

LAPORAN TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PEMANFAATAN GAS BUANG *MAIN ENGINE* UNTUK  
PEMBARUAN ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA  
BATERAI GUNA MENCAPAI *ZERO EMISSION MARINE  
OPERATION***



PUTRA ADI RIZKI

NIT 0921016103

disusun sebagai salah satu syarat  
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA  
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN  
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL  
TAHUN 2025

LAPORAN TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PEMANFAATAN GAS BUANG *MAIN ENGINE* UNTUK  
PEMBARUAN ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA  
BATERAI GUNA MENCAPIAI *ZERO EMISSION MARINE  
OPERATION***



PUTRA ADI RIZKI

NIT 0921016103

disusun sebagai salah satu syarat  
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA  
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN  
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL  
TAHUN 2025

## **PERNYATAAN KEASLIAN**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Putra Adi Rizki

Nomor Induk Taruna : 09 21 016 1 03

Program Studi : D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul :

**“PEMANFAATAN GAS BUANG MAIN ENGINE UNTUK PEMBARUAN  
ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA BATERAI GUNA MENCAPI  
ZERO EMISSION MARINE OPERATION”**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri.

Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya

SURABAYA, Juli 2025



**PUTRA ADI RIZKI**

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN  
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PEMANFAATAN GAS BUANG *MAIN ENGINE* UNTUK  
PEMBARUAN ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA  
BATERAI GUNA MENCAPAI *ZERO EMISSION MARINE  
OPERATION*

Program Studi : TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL

Nama : PUTRA ADI RIZKI

NIT : 0921016103

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

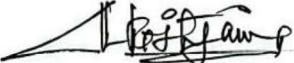
Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan  
Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 03 Desember 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd**  
NIP. 196905312003121001

  
**AZIS NUGROHO, SE., M.Pd**  
NIP. 197503221998081001

Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



**AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd**  
NIP. 198005172005021003

PERSETUJUAN SEMINAR

KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : OPTIMALISASI GAS BUANG MAIN ENGINE UNTUK  
PEMBARUAN ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA BATERAI  
GUNA MENCAPI ZERO WASTE ATAU GO GREEN

Nama Taruna : Putra Adi Rizki

NIT : 09 21 016 1 03

Program studi : D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan

SURABAYA, 03 Juli 2025

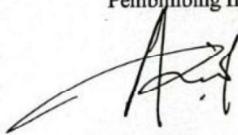
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd  
Penata Tk. I (III/d)  
NIP. 196905312003121001

Pembimbing II



AZIS NUGROHO, SE., M.Pd  
Pembina (IV/a)  
NIP. 197503221998081001

Mengetahui,  
Ketua Prodi D-IV TRKK  
DIRHAMSYAH, S.E., M.Pd  
Penata Tk. I (III/d)  
NIP. 197504302002121002

**LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL**  
**KARYA ILMIAH TERAPAN**  
**OPTIMALISASI GAS BUANG MAIN ENGINE UNTUK PEMBARUAN ENERGI**  
**DALAM PENGISIAN DAYA BATERAI GUNA MENCAPIAI ZERO WASTE ATAU GO**  
**GREEN**

Disusun dan Diajukan Oleh:

PUTRA ADI RIZKI

NIT. 09.21.016.1.03

D-IV TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL

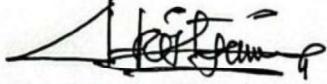


Penguji I

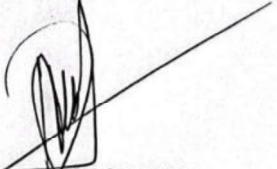
  
**DIAN ALIA, S.T, M.Eng**  
Penata (III/c)  
NIP. 199106062019022003

  
**Dr. Jr. PRIHASTONO, M.T**

Penguji III

  
**Dr. ANTONIUS EDY KRISTIVONO, M.Pd**  
Penata Tk I (III/d)  
NIP. 196905312003121001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Sarjana Terapan D-IV TRKK  
Politeknik Pelayaran Surabaya

  
**DIRHAMSYAH, S.E, M.Pd**  
Penata Tk. I (III/d)  
NIP. 197504302002121002

PENGESAHAN  
LAPORAN TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN

PEMANFAATAN GAS BUANG *MAIN ENGINE* UNTUK PEMBARUAN  
ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA BATERAI GUNA MENCAPAI *ZERO*  
*EMISSION MARINE OPERATION*

Disusun oleh:

PUTRA ADI RIZKI  
NIT. 09.21.016.1.03

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

Surabaya, 28 JULI 2025  
Mengesahkan,

Dosen Penguji I



DIANA ALIA, ST., M.Eng  
NIP. 199106062019022003

Dosen Penguji II



Dr. Ir. PRIHASTONO, M.T.

Dosen Penguji III



ANTONIUS EDY K., M.Pd  
NIP. 196905312003121001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

## ABSTRAK

Rizki, Putra Adi, Pemanfaatan Gas Buang *Main Engine* Untuk Pembaruan Energi Dalam Pengisian Daya Baterai Guna Mencapai *Zero Emission Marine Operation*. Dibimbing oleh Bapak Antonius Edy Kristiyono, M.Pd. dan Bapak Azis Nugroho, SE., M.Pd.

Meningkatnya perhatian terhadap isu emisi kapal dan pencemaran lingkungan laut mendorong kebutuhan akan sistem kelistrikan kapal yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem pemanfaatan gas buang dari main engine kapal sebagai sumber energi terbarukan untuk pengisian daya baterai, guna mendukung operasional kapal yang ramah lingkungan. Energi panas dari gas buang yang sebelumnya tidak dimanfaatkan, dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin gas dan generator DC, lalu disalurkan ke baterai VRLA. Sistem ini dilengkapi dengan mikrokontroler ESP32 dan MPPT untuk mengatur kestabilan dan efisiensi pengisian.

Pengujian dilakukan di Politeknik Pelayaran Surabaya dengan mensimulasikan gas buang menggunakan tekanan udara dari kompresor. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan daya listrik maksimal dengan tekanan gas buang 13 psi dan daya hingga 48 watt. Sistem ini tidak hanya mampu mengurangi emisi dan konsumsi bahan bakar, tetapi juga mendukung transisi menuju kapal dengan jejak karbon rendah (*low-emission shipping*).

**Kata Kunci :** Gas Buang, Energi Terbarukan, Kapal Ramah Lingkungan, Efisiensi Energi, Emisi Rendah.

## ***ABSTRACT***

*Rizki, Putra Adi, Utilization Of Main Engine Exhaust Gases For Energy Renewal In Battery Charging To Achieve Zero Emission Marine Operation. Supervised by Mr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd. and Mr. Azis Nugroho, SE., M.Pd.*

*The increasing concern over ship emissions and marine environmental pollution has driven the need for more efficient and sustainable onboard power systems. This research aims to develop a prototype system that utilizes exhaust gases from the ship's main engine as a renewable energy source for battery charging, supporting low-emission ship operations. Waste heat from the exhaust gases, which is typically discarded, is converted into electrical energy through a gas turbine and 220V DC generator, then stored in a VRLA battery. The system is controlled by an ESP32 microcontroller and integrated with MPPT technology to maintain charging stability and efficiency.*

*Testing was conducted at the Surabaya Maritime Polytechnic, simulating exhaust gas using compressed air from a compressor. The results showed the system was capable of generating maximum electrical power with an exhaust gas pressure of 13 psi and a power output of up to 48 watts. This system not only reduces emissions and fuel consumption but also supports the transition to low-emission shipping.*

***Keywords:*** *Exhaust Gas, Renewable Energy, Environmentally Friendly Ship, Energy Efficiency, Low Emission.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala kuasa, berkat, Rahmat dan anugrah-Nya penulis dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan dengan judul :

### **“PEMANFAATAN GAS BUANG MAIN ENGINE UNTUK PEMBARUAN ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA BATERAI GUNA MENCAPIAI ZERO EMISSION MARINE OPERATION”**

Dalam penyelesaian penulisan Karya Ilmiah Terapan ini penulis mengalami banyak sekali kesulitan dan hambatan, tetapi berkat bantuan dan dorongan dari para pembimbing penulisan Karya Ilmiah Terapan ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah mendukung serta memberi semangat dalam penyusunan Karya Ilmiah Terapan.
2. Bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd Selaku Ketua Prodi Diploma IV TRKK di Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah membimbing kami dalam penyusunan Karya Ilmiah Terapan.
3. Bapak Antonius Edy Kristiyono, M.Pd. selaku dosen pembimbing I yang selalu meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan serta semangat dalam penulisan Karya Ilmiah Terapan.
4. Bapak Azis Nugroho, SE., M.Pd. selaku dosen pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktunya dan dengan sabar memberikan dukungan, semangat, serta bimbingan dalam menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan.
5. Kedua orang tua Bapak Achmad Suyitno dan Ibu Rini yang telah memberikan dukungan, motivasi dan semangat dalam menyelesaikan proposal ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Karya Ilmiah Terapan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk penyempurnaan Karya Ilmiah Terapan ini kedepannya. Akhir kata penulis berharap semoga Karya Ilmiah Terapan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak pada umumnya dan untuk Lembaga Politeknik Pelayaran Surabaya pada khususnya.

Surabaya, Juli 2025  
Penulis

PUTRA ADI RIZKI

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL.....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR HASIL.....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR HASIL .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
A. Review Penelitian Sebelumnya .....	6
B. Landasan Teori .....	8
1. Main Engine (ME) .....	8

2. Generator Motor 220V DC .....	9
3. Gas Turbin .....	10
4. Mikrokontroler ESP32 .....	13
5. MCB (Miniature Circuit Breaker).....	14
6. LCD .....	16
7. Baterai VRLA .....	16
8. MPPT (Maximum Power Point Tracking).....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
A. Perancangan Sistem.....	20
1. Hardware .....	20
2. Software.....	21
B. Model Perancangan Alat .....	22
1. Program Arduino IDE.....	22
2. Fritzing .....	23
3. Flowchart.....	24
C. Rencana Pengujian Uji Coba Produk .....	27
1. Waktu dan tempat pengujian .....	27
2. Pengujian Alat.....	27
D. Perencanaan Penilaian Alat.....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
A. Hasil Penelitian .....	31
1. Perancangan kebutuhan alat.....	31
2. Uji coba komponen .....	31
B. Analisis Data .....	35

<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>44</b>
A. Kesimpulan .....	44
B. Saran.....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Main Engine .....	9
Gambar 2.2 Motor 220V DC.....	9
Gambar 2.3 Turbin Gas .....	13
Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP32.....	14
Gambar 2.5 MCB .....	15
Gambar 2.6 LCD .....	16
Gambar 2.7 Baterai VRLA.....	17
Gambar 2.8 MPPT.....	18
Gambar 3.1 Blok Diagram Rancangan.....	21
Gambar 3.2 Software Arduino IDE .....	23
Gambar 3.3 Software Fritzing.....	24
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Rancangan.....	26
Gambar 4.1 Desain alat keseluruhan.....	32
Gambar 4.2 Pengujian Mikrokontroller ESP32 .....	32
Gambar 4.3 Pengujian MCB .....	33
Gambar 4.4 Pengujian Baterai VRLA .....	33
Gambar 4.5 Pengujian Turbin gas.....	34
Gambar 4.6 Pengujian LCD .....	34
Gambar 4.7. Pengujian MPPT .....	35
Gambar 4.8 Grafik Arus.....	41
Gambar 4.9 Grafik Tegangan.....	42
Gambar 4.10 Grafik Daya.....	42

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Beberapa penelitian terkait .....	7
Tabel 3. 1 Pengujian Alat.....	28
Tabel 4. 1 Pengujian Daya Yang Masuk Ke Baterai Hari ke-1 .....	36
Tabel 4. 2 Pengujian Daya Yang Masuk Ke Baterai Hari ke-2 .....	37
Tabel 4. 3 Pengujian Daya Yang Masuk Ke Baterai Hari ke-3 .....	38

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Industri maritim, sebagai sektor transportasi terbesar di dunia, menghadapi tantangan besar terkait dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh emisi gas buang dari mesin utama kapal. Mesin utama kapal umumnya menggunakan bahan bakar fosil, yang menghasilkan polusi udara berupa gas rumah kaca (GRK) seperti CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub>. Emisi ini berkontribusi signifikan terhadap perubahan iklim dan kualitas udara, yang memicu perlunya inovasi dalam teknologi yang dapat mengurangi dampak lingkungan, sekaligus meningkatkan efisiensi operasional kapal. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah pengoptimalan penggunaan energi dalam sistem kapal, khususnya dengan memanfaatkan gas buang dari *Main Engine*.

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan panas yang terbuang dari gas buang mesin utama untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk mengisi daya baterai kapal. Gas buang dari mesin utama mengandung energi panas yang cukup besar. Dalam praktik umum, energi ini hanya dibuang ke atmosfer tanpa pemanfaatan yang berarti. Padahal, dengan teknologi yang tepat, energi dari gas buang ini dapat dikonversi kembali menjadi energi listrik, misalnya melalui sistem *waste heat recovery* untuk mengisi daya baterai. Energi listrik tersebut kemudian bisa digunakan untuk kebutuhan listrik kapal, sehingga mengurangi beban kerja generator dan konsumsi bahan bakar tambahan.

Gas buang dari *Main Engine*, khususnya mesin diesel, terdiri dari berbagai komponen yang bersifat berbahaya maupun yang masih dapat dimanfaatkan. Salah satu kandungan utama adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yaitu gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Meskipun tidak beracun dalam konsentrasi rendah, CO<sub>2</sub> memberikan kontribusi besar terhadap pemanasan global. Selain itu, terdapat karbon monoksida (CO), gas beracun yang terbentuk akibat pembakaran tidak sempurna. CO sangat berbahaya bagi kesehatan karena mampu mengikat hemoglobin dalam darah lebih kuat daripada oksigen, sehingga mengganggu distribusi oksigen ke seluruh tubuh. Selanjutnya, gas buang juga mengandung nitrogen oksida (NOx) yang terdiri dari NO dan NO<sub>2</sub>. Gas ini berperan dalam pembentukan hujan asam serta polusi udara seperti kabut asap (smog), dan memiliki dampak buruk terhadap sistem pernapasan manusia. Sulfur oksida (SOx) juga hadir dalam gas buang, terutama ketika menggunakan bahan bakar dengan kandungan sulfur tinggi seperti *heavy fuel oil* (HFO). SOx berkontribusi terhadap hujan asam dan dapat menyebabkan korosi pada peralatan kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan energi terbarukan dengan memanfaatkan panas dari gas buang *Main Engine* untuk mengisi daya pada baterai. Sistem ini diharapkan mampu menjadi solusi inovatif untuk mengurangi terjadinya polusi udara dan dapat mengoptimalkan penggunaan energi di atas kapal.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis mengangkat judul :  
“Pemanfaatan Gas Buang *Main Engine* Untuk Pembaruan Energi Dalam Pengisian Daya Baterai Guna Mencapai *Zero Emission Marine Operation*”

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara pemanfaatan gas buang dari mesin utama kapal untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan dalam pengisian daya baterai kapal?
2. Apa saja faktor yang mempengaruhi efisiensi konversi energi dari gas buang menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk pengisian daya baterai pada kapal?

## C. Batasan Masalah

Agar masalah ini tidak meluas dari pokok permasalahan yang sebenarnya, maka peneliti mengambil batasan masalah yaitu terbatas pada hal-hal berikut :

1. Penelitian ini difokuskan pada gas buang yang dihasilkan oleh *Main Engine*
2. Solusi yang diterapkan akan terbatas pada metode konversi energi termal atau kinetik yang berasal dari gas buang menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk pengisian baterai
3. Penelitian ini akan fokus pada upaya mencapai efisiensi maksimal dalam pemanfaatan gas buang, dengan tujuan mengurangi emisi dan meminimalkan jejak karbon
4. Penelitian ini akan terbatas pada kajian teoritis, simulasi, dan *prototype* kecil atau skala laboratorium, dan tidak akan mencakup implementasi langsung pada sistem nyata dalam industri kapal

#### **D. Tujuan Penelitian**

1. Menyusun metode atau teknik yang efektif untuk pemanfaatan gas buang dari mesin utama kapal sebagai sumber energi listrik
2. Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi konversi energi dari gas buang menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk pengisian daya baterai di kapal.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini, manfaat yang diharapkan oleh penulis diantaranya :

##### **1. Manfaat teoritis**

Secara teoritis, penelitian ini memperkaya pemahaman tentang pemanfaatan energi terbarukan dengan mengoptimalkan konversi gas buang *main engine* menjadi energi listrik untuk pengisian daya baterai. Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan teori tentang efisiensi penggunaan energi sisa, mengurangi emisi polutan, dan mendukung konsep *zero emission marine polution* dalam sistem pembangkit energi dan transportasi. Selain itu, penelitian ini juga berpotensi memberikan wawasan baru dalam integrasi teknologi berbasis bahan bakar fosil dengan solusi energi terbarukan, serta memperluas teori keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya dan pengurangan jejak karbon dalam industri energi dan transportasi.

##### **2. Manfaat praktis**

Pemanfaatan gas buang *main engine* untuk pembaruan energi dalam pengisian daya baterai guna mencapai *zero emission marine polution* memiliki manfaat praktis yang signifikan dalam upaya pengurangan emisi

karbon dan pemanfaatan energi secara efisien. Dengan memanfaatkan gas buang yang biasanya terbuang sia-sia, teknologi ini dapat mengubahnya menjadi sumber energi yang digunakan untuk mengisi daya baterai, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penerapan teknologi ini tidak hanya mendukung prinsip keberlanjutan dan efisiensi energi, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian tujuan *zero emission marine polution*, menciptakan sistem yang lebih ramah lingkungan, hemat biaya, dan lebih efisien dalam jangka panjang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Review Penelitian Sebelumnya**

Pengkajian literatur sebelumnya adalah penjabaran mengenai teori hasil temuan dan sumber penelitian lain yang diperoleh dari referensi untuk menjadi dasar kegiatan penelitian dalam menyusun kerangka pemikiran yang jelas dari perumusan masalah yang ingin diteliti. Di sumber lain, dikemukakan bahwa pengkajian literatur adalah analisis berupa kritik membangun maupun meruntuhkan dari penelitian yang sedang dilakukan terhadap topik khusus atau pertanyaan terhadap suatu bagian dari keilmuan. Pengkajian literatur merupakan narasi ilmiah terhadap suatu permasalahan tertentu. Pengkajian literatur berisi tinjauan, ringkasan, dan pemikiran penulisan tentang beberapa sumber pustaka (artikel, buku, informasi dari internet dan lain-lain) tentang topik yang sedang dibahas. Pengkajian literatur atau ulasan penelitian sebelumnya dapat dijadikan sebagai bahan informasi, referensi, kajian ataupun sebagai sumbangan pemikiran bagi penulis yang akan melakukan penelitian terkait tentang topik yang sedang dibahas dalam penelitian tersebut. Tabel pengkajian literatur terkait dari penelitian sebelumnya dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 2. 1 Beberapa penelitian terkait

No	Penulis	Judul Penelitian	Kesimpulan
1.	Faisal Irfan Pasaribu (2019)	Manfaatkan Panas Exhaust Sepeda Motor Sebagai Sumber Energi listrik Memakai Thermoelectric	Thermoelectric dapat membangkitkan energi listrik dengan cara mengkonversinya dari energi panas pada exhaust menjadi sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk keperluan seperti memicas handphone, menghidupkan lampu LED, dll. Penelitian ini menggunakan modul termoelektrik untuk mengubah panas gas buang sepeda motor menjadi energi listrik, dengan memvariasikan jenis rangkaian (seri dan paralel), waktu pengambilan data (siang dan malam), serta nilai koefisien termoelektrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya listrik maksimum sebesar 19,24 W diperoleh pada rangkaian paralel dengan tegangan 1,743 V, sedangkan pada rangkaian seri menghasilkan 13,51 W dengan tegangan 6,69 V. Koefisien termoelektrik tertinggi yang tercatat adalah 0,19977 V/K. Temperatur optimal gas buang sekitar 90°C, dan penggunaan enam modul Peltier dalam konfigurasi paralel direkomendasikan untuk hasil terbaik
2.	Raudlotul Jannah Al-Ihsany (2020)	Analisa Efisiensi Turbin Generator Pada STG PLTGU Blok 1 Di PT. Indonesia Power Up Semarang	Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : (Energi thermal pada pola operasi 3-3-1 lebih tinggi daripada energi thermal pada pola operasi 2-2-1. Hal ini dikarenakan adanya beberapa faktor yaitu kesalahan alat ukur, kesalahan ketika perubahan dari analog ke digital ke angka yang tertera pada layar monitor operator PLTGU blok 1 di PT. Indonesia Power UP Semarang). (Energi listrik yang dihasilkan oleh GT Generator PLTGU Blok 1 pada pola operasi 3-3-1 lebih tinggi daripada energi listrik pada pola operasi 2-2-1. Hal ini dikarenakan pada pola operasi 3-3-1 menggunakan 3 GTG yang memungkinkan produksi listrik lebih banyak daripada menggunakan pola operasi 2-2-1 yang menerapkan 2 GTG).

## B. Landasan Teori

### 1. *Main Engine (ME)*

*Main Engine (ME)* merupakan mesin utama kapal yang digunakan untuk menghasilkan energi mekanik guna menggerakkan propeller, sehingga kapal dapat bergerak. Mesin ini umumnya berupa mesin diesel dua langkah atau empat langkah yang bekerja berdasarkan prinsip pembakaran internal. Bahan bakar yang digunakan antara lain *Marine Diesel Oil* (MDO), *Heavy Fuel Oil* (HFO), dan *Liquefied Natural Gas* (LNG). Dalam proses pembakarannya, energi kimia bahan bakar hanya sebagian yang dikonversi menjadi energi mekanik; sisanya hilang dalam bentuk panas, gesekan, dan getaran mesin. Efisiensi termal dari mesin diesel sendiri rata-rata berada pada kisaran 35%–45%, menjadikan gas buang sebagai salah satu sumber kehilangan energi terbesar.

Gas buang dari ME memiliki temperatur yang cukup tinggi, umumnya berkisar antara 300°C hingga 500°C dalam kondisi kerja normal, dan dapat mencapai lebih dari 550°C dalam beban penuh. Komposisi gas buang mencakup karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), sulfur oksida (SOx), serta uap air dan partikel-partikel halus. Walaupun bersifat mencemari lingkungan, kandungan energi termal dalam gas buang tersebut menyimpan potensi besar untuk dimanfaatkan kembali. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah *Waste Heat Recovery System* (WHRS), di mana panas gas buang dimanfaatkan untuk menghasilkan uap air melalui *boiler* atau *economizer*, dan selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang terhubung ke generator

listrik. Alternatif lain seperti *Thermoelectric Generator* (TEG) dan *Organic Rankine Cycle* (ORC) juga menjadi solusi dalam memanfaatkan panas buang, terutama dalam suhu rendah hingga sedang. Teknologi ini dapat mengurangi beban *auxiliary engine* serta mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon di sektor maritim.



Gambar 2.1 *Main Engine*

Sumber : [https://www.anakteknik.co.id/alifnr798/articles/nyalain-mesin-kapal-nggak-perlu-pakai-engkol-motor#google\\_vignett](https://www.anakteknik.co.id/alifnr798/articles/nyalain-mesin-kapal-nggak-perlu-pakai-engkol-motor#google_vignett)

## 2. Generator Motor 220V DC



Gambar 2.2 Motor 220V DC

Sumber : <https://i.pinimg.com/736x/14/70/dd/1470ddca1f322086c.jpg>.

Menurut Hughes (2005), dalam buku *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, generator DC yang menghasilkan tegangan tinggi seperti 220V DC sering digunakan dalam aplikasi tertentu seperti sistem penyimpanan energi, kendaraan listrik, atau aplikasi industri,

di mana kestabilan tegangan dan keandalan sistem sangat penting.

### 3. Gas Turbin

Menurut Saravanamuttoo, Cohen, Rogers, dan Straznicky (2017), dalam buku *Gas Turbine Theory*, gas turbin didefinisikan sebagai mesin pembakaran internal yang bekerja berdasarkan prinsip siklus Brayton. Gas turbin mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik melalui proses kompresi udara, pembakaran, dan ekspansi dalam turbin. Mesin ini digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi seperti pembangkit listrik, pesawat terbang, dan sistem penggerak kendaraan industri.

#### a. Prinsip Kerja Gas Turbin (Siklus Brayton)

Siklus Brayton terdiri dari empat proses utama, yang dapat dibagi menjadi dua bagian termodinamika (ideal) dan dua proses aktual dalam mesin:

##### 1) Kompresi Isentropik

Udara dihisap dari atmosfer dan dikompresi oleh kompresor, meningkatkan tekanan dan suhunya.

##### 2) Pembakaran pada Tekanan Konstan

Udara bertekanan tinggi dicampur dengan bahan bakar di ruang bakar. Campuran ini dibakar sehingga menghasilkan gas panas berenergi tinggi.

##### 3) Ekspansi Isentropik

Gas hasil pembakaran dipaksa mengalir melalui turbin, menyebabkan turbin berputar. Energi termal diubah menjadi energi mekanik.

4) Pembuangan Gas Sisa: Gas sisa hasil ekspansi dibuang ke atmosfer.

Proses ini membentuk satu siklus kerja yang berkesinambungan dan efisien untuk menghasilkan daya.

b. Komponen Utama Gas Turbin

Gas turbin terdiri atas tiga komponen utama:

1) Kompresor

Bertugas mengompresi udara sebelum masuk ke ruang bakar. Umumnya berupa kompresor aksial atau radial.

2) Ruang Bakar (*Combustion Chamber*)

Tempat terjadinya pencampuran udara dengan bahan bakar dan proses pembakaran.

3) Turbin

Mengubah energi termal dari gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kompresor dan beban eksternal (seperti poros daya).

c. Aplikasi Gas Turbin

Gas turbin digunakan secara luas karena keandalan dan kepadatan tenaganya yang tinggi. Beberapa aplikasi utama meliputi:

- 1) Pembangkit Listrik: Digunakan dalam pembangkit listrik tenaga gas (*gas-fired power plants*), baik dalam siklus terbuka maupun siklus gabungan (*combined cycle*).
- 2) Penerbangan: Mesin jet merupakan bentuk gas turbin yang dirancang untuk menghasilkan dorongan. Digunakan pada pesawat komersial, militer, dan helikopter.

- 3) Kendaraan Industri dan Maritim: Digunakan pada kapal laut, kendaraan militer, dan sistem transportasi lainnya yang memerlukan daya besar dan kompak.

Proses perubahan energi dari gas (bahan bakar) menjadi listrik dalam sistem turbin gas melibatkan beberapa tahapan penting, di mana energi kimia diubah secara bertahap menjadi energi mekanik, lalu menjadi energi listrik. Berikut adalah penjelasan runtut mengenai proses tersebut:

- a. Energi Kimia → Energi Termal (Panas) Proses: Pembakaran di ruang bakar
  - 1) Bahan bakar gas (misalnya gas alam) dicampur dengan udara bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh kompresor.
  - 2) Campuran ini dibakar dalam ruang bakar (*combustion chamber*).
  - 3) Hasil pembakaran adalah gas panas bertekanan tinggi.
  - 4) Dalam proses ini, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi termal (panas) dalam bentuk gas panas yang mengalir cepat.
- b. Energi Termal → Energi Mekanik Proses: Ekspansi gas panas melalui turbin
  - 1) Gas panas hasil pembakaran diarahkan ke turbin.
  - 2) Ketika gas panas melewati bilah-bilah turbin, ia memutar poros turbin.
  - 3) Proses ini mengubah energi termal dari gas panas menjadi energi mekanik rotasi (putaran poros turbin).
  - 4) Sebagian dari energi mekanik ini digunakan untuk menggerakkan kompresor, sisanya digunakan untuk menghasilkan listrik.

c. Energi Mekanik → Energi Listrik Proses: Konversi melalui generator listrik

- 1) Poros turbin yang berputar disambungkan ke generator listrik.
- 2) Saat poros berputar, kumparan di dalam generator bergerak terhadap medan magnet.
- 3) Gerakan ini menyebabkan terjadinya induksi elektromagnetik, yang menghasilkan arus listrik sesuai dengan hukum Faraday.
- 4) Arus ini kemudian disalurkan ke sistem kelistrikan untuk digunakan atau didistribusikan ke jaringan listrik.



Gambar 2. 3 Turbin Gas

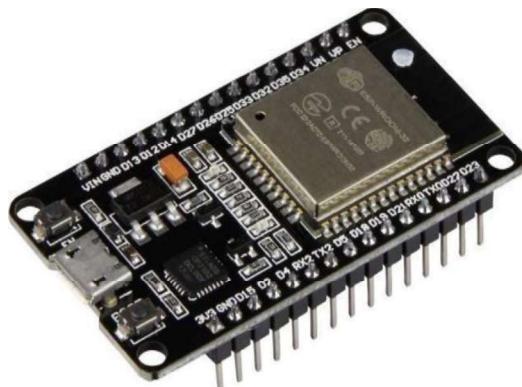
Sumber: <https://images.tokopedia.net/img/cache/500square/VqbcmM/2023/1/4/3/dbf718b-54d8-4706-b63d-61178df0ab07.jpg>

#### 4. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan sebuah sistem on-chip (SoC) yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, yang dirancang untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) dan komunikasi nirkabel. ESP32 mengintegrasikan dua inti prosesor berbasis arsitektur Xtensa 32-bit yang dapat berjalan pada kecepatan hingga 240 MHz, serta dilengkapi dengan berbagai fitur komunikasi seperti Wi- Fi dan Bluetooth. ESP32 memiliki keunggulan dalam hal konsumsi daya yang rendah, kemampuan pemrograman yang

fleksibel, serta kapasitas memori yang besar, yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi embedded dan kontrol otomatis. Dalam hal pengembangan perangkat IoT.

ESP32 mampu berfungsi sebagai pusat pengolahan data yang efisien, dengan dukungan berbagai antarmuka I/O seperti GPIO, UART, SPI, dan I2C, yang memungkinkan integrasi dengan sensor dan aktuator. Keunggulan lainnya adalah adanya pengaturan daya yang canggih, sehingga memudahkan pengoperasian dalam mode rendah daya yang sangat penting dalam aplikasi portabel dan terhubung terus-menerus. Dengan kemudahan pengembangan menggunakan platform seperti Arduino IDE atau ESP-IDF, ESP32 banyak digunakan dalam berbagai proyek elektronik dan sistem kendali otomatis, baik untuk keperluan penelitian maupun industri.



Gambar 2. 4 Mikrokontroler ESP32

Sumber : <https://www.conrad.com/en/p/joy-it-development-board-node-mcu-esp32-modul-1656367.html>

## 5. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

*Miniature Circuit Breaker* (MCB) adalah perangkat proteksi listrik yang dirancang untuk melindungi sirkuit dari arus lebih (*overcurrent*) yang dapat merusak peralatan listrik atau menimbulkan bahaya kebakaran. MCB bekerja dengan cara memutuskan aliran listrik secara otomatis saat arus yang

melalui sirkuit melebihi batas aman yang telah ditentukan.

MCB mengandalkan prinsip kerja elektromagnetik atau termal untuk mendeteksi adanya arus lebih. MCB dengan pengaturan termal bekerja berdasarkan pemanasan kumparan bimetal yang mengembang saat terpapar arus berlebih, sehingga menyebabkan pemutusan aliran listrik. Sedangkan MCB dengan pengaturan elektromagnetik mengandalkan gaya tarik yang dihasilkan oleh medan magnet pada kumparan elektromagnetik untuk memutuskan hubungan listrik saat terdeteksi lonjakan arus yang sangat cepat, seperti dalam kondisi hubungan singkat (*short circuit*). Teori ini menjelaskan pentingnya penggunaan MCB dalam menjaga keselamatan sistem kelistrikan rumah tangga, industri, dan bangunan komersial, dengan cara melindungi instalasi dan peralatan dari kerusakan akibat gangguan arus lebih.

MCB juga dirancang untuk dapat direset setelah diputus, sehingga memungkinkan pemulihan sirkuit tanpa penggantian alat, yang menjadikannya lebih praktis dan ekonomis dibandingkan dengan fuse (sekering).



Gambar 2. 5 MCB

Sumber : <https://seamless-automation.com/shop/miniature-circuit-breakers-mcbs/one-pole-miniature-circuit-breakers-mcb-easy9/>

## 6. LCD

Menurut Muhammad Fiqar dkk (2022:3), LCD adalah perangkat output yang paling sering digunakan sebagai tampilan pada aplikasi mikrokontroler. LCD, yang merupakan singkatan dari *Liquid Crystal Display*, berfungsi sebagai komponen elektronik yang mampu menampilkan angka, huruf, kata, dan simbol secara visual. Hal ini membuat tampilan pada LCD lebih rapi, lebih menarik secara visual, dan lebih serbaguna dibandingkan dengan tampilan pada LED *seven segment* yang umum digunakan.



Gambar 2. 6 LCD

Sumber : <https://www.tpssearchtool.com/imas/lcd-interfacing-with-arduino-16x2-lcd-with-arduino-i2c>

## 7. Baterai VRLA

Baterai VRLA (*Valve-Regulated Lead Acid*) adalah jenis baterai timbal- asam yang dirancang dengan sistem penyegel untuk meminimalkan kebutuhan perawatan, seperti pengisian ulang air elektrolit. Teknologi VRLA menggunakan katup pengatur tekanan untuk mengontrol gas yang dihasilkan selama proses pengisian daya, sehingga baterai ini hampir bebas perawatan (*maintenance-free*). Baterai VRLA terdiri dari dua varian utama, yaitu AGM (*Absorbed Glass Mat*) dan Gel, yang keduanya memiliki keunggulan dalam aplikasi pengisian ulang daya.

Dalam pengujian *prototype*, baterai VRLA sering digunakan karena keamanannya yang tinggi, kemampuan untuk diisi ulang secara berulang kali, serta ketahanan terhadap pelepasan daya yang lambat (*self-discharge rate*). Karakteristik ini membuat baterai VRLA ideal untuk aplikasi sistem energi terbarukan atau alat portabel yang membutuhkan daya tahan jangka panjang. Selain itu, kemampuannya untuk beroperasi dalam berbagai posisi dan lingkungan menjadikannya pilihan tepat dalam pengujian *prototype* yang mengutamakan efisiensi, stabilitas, dan keandalan sistem pengisian daya.



Gambar 2. 7 Baterai VRLA

Sumber : <https://homecare24.id/baterai-vrla-adalah/>

#### 8. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

MPPT adalah metode untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan panel surya dengan menjaga operasi panel di titik daya maksimum (*Maximum Power Point/MPP*), yang berubah tergantung cahaya dan suhu.

MPPT bertujuan mengambil daya maksimum dari panel surya dengan cara mengatur tegangan dan arus melalui DC-DC *converter* agar selalu berada di titik MPP.

Algoritma umum:

- Perturb and Observe (P&O)* – ganggu dan amati perubahan daya.

- b. *Incremental Conductance* (IncCond) – menggunakan turunan arus dan tegangan.
- c. *Constant Voltage* (CV) – mengatur tegangan sekitar 76–80% dari tegangan terbuka.

Manfaat:

- a. Meningkatkan efisiensi panel surya.
- b. Menyesuaikan diri dengan perubahan cuaca.



Gambar 2.8 MPPT

Sumber : <https://shopee.co.id/MODEL-BARU!-MPPT-MPPT30-30A-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-DC-12V-24V-30A-i.98816986.1666338649>

## 9. Aspek Elektrikal Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat yang mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik, lalu dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Dalam sistem elektrikal, komponen utama adalah generator, yang umumnya berbentuk generator DC atau AC (*alternator*), tergantung pada desain sistem dan kebutuhan *output*.

### a. Prinsip Kerja Generator pada Turbin Angin

Ketika bilah turbin diputar oleh angin, poros utama akan memutar rotor generator. Dalam generator, gerakan relatif antara kumparan (*coil*) dan medan magnet akan menghasilkan gaya gerak listrik (ggl) sesuai hukum

Faraday:

$$ggl = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\theta)$$

Dimana:

- $N$  = jumlah lilitan
- $B$  = kerapatan fluks magnetik (*Tesla*)
- $A$  = luas permukaan kumparan ( $m^2$ )
- $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)
- $\theta$  = sudut antara fluks dan bidang kumparan

b. Hubungan Kecepatan Putar (RPM) terhadap Tegangan dan Arus

Dalam sistem generator DC sederhana (seperti yang digunakan pada penelitian ini), tegangan dan arus sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran (RPM). Hubungan umumnya bersifat linear:

$$V = Kv \cdot N$$

$$I = \frac{P}{V}$$

Di mana:

- $V$  = tegangan output (*volt*)
- $Kv$  = konstanta tegangan per RPM (volt/RPM), ditentukan oleh jenis generator
- $N$  = putaran per menit (RPM)
- $I$  = arus output (*ampere*)
- $P$  = daya listrik yang dihasilkan (*watt*)

Konstanta  $k_{vk\_kv}$  diperoleh melalui pengujian eksperimen atau spesifikasi teknis generator. Dengan mengetahui RPM turbin, kita bisa estimasi tegangan dan arus secara teoritis

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini, penulis menggunakan metode penelitian *Research and Development* (RnD). Penelitian jenis ini bertujuan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji efektivitas produk tersebut. Dengan karakteristik analisis kebutuhan, penelitian ini dirancang untuk menciptakan produk dan menguji kebermanfaatannya agar dapat digunakan oleh masyarakat umum.

#### **A. Perancangan Sistem**

Perancangan alat yang dibahas dalam penelitian ini mencakup beberapa komponen krusial. Pertama, terdapat perancangan perangkat keras yang mencakup Mikrokontroler ESP32, MCB, Baterai VRLA, Motor 220V DC, Turbin Gas, LCD, dan MPPT. Komponen-komponen ini dirancang untuk bekerja bersama-sama dalam sistem yang terintegrasi. Berikut software dan hardware yang digunakan pada perancangan alat ini :

1. Hardware
  - a. Mikrokontroler ESP32
  - b. MCB
  - c. Baterai VRLA
  - d. Motor 220V DC
  - e. Turbin Gas
  - f. LCD

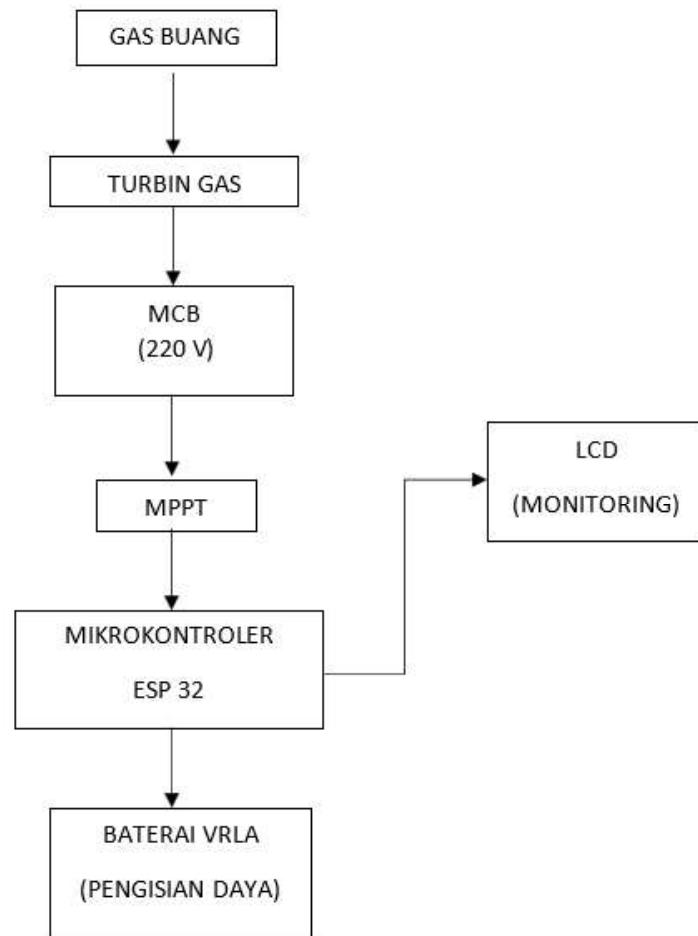
## g. MPPT

## 2. Software

a. Arduino Ide

b. Aplikasi Fritzing

c. Flowchart



Gambar 3. 1 Blok Diagram Rancangan

Sumber : Dokumen Penelitian

Seluruh alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini didesain secara khusus sesuai dengan diagram blok yang dapat ditemukan pada gambar 1. Diagram blok ini memberikan gambaran yang jelas tentang

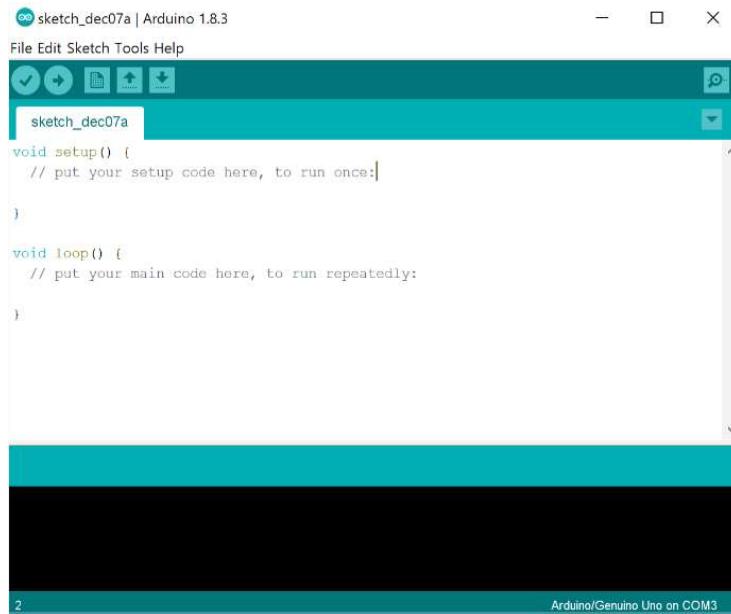
bagaimana setiap komponen saling terhubung dan berinteraksi secara sinergis untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Maka dari itu rancangan diatur seperti yang diharapkan, dan rancangan komponen yang dilakukan pada penelitian ini membutuhkan pengujian berkala untuk mendapatkan pembacaan sensor arus dan tegangan yang akurat.

## **B. Model Perancangan Alat**

Perancangan sistem software dibagi menjadi tiga bagian, yaitu program Arduino, flowchart dan aplikasi Fritzing yang akan dijelaskan sebagai berikut :

### 1. Program Arduino IDE

Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan perangkat lunak (Integrated Development Environment) yang dirancang khusus untuk memprogram mikrokontroler Arduino (Banzi dan Shiloh, 2022). Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode program ke papan Arduino melalui antarmuka yang sederhana dan ramah pengguna. Mereka menekankan bahwa Arduino IDE mendukung bahasa pemrograman C/C++ dan menyediakan berbagai pustaka (library) yang memudahkan pengguna dalam mengembangkan proyek-proyek elektronik.



Gambar 3. 2 Software Arduino IDE

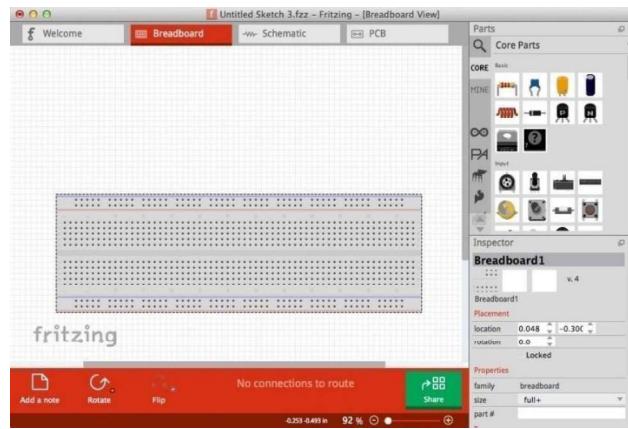
Sumber : Dokumen Penelitian

## 2. Fritzing

Fritzing adalah sebuah perangkat lunak open-source yang dirancang untuk mempermudah proses pembuatan dan dokumentasi *prototype* sirkuit elektronik. Dengan Fritzing, pengguna dapat merancang rangkaian elektronika secara visual, menggunakan representasi grafis dari komponen elektronik seperti resistor, kapasitor, LED, dan mikrokontroler.

Perangkat lunak ini mendukung berbagai platform seperti Windows, MacOS, dan Linux, dan dirancang agar mudah digunakan baik oleh pemula maupun para profesional di bidang elektronika. Fitur utama Fritzing adalah kemampuannya untuk membuat diagram breadboard, skematik, dan layout PCB yang siap dicetak, sehingga memungkinkan pengguna untuk dengan cepat memvisualisasikan dan menerapkan ide-ide desain mereka. Selain itu, Fritzing memiliki komunitas pengguna yang luas serta pustaka komponen yang terus diperbarui. Pengguna dapat mengakses berbagai

proyek open-source yang dibagikan oleh komunitas, mempelajari teknik baru, atau bahkan berbagi proyek mereka sendiri. Dengan antarmuka yang intuitif, Fritzing juga menawarkan panduan visual yang membantu pengguna memahami bagaimana komponen-komponen elektronik dihubungkan dalam rangkaian, baik secara fisik maupun logis. Ini menjadikannya alat yang sangat berguna dalam pengembangan *prototype* dan pembelajaran di bidang elektronika serta pengembangan system.



Gambar 3. 3 Software Fritzing

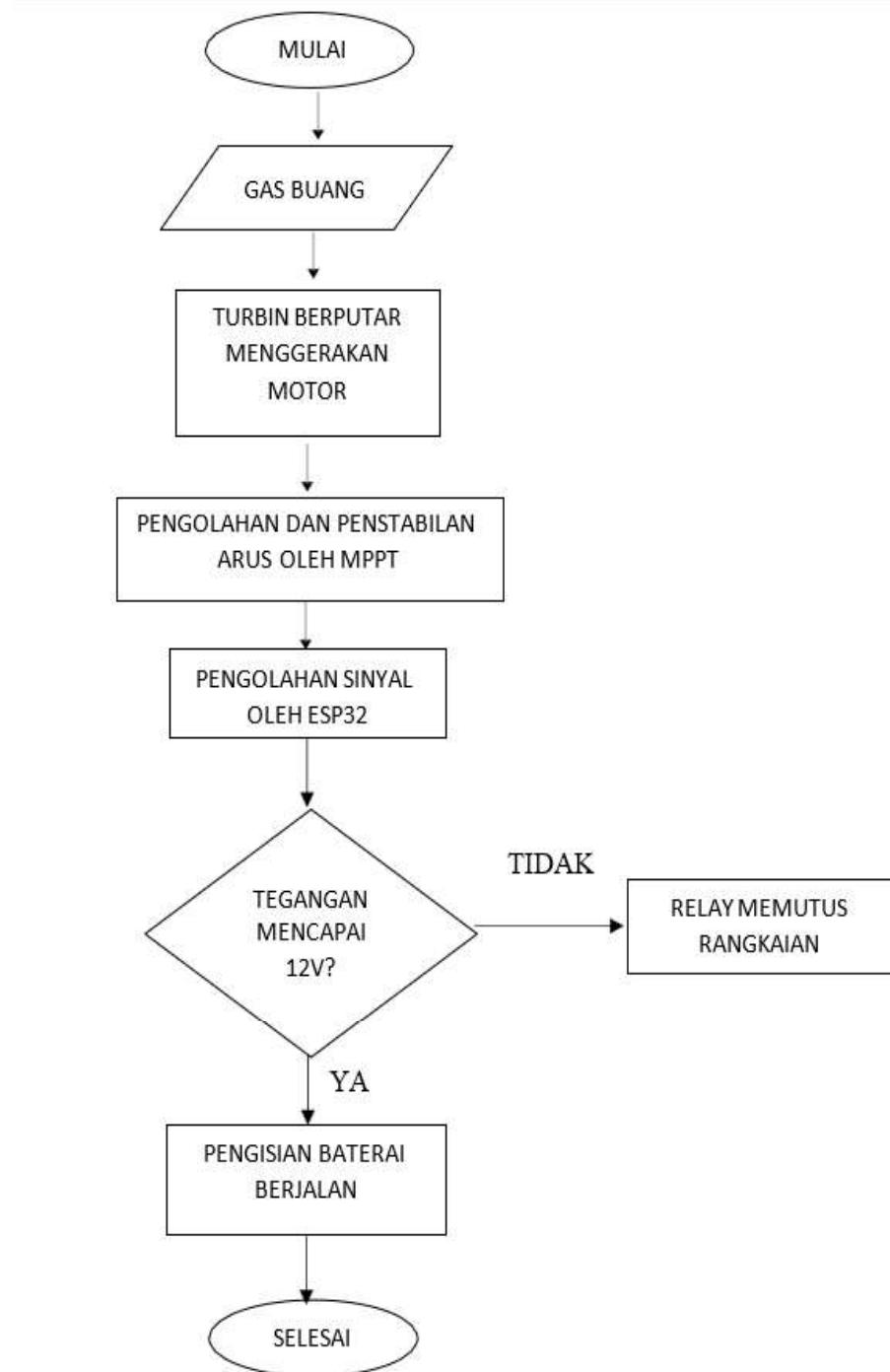
Sumber : Dokumen Penelitian

### 3. Flowchart

*Flowchart* adalah representasi visual dari suatu proses atau alur kerja yang menggunakan simbol-simbol grafis untuk menggambarkan setiap langkah yang harus diambil. Simbol-simbol tersebut biasanya mencakup persegi panjang untuk menunjukkan kegiatan atau tindakan, berlian untuk keputusan, dan panah untuk menghubungkan setiap langkah dan menunjukkan alur prosesnya. Flowchart digunakan untuk memetakan urutan operasi atau langkah- langkah dalam sebuah sistem, membantu dalam menganalisis, mendokumentasikan, atau merancang proses yang lebih efisien dan mudah dipahami.

*Flowchart* sangat berguna dalam berbagai bidang, seperti bisnis, rekayasa, dan pemrograman komputer, karena membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah, menyederhanakan proses, serta meningkatkan komunikasi antar tim. Dalam pemrograman, *flowchart* sering digunakan untuk menggambarkan logika algoritma sebelum kode ditulis, sehingga pengembang dapat memastikan bahwa mereka memiliki pemahaman yang jelas tentang struktur dan urutan tugas yang harus diimplementasikan. Selain itu, *flowchart* juga membantu dalam dokumentasi dan pemeliharaan sistem dengan menyediakan gambaran umum yang jelas tentang bagaimana proses bekerja.

*Flowchart* pemrogram seperti pada gambar 3.4, dimana alat ini dimulai dengan turbin gas yang menghasilkan energi mekanik untuk memutar motor DC 220V, yang mengubahnya menjadi energi listrik untuk mengisi baterai VRLA. Sebelum mengalirkan daya, MCB memeriksa apakah arus terlalu besar. Jika normal, mikrokontroler ESP32 memonitor sistem dan menampilkan status pengisian di LCD. Sistem memeriksa apakah baterai sudah penuh, jika ya, motor DC dimatikan dan pengisian berhenti. Jika belum, pengisian terus berjalan hingga baterai penuh. Alat ini secara otomatis mengelola pengisian dan mencegah kerusakan akibat arus berlebih.



Gambar 3. 4 *Flowchart* Rancangan

Sumber : Dokumen Penelitian

### **C. Rencana Pengujian Uji Coba Produk**

#### **1. Waktu dan tempat pengujian**

Penelitian dilakukan oleh peneliti pada semester VIII untuk membuat sebuah proyek dan mengumpulkan data penelitian. Lokasi penelitian dengan judul “PEMANFAATAN GAS BUANG MAIN ENGINE UNTUK PEMBARUAN ENERGI DALAM PENGISIAN DAYA BATERAI GUNA MENCAPIAI ZERO EMISSION MARINE POLLUTION” dilakukan di Politeknik Pelayaran Surabaya.

#### **2. Pengujian Alat**

Untuk mendapatkan data penelitian, pengujian alat dilakukan dengan dua pengujian yaitu:

##### **a. Uji Statis**

Pengujian dilakukan dengan menguji setiap komponen alat berdasarkan karakteristik dan fungsi mereka masing-masing. Tujuannya adalah untuk menentukan apakah setiap komponen alat dapat beroperasi secara optimal dan memenuhi fungsinya dengan baik. Hasil pengujian kemudian dicatat dalam sebuah tabel.

##### **b. Uji Dinamis**

Uji dinamis bertujuan untuk mensimulasikan kondisi nyata saat sistem bekerja dengan media pengganti gas buang. Karena dalam lingkungan laboratorium tidak tersedia aliran gas buang dari main engine, maka digunakan kompresor angin sebagai simulasi pengganti. Kompresor menghasilkan aliran udara bertekanan tinggi yang diarahkan langsung ke bilah turbin gas. Aliran udara ini diharapkan dapat meniru

karakteristik aliran gas buang dari mesin diesel kapal, terutama dalam aspek tekanan dan kecepatan udara yang dibutuhkan untuk memutar turbin.

Dalam proses ini, turbin akan menghasilkan energi mekanik yang disalurkan ke motor DC 220V untuk dikonversi menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk mengisi daya ke baterai VRLA. Seluruh proses dipantau oleh Mikrokontroler ESP32 yang juga berfungsi sebagai pengontrol pemutusan pengisian daya saat baterai mencapai batas tegangan maksimum. MPPT digunakan untuk menstabilkan daya agar efisiensi pengisian tetap optimal.

Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali dengan skenario tekanan udara berbeda yang disesuaikan dengan daya dorong yang dibutuhkan untuk memutar turbin. Hasil dari pengujian tersebut dicatat dalam tabel berikut:

Tabel 3.1 Pengujian Alat

No	Tekanan Gas Buang (Psi)	Intensitas (mA)	Voltage (mV)	Power (Watt)
1	10			
2	10			
3	10			
4	10			
5	10			
6	10			
7	10			
8	10			
9	10			
10	10			
11	11			
12	11			
13	11			
14	11			
15	11			
16	11			

No	Tekanan Gas Buang (Psi)	Intensitas (mA)	Voltage (mV)	Power (Watt)
17	11			
18	11			
19	11			
20	11			
21	12			
22	12			
23	12			
24	12			
25	12			
26	12			
27	12			
28	12			
29	12			
30	12			
31	13			
32	13			
33	13			
34	13			
35	13			
36	13			
37	13			
38	13			
39	13			
40	13			
41	14			
42	14			
43	14			
44	14			
45	14			
46	14			
47	14			
48	14			
49	14			
50	14			

#### D. Perencanaan Penilaian Alat

Tahap perencanaan penilaian alat dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas sistem proteksi generator apabila ada arus berlebih dan drop tegangan. Penilaian ini mencakup beberapa aspek yang dirangkum dalam

lembar penilaian ahli. Hasil ini kemudian diinterpretasikan agar mudah dimengerti dan dapat ditentukan kelayakan produk yang dibuat. Jika tingkat kelayakan alat masih rendah, itu dapat digunakan sebagai panduan perbaikan. Kemudian, produk akan dievaluasi lagi untuk memastikan layak digunakan.