage stabilizer. The research method used is an experiment with an engineering approach to test the system performance so that it can be evaluated based on empirical data used in the design and development of the system. The designed system consists of a buoy as a wave energy catcher, a recoil starter as an initial rotating mechanism, a direct current DC (Direct Current) generator as an electrical energy producer, a buck-booster converter as a voltage conditioner, a 12 VDC VDC (Voltage Direct Current) battery as an energy storage, and a monitoring system based on an ESP32 microcontroller and a PZEM-017 sensor. Test results show that the recoil starter is able to work effectively in rotating the generator, both without load and with a buoy load. The increase in generator rotation is directly proportional to the increase in voltage and electric current produced. The PZEM-017 sensor shows a high level of measurement accuracy with a percentage of accuracy approaching 100% compared to a multimeter. Overall, the designed wave power generation system can function well and has the potential to be further developed as a small-scale alternative energy source

Keywords: *Ocean waves, recoil starter, power generation*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT, karena penelitian tentang “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan *Recoil Starter* Pada Kapal Prototipe” pada Kapal Prototipe dapat dilaksanakan.

Karya Ilmiah Terapan (KIT) merupakan salah satu persyaratan baku taruna untuk menyelesaikan program studi Sarjana Terapan tingkat IV dan wajib diselesaikan pada periode yang ditetapkan. Karya Ilmiah Terapan merupakan proses penyajian keadaan tertentu yang dialami taruna pada saat melaksanakan praktek laut ketika berada di atas kapal.

Peneliti menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi bahasa, susunan kalimat, maupun cara penulisan serta pembahasan materi akibat keterbatasan penulis dalam penguasaan materi, waktu, dan data-data yang diperoleh.

Untuk itu peneliti senantiasa menerima kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penelitian karya ilmiah terapan ini dapat terselesaikan karena adanya bantuan dari berbagai pihak, olehnyaS peneliti mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya, khususnya kepada kedua orang tua dan saudara tercinta serta senior-senior yang selalu memberi dukungan baik moril maupun material serta kepada :

1. Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya Bapak Moejiono, M. T., M. Mar. E yang telah memberikan pembinaan kepada taruna-taruni Politeknik Pelayaran Surabaya.
2. Bapak Dhirhamsyah, S. E., M. Pd. Selaku Ketua Jurusan Elektro.
3. Ibu Diana Alia, S. T., M. Eng, Selaku dosen pembimbing I, serta Bapak Bugi Nugraha, SST., M. M. Tr. Selaku dosen pembimbing II
4. Bapak/Ibu dosen Politeknik Pelayaran Surabaya, Saya sadar bahwa dalam penelitian karya ilmiah terapan ini masih terdapat banyak kekurangan.
5. Kedua orang tua saya yang telah mendukung peneliti untuk menyelesaikan pendidikan dan penyelesaian KIT.
6. Teman-teman semua yang telah membantu dalam memperoleh masukan, data, sumber informasi, serta bantuan untuk menyelesaikan KIT.
7. Semua pihak yang tidak dapat taruna sebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan penelitian karya ilmiah terapan ini.

Terima kasih kepada beliau dan semua pihak yang telah membantu, semoga semua amal dan jasa baik mereka dapat imbalan dari Allah SWT dan semoga proposal ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca serta dapat membantu untuk kemajuan pelayaran di Indonesia.

Surabaya,

2026

VIKRUL IRSYAD
NIT. 09.21.014.1.07

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR.....	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	v
PENGESAHAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya	7
B. Landasan Teori.....	10
BAB III METODE PENELITIAN	26
A. Perancangan Sistem	26
B. Model Perancangan Alat dan Desain	33

C. Rencana Pengujian atau Desain Uji Coba Produk	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
A. Hasil Penelitian	43
B. Pembahasan.....	57
BAB V PENUTUP.....	60
A. Kesimpulan	60
B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. <i>Review</i> Penelitian	7
Tabel 3. 1 Perangkat Penelitian.....	30
Tabel 3. 2 Perangkat Penunjang Penelitian.....	31
Tabel 3. 3 Waktu Penelitian	37
Tabel 3. 4 Pengujian Generator DC (<i>Direct Current</i>).....	40
Tabel 3. 5 Pengujian <i>Buck-Booster Converter</i>	41
Tabel 3. 6 Pengujian Pembacaan Sensor PZEM-017	41
Tabel 3. 7 Pengujian Uji Coba Prototipe	41
Tabel 4.1 Pengujian Generator DC (<i>Direct Current</i>).....	45
Tabel 4 2 Pengujian <i>Buck-Booster Converter</i>	47
Tabel 4.3 Pengujian PZEM-017.....	50
Tabel 4.4 Data Pengujian <i>Relay</i>	51
Tabel 4.5 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Energi Terbarukan.....	10
Gambar 2. 2 Energi Gelombang Air Laut.....	12
Gambar 2. 3 Konversi Gelombang Air Laut Menjadi Energi Listrik	13
Gambar 2. 4 Gravitasi Gelombang Laut	17
Gambar 2. 5 Pelampung.....	18
Gambar 2. 6 <i>Recoil Starter</i>	19
Gambar 2. 7 Generator DC (<i>Direct Current</i>).....	21
Gambar 2. 8 Baterai 12VDC (<i>Voltage Direct Current</i>).....	22
Gambar 2. 9 Sensor dan Tegangan PZEM-017.....	25
Gambar 3. 1 Blok Diagram System	28
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i>	32
Gambar 3. 3 Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan <i>Recoil Starter</i>	35
Gambar 4.1 Pengujian <i>Recoil Starter</i>	44
Gambar 4.2 Pengujian Generator DC (<i>Direct Current</i>).....	46
Gambar 4.3 Pengujian <i>Buck-Boost Converter</i>	47
Gambar 4.4 Pengujian Baterai	48
Gambar 4.5 Pengujian Mikrokontroler ESP32	49
Gambar 4.6 Pengujian PZEM-017	50
Gambar 4.7 Pengujian <i>Relay</i> (a) <i>Relay OFF</i> (b) <i>Relay ON</i>	51
Gambar 4.8 Pengujian MPPT	53
Gambar 4.9 Pengujian Transformator Step-down 12VDC – 5VDC (<i>Voltage Direct Current</i>).....	54
Gambar 4.10 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	55

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat seiring dengan perkembangan dan pertumbuhan baik dari sektor penduduk, industri, dan pembangunan infrastruktur. Menurut (Agency, 2021) energi global diperkirakan meningkat pada angka 25% hingga 2030 mendatang, tentunya Indonesia menjadi salah satu negara yang termasuk. Sementara itu, energi listrik merupakan kebutuhan utama manusia karena energi listrik yang digunakan sebagian besar berasal dari sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara. Maka hal ini menimbulkan kekhawatiran keberlanjutan terhadap pasokan energi, sehingga dapat berdampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi karbon (Nasional, 2023).

Seiring meningkatnya pasokan energi yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, maka perlu adanya alternatif pengganti yaitu energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam dan dapat diperbarui dengan cepat serta tersedia secara berkelanjutan dan rendah emisi (IEA, 2022). Energi terbarukan ini memiliki nilai lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polutan berbahaya pada saat digunakan terutama dalam energi surya, air, panas bumi, dan laut. Selain keunggulan tersebut, energi terbarukan juga memiliki potensi pengembangan yang signifikan, terutama di wilayah kepulauan seperti Indonesia. Salah satu potensi yang masih kurang dimanfaatkan adalah energi laut, khususnya energi

gelombang yang dapat dikonversi menjadi listrik menggunakan berbagai teknologi, seperti sistem *recoil starter*. Pemanfaatan potensi ini tidak hanya mendukung ketahanan energi nasional tetapi juga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Sebagai negara kepulauan yang memiliki potensi energi laut besar dalam pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan, salah satunya ialah energi gelombang laut. Energi gelombang laut merupakan energi yang berasal dari pergerakan permukaan air laut untuk menangkap energi kinetik (Son, 2024). Gelombang laut tercipta ketika angin menerpa permukaan air laut yang menghasilkan gerakan horizontal pada air. Energi kinetik hasil dari gerakan tersebut bisa diubah menjadi energi listrik melalui pelampung, kolom air, dan sistem peyerap titik. Energi gelombang laut ini memiliki keuntungan karena relatif konsisten saat digunakan saat terjadi gelombang laut siang dan malam, bahkan keadaan mendung. Garis pantai Indonesia yang panjang dan lautannya yang aktif menjadikannya wilayah yang sangat potensial untuk pembangkit listrik tenaga gelombang. Teknologi ini dapat diterapkan di wilayah pesisir terpencil sebagai sumber energi alternatif bagi masyarakat yang belum terhubung dengan jaringan listrik nasional. Penerapannya tidak hanya berfungsi sebagai solusi energi tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan, mendorong inovasi teknologi lokal, dan meningkatkan ketahanan energi di wilayah kepulauan. Demikian, potensi energi terbarukan yang masih belum dimanfaatkan dapat digunakan secara optimal melalui energi gelombang laut berdasarkan tinggi gelombang, panjang gelombang serta periode gelombangnya.

Pada penelitian ini, peneliti memfokuskan penelitian mengenai rancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *recoil starter* yang diaplikasikan pada belakang kapal prototipe. Pada dasarnya penelitian ini merupakan salah satu metode konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik yang dapat mendeskripsikan bahwa pelampung yang dirancang untuk menangkap energi kinetik dari naik turunnya air laut dan mengubahnya menjadi energi listrik dengan bantuan *recoil starter*. Kemudian, dihubungkan kembali ke alternator yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik diatas kapal. Gelombang air laut yang bergerak naik turun akan digunakan untuk memindahkan sebuah benda apung yang terhubung dengan bagian mekanis yang dirancang menjadikan pembangkit listrik tenaga gelombang air laut menjadi operasional dengan memasang komponen lainnya dan akan diputar. Rancang bangun mekanika pembangkit listrik tenaga gelombang air laut dengan sistem pelampung merupakan perangkat yang dapat menghasilkan listrik dengan menggunakan energi dari gelombang air laut.

Berdasarkan fokus penelitian tersebut, penelitian ini tentunya memiliki acuan terarah sebagai landasannya. Penelitian relevan sebelumnya mengkaji mengenai *recoil starter* efektif digunakan sebagai penggerak dalam prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. Kinerja alat dipengaruhi oleh kecepatan gelombang dan beban ballast, di mana beban yang tepat meningkatkan efisiensi kerja. Selain itu, daya listrik yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang laut, sebagaimana terlihat dari perbandingan hasil uji coba di pantai Maruni dan Amban. Sehingga, urgensi penelitian mengenai rancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut

menggunakan *recoil starter* yang diaplikasikan pada kapal prototipe ini masih terbatas dan minim dalam potensi penerapannya, sehingga belum banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Maka peneliti memanfaatkan energi gelombang laut yang ditangkap oleh sistem pelampung, kemudian diubah menjadi energi gerak, lalu dikonversi oleh generator menjadi energi listrik. Maka, penggunaan teknologi ini fleksibel dan efisien untuk diterapkan baik dalam lingkup skala kecil maupun besar disesuaikan dengan kebutuhan.

Berdasarkan fokus dan urgensi penelitian, peneliti bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *recoil starter* pada kapal prototipe yang diaplikasikan pada belakang kapal. Penelitian ini diharapkan menjadi solusi alternatif dalam pengembangan dan penyediaan energi listrik yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan efisien di masa depan. Serta, untuk mendukung upaya pengembangan teknologi energi terbarukan di sektor kelautan serta memberikan kontribusi terhadap pengurangan konsumsi bahan bakar di industri maritim.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil pengujian pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *recoil starter* pada kapal prototipe?
2. Bagaimana pengaruh pelampung terhadap putaran *recoil starter* terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terfokus, maka peneliti melakukan pembatasan masalah penelitian. Batasan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Pelampung yang terhubung *recoil starter* sebagai penggerak untuk menggerakkan alternator.
2. Pengujian dilakukan pada kondisi gelombang buatan dengan kecepatan terbatas dan konstan yang disesuaikan dengan kemampuan prototipe.
3. Analisis efisiensi sistem difokuskan pada kinerja generator, tanpa mempertimbangkan sistem penyimpanan energi secara detail (seperti baterai).

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil pengujian kinerja pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi gelombang laut berbasis pelampung yang dapat diimplementasikan pada kapal prototipe.
2. Menganalisis ketinggian gelombang terhadap pelampung yang mempengaruhi daya listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

E. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, terdapat manfaat penelitian yang diharapkan dapat digunakan pada penelitian ini. Manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Secara teoritis penelitian ini dapat dijadikan sebagai peningkatan pemahaman tentang pembangkit listrik tenaga gelombang menggunakan pelampung, serta dapat dijadikan dasar ilmiah dalam pengembangan teknologi energi terbarukan.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Penulis

Melalui penelitian ini penulis belajar bagaimana merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan pelampung guna untuk mendukung pengembangan sumber energi terbarukan.

b. Bagi Institusi Pendidikan

Penelitian ini dapat memperkaya literatur terkait dengan pengembangan sumber energi terbarukan, khususnya energi gelombang laut yang masih sangat kurang dioptimalkan namun memiliki potensi yang besar.

c. Bagi Penelitian Lebih Lanjut

Hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pengembangan pembangkit listrik skala besar, seperti pada laut lepas yang cenderung memiliki gelombang kuat.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang rancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *recoil starter* pada kapal prototipe tentunya sudah pernah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Penelitian ini pun tentunya telah memiliki acuan dari peneliti sebelumnya. Hal ini dilakukan agar penelitian ini bisa lebih terarah dan memiliki landasan. Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai acuan atau landasan rujukan peneliti. Pada setiap penelitian terdapat persamaan dan perbedaan yang akan menjadi pembandingan. Pada penelitian ini, peneliti melakukan *review* pada penelitian sebelumnya seperti terdapat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1. *Review* Penelitian

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil	Perbedaan Penelitian
1	Fauzi Farhan, Abdul Z. Patiran, Henny A. B. Lesnussa, Adelhard Beni Rehiara, Pandung Sarungall, and Yanty Rumenga. (2023). <i>Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering (JIMESE)</i>	<i>Design a prototype of a marine wave power plant (PLTGL) using a recoil starter</i>	Hasil penelitian diperoleh: 1. Dari perencanaan hingga pengujian alat, terbukti bahwa <i>recoil starter</i> dapat digunakan sebagai penggerak dalam prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. 2. Dalam proses <i>penghasilan</i> energi listrik, kecepatan gelombang akan berdampak pada kinerja peralatan, sehingga penting untuk memperhatikan <i>ballast</i> pada peralatan. Semakin besar beban <i>ballast</i> , maka peralatan akan bekerja dengan optimal. 3. Nilai daya keluaran meningkat seiring dengan penambahan tinggi gelombang laut. Setelah diukur pada <i>hari</i> pertama	Perbedaan Penelitian ini pada dasarnya: 1. Memanfaatkan metode konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik 2. Pengaplikasian pelampung pada bagian belakang kapal yang dirancang untuk menangkap energi kinetik dari naik turunnya air laut dan mengubahnya menjadi energi listrik dengan bantuan <i>recoil starter</i> yang

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil	Perbedaan Penelitian
			di pantai Maruni, prototipe mampu menghasilkan rata-rata 4,21watt untuk tinggi gelombang rata-rata 0,35 cm. Pada hari kedua, pantai Maruni mampu menghasilkan rata-rata 5,68watt untuk tinggi gelombang rata-rata 0,4 m. Di sisi lain, pantai Amban pada hari pertama menghasilkan rata-rata 3,29watt untuk tinggi gelombang rata-rata 0,37 cm dan pada hari kedua mampu menghasilkan rata-rata 14,26watt untuk tinggi gelombang rata-rata 0,5 m.	terhubung dengan <i>gearbox</i> .
2	Friscela Yona Nagifea, Sudarti, Yushardi. (2024). Jtech	Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia	Hasil penelitian diperoleh: 1. Penelitian Menganalisis data BMKG mengenai ketinggian gelombang di Indonesia dan data BPPT tentang penggunaan listrik yang ada di Indonesia. 2. Pemanfaat pengembangan PLTGL memberikan kesempatan yang positif dengan menghasilkan listrik pada kisaran 4,3 kW/m gelombang. Namun, tidak semua wilayah Indonesia dapat menggunakan jenis PLTGL yang sama karena bergantung pada ketinggian gelombang yang dihasilkan di tiap-tiap daerah.	Perbedaan penelitian ini pada dasarnya: 1. Penelitian memfokuskan pada PLTGL berbasis pelampung yang digunakan pada belakang kapal prototipe. 2. Pengujian dilakukan pada kondisi gelombang buatan dengan kecepatan terbatas dan konstan yang disesuaikan dengan kemampuan prototipe.
3	Gischa Novi Ramadani, Sudarti, Yushardi. (2024). Jurnal Lingkaran Pembelajaran Inovatif	Pemanfaatan Gelombang Laut Menjadi Sumber Energi Listrik Dengan Pelampung Silinder	Hasil penelitian diperoleh: 1. Mengkaji mengenai pengaruh variasi jarak pemberat dan diameter kawat generator. 2. Sistem mekanik yang mengkonversi energi gelombang laut yang terdiri dari pelampung silinder, lengan penggerak, <i>gearbox</i> , dan generator DC dengan <i>one-way gear</i> menunjukkan efisiensi	Perbedaan pada penelitian ini pada dasarnya: 1. Menghasilkan prototipe sistem PLTGL berbasis pelampung. 2. Skalabilitas dapat dikembangkan ke dalam sistem nyata atau skala kecil.

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil	Perbedaan Penelitian
			sistem terbesar 2,7%.	

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian relevan pertama melakukan penelitian mengenai rancang bangun prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTG) dengan menggunakan *recoil starter* yang hasilnya dapat dilihat dengan menemukan solusi dan desain untuk memanfaatkan *recoil starter* sebagai prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang dilakukan pada objek Pantai Maruni dengan mengukur hasil kerja prototipe dan tinggi gelombang. Penelitian relevan kedua, melakukan penelitian yang memberikan gambaran umum tentang dampak positif yang dapat digunakan dalam pengembangan PLTGL sebagai energi terbarukan yang menghasilkan listrik secara baik dan efektif. Penelitian relevan ketiga, melakukan penelitian yang berfokus pada penerapan energi gelombang laut yang lebih spesifik menggunakan pelampung silinder dalam mengubah gelombang menjadi listrik.

Demikian, penelitian di atas memberikan alur bagaimana merancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan pelampung akan beroperasi sebagai salah satu temuan yang akan memberikan kontribusi besar bagi wilayah maritim dengan memanfaatkan energi terbarukan salah satunya energi gelombang laut.

B. Landasan Teori

Landasan teori dalam penelitian ini yaitu penulis menggunakan dasar teori sebagai pijakan utama dalam pelaksanaan penelitian. Teori yang digunakan mencakup berbagai definisi dan proposisi yang telah dirumuskan secara terstruktur dan sistematis mengenai variabel-variabel yang terdapat dalam penelitian ini. Landasan teori yang akan dibahas pada penelitian ini meliputi Energi Terbarukan, Energi Gelombang, Gravitasi, Pelampung, *Recoil Starter*, *Gearbox*, Generator DC (*Direct Current*), Baterai 12 VDC (*Voltage Direct Current*), dan Sensor tegangan PZEM-017. Kesepuluh pokok bahasan tersebut akan diuraikan sebagai berikut:

1. Energi Terbarukan



Gambar 2. 1 Energi Terbarukan

(Sumber : <https://encr.pw/OLEAM>)

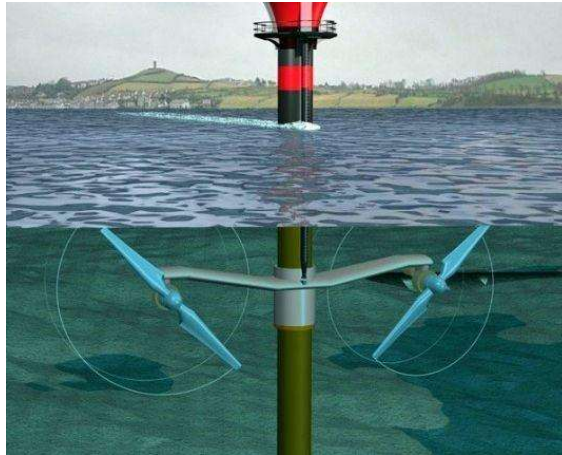
Energi merupakan suatu hal yang terjadi di sekitar manusia, benda tanaman, binatang, mesin, dan elemen alam seperti matahari, air, angin, dan lain sebagainya. Salah satu dari berbagai macam energi, energi yang digunakan dalam penelitian ini ialah energi terbarukan. Energi terbarukan

merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam dan dapat diperbarui dengan cepat serta tersedia secara berkelanjutan dan rendah emisi (IEA, 2022). Pendapat lain menurut (Sianipar, Rifki, & Silalahi, 2022) menyatakan bahwa energi terbarukan merupakan sumber energi yang potensi pemakaiannya bisa dimanfaatkan dan digunakan secara tidak terbatas. Maka secara sederhana energi terbarukan ialah energi yang dapat dengan cepat diperbarui kembali secara alami dan berkelanjutan.

Energi terbarukan merupakan salah satu energi yang memiliki berbagai macam jenis. Jenis-jenis energi terbarukan (Kona, Victor, & Bunahri, 2024) energi matahari, energi dari biomassa, energi angin, energi air (*hidro*), panas bumi, laut, dan lain sebagainya. Jenis-jenis energi terbarukan tersebut yang dimanfaatkan dalam penelitian ini ialah energi gelombang laut.

Pada penggunaan energi terbarukan ini, tentunya menjadi alternatif utama dalam mengatasi masalah krisis energi dan tantangan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan energi fosil. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi yang besar terutama dari matahari, air, dan laut (Sianipar, Rifki, & Silalahi, 2022). Tetapi pemanfaatannya masih terbatas dan belum optimal sehingga pemerintah perlu melakukan regulasi kebijakan untuk mendorong tercapainya target bauran energi nasional. Demikian perlu adanya keberlanjutan mengenai energi terbarukan sebagai solusi untuk menangani masalah ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil untuk menciptakan energi yang bersih, ramah lingkungan, solusi jangka panjang.

2. Energi Gelombang Laut



Gambar 2. 2 Energi Gelombang Air Laut

(Sumber : <https://lnk.ink/EceqG>)

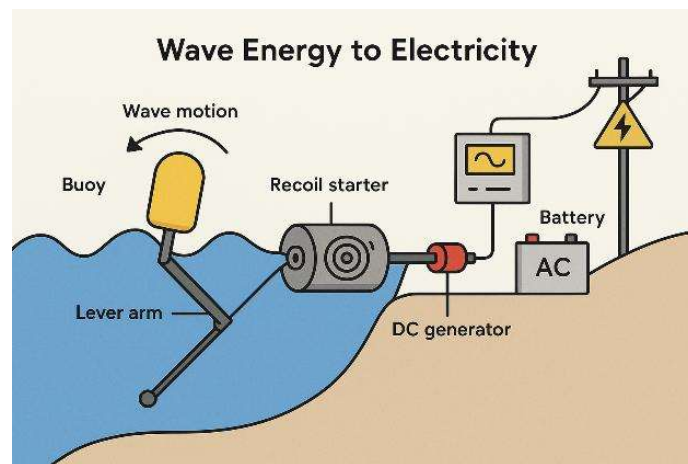
Gelombang air laut saat ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai sumber energi. Gelombang air laut bisa digunakan untuk menghasilkan listrik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat, hal ini memungkinkan ada karena ada banyak energi gelombang air laut yang tersedia. Salah satunya Indonesia yang memiliki perairan yang luas dan berpotensi mempunyai potensi arus dan gelombang untuk menghasilkan listrik (Novi , Sudarti, & Yushardi, 2025).

Energi gelombang laut merupakan salah satu energi terbarukan yang akan digunakan dalam penelitian. Energi gelombang laut merupakan energi yang bersumber dari pergerakan permukaan laut yang dipengaruhi oleh tiupan angin dan gaya gravitasi bulan (Jasron, et al., 2022). Energi gelombang laut memiliki kelebihan dalam pemanfaatnya yaitu menghasilkan energi listrik dari gelombang laut, solusi potensial krisis energi dan tenaga gelombang diantisipasi (Sanam, Azpah, Suhaedi, Arya, & Supriyatna, 2022). Demikian energi tersebut dapat dikembangkan dan

keberlanjutan sebagai pembangkit listrik karena sifatnya yang relatif stabil dan dapat diprediksi karakteristiknya.

Energi gelombang laut memiliki potensi yang sangat besar, terutama di daerah yang memiliki arus laut yang kuat seperti selat dan muara. Penggunaan energi arus laut tergolong masih baru jika dibandingkan dengan energi angin dan energi matahari. Salah satu kendala pada pemanfaatan energi arus laut untuk menghasilkan listrik adalah dibutuhkanannya alat konversi arus menjadi energi listrik. Dalam skala kecil, energi ini dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik pada sistem otonom, termasuk pada kapal prototipe atau alat apung lainnya.

3. Energi Gelombang Air Laut menjadi Energi Listrik



Gambar 2. 3 Konversi Gelombang Air Laut Menjadi Energi Listrik
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Upaya pencarian solusi energi alternatif yang ramah lingkungan, energi terbarukan telah menjadi fokus utama pembangunan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Salah satu potensi energi terbarukan yang menjanjikan adalah energi gelombang laut. Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki garis pantai yang panjang dan laut yang aktif,

menjadikan energi gelombang sebagai sumber daya yang layak untuk pembangunan. Konversi energi gelombang laut menjadi listrik dapat dicapai melalui berbagai mekanisme, salah satunya pemanfaatan sistem sederhana seperti *recoil starter*.

Energi gelombang laut menjadi energi listrik melalui proses mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh gerakan gelombang menjadi energi listrik (Sukma, Sudarti, & Yushardi, 2023). Proses ini dilakukan melalui berbagai konversi yaitu:

- a. Pembentukan Energi Gelombang. Gelombang laut terbentuk dari tiupan angin yang mentransfer energi ke permukaan air, menghasilkan gerakan vertikal dan horizontal yang mengandung energi kinetik dan potensial.
- b. Penangkapan Energi Gelombang. Energi gelombang laut ditangkap menggunakan perangkat seperti pelampung, kolom air yang berosilasi, atau penyerap titik. Pada sistem pelampung, gerakan naik-turun gelombang menggerakkan pelampung secara vertikal.
- c. Konversi Energi Mekanik. Pergerakan pelampung diteruskan ke mekanisme transmisi, seperti lengan atau tuas, yang kemudian meneruskannya ke kotak roda gigi untuk mengendalikan kecepatan dan arah putaran.
- d. Penggunaan *Recoil Strater*. Pada sistem *recoil strater*, gerakan naik turun pelampung ditransmisikan melalui lengan ke *recoil strater*. Fungsi *recoil strater* menyimpan energi mekanik seperti pegas melingkar, lalu melepaskannya sebagai putaran satu arah yang stabil untuk

menggerakkan poros generator.

- e. Konversi Energi Listrik. Putaran dari *recoil starter* disalurkan ke generator DC (*Direct Current*), kemudian mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus searah generator DC (*Direct Current*) melalui proses induksi elektromagnetik.
- f. Distribusi atau Penyimpanan. Energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai, atau diubah menjadi arus bolak-balik atau AC (*Alternating Current*).

Untuk mengetahui besarnya energi dan daya listrik yang dihasilkan oleh prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut serta efisiensi konversinya dari energi gelombang laut. Perhitungan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1) Daya Gelombang Laut

Daya gelombang per satuan lebar gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P_w = \frac{\rho g^2}{64\pi} H^2 T$$

Keterangan:

P_w = daya gelombang per satuan lebar (W/m)

ρ = massa jenis air laut (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H = tinggi gelombang (m)

T = periode gelombang (s)

Jika diketahui lebar efektif pelampung (W_c), maka daya mekanik yang tersedia sebagai berikut:

$$P_{\text{avail}} = P_w \times W_c$$

2) Daya Listrik Keluaran

Daya listrik yang dihasilkan generator dihitung dari hasil pengukuran tegangan dan arus sebagai berikut

$$P_{\text{elec}} = V \times I$$

Keterangan:

V = tegangan keluaran generator (*Volt*)

I = arus keluaran generator (*Ampere*)

3) Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan dalam waktu t sebagai berikut:

$$E_{\text{elec}} = P_{\text{elec}} \times t$$

Keterangan:

E_{elec} = energi listrik (Wh) jika P_{elec} dalam Watt dan t dalam jam

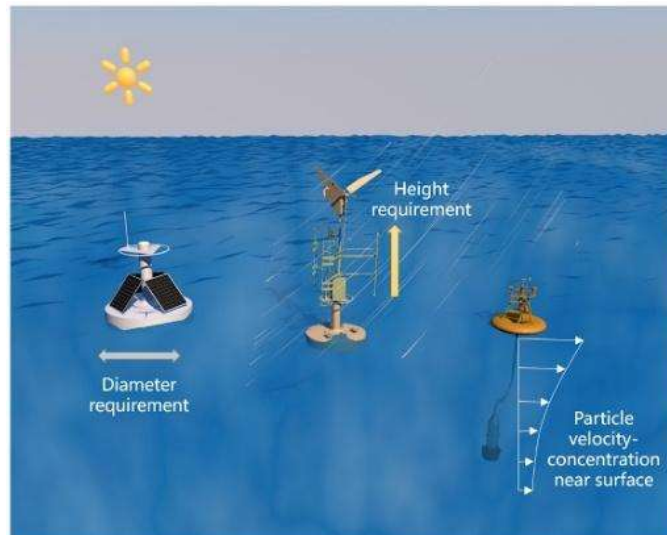
t = lama waktu operasi

4) Efisiensi Sistem

Efisiensi total sistem konversi energi dihitung dengan membandingkan daya listrik keluaran dengan daya gelombang yang tersedia sebagai berikut:

$$\eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{elec}}}{P_{\text{avail}}} \times 100\%$$

4.Gravitasi



Gambar 2. 4 Gravitasi Gelombang Laut

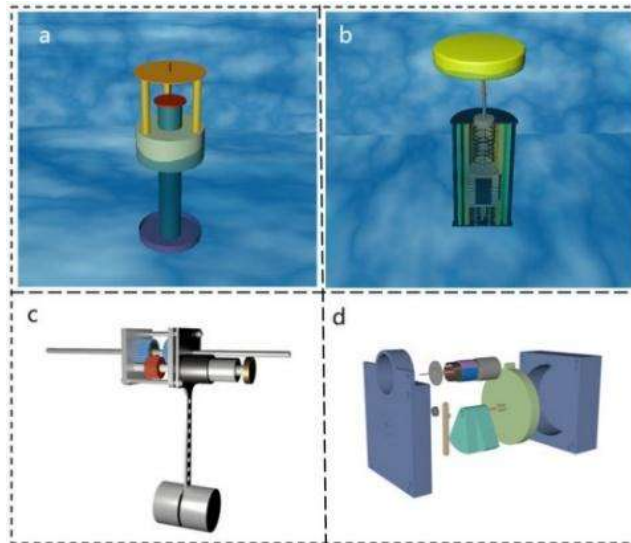
(Sumber: <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/5/566>)

Gravitasi merupakan hal dasar yang harus andil dalam sistem pembangkit listrik tenaga gelombang, karena gravitasi sebagai penggerak alami. Gravitasi merupakan gaya tarik menarik suatu benda yang memiliki massa (Yasmini, 2021). Dalam konteks energi laut, pengaruh gaya gravitasi pada pergerakan pelampung yang naik turun akibat perubahan ketinggian gelombang laut. Hal tersebut tentunya disebabkan karena adanya massa benda yang berasal dari gelombang laut.

Pada gravitasi gelombang laut dalam sistem pembangkit listrik tenaga gelombang menggunakan pelampung sangat penting untuk mengetahui dan menentukan karakteristiknya. Stabilitas gravitas gelombang laut dapat mengalami perubahan energi bergantung pada hubungan antara massa pelampung, amplitudo gelombang, dan gravitasi gerak vertikal pelampung (Torres-Blanco & Sánchez-Fernández, 2023). Sehingga, perbedaan posisi pelampung pada sistem gelombang laut dapat dipengaruhi oleh terpadunya

gaya dorong dan gaya tarik gravitasi. Demikian, dengan gravitasi inilah dapat menghasilkan gerakan naik dan turun yang menjadi dasar pada sistem perubahan energi.

5. Pelampung



Gambar 2. 5 Pelampung

(Sumber: <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/5/566>)

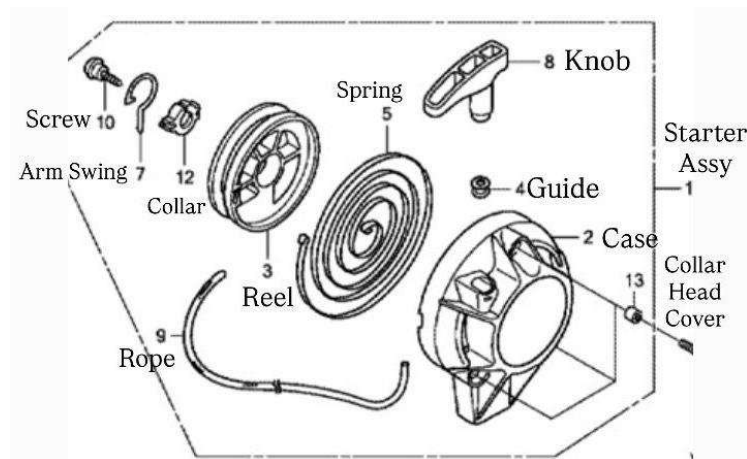
Pelampung dalam sistem energi gelombang laut berperan sebagai komponen vital. Pelampung merupakan bagian utama yang didesain untuk mengambang di atas permukaan laut dan mengikuti pergerakan naik-turun gelombang (Shi , Lin, Zhuge, Zheng, & Zhang, 2022). Gerakan osilasi vertikal pada pelampung tersebut digunakan untuk menyalakan mekanisme mekanik yang akan menghasilkan listrik.

Prinsip kerja pelampung pada pembangkit listrik tenaga gelombang mengacu pada gaya gravitasi dan gaya apung yang digunakan untuk menyimpan dan menggerakkan energi pada sistem mekanis pelampung (Setiyawan, Rahman, Sarjan, & Amin, 2021). Sehingga fungsi pelampung sebagai pengaplikasian energi gelombang laut dan sistem konversi energi.

Oleh karena itu desain dan karakteristik pelampung dapat harus efisien agar memanfaatkan energi gelombang laut dengan efektif.

Pada prinsipnya penelitian ini menggunakan pelampung sebagai pengaplikasiannya. Pelampung yang digunakan sebagai penggerak *recoil starter* sebagai pengendali utama akan dihubungkan untuk dilakukan pemutar. Kemudian, dilanjutkan dengan menghubungkan ke generator DC (*Direct Current*) dan diaruskan kepada Baterai yang menghasilkan energi listrik. Sehingga dari prinsip kerjanya dapat dilihat bagaimana sistem mekanis akan dihasilkan.

6. *Recoil Starter*



Gambar 2. 6 *Recoil Starter*

(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

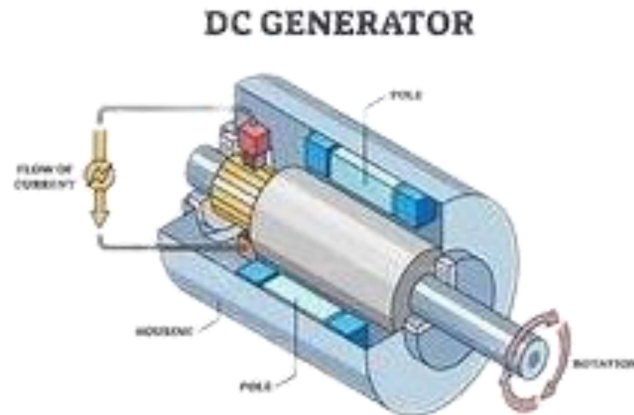
Recoil Starter merupakan salah satu sistem sederhana yang digunakan untuk menggerakkan mesin. *Recoil Starter* merupakan sebuah sistem pendorong manual yang menggunakan pegas gulung untuk memutar poros engkol pada awal operasionalnya. Mekanisme ini seringkali digunakan pada mesin-mesin kecil seperti mesin pemotong rumput, generator portabel, serta mesin tempel (Setiawan E. , 2022). Pada *recoil starter* ketika tali ditarik,

reel yang terhubung ke poros akan berputar, sementara energi pegas membantu poros untuk kembali ke posisi awal. Sehingga tali yang ditarik akan memutar roda dan menyalakan mesin (tkadmin, 2024).

Recoil starter dapat dimodifikasi sebagai penyalah awal, tetapi juga mengubah gerak osilasi menjadi rotasi mekanis, terutama dalam sistem energi gelombang laut. Dimana, dalam pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem ini digunakan sebagai konverter energi mekanik (sinyal listrik). Salah satunya gerakan naik-turun pelampung akibat gelombang laut dikirimkan ke sistem *recoil*, *recoil* akan mengubah gerakan menjadi gerakan berputar pada poros generator, pegas *recoil* membantu mengembalikan posisi tali penggerak secara otomatis, sehingga memungkinkan pekerjaan berulang (Farhan, et al., 2023).

Recoil starter pada rancang bangun pembangkit listrik energi gelombang laut berperan dalam mengubah gerakan naik turun pelampung menjadi energi putaran, yang kemudian akan menggerakkan generator. Penggunaan *recoil starter* ini sesuai untuk sistem skala kecil dan prototipe karena sederhana, ekonomis, dan tidak memerlukan sistem kontrol yang rumit. Sistem *recoil starter* yang terintegrasi dengan pelampung dapat menghasilkan rotasi yang stabil meskipun amplitudo gelombang berubah-ubah.

7. Generator DC (*Direct Current*)



Gambar 2. 7 Generator DC (*Direct Current*)

(Sumber: <https://id.images.search.yahoo.com>)

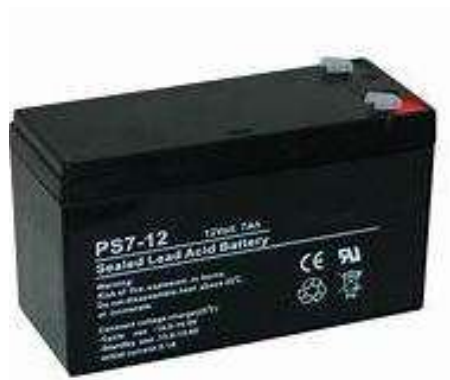
Generator merupakan alat yang berfungsi untuk memberikan daya listrik di atas kapal dan sangat banyak diperlukan. Salah satu mesin bantu di atas kapal yang menghasilkan energi listrik dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator (Ramadhan, Herlambang, & Purwanto, 2024).

Generator DC (*Direct Current*) merupakan suatu mesin DC (*Direct Current*) yang dapat menghasilkan daya listrik arus searah (*Direct Current*) dengan cara merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara energi magnet (Setiawan, Atmam, & Setiawan, 2021). Saat konduktor (kumparan) berputar di dalam medan magnet, maka akan terbentuk gaya gerak listrik (GGL) yang memicu arus listrik. Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi yang dihasilkan dari gerakan magnet akan masuk ke kumparan (Martua, Setiawan, & Yuvendius, 2021). Besaran nilai Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi ini juga dipengaruhi oleh jumlah lilitan di kumparan, sehingga PMG (*Permanen Magnet Generator*) umumnya digunakan untuk mengubah *output* daya mekanik turbin uap, turbin gas,

turbin air dan turbin angin menjadi tenaga listrik untuk grid bahkan sebagai generator pada mobil listrik.

Meskipun kurang umum digunakan untuk pembangkit listrik skala besar, generator DC (*Direct Current*) masih digunakan dalam beberapa aplikasi, seperti pembangkit listrik tenaga air kecil atau aplikasi spesifik yang memerlukan arus searah (Martua, Setiawan, & Yuvendius, 2021). Pada skala kecil seperti pada kapal prototipe, generator yang digunakan ialah tipe generator DC (*Direct Current*) atau PMG (*Permanen Magnet Generator*) karena keduanya memiliki efisiensi yang tinggi dan ukuran yang relatif kecil. Pemilihan jenis generator perlu disesuaikan dengan daya keluaran turbin serta kebutuhan beban listrik pada kapal.

8. Baterai 12VDC (*Voltage Direct Current*)



Gambar 2. 8 Baterai 12VDC (*Voltage Direct Current*)

(Sumber: <https://id.images.search.yahoo.com>)

Baterai (*Battery*) merupakan sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang kemudian akan digunakan oleh suatu perangkat Elektronik (Wiguna, Tohazen, Nadhiroh, Lestari, & Dwiyaniti, 2021) . Baterai merupakan komponen yang sangat penting dalam kendaraan untuk menyuplai listrik ke komponen listrik lainnya, seperti halnya sistem *starter*, sistem pengapian, dan sistem

penerangan. Penggunaan baterai bergantung pada kebutuhan daya, arus, dan tegangan yang dibutuhkan oleh setiap peralatan elektronik.

Baterai dapat digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari potensi sumber energi terbarukan seperti biomassa, air, angin, dan matahari. Prinsip kerja pada baterai menggunakan prinsip elektrokimia dengan memanfaatkan proses Reduksi-Oksidasi. Elektroda positif (+) disebut anoda, sedangkan elektroda negatif (-) disebut katoda (King, Panjaitan, & Hartoyo, 2020). Pada perancangan sistem pembangkit ini baterai ditujukan sebagai alat penyimpanan daya yang dihasilkan oleh pembangkit, dan diharapkan. Pada sistem pembangkit ini tidak diperlukan alat tambahan seperti inverter sebagai penyearah arus, karena peneliti menggunakan generator tipe DC (*Direct Current*) dalam penelitian ini. Dimana arus DC (*Direct Current*) yang dihasilkan oleh generator sesuai dengan baterai yang digunakan sebagai tempat penyimpanan daya yang dihasilkan.

9. Sensor Arus dan Tegangan PZEM-017



Gambar 2 9 Sensor Arus dan Tegangan PZEM-017

Sumber: <https://id.images.search.yahoo.com>

Sensor arus dan tegangan adalah merupakan sebuah alat atau komponen elektronik yang bertujuan untuk mengukur atau mengetahui besaran listrik (Arus dan Tegangan) yang mengalir dalam suatu rangkaian, baik itu listrik searah (*Direct Current*) maupun listrik bolak balik (*Alternating Current*). Umumnya sensor ini digunakan dan di integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32.

Pada penelitian ini, peneliti memakai sensor arus dan tegangan PZEM-017. PZEM-017 merupakan perangkat yang sering digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan otomasi untuk memantau penggunaan daya, PZEM-017 menonjol dalam pengukuran parameter DC (*Direct Current*) dengan tingkat akurasi yang tinggi dan data yang disediakan secara *real-time*.

10. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi gelombang laut sebagai sumber energi utama. Energi gelombang laut berasal dari pergerakan naik dan turun permukaan air laut akibat tiupan angin, yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan terutama di wilayah pesisir dan kepulauan. Energi ini bersifat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses pembangkitan listrik (Yuliani & Prabowo, 2021).

Pada PLTG berbasis pelampung, pelampung berfungsi sebagai komponen utama yang menangkap energi gelombang laut. Pelampung bergerak naik dan turun mengikuti gelombang, sehingga menghasilkan

energi mekanik. Gerakan tersebut kemudian diteruskan ke sistem transmisi mekanik untuk diubah menjadi gerak putar yang dapat menggerakkan generator listrik. Sistem pelampung atau point absorber banyak digunakan karena memiliki desain yang sederhana dan mampu bekerja pada gelombang laut dengan amplitudo rendah hingga sedang (Putra & Hidayat, 2022).

Energi listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG) cenderung tidak stabil karena dipengaruhi oleh kondisi gelombang laut yang berubah-ubah. Oleh karena itu, diperlukan sistem penyimpanan energi seperti baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan agar dapat digunakan secara kontinu. Penggunaan baterai juga membantu menjaga kestabilan tegangan keluaran pada sistem pembangkit gelombang laut skala kecil (Yusuf & Harahap, 2023).

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG) memiliki keunggulan sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan cocok untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik konvensional. Namun, pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG) masih menghadapi tantangan seperti ketahanan material terhadap korosi air laut, fluktuasi energi gelombang, serta efisiensi sistem konversi energi. Meskipun demikian, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG) berbasis pelampung memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai solusi energi alternatif di Indonesia (Rahman, Siregar, & Dewi, 2023).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Pada bagian perancangan sistem dalam metode penelitian bertujuan untuk memulai gambaran bagaimana sistem akan bekerja, komponen sistem berinteraksi, dan bagaimana akan diimplementasikan. Menurut (Pressman & Maxim, 2021) perancangan sistem merupakan proses mengubah kebutuhan perangkat lunak menjadi gambaran umum struktur sistem akan bekerja yang dapat diimplementasikan dengan kode program. Jadi, perancangan sistem sebuah proses merancang sistem yang akan bekerja sesuai dengan kebutuhan penggunanya secara efektif dan efisien.

Pada penulisan Karya Ilmiah Terapan ini, peneliti menggunakan metode penelitian eksperimen dengan pendekatan rekayasa sebagai pendekatan utama metodologi penelitian. Menurut (Yulianti, et al., 2024) metodologi penelitian eksperimen merupakan metode penelitian yang bertujuan untuk menetapkan hubungan kausal antara dua variabel yang sedang diteliti. Dalam penelitian ini, peneliti menguji perangkat (mengukur tegangan yang dihasilkan dalam kondisi gelombang yang berbeda, durasi pengoperasian perangkat, dan efisiensi konversi energi). Sedangkan pendekatan rekayasa menurut (Herlinda, et al., 2010) adalah pendekatan rekayasa kegiatan penelitian yang dikembangkan untuk merancang alat, mesin, atau produk tertentu. Jadi, metode penelitian eksperimen dengan pendekatan rekayasa digunakan oleh peneliti untuk menguji kinerja dalam perancangan sistem.

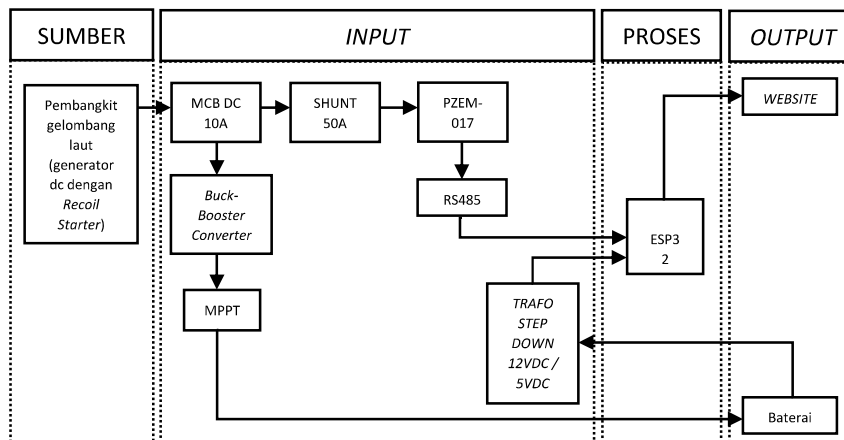
Metode penelitian ini dirancang dengan tahapan-tahapan sistematis untuk menghasilkan temuan baru yang relevan dengan pendidikan. Tahapan dalam metode penelitian eksperimen dengan pendekatan rekayasa meliputi beberapa tahapan yang kritis dan sistematis dari awal penelitian sampai implementasi produknya. Berikut tahapan metode penelitian eksperimen dengan pendekatan rekayasa (Yulianti, et al., 2024) :

1. Identifikasi Permasalahan Teknis. Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan teknis yang menjadi dasar dilakukannya perancangan sistem.
2. Studi Literatur dan Perumusan Tujuan Penelitian. Dilakukan pengkajian terhadap teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan ilmiah, kemudian dirumuskan tujuan penelitian secara spesifik.
3. Perancangan Sistem (*Engineering Design*). Sistem dirancang berdasarkan prinsip ilmiah dan kebutuhan teknis yang telah ditentukan, meliputi perancangan mekanik, elektrik, serta skema kerja sistem.
4. Pembuatan dan Perakitan Prototipe. Rancangan sistem yang telah dibuat kemudian direalisasikan dalam bentuk prototipe melalui proses pembuatan dan perakitan komponen.
5. Pengujian Sistem. Prototipe yang telah dibuat diuji menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui performa sistem. Pengujian dilakukan dengan memberikan perlakuan tertentu dan mengukur parameter yang telah ditetapkan.
6. Analisis Data. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan perhitungan dan pendekatan teknis untuk mengetahui kinerja sistem yang dirancang.

7. Evaluasi dan Perbaiki Sistem. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem serta mengidentifikasi kekurangan yang perlu diperbaiki sebagai bahan pengembangan selanjutnya.
8. Penyusunan Laporan Penelitian. Seluruh proses perancangan dan hasil eksperimen disusun dalam bentuk laporan penelitian secara sistematis dan terstruktur.

Berdasarkan tahapan penelitian di atas, maka penelitian ini akan menguji dan mengembangkan produk baru yang dapat mengenalkan berbagai manfaatnya dalam masyarakat luas terutama dalam dunia maritim. Produk prototipe penelitian yang akan dihasilkan adalah “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan *Recoil Starter* Pada Kapal Prototipe”.

1. Blok Diagram System



Gambar 3. 1 Blok Diagram System
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Berdasarkan blok diagram peneliti di atas, peneliti berfokus pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *recoil starter*. Diagram menggambarkan blok diagram sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) yang dirancang menggunakan

generator DC (*Direct Current*) dengan mekanisme *recoil starter* sebagai sumber energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan terlebih dahulu melewati MCB DC (*Miniature Circuit Breaker Direct Current*) 10A sebagai pengaman, kemudian arus diukur menggunakan *shunt* 50A dan parameter listrik dipantau menggunakan sensor PZEM-017 yang terhubung melalui komunikasi RS485. Tegangan keluaran selanjutnya dikondisikan menggunakan *buck-boost converter* dan sistem MPPT (*Maximum Power Point Tacking*) untuk menstabilkan tegangan serta mengoptimalkan daya yang dihasilkan. Data hasil pengukuran dan pengolahan sistem diproses oleh mikrokontroler ESP32, sementara *trafo step-down* 12VDC/5VDC (*Voltage Direct Current*) digunakan untuk menyesuaikan tegangan catu daya komponen. Energi listrik yang dihasilkan disimpan pada baterai, dan informasi kinerja sistem ditampilkan melalui *website* sebagai media monitoring, sehingga sistem memungkinkan pemantauan dan evaluasi kinerja pembangkit secara *real-time* dan terintegrasi. Keterangan pada gambar dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- a. *Recoil starter* sebagai dorongan awal yang dihubungkan dengan tali di ujung, kemudian diikat pada pelampung sebagai pemberat yang digerakkan oleh perubahan ketinggian gelombang laut.
- b. Generator DC (*Direct Current*) digunakan menghasilkan listrik, namun sering terjadi ketidakstabilan, maka digunakanlah *buck-booster converter*.
- c. *Buck-booster converter* yaitu alat yang berfungsi sebagai stabilisasi daya yang dihasilkan oleh generator DC (*Direct Current*), lalu listrik

yang dihasilkan disimpan pada baterai yang bisa digunakan untuk alat-alat listrik skala kecil seperti lampu.

- d. Baterai 12VDC (*Voltage Direct Current*) digunakan sebagai penyimpanan listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit listrik tenaga gelombang.
- e. Sensor arus dan tegangan PZEM-017 merupakan sensor arus dan tegangan yang digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan otomasi untuk memantau penggunaan daya, PZEM-017 menonjol dalam pengukuran parameter DC (*Direct Current*) dengan tingkat akurasi yang tinggi dan data yang disediakan secara *real-time*.
- f. ESP32 yaitu mikrokontroler berbasis IoT (*Internet Of Thing*) yang digunakan untuk mengolah data dari sensor PZEM-017 serta menampilkan hasil pemantauan tegangan *dan* arus secara digital. Selain itu, ESP32 juga dapat mengirimkan data secara nirkabel (misalnya melalui *WiFi* atau *Bluetooth*) sehingga performa sistem pembangkit dapat dimonitor secara *real-time* melalui perangkat lain seperti *smartphone* atau laptop.

Adapun perangkat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3. 1.

Tabel 3. 1. Perangkat Penelitian

No.	Nama Perangkat	Banyak
1.	<i>Recoil Starter</i>	1 Buah
2.	Generator DC (<i>Direct Current</i>)	1 Buah
3.	<i>Boost converter</i>	1 Buah
4.	Pelampung	1 Buah
5.	<i>Relay</i>	1 Buah
6.	Baterai 12VDC (<i>Voltage Direct Current</i>)	1 Buah
7.	Sensor tegangan dan arus PZEM-017	1 Buah
8.	Mikrokontroler ESP32	1 Buah

Selain perangkat yang digunakan pada tabel 3. 1, juga terdapat beberapa perangkat penunjang yang ditunjukkan pada tabel 3. 2.

Tabel 3. 2. Perangkat Penunjang Penelitian

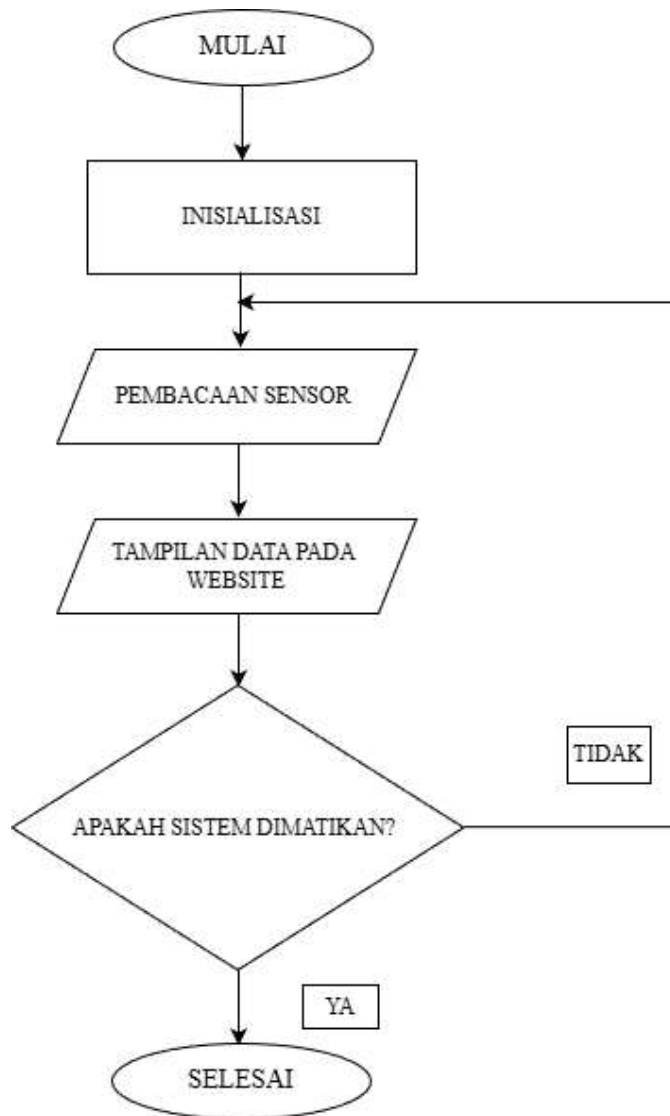
No	Nama Perangkat	Banyak
1.	Kabel	Secukupnya
2.	Alat – alat Ukur	Secukupnya
3.	<i>Software for Access Point WiFi</i>	Secukupnya

2. Flowchart

Flowchart atau diagram alir pada penelitian menggambarkan urutan atau langkah-langkah kegiatan dalam penelitian yang disusun dengan teratur dan ditampilkan dalam bentuk diagram atau *flowchart*. Bagi peneliti, *flowchart* atau diagram alir mirip dengan peta jalan yang menunjukkan langkah apa yang harus dilakukan sejak awal hingga akhir penelitian.

Umumnya *flowchart* dimulai dengan mengidentifikasi masalah, dilanjutkan dengan menetapkan tujuan, mengumpulkan data, menganalisis data, dan akhirnya membuat kesimpulan. Dengan adanya *flowchart*, proses penelitian menjadi lebih mudah dipahami dan dijalankan karena setiap tahapannya tergambar dengan jelas dan teratur.

Flowchart atau diagram alir membantu tidak hanya para peneliti, tetapi juga memudahkan pembaca atau pihak lain dalam memahami langkah dalam proses penelitian. Jadi, dapat dikatakan bahwa *flowchart* memiliki peran yang penting dalam menjaga alur penelitian tetap terarah dan efisien.



Gambar 3. 2 Flowchart
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Pada gambar *flowchart* di atas menggambarkan mengenai alur penelitian peneliti tentang rancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *recoil starter*.

Sistem rangkaian pada prototipe pembangkit bekerja dengan *output* yang dihasilkan sebagai pengisian pada baterai. Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga arus dibaca oleh sensor PZEM-017. Dimana fungsi dari sensor ini adalah untuk membaca arus dan tegangan yang dihasilkan oleh

generator DC (*Direct Current*) dan kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP32. Pada sensor PZEM-017 telah ditetapkan set point oleh peneliti dengan set point $\leq 10V$, 3A yang berarti sensor akan memberikan signal pada *relay* jika listrik yang dihasilkan lebih atau sama dengan set point yang ditetapkan. Sedangkan jika arus dan tegangan yang terbaca oleh sensor PZEM-017 tidak memenuhi set point yang telah ditetapkan oleh peneliti maka sistem rangkaian tidak akan meneruskan daya listrik ke *relay* dan pada akhirnya baterai tidak akan *tersupply* daya listrik. *Output* daya yang dihasilkan oleh prototipe pembangkit listrik tenaga arus ini akhirnya akan digunakan sebagai pengisian pada baterai.

B. Model Perancangan Alat dan Desain

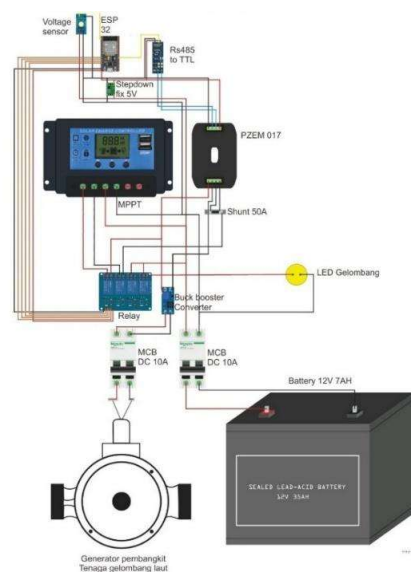
1. Identitas Kebutuhan

Kebutuhan perancangan sistem pada alat dan desain perlu diidentifikasi kebutuhan setiap komponennya agar dapat tercipta sistem yang diinginkan. Identifikasi kebutuhan perancangan sistem dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- a. *Recoil Starter* digunakan sebagai alat penggerak awal untuk memutar poros generator, terutama pada saat kondisi gelombang atau untuk kebutuhan pengujian sistem.
- b. Generator DC (*Direct Current*) digunakan untuk menghasilkan listrik akibat dari perputaran yang mengalami tidak kestabilan.
- c. *Buck-booster converter* digunakan sebagai alat yang berfungsi sebagai stabilisasi daya yang dihasilkan oleh generator DC (*Direct Current*).

- d. Baterai 12VDC (*Voltage Direct Current*) digunakan sebagai penyimpanan listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit listrik tenaga gelombang.
- e. Sensor arus dan tegangan PZEM-017 merupakan sensor arus dan tegangan yang digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan otomasi untuk memantau penggunaan daya, PZEM-017 menonjol dalam pengukuran parameter DC (*Direct Current*) dengan tingkat akurasi yang tinggi dan data yang disediakan secara *real-time*.
- f. ESP32 yaitu mikrokontroler berbasis IoT (*Internet Of Thing*) yang digunakan untuk mengolah data dari PZEM-017 serta menampilkan hasil pemantauan tegangan dan arus secara digital. Selain itu, ESP32 juga dapat mengirimkan data secara nirkabel (misalnya melalui *WiFi* atau *Bluetooth*) sehingga performa sistem pembangkit dapat dimonitor secara *real-time* melalui perangkat lain seperti *smartphone* atau laptop.

2. Wiring Diagram



Gambar 3.3 *Wiring diagram* Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut
Sumber: (Dokumentasi Peneliti)

Pada gambar 3.3 diatas, gambar tersebut dijelaskan bagaimana peneliti merancang sistem perkabelan pada penelitian ini. Perkabelan dimulai dari sumber daya dihasilkan sampai dengan pemanfaatan daya yang dihasilkan, yaitu untuk pengisian pada baterai.

Sistem perkabelan ini menjadi acuan peneliti dalam merangkai sistem yang diteliti, serta untuk mempermudah dalam proses perangkaian sistem. Tentunya pada perangkaian perkabelan ini peneliti juga melakukan pemrograman pada mikrokontroler ESP32 dan juga menetapkan *set point* pada PZEM-017 sebagai sensor pembacaan arus dan tegangan.

3. *Desain Produk atau Alat*



Gambar 3. 4 Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan *Recoil Starter*
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Gambar desain diatas merupakan desain alat atau produk dari penelitian yang akan diteliti oleh peneliti. Proses kerja dari sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini bermula dari gelombang laut

yang membuat pelampung bergerak secara vertikal. Gerakan naik-turun pelampung ini menarik tali yang terhubung ke *ballast* dan *recoil starter*. Selanjutnya, gerakan itu diarahkan ke dalam sistem pegas *recoil (housing pegas maid)* yang bertugas untuk menyimpan energi mekanik. Setelah tersimpan energi yang cukup, pegas melepaskan energi dalam bentuk gerakan berputar satu arah. Putaran ini akan dikirimkan untuk meningkatkan kecepatan dan menstabilkan putaran sebelum masuk ke generator DC (*Direct Current*). Pada akhirnya, generator DC (*Direct Current*) akan mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik arus searah DC (*Direct Current*) yang dapat langsung digunakan, disimpan dalam baterai, atau diubah menjadi arus bolak-balik AC (*Alternating Current*) dengan inverter.

C. Rencana Pengujian atau Desain Uji Coba Produk

Proses perancangan alat akan lebih baik dengan adanya pengujian terhadap alat yang telah dibuat. Rencana pengujian merupakan metode untuk menemukan masalah-masalah yang ada. Supaya dapat mengidentifikasi masalah pada prototipe yang dibangun, maka peneliti menggunakan metode pengujian seperti pengujian statis dan dinamis. Cara pengujian statis dan dinamis akan diuraikan sebagai berikut:

1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini akan dilaksanakan oleh penulis semester VII tahun 2025-2026 untuk merancang projek dan mengambil data penelitian. Tempat penelitian yang akan dijadikan sebagai rencana pengujian tentang “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan *Recoil Starter*” akan dilaksanakan di

kampus Politeknik Pelayaran Surabaya pada tahun 2025-2026.

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari waktu dan tempat penelitian. Tempat penelitian akan dilaksanakan di luar dan di dalam ruangan. Pelaksanaan dilakukan di kolam uji untuk simulasi gelombang, dan di dalam ruangan akan dilaksanakan laboratorium teknik mesin atau elektro untuk pengujian *recoil starter*, Generator DC (*Direct Current*), *Buck-booster converter*, dan baterai 12VDC (*Voltage Direct Current*). Waktu penelitian akan direncanakan selama 6 bulan dimulai pada bulan Mei sampai Oktober 2025. Waktu penelitian disusun sebagai berikut.

Tabel 3.3 Waktu Penelitian Tahun 2025

Kegiatan	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober
Studi literatur dan perumusan masalah	√					
Desain dan perancangan prototipe	√					
Pembuatan dan perakitan alat	√	√				
Pengujian alat dilaboratorium		√	√			
Pengujian simulasi gelombang			√	√		
Pengolahan dan analisis data				√	√	
Penyusunan laporan hasil					√	√
Seminar hasil						√

2. Pengujian Alat

a. Uji Statis

Pengujian statis dilaksanakan guna mengevaluasi kinerja dan keandalan setiap komponen dari sistem pembangkit listrik sebelum melalui proses pengujian dinamis atau pengujian di lapangan. Percobaan ini dilakukan dalam keadaan tidak bergerak atau tanpa

pengaruh langsung dari gelombang laut untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi secara mekanis baik secara terpisah maupun terintegrasi. Pada pengujian statis, peneliti melakukan pengujian terhadap setiap komponen pendukung yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1) *Recoil Starter*

Pengujian *recoil starter* bertujuan sebagai alat penggerak awal untuk memutar poros generator, terutama pada kondisi gelombang atau untuk kebutuhan pengujian sistem. *Recoil starter* bekerja dengan tanggap tanpa terhambat efisiensi mekanis.

2) *Generator DC (Direct Current)*

Pengujian *Generator DC (Direct Current)* bertujuan sebagai penghasil daya listrik utama. *Generator DC (Direct Current)* digunakan untuk menghasilkan listrik.

3) *Buck-booster converter*

Pengujian *Buck-booster converter* bertujuan untuk menjaga *tegangan* output tetap stabil dari generator DC (*Direct Current*) yang cenderung berfluktuasi karena ketidakstabilan sumber tenaga (gelombang laut atau *recoil starter*).

4) *Baterai 12VDC (Voltage Direct Current)*

Pengujian baterai 12VDC (*Voltage Direct Current*) digunakan sebagai penyimpanan *listrik* yang dihasilkan oleh Pembangkit listrik tenaga gelombang. Pengujian dilakukan dengan cara mengisi baterai hingga penuh kemudian menyimpannya selama 24 jam. Setelah 24

jam, ukur daya baterai and pastikan bahwa tidak ada penurunan daya pada baterai.

5) *Sensor Arus dan Tegangan PZEM-017*

Sensor arus dan tegangan PZEM-017 merupakan sensor arus dan tegangan yang digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan otomasi *untuk* memantau penggunaan daya, PZEM-017 menonjol dalam pengukuran parameter DC (*Direct Current*) dengan tingkat akurasi yang tinggi dan data yang disediakan secara *real-time*.

6) *ESP32*

Mikrokontroler *berbasis* IoT (*Internet Of Thing*) yang digunakan untuk mengolah data dari PZEM-017 serta menampilkan hasil pemantauan tegangan dan arus secara digital. Selain itu, ESP32 juga dapat mengirimkan data secara nirkabel (misalnya melalui *WiFi* atau *Bluetooth*) sehingga performa sistem pembangkit dapat dimonitor secara *real-time* melalui perangkat lain seperti *smartphone* atau laptop.

b. Uji Dinamis

Pada penelitian, uji dinamis berfokus pengujian pada penggunaan nyata atau simulasi menggunakan produk atau prototipe dan bagaimana produk bekerja secara nyata. Pemeriksaan ini akan dilakukan di lingkungan kampus Politeknik Pelayaran Surabaya. Pengujian ini akan mengevaluasi kinerja dari alat yang telah dibuat.

Peneliti akan melakukan pengujian dalam penelitian ini yang dilakukan saat kapal tidak dalam kondisi beroperasi dan di bawah

kondisi cuaca yang stabil dan mendukung. Pengujian dilakukan pada kondisi gelombang buatan dengan kecepatan terbatas dan konstan yang disesuaikan dengan kemampuan prototipe. Analisis efisiensi sistem difokuskan pada kinerja putaran *recoil starter* sebagai penggerak utama untuk menggerakkan generator, tanpa mempertimbangkan sistem penyimpanan energi secara detail (seperti baterai).

Pengujian pada prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut dilakukan dengan *recoil starter* yang dihubungkan dengan tali yang di ujungnya di ikat pelampung sebagai pemberat yang digerakkan oleh perubahan ketinggian gelombang laut. Kemudian untuk meneruskan putaran *recoil starter* ke generator dc untuk mengubah momen putar. Generator DC (*Direct Current*) menghasilkan listrik namun tidak stabil, maka digunakanlah *buck-booster converter*. *Buck-booster converter* yaitu alat yang berfungsi sebagai penstabil daya yang dihasilkan oleh generator DC (*Direct Current*), lalu listrik yang dihasilkan disimpan pada baterai yang bisa digunakan untuk alat-alat listrik skala kecil seperti lampu.

Selanjutnya, akan dilakukan pengumpulan data kinerja dari prototipe pembangkit listrik tenaga arus laut. Pengambilan data ini mencakup beberapa hal yang akan diuji melalui tabel.

Tabel 3.4 Pengujian Generator DC (*Direct Current*)

No	RPM (<i>Revolutions Per Minutes</i>) Generator	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Keterangan
1					
2					
3					

4					
5					

Tabel 3.5 Pengujian *Buck-Booster Converter*

No	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)	Efisiensi (%)	Keterangan
1				
2				
3				
4				
5				

Tabel 3.6 Pengujian Sensor dan Tegangan PZEM-017

No	Multimeter (Tegangan)	PZEM-017 (Tegangan)	Persetanse Ketepatan pada Monitoring ESP32 (Via RS485)	Keterangan
1				
2				
3				
4				
5				

Berdasarkan tabel pengujian di atas, pengujian dilakukan untuk memperjelas validitas dan keterulangan eksperimen. Pengujian pada komponen prototipe dilakukan sebanyak 3-5 kali uji coba untuk setiap parameter. Tujuannya agar data konsisten, kestabilan performma sistem saat beroperasi, dan mengidentifikasi adanya kinerja setelah beberapa kali uji coba. Berikut tabel pengujian uji coba komponen prototipe.

Tabel 3.6 Pengujian Uji Coba Prototipe

No	Jenis Pengujian	Jumlah uji	Tujuan
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Tujuan dari rencana pengujian ini untuk mendapatkan data yang akurat dan dapat dipercaya tentang daya yang dihasilkan oleh prototipe pembangkit listrik tenaga arus laut, sehingga tingkat efektivitasnya dapat diketahui. Setelah itu, data penelitian ini juga akan dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya. Hal ini, peneliti akan membandingkan tingkat efisiensinya dengan pembangkit listrik tenaga gelombang sebagai bagian dari sistem yang sedang dikembangkan.