

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
HIBRIDA PADA PROTOTYPE PELABUHAN PINTAR**



INDRAKO ARIF RAMADHAN

NIT 09.21.008.1.07

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

**PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
HIBRIDA PADA PROTOTYPE PELABUHAN PINTAR**



INDRAKO ARIF RAMADHAN

NIT 09.21.008.1.07

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 bertanda tangan dibawah ini:

Nama : INDRAKO ARIF RAMADHAN

Nomor Induk Taruna : 09.21.008.1.07

Program Studi : SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
KELISTRIKAN KAPAL

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**“PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN PADA
PROTOTIPE PELABUHAN PINTAR MENGGUNAKAN RASPBERRY PI”**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 25 JANUARI2026



INDRAKO ARIF RAMADHAN

NIT. 09.21.008.1.07

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN
PADA PROTOTYPE PELABUHAN PINTAR MENGGUNAKAN
RASPERRY PI

Program Studi : SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
KELISTRIKAN KAPAL

Nama : INDRAKO ARIF RAMADHAN

NIT : 09 21 008 1 07

Jenis Tugas Akhir : **Prototype / Proyek / Karya Ilmiah Terapan**
Keterangan: * (coret yang tidak perlu)

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

Surabaya, Agustus 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



HENNA NURDIANSARI, ST, MT., M.Sc
NIP. 198512112009122003

Dosen Pembimbing II



KUNTORO BAYU AJIE, S.Kom, M. T
NIP. 198502012010121003

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR

Judul : Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Pada
Prototipe Pelabuhan Pintar

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : Indrako Arif Ramadhan

NIT : 09.21.008.1.07

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

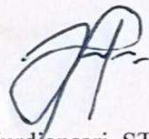
Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Uji Kelayakan Seminar Hasil

Surabaya, 19 JANUARI 2026

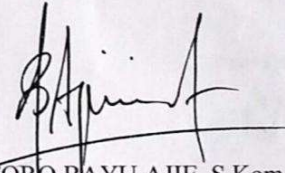
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Henna Nurdiansari, ST, MT., M.Sc.
NIP. 198512112009122003



KUNTORO BAYU AJIE, S.Kom, M.T.
NIP. 198502012010121003

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA TULIS ILMIAH**

**PEMANFAATAN PEMANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA PADA
PROTOTIPE PELABUHAN PINTAR**

Disusun oleh:


INDRAKO ARIF RAMADHAN
NIT. 09.21.008.1.07

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

Surabaya, 12 Agustus 2026

Mengesahkan,


Dosen Penguji I


(EDI KURNIAWAN, S.ST., M.T.)
NIP. 198312022019021001

Dosen Penguji II



(JAKA SEPTIAN K.S.I., M.Si.)
NIP. 199209122023211025

Dosen Penguji III


(HENNA NURDIANSARI, ST., MT.)
NIP. 198512112009122003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


(DIRHAM SYAH, S.E., M.Pd.)
NIP. 197504302002121002

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA TULIS ILMIAH**

**PEMANFAATAN PEMANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA PADA
PROTOTIPE PELABUHAN PINTAR**

Disusun oleh:

INDRAKO ARIF RAMADHAN
NIT. 09.21.008.1.07

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

Surabaya, 25 JANUARI 2026

Mengesahkan,

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dosen Penguji III



(EDI KURNIAWAN, S.ST., M.T.)

NIP. 198312022019021001



(JAKA SEPTIAN K.S.I., M.Si.)

NIP. 199209122023211025



(HENNA NURDIANSARI, ST, MT., M.Sc.)

NIP. 198512112009122003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Kekayasa Kelistrikan Kapal



(DIRHAMSYAH, S. E., M. Pd.)

NIP. 197504302002121002

ABSTRAK

INDRAKO ARIF RAMADHAN, (2025) “Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida pada Prototipe Pelabuhan Pintar”. Dibimbing oleh Ibu Henna Nurdiansari, S.T, MT., MSc. dan Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom., M.T

Penggunaan energi terbarukan merupakan solusi dalam mendukung pengembangan pelabuhan pintar (*smart port*) khususnya dalam pemenuhan sumber daya listrik yang stabil, berkelanjutan, dan efisien. Kebutuhan sistem energi alternatif menjadi relevan terutama akibat keterbatasan pasokan listrik berbasis bahan bakar fosil serta tuntutan efisiensi proses sandar kapal. Pada konteks tersebut, pemanfaatan pembangkit listrik tenaga angin dan surya berpotensi menawarkan kemandirian energi di lingkungan pelabuhan. Dalam penelitian sebelumnya, peneliti belum mengintegrasikan sistem hybrid dengan pemantauan *real-time*, pengolahan data, penggunaan mikrokomputer, dan konteks pelabuhan pintar, beberapa penelitian hanya berfokus pada salah satu sumber energi. Keterbatasan tersebut mendorong penelitian ini untuk merancang sistem hibrida panel surya dan turbin angin vertikal yang dapat melakukan monitoring daya yang masuk, *switching* energi dan pemrosesan data secara *real-time*. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* yang meliputi tahap perancangan, perakitan, pengujian, dan evaluasi sistem. Hasil pengujian 1x24 jam membuktikan sistem mampu menghasilkan total energi $\pm 68,16$ Wh ($\pm 5,24$ Ah), memenuhi $\pm 72\%$ kapasitas baterai 12V. Panel surya mendominasi suplai sebesar 61% dengan rata-rata daya $\pm 5,28$ W pada siang hari. Turbin angin berkontribusi 39% dengan rata-rata daya $\pm 0,72$ W sebagai pendukung di malam hari. Sensor cahaya BH1750 dengan ambang batas 50 lux sukses menjadi pemicu *switching* siang-malam otomatis. Modul MPPT juga berhasil menstabilkan tegangan output kedua sumber menuju titik daya maksimal. Secara keseluruhan, sistem beroperasi sesuai tujuan.

Kata kunci: VAWT, pelabuhan, energi terbarukan, Panel surya, Sistem tenaga hibrida, MPPT

ABSTRACT

INDRAKO ARIF RAMADHAN (2025). *"Utilization of Wind Power Plants in a Smart Port Prototype."* Supervised by Ms. Henna Nurdiansari, ST., MT., M.Sc., and Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom., M.T.

The use of renewable energy is a strategic solution to support the development of smart ports, particularly in ensuring a stable, sustainable, and efficient power supply. The need for alternative energy systems has become increasingly relevant due to the limitations of fossil-fuel-based electricity and the operational efficiency demands during ship berthing processes. In this context, the utilization of wind and solar power offers potential for energy autonomy within port environments. Previous studies have not yet integrated a hybrid energy system with real-time monitoring, data processing, microcomputer utilization, and a smart port context, and several studies focused only on a single energy source. These limitations motivated this research to design a hybrid system combining solar panels and vertical-axis wind turbines capable of monitoring incoming power, performing energy switching, and processing data in real time. The research employed a Research and Development (R&D) methodology, which included system design, assembly, testing, and evaluation stages. The 24-hour test results show that the system is capable of generating a total energy output of approximately 68.16 Wh (± 5.24 Ah), fulfilling around 72% of the 12V battery capacity. The solar panel dominates the energy supply, contributing 61% with an average power of approximately 5.28 W during the daytime. Meanwhile, the wind turbine contributes 39% with an average power of approximately 0.72 W, serving as a supporting source during nighttime. The BH1750 light sensor, with a threshold of 50 lux, successfully functions as a trigger for automatic day-night switching. The MPPT module also effectively stabilizes the output voltage from both sources, ensuring operation at their maximum power points. Overall, the system operates in accordance with its intended objectives.

Keywords: *VAWTi, port, renewable energy, Solar Panel, Hybrid power system, MPPT*

KATA PENGANTAR

Kami memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkatnya, peneliti berhasil menyelesaikan penelitiannya dengan judul:

“PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN PADA PROTOTIPE PELABUHAN PINTAR

Karya Ilmiah Terapan (KIT) merupakan salah satu persyaratan baku taruna untuk menyelesaikan studi program Sarjana Terapan tingkat IV dan wajib diselesaikan pada periode yang ditetapkan. KIT 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 tulis ilmiah ini dapat terselesaikan karena adanya bantuan dari berbagai pihak, olehnya itu peneliti mengucapkan terimakasih 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 Dirhamsyah, SE., M.Pd., M.Mar.E Selaku Ketua Jurusan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal.
3. Ibu Henna Nuridansari, ST,MT., M.Sc Selaku dosen pembimbing materi pertama saya.
4. Bapak Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom, M. T Selaku dosen pembimbing materi kedua saya.
5. Bapak/Ibu dosen Politeknik Pelayaran Surabaya, Saya sadar bahwa dalam penelitian karya ilmiah terapan ini masih terdapat banyak kekurangan.
6. Kedua orang tua saya bapak Mujari dan ibu Sri Rahayu yang telah mendukung peneliti untuk menyelesaikan pendidikan dan penyelesaian KIT.
7. Teman-teman semua yang telah membantu dalam memperoleh masukan, data, sumber informasi, serta bantuan untuk menyelesaikan KIT.

Terimakasih 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

Indrako Arif Ramadhan
NIT. 09.21.007.1.07

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACK</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Review Penelitian Sebelumnya	7
B. Landasan Teori.....	8
1. Energi Terbarukan.....	8

2. <i>Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)</i>	9
3. <i>Buck Boost Converter (BBC)</i>	10
5. Raspberry Pi 4	12
8. MPPT	16
9. MCB DC 10A	17
C. Kerangka Berpikir	18
BAB III METODE PENELITIAN	19
A. Perancangan Sistem	19
B. Blok Diagram Keseluruhan.....	21
C. Blok Diagram Peneliti.....	24
1. <i>Flowchart</i>	26
2. <i>Wiring Diagram</i>	27
3. Desain mekanik.....	29
D. Waktu dan Tempat Penelitian	29
E. Pengujian Alat	30
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	31
A. Pengujian Statis.....	31
1. Pengujian Turbin Angin.....	31
2. Pengujian Panel Surya.....	31
3. Pengujian Sensor cahaya BH1750	33
4. Pengujian MPPT	34
5. Pengujian Baterai	35
6. Pengujian Relay 6 Channel	35
7. Pengujian Raspberry Pi.....	36

8. Pengujian PZEM-017.....	37
B. Pengujian Dinamis	38
1. Pengujian panel surya	38
2. Pengujian turbin angin	40
3. Pengujian <i>Charger</i> Baterai.....	40
C. Pengujian Terintegrasi	41
D. Analisis Data	43
1. Grafik Pengujian Panel Surya	44
2. Grafik Pengujian Turbin Angin	44
3. Grafik Perbandingan Panel surya dengan Turbin angin	45
4. Pengujian Sehari Penuh.....	47
5. Lama Pengisian Baterai.....	49
E. Kajian Produk	50
BAB V PENUTUP.....	51
A. Simpulan	51
B. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: <i>Vertical Axis Wind Turbine</i>	9
Gambar 2.2: <i>Buck Boost Converter</i>	10
Gambar 2.3: Generator <i>DC</i>	11
Gambar 2.4: Raspberry PI 4.....	12
Gambar 2.5: PZEM 017	14
Gambar 2.6: Baterai	15
Gambar 2.7: MPPT	16
Gambar 2.8: Panel Surya.....	16
Gambar 2.9: MCB DC 10A	17
Gambar 2.10: Kerangka Pikir Penelitian	18
Gambar 3.1: Blok Digaram Keseluruhan.....	21
Gambar 3.2: Blok Digaram Sistem	24
Gambar 3.3: <i>Flowchart</i>	26
Gambar 3.4: <i>Wiring Diagram</i>	27
Gambar 4.1: Sensor BH1750	33
Gambar 4.2: Pengujian MPPT (a) output panel surya (b) input mppt	34
Gambar 4.3: Pengujian Baterai	35
Gambar 4.4: Relay (a) PLTS (b) PLTB	36
Gambar 4.5: Pengujian Raspberry Pi.....	37
Gambar 4. 6: Pengujian PZEM-017 di Pagi dan Siang.....	38
Gambar 4.7: Grafik Daya Dinamis Panel Surya	43
Gambar 4.8: Grafik Tegangan Dinamis Panel Surya.....	44
Gambar 4.9: Grafik Pengujian Daya Dinamis Turbin Angin	44
Gambar 4 10:Grafik Pengujian Tegangan Dinamis Turbin angin	45
Gambar 4 11:Grafik Perbandingan Panel surya dengan turbin angin.....	45
Gambar 4.12: Gambar Pengujian Sehari.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Review Penelitian Sebelumnya.....	7
Tabel 2.2: spesifikasi Raspberry PI 4.....	13
Tabel 3.1: <i>Input</i> ke raspberry pi.....	28
Tabel 3.2: Tabel <i>Output</i> raspberry pi.....	28
Tabel 3.3: Desain mekanik.....	29
Tabel 3. 4: Pengujian dan Pengukuran Alat Sistem Streaming Pemantauan dan Keselamatan Sandar.....	30
Tabel 4.1: Pengujian Generator DC.....	31
Tabel 4.2: Pengujian Panel surya.....	32
Tabel 4.3: Pengujian Sensor BH1750.....	34
Tabel 4.4: Pengujian panel surya Hari Ke-1.....	39
Tabel 4.5: Pengujian panel surya Hari ke-2.....	39
Tabel 4.6: Pengujian panel surya Hari ke-3.....	39
Tabel 4.7: Pengujian Turbin angin.....	40
Tabel 4.8: Pengujian <i>charging</i> baterai pada panel surya.....	41
Tabel 4.9: Pengujian <i>Charging</i> baterai pada turbin angin.....	41
Tabel 4.10: Pengujian Terintegrasi Sistem Hibrida PLTS-PLTB.....	42
Tabel 4.11: Tabel Pengujian 1 x 24 Jam.....	48

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pelabuhan merupakan pusat aktivitas penting dalam sektor maritim, yang tidak hanya berperan sebagai tempat bersandar kapal, tetapi juga sebagai titik vital dalam proses bongkar muat barang, distribusi logistik, hingga aktivitas industri pendukung lainnya. Seiring meningkatnya volume kegiatan di pelabuhan, hingga menyebabkan proses sandar kapal seringkali mengalami hambatan yang menyebabkan antrian kapal yang panjang. Sehingga dapat menyebabkan jadwal bongkar muat yang tidak optimal, selain itu kondisi geografis turut memengaruhi efisiensi proses sandar kapal. Misalnya cuaca ekstrem dapat memperlambat manuver atau proses sandar kapal yang merapat ke dermaga. Hal ini tidak hanya menambah waktu tunggu, tetapi juga meningkatkan biaya operasional kapal, seperti bahan bakar.

Dalam mengatasi hal tersebut, perlu pengembangan sistem yang lebih efektif dan efisien seperti pelabuhan pintar yang dapat mendukung proses sandar kapal, dengan menerapkan robot lengan sebagai alat bantu sandar kapal merupakan solusi untuk meningkatkan keselamatan dalam proses sandar kapal yang dapat dikendalikan secara *real-time* dan jarak jauh sehingga kita mudah memonitoring selama proses sandar tersebut, dalam pelabuhan pintar ini membutuhkan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan karena sangat penting. Seperti diketahui juga bahwa bahan bakar fosil jumlahnya semakin terbatas dan akan habis apabila digunakan terus menerus, serta dampak dari bahan bakar fosil juga berakibat buruk bagi lingkungan(Reza, 2021). Oleh

karenanya diperlukan solusi lain untuk membangkitkan energi listrik dengan pasokan tak terbatas dan tentunya ramah lingkungan.

Berbagai sumber energi terbarukan, termasuk angin, surya, ombak, mikrohidro, dan biomassa, diproyeksikan menjadi pilar utama pembangkit listrik di masa depan. Saat ini, energi angin dan panas surya paling banyak diadopsi untuk skala kecil, namun memiliki potensi besar untuk dikembangkan dalam skala luas seiring dengan efisiensi biaya produksi turbin. Secara teknis, sistem seperti *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dan panel surya bekerja dengan mengonversi energi kinetik angin melalui dinamo serta radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung.

Panel surya merupakan perangkat pemanen energi terbarukan yang mengubah sinar matahari menjadi daya listrik. Proses ini dimungkinkan oleh teknologi fotovoltaik (*photovoltaic*), yang bekerja dengan cara mengonversi radiasi dan cahaya matahari secara langsung menjadi arus listrik. (S.A, 2025). Seiring meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan energi, teknologi ini terus mengalami perkembangan pesat. Sel surya (*solar cell*) menawarkan berbagai keunggulan, seperti ketersediaan sumber energi yang melimpah dan terbarukan. Hal ini berdampak pada biaya operasional yang lebih efisien serta fleksibilitas penggunaan yang dapat diterapkan di berbagai lokasi.

Pembangkit listrik tenaga hibrida menawarkan solusi ramah lingkungan yang hemat ruang dan bebas polusi. Saat ini, pengurangan ketergantungan pada energi fosil di sektor pelabuhan menjadi tantangan besar bagi pemerintah Indonesia. Melalui visi RPJPN 2025-2045, pemerintah berkomitmen

mempercepat transisi menuju *Net Zero Emission* (NZE) dengan mengoptimalkan Energi Baru Terbarukan (EBT). Namun, langkah ini masih terhambat oleh kendala pendanaan, rendahnya daya tarik investasi, serta kurangnya literasi masyarakat mengenai manfaat jangka panjang energi bersih.(Ayu Arsita et al., 2021).

Konversi energi hybrid merupakan pendekatan inovatif dalam pengelolaan dan penggunaan sumber energi yang berbeda untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan (Maulana, 2025) . Penelitian ini dilakukan untuk membuat sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebagai sumber daya utama pada pelabuhan pintar. Sistem energi *hybrid* yang menggabungkan sumber terbarukan seperti energi surya dan angin telah menunjukkan potensi besar dalam menyediakan pasokan energi yang stabil. Menurut (Harianto & Karjadi, 2025) , kombinasi panel surya dan turbin angin dalam satu sistem dapat menghasilkan lebih banyak energi dibandingkan dengan menggunakan satu sumber saja. Hal ini terutama terlihat di daerah dengan variasi cuaca yang signifikan, di mana satu sumber energi mungkin tidak selalu tersedia. Meskipun konversi energi *hybrid* menawarkan banyak keuntungan, ada tantangan yang perlu diatasi. Biaya awal untuk infrastruktur dan teknologi yang diperlukan dapat menjadi hambatan signifikan. Namun, seperti yang ditunjukkan oleh (Maulana, 2025), investasi dalam teknologi *hybrid* dapat memberikan pengembalian jangka panjang yang signifikan melalui penghematan energi dan pengurangan emisi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang *VAWT* dan *Solar* panel guna sebagai sumber daya pelabuhan pintar?
2. Bagaimana kinerja *VAWT* dan *Solar* panel telah terbuat pada pelabuhan pintar ?
3. Bagaimana efektifitas *Hybrid* pada penggunaan prototipe Pelabuhan pintar?

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini yang berdasarkan dari hasil yang ditemukan dan agar pembahasan tidak meluas maka peneliti mengangkat batasan sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya membahas pemanfaatan energi angin dan pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi utama untuk pembangkit listrik skala kecil pada prototipe pelabuhan pintar
2. Jenis turbin angin yang digunakan dibatasi pada *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* , dan untuk jenis panel surya kita menggunakan 50 wp saja.
3. Pengolahan data, pemantauan, dan pengendalian sistem pembangkit hanya dilakukan menggunakan Raspberry Pi sebagai unit kontrol utama.
4. Sistem penyimpanan dibatasi pada penggunaan baterai 12V yang disesuaikan dengan kapasitas daya yang dibutuhkan oleh prototipe.
5. Penelitian ini mencakup integrasi langsung dengan jaringan Listrik PLN

untuk psu 5v

6. Pengujian dilakukan dalam kondisi lingkungan terbatas (laboratorium atau area terbuka sekitar kampus) dan tidak mempertimbangkan seluruh variabel cuaca ekstrem atau dinamika pelabuhan.
7. Prototipe pelabuhan pintar menjadi aplikasi potensial dari daya yang dihasilkan hybrid, tanpa dilakukan desain rinci atau perhitungan spesifik tentang prototipe pelabuhan pintar

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam naskah penulisan penelitian ini antara lain :

1. Penelitian ini bertujuan menjawab bagaimana merancang turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dan panel surya agar dapat menjadi sumber daya pelabuhan pintar melalui perancangan sistem hybrid yang sesuai kondisi angin dan radiasi matahari di pelabuhan, dilengkapi sistem kontrol dan penyimpanan energi yang mampu menghasilkan suplai daya stabil, berkelanjutan, dan ramah lingkungan
2. Untuk mengevaluasi kinerja VAWT dan panel surya yang telah dirancang dan diimplementasikan pada prototipe pelabuhan pintar. Analisis kinerja dilakukan dengan mengamati parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya dan energi listrik yang dihasilkan masing-masing sumber, serta pengaruh kondisi lingkungan seperti kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari.

3. Mengevaluasi efektivitas sistem *hybrid* (turbin angin dan panel surya) pada prototipe pelabuhan pintar guna mewujudkan catu daya yang andal, efisien, dan berkelanjutan. Penilaian ini diukur melalui kontinuitas energi, stabilitas baterai, serta penurunan ketergantungan pada sumber energi tunggal.

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

Penelitian ini diharapkan digunakan sebagai bahan referensi dan informasi konsep untuk mengembangkan pengetahuan dan wawasan dalam ilmu pelayaran dalam bidang teknologi, serta penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber referensi bagi penelitian selanjutnya.

2. Manfaat Praktis

- a. Memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber daya utama pada pelabuhan
- b. Mendukung perkembangan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam penerapannya menjadi pelabuhan pintar

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian yang membahas tentang perawatan sistem pelumasan mesin induk sebelumnya oleh beberapa peneliti diantaranya :

Tabel 2.1: Review Penelitian Sebelumnya

No	Penulis	Judul	Hasil	Perbedaan
1	Laksana, Angga Sutisna, Sutisna Nursuwars, Firmansyah Maulana Sugiartana (2021) volume 3	Kontrol Sistem Charging Pembangkit listrik tenaga Bayu PT. Lentera bumi nusantara berbasis internet of things (IoT)	Implementasi kontrol sistem charging secara keseluruhan. Pengujian ini dilaksanakan selama 24 jam dengan menggunakan salah satu sumber saja yaitu tenaga listrik bayu atau angin.	Perbedaan pada penelitian penulis dengan sebelumnya adalah terletak pada penggunaan pembangkit listrik <i>hybrid</i> dimana sumber daya listrik yang dihasilkan lebih efektif dan dapat digunakan dalam segala jenis cuaca.
2	Dwi Haryo Wicaksono, Djuniadi, Esa Apriaskar, (2023)	Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin berbasis IoT	Sistem mengirimkan hasil prototipe dengan sensor INA219 dan NodeMCU ESP8266, kemudian data tersebut dikim ke Blynk. Tegangan stabil 0,86–0,87 V, daya puncak ≈ 6370 mW, arus 0,1–7,3 mA.	Penelitian ini membedakan diri dari studi sebelumnya melalui fokus aplikasinya pada "pelabuhan pintar" dan perangkat keras yang digunakan. Berbeda dengan implementasi IoT terdahulu, penelitian ini menggunakan mikrokomputer Raspberry Pi 5 serta sensor PZEM 017 yang mampu menghasilkan pembacaan
3	Razaqi, Ahmad Arif Hariara, Richad Yuven Windarta, Jaka Zahra, Ajulian,(2025)	Perancangan Pembangkit Listrik tenaga Hybrid dan Ekonomi Teknik di MSTP UNDIP Jepara	Penelitian ini menguraikan detail beberapa publikasi tentang macam-macam bentuk wind turbine yang biasa digunakan.	Perbedaan terletak pada penggunaan prototype pembangkit listrik tenaga angin yang sebelumnya menggunakan wind turbine bentuk biasa diganti dengan VAWT savonius, sistemnya analog/DC yang di monitoring dari jarak jauh dan secara real time

Sumber: Dokumen Pribadi

Review jurnal pada tabel 2.1 terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian yang diambil. Dari beberapa jurnal yang dijadikan acuan oleh peneliti dapat disimpulkan bahwa dalam jurnal pertama mengenai pengendalian kontrol dan monitoring belum menggabungkan kontrol/perolehan listrik turbin, monitoring real-time, pengolahan data, dan UI dalam konteks pelabuhan pintar menggunakan Raspberry Pi 5. Jurnal kedua mengenai meningkatkan efisiensi dan output melalui optimasi kecepatan turbin, orientasi, dan logika kendali pintar dan jurnal ketiga mengenai sistem monitoring dan tanpa kontrol. Dari ketiga jurnal tersebut peneliti menciptakan perancangan sistem wind turbine bertujuan untuk efisien dalam mengoptimalkan kecepatan turbin.

B. Landasan Teori

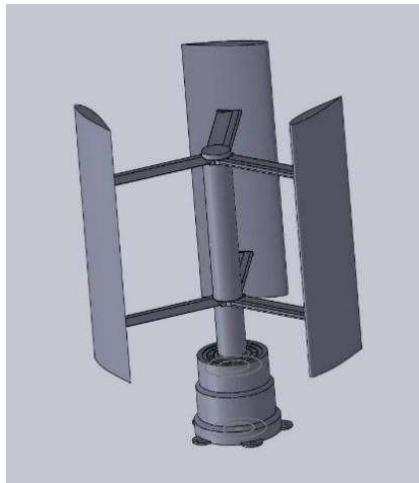
Landasan landasan teori yang berkaitan dengan perancangan sistem kontrol kecepatan kapal dengan sistem propulsi hibrida berbasis *neural network* yang diangkat oleh peneliti sebagai berikut:

1. Energi Terbarukan

Energi terbarukan, yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sumber daya yang diisi ulang secara alami (A Henukh, ST Asroful Abidin, ES Hanam, IY Baali., 2025). Sumber daya energi terbarukan mencakup beragam potensi alam, mulai dari tenaga surya dan angin hingga aliran air terjun dan panas bumi (*geothermal*). Selain itu, pemanfaatan bahan organik atau biomassa serta pemanfaatan energi kelautan—seperti gelombang, arus laut, perbedaan suhu air laut, dan pasang surut—menjadi bagian penting dari kategori ini. (S Fakhira., 2024). Strategi ini difokuskan

untuk menekan ketergantungan pada minyak bumi. Sesuai dengan UU No. 30 Tahun 2007 Pasal 2, pengelolaan energi harus berlandaskan asas manfaat, efisiensi berkeadilan, keberlanjutan, serta perlindungan lingkungan dengan mengutamakan ketahanan nasional. Lebih lanjut, Pasal 3 menegaskan bahwa pengelolaan energi bertujuan untuk mencapai swasembada, optimalisasi industri energi, dan kemudahan akses bagi publik. Meskipun Indonesia kaya akan potensi energi terbarukan seperti surya, angin, dan panas bumi yang ramah lingkungan, investasi pada sektor Energi Baru Terbarukan (EBT) harus segera dilakukan demi menjaga keberlangsungan hidup di masa depan serta mengurangi konsumsi bahan bakar fosil secara bertahap. (Alim et al., 2023).

2. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

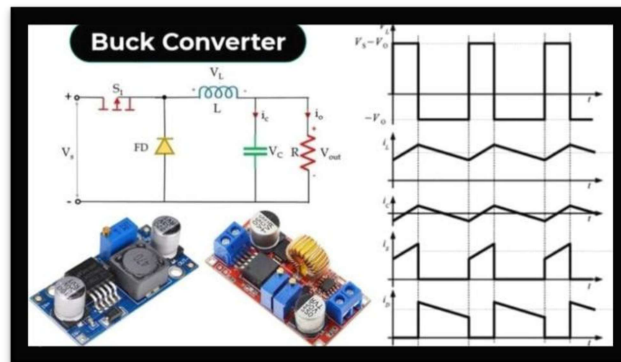


Gambar 2.1: *Vertical Axis Wind Turbine*
Sumber: <https://www.thingiverse.com/>

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) sebagaimana ditunjukkan pada Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.1, turbin angin sumbu vertikal ini dirancang khusus untuk beroperasi optimal pada kecepatan angin rendah (Baihaqi, 2025). Dengan poros rotor utama yang dipasang tegak lurus, unit

ini memiliki keunggulan *self-starting* yang memungkinkannya menangkap angin dari segala arah tanpa memerlukan mekanisme pengarah. Meskipun memiliki torsi awal yang relatif rendah, proses fabrikasinya jauh lebih sederhana dibandingkan turbin konvensional. Secara mekanis, putaran *blade* dihasilkan oleh gaya aerodinamika saat angin melewati profil *airfoil*, sehingga rotor dapat mempertahankan putaran yang stabil meski kecepatan angin berfluktuasi.

Bentuk Vertical pada wind turbine memberikan hasil energy yang lebih besar walaupun *tekanan* udara yang kecil sehingga *vertical wind turbine* efektif digunakan di tempat manapun dan wind turbine ini memiliki kelebihan antara lain dapat melakukan self starting sehingga memanfaatkan angin dari berbagai arah, Oleh karena itu, turbin ini mampu menggerakkan rotor secara optimal meskipun hanya terpapar kecepatan angin yang rendah.



3. Buck Boost Converter (BBC)

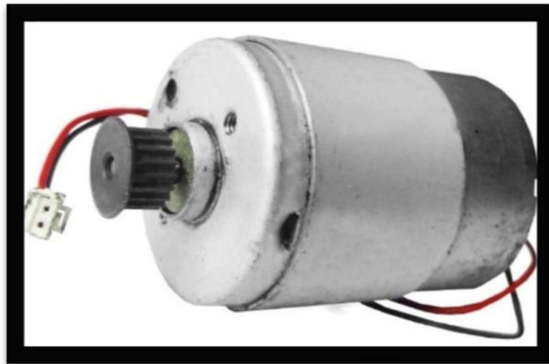
Gambar 2.2: *Buck Boost Converter*

Sumber: <https://how2electronics.com/>

Penggunaan *Buck-Boost Converter* dipilih karena kemampuannya dalam menstabilkan tegangan keluaran dari *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) di tengah kondisi cuaca yang fluktuatif. Saat kecepatan angin

rendah dan tegangan yang dihasilkan menurun, konverter ini mampu menyesuaikan tegangan beban, baik menjadi lebih tinggi (*boost*) maupun lebih rendah (*buck*) dari sumbernya. Selain itu, perangkat ini menawarkan efisiensi yang lebih tinggi karena jumlah komponen yang minimal serta rendahnya rugi-rugi daya akibat resistansi pada induktor. (Berliana et al., 2024).

Buck-Boost Converter (BBC) menawarkan efisiensi tinggi dalam aspek konsumsi energi. Tingkat efisiensi yang optimal ini tidak hanya meminimalkan penggunaan daya, tetapi juga mengurangi produksi panas berlebih, sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan efisiensi energi yang ketat. Selain itu, keunggulan operasional motor yang didukung sistem BBC ini adalah kinerjanya yang lebih halus serta tingkat kebisingan yang rendah.



4. Generator *DC*

Gambar 2.3: Generator *DC*

Sumber: <https://shorturl.at/UVKzx>

Motor listrik, khususnya tipe arus searah atau *Direct Current* (DC), memegang peranan krusial sebagai aktuator dalam sistem otomasi industri dan robotika. Perangkat ini berfungsi mengonversi energi listrik DC

menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Penggunaan motor DC sangat diminati karena keunggulannya dalam menghasilkan kecepatan tinggi, tingkat efisiensi yang optimal, serta durabilitas atau usia pakai yang relatif lama.(Rahma Azira Muharam, Mumuh et al., 2025) . Motor DC juga komponen penting dalam pembuatan prototype *Vertical axis wind turbine* ini , utuk mendapatkan daya yang optimal diperlukan motor *DC* yang memiliki kecepatan yang tinggi dan umur pakai yang tahan lama , sehingga dapat mengganti energi fosil yang kian menipis,

5. Raspberry Pi 4



Gambar 2.4: Raspberry PI 4

Sumber: <https://www.flatpanelshd.com/>

Gambar 2.4 menunjukkan gambaran nyata raspberry pi yang mempunyai ukuran sebesar kartu kredit, namun modul ini mempunyai kemampuan yang sama dengan PC. Raspberry Pi merupakan komputer papan tunggal (*single-board computer*) berukuran ringkas, setara dengan kartu kredit, yang dapat dioperasikan dengan menghubungkannya ke monitor atau televisi serta papan ketik. Meskipun fisiknya kecil, perangkat ini memiliki fungsionalitas layaknya komputer desktop, mulai dari menjalankan aplikasi pengolahan kata dan permainan, hingga kemampuan memutar video dengan resolusi tinggi. Fleksibilitasnya menjadikan Raspberry Pi sebagai platform utama untuk berbagai proyek elektronika

inovatif.(Latifah, 2022). Pada sistem Raspberry Pi memiliki bagian yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2: spesifikasi Raspberry PI 4

Bagian-bagian	Keterangan
<i>System on Chip (SoC)</i>	<i>System on Chip (SoC)</i> ini mengintegrasikan <i>Central Processing Unit (CPU)</i> dan <i>Graphic Processing Unit (GPU)</i> dalam satu sirkuit. CPU menjalankan peran krusial sebagai unit pemrosesan utama atau "otak" sistem yang mengatur instruksi komputasi, sedangkan GPU didedikasikan khusus untuk menangani akselerasi grafis dan pemrosesan data visual.
<i>Random Acces Memory (RAM)</i>	RAM pada Raspberry Pi berfungsi sebagai penyimpan data sementara saat program sedang berjalan. Karena bersifat <i>volatile</i> , seluruh data yang tersimpan di dalam RAM akan terhapus secara otomatis apabila catu daya pada perangkat diputuskan.
<i>Radio Module</i>	Modul radio pada perangkat ini mengintegrasikan dua fungsi utama: konektivitas WiFi untuk menghubungkan Raspberry Pi ke jaringan nirkabel, serta Bluetooth untuk keperluan komunikasi data maupun penyambungan perangkat pendukung (<i>periferal</i>) seperti mouse atau keyboard nirkabel.
<i>Power Management Integrated Circuit (PMIC)</i>	<i>Power Management Integrated Circuit (PMIC)</i> berperan dalam meregulasi arus listrik. Komponen ini mengubah daya yang masuk melalui <i>port</i> mikro USB menjadi level tegangan yang sesuai dengan kebutuhan operasional seluruh komponen Raspberry Pi.
<i>Universal Serial Bus Port (USB)</i>	Tersedia empat buah <i>port</i> USB yang berfungsi sebagai antarmuka untuk menghubungkan berbagai perangkat eksternal, seperti papan ketik (<i>keyboard</i>), unit penyimpanan <i>flashdisk</i> , serta perangkat pendukung lainnya.
Ethernet Port	<i>Port</i> Ethernet, atau yang sering disebut sebagai <i>Network Port</i> , merupakan jalur koneksi internet kabel pada Raspberry Pi. Koneksi ini menggunakan kabel Ethernet yang dilengkapi dengan konektor standar RJ45.
MicroSD Card	Slot kartu MicroSD terletak di sisi bawah papan Raspberry Pi. Kartu ini berfungsi sebagai media penyimpanan utama untuk menginstal sistem operasi, menjalankan perangkat lunak, serta menyimpan berbagai dokumen dan berkas data.
<i>General Purpose Input Output Header (GPIO)</i>	Raspberry Pi dilengkapi dengan 40 pin GPIO yang tersusun dalam dua baris. Pin ini merupakan gerbang komunikasi yang memungkinkan Raspberry Pi berinteraksi langsung dengan komponen perangkat keras eksternal, seperti lampu LED, berbagai jenis sensor, maupun modul elektronik lainnya.
<i>Display Conector</i>	<i>Display Serial Interface (DSI)</i> atau <i>Display Connector</i> merupakan antarmuka khusus yang dirancang untuk menyambungkan Raspberry Pi dengan perangkat penampil visual, seperti <i>Raspberry Pi Touch Display</i> .
<i>Power Input</i>	Jalur input daya ini berfungsi untuk memasok listrik ke Raspberry Pi agar dapat beroperasi. Kabel yang digunakan serupa dengan kabel pengisi daya ponsel pintar standar yang umum ditemukan di pasaran.

Bagian-bagian	Keterangan
HDMI	Koneksi HDMI pada Raspberry Pi mendukung transmisi data audio dan video berkualitas tinggi secara bersamaan. Antarmuka ini memungkinkan perangkat dihubungkan ke berbagai media penampil seperti monitor komputer, televisi, hingga proyektor.
Konektor Kamera	2 × 4-lane MIPI CSI (kamera)
Konektor Display	2 × 4-lane MIPI DSI (layar)
Port PCIe	1 × PCIe Gen 2 (via konektor FFC, memerlukan adapter)
Daya	5V/5A melalui USB-C (diperlukan adaptor daya resmi untuk performa penuh)
Ukuran	85.6 mm × 56.5 mm
Sistem Operasi	Raspberry Pi OS (Linux), serta mendukung sistem operasi lain seperti Ubuntu, Windows IoT

Sumber: Dokumen Pribadi

6. PZEM 017



Gambar 2.5: PZEM 017

Sumber: <https://www.amazon.co.uk/>

Pada sistem monitoring PLTS dan PLTB ini, ada beberapa komponen yang dibutuhkan agar proses monitoring dapat dilakukan antara lain adalah Sensor PZEM-017, Semua komponen tersebut dirancang menjadi satu sehingga terbentuk sebuah sistem monitoring.

PZEM-017 adalah modul pengukur (meter) listrik arus searah (DC) yang dilengkapi dengan antarmuka komunikasi RS485. Alat ini digunakan untuk memantau berbagai parameter kelistrikan DC secara *real-time* dan dapat diintegrasikan dengan sistem kontrol seperti Arduino, Raspberry Pi.

Pengukuran Parameter Listrik DC:

- Tegangan (Voltage): Mengukur tegangan DC
- Arus (Current): Mengukur arus listrik DC yang mengalir.
- Daya (Power): Menghitung daya aktif (Watt).
- Energi (Energy): Mencatat total konsumsi energi dalam Watt-hour (Wh) atau kiloWatt-hour (kWh).

PLC sebuah alat pengukur listrik yang dirancang khusus untuk mengukur parameter listrik arus searah (DC). Alat ini biasanya digunakan dalam sistem tenaga surya (solar panel), baterai, kendaraan listrik, dan aplikasi lain yang menggunakan listrik DC (Ath-thaariq et al., 2025).



7. Baterai

Gambar 2.6: Baterai

Sumber: : <https://shorturl.at/rTEho>

Baterai adalah perangkat penyimpanan daya yang berfungsi menyuplai arus listrik searah (DC) melalui proses konversi energi kimia menjadi energi listrik. Untuk tipe baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable*), proses pengisian dilakukan dengan mengalirkan arus listrik secara kontinu hingga tegangan (*voltage*) baterai mencapai nilai ambang batas tertentu sesuai dengan spesifikasi teknisnya. (Pradhana, 2022). Dan baterai ini merupakan tempat penyimpanan dari hasil solar panel dan wind turbine untuk

digunakan pada prototipe pelabuhan pintar.



8. MPPT

Gambar 2.7: MPPT

Sumber : <https://www.xn--b-ware-gnstig-3ob.de/>

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan perangkat kendali yang berfungsi untuk memantau serta menjaga titik daya maksimal pada panel surya maupun turbin angin melalui penyesuaian tegangan keluaran (Putri & Astrid, 2025). Secara operasional, MPPT bekerja dengan mendeteksi fluktuasi tegangan; jika sistem mendeteksi potensi daya maksimal (V_{mpp}) perangkat akan menyesuaikan parameter tegangan hingga mencapai titik puncak.

9. Panel Surya



Gambar 2.8: Panel Surya

Sumber : <https://www.youtube.com/>

Panel surya adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik (Berliana et al., 2024), panel surya sebagai komponen utama dalam sistem energi terbarukan yang

sangat mendukung sistem kelistrikan berkelanjutan, dengan menggunakan panel surya dapat menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil . Panel surya memiliki umur panjang dan perawatannya yang tidak terlalu dan digunakan secara fleksibel di berbagai lokasi, termasuk pada pelabuhan, sehingga lebih efektif untuk pelabuhan dan mengurangi emisi udara dalam areanya.



10. MCB DC 10A

Gambar 2.9: MCB DC 10A

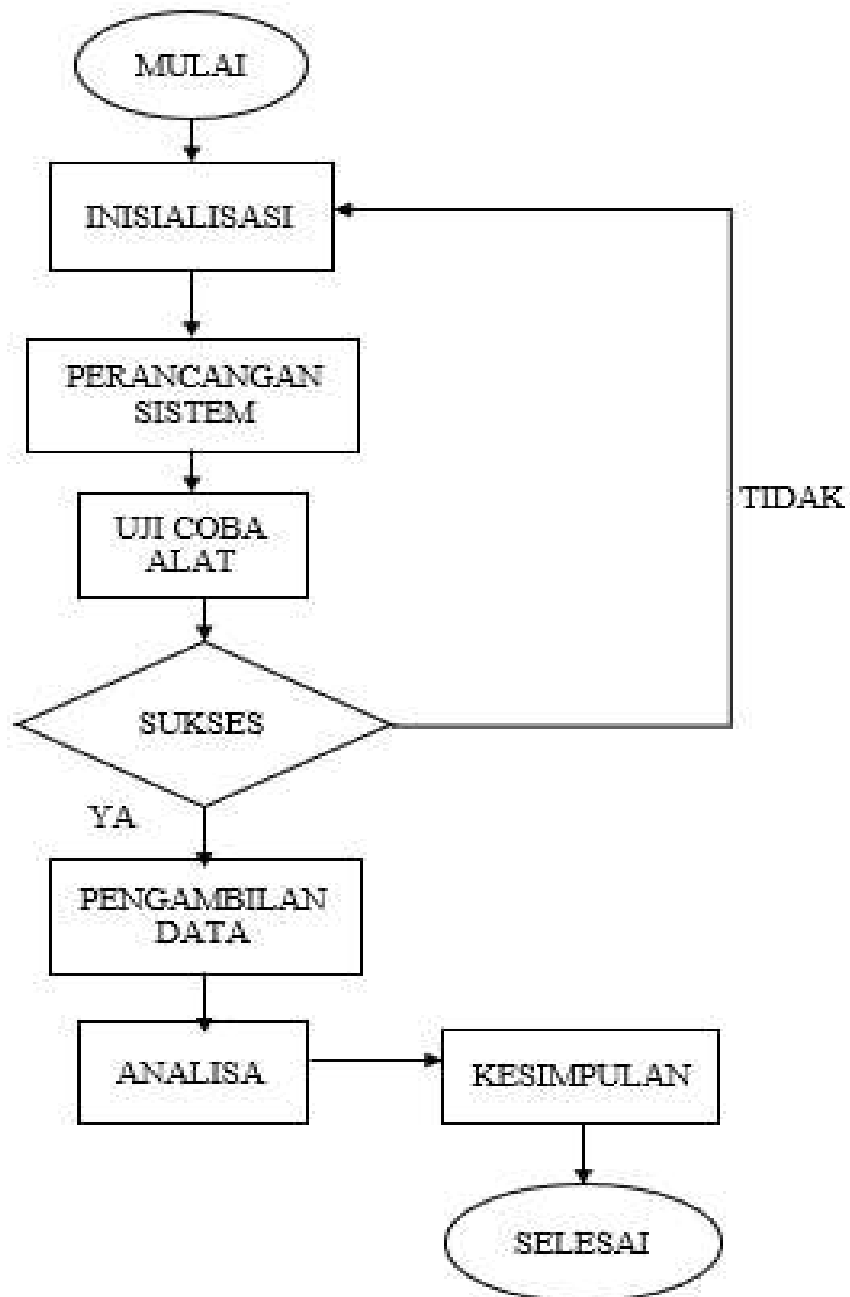
Sumber: : <https://www.indiamart.com/>

MCB DC 10A (*Miniature Circuit Breaker Direct Current 10 Ampere*) merupakan perangkat proteksi listrik yang digunakan pada rangkaian arus searah (DC) dengan arus nominal sebesar 10 Ampere. MCB ini berfungsi untuk melindungi instalasi dan peralatan listrik dari gangguan arus lebih (*over current*) dan hubung singkat (*short circuit*).

Pada saat arus yang mengalir melebihi batas nominal 10 Ampere, MCB DC akan bekerja secara otomatis dengan memutuskan aliran listrik. Mekanisme pemutusan ini terjadi melalui sistem thermal (untuk beban lebih) dan magnetic (untuk arus hubung singkat), sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan peralatan, panas berlebih,

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berfikir dibawah ini dibuat untuk mempermudah tahapan-tahapan penelitian dalam melaksanakan penelitian. Demikian kerangka berfikir peneliti dituangkan pada dibawah ini.



Gambar 2.10: Kerangka Pikir Penelitian
Sumber: Dokumen Peneliti

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem menurut (Brata, 2021). Pada bagian perancangan sistem dalam metode penelitian bertujuan untuk merancang system dalam metode penelitian bertujuan untuk merancang Solusi teknis permasalahan, Menguraikan analisis awal untuk menentukan kebutuhan, kemudian merancang elemen utama, Input/formulir, tampilan web, dan desain antarmuka. Menekankan asas keefektifan, akurasi, kemudahan dan konsistensi dalam rancangan sistem, sesuai dengan kebutuhan penggunaannya secara efektif dan efisien.

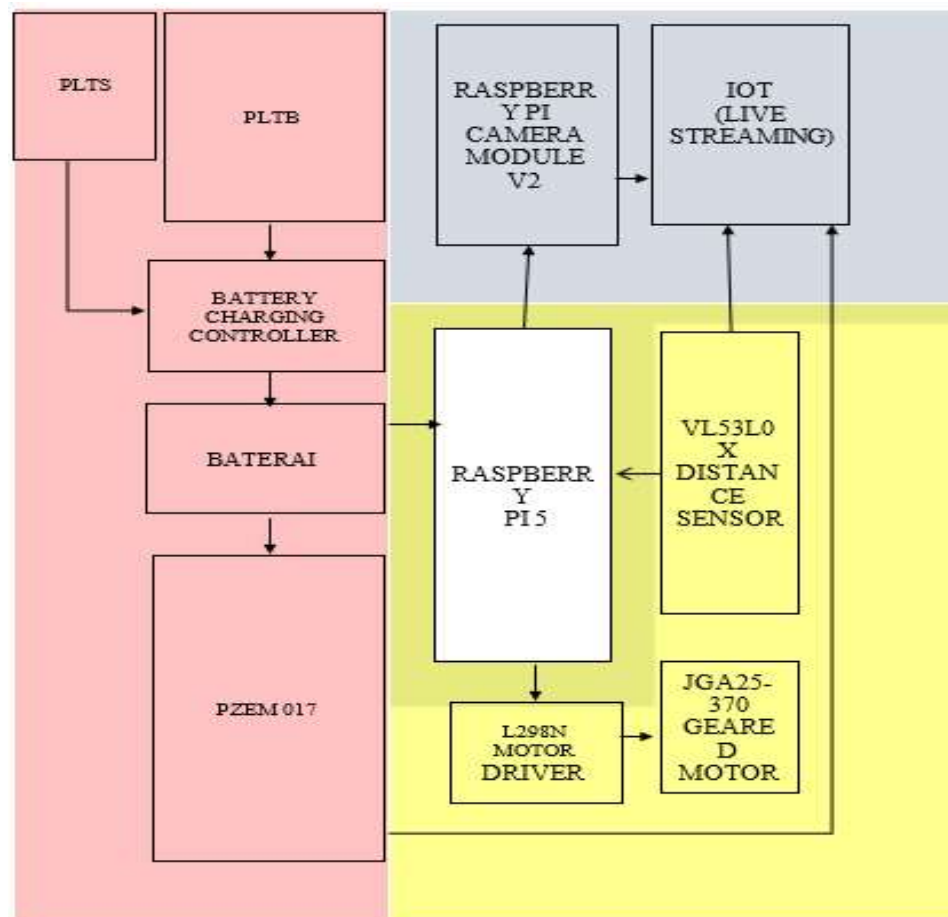
Karya ilmiah terapan ini menerapkan metode *Research and Development* (R&D). Metode ini merupakan serangkaian prosedur sistematis yang digunakan untuk mengembangkan produk baru atau mengoptimalkan produk yang sudah ada. Penelitian pengembangan berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan celah antara penelitian teoretis (dasar) dengan penelitian praktis (terapan). Secara garis besar, R&D bertujuan untuk menghasilkan produk spesifik melalui proses inovasi. Dalam konteks ini, metode R&D juga berperan sebagai solusi atas berbagai permasalahan, termasuk dalam pengembangan aplikasi pendidikan yang lebih inovatif atau penelitian riset dan pengembangan (Okpatrioka Okpatrioka, 2023). Berikut tahap-tahap yang dijabarkan terdiri dari :

1. Mengidentifikasi potensi dan masalah, adalah tahap di mana potensi dan masalah dari fenomena yang ingin diteliti diidentifikasi.
2. Mengumpulkan Informasi, adalah fase di mana teori-teori yang akan dikaji dan digunakan dalam penelitian dikumpulkan.
3. Desain Produk, adalah tahap merencanakan penelitian, menentukan tujuan, dan menentukan langkah-langkah penelitian. Hasil dari tahap ini adalah desain produk baru yang lengkap dan spesifikasinya.
4. Validasi Desain, adalah tahap melakukan evaluasi apakah rancangan produk akan efektif dan efisien.
5. Perbaiki Desain, jika desain yang telah divalidasi oleh para ahli dan selanjutnya ditemukan kelemahannya maka akan diperbaiki dan dikembangkan lagi.
6. Uji Coba Produk, adalah proses melakukan uji coba awal pada skala kecil pada desain produk. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik dan benar.
7. Revisi Produk, merupakan perbaikan produk yang dibuat berdasarkan hasil uji coba awal dan diperbaiki dengan mengkalibrasi ulang bagian yang tidak berfungsi.
8. Uji Coba Pemakaian, atau dikenal sebagai uji coba utama mencakup uji coba yang diharapkan sudah dapat menunjukkan hasil pengukuran untuk seluruh komponen rancang bangun.
9. Revisi Produk, adalah memperbaiki rancang bangun yang dibuat untuk menghasilkan produk akhir.
10. Pembuatan Produk Massal adalah fase produk telah terbukti efektif dan

sesuai kebutuhan. Pada tahap ini, produk dapat diajukan untuk mendapat hak paten.

Dari tahap-tahap penelitian yang telah dijabarkan diatas maka penelitian ini akan menghasilkan suatu produk yang dapat diuji coba pemakaian sehingga kita dapat mengetahui hasil dari pengukuran seluruh komponen yang terdapat pada keterangan nomor delapan (8). Produk yang dihasilkan adalah pembangkit listrik tenaga hybrid yaitu VAWT & Panel surya sebagai sumber daya utama

B. Blok Diagram Keseluruhan



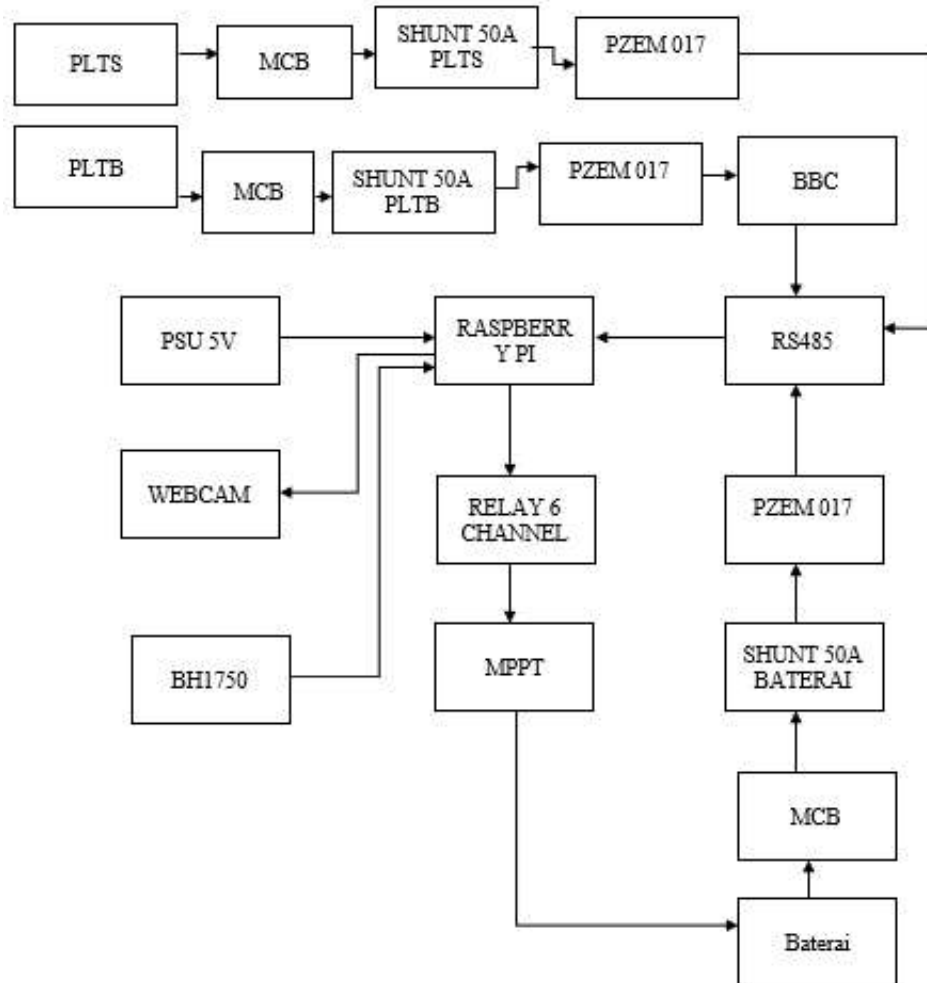
Gambar 3.1: Blok Diagram Keseluruhan
Sumber: Dokumen Pribadi

Desain rangkaian pada penelitian ini terdiri dari satu unit Raspberry Pi 5 yang berfungsi sebagai pengendali utama sistem. Raspberry Pi 5 berperan sebagai pusat pemrosesan data, pengendali aktuator, serta pengelola komunikasi antarperangkat. Sistem ini terhubung dengan tiga modul sensor daya PZEM017 yang digunakan untuk memantau parameter kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan baterai. Ketiga modul PZEM017 masing-masing memiliki alamat komunikasi Modbus yang berbeda, yaitu alamat 1, alamat 2, dan alamat 3, sehingga memungkinkan seluruh modul berkomunikasi pada satu jalur RS485 tanpa terjadinya konflik data. PZEM017 dengan alamat 1 digunakan untuk mengukur parameter listrik pada sistem PLTB, PZEM017 dengan alamat 2 digunakan untuk mengukur parameter listrik pada sistem PLTS, sedangkan PZEM017 dengan alamat 3 digunakan untuk memantau kondisi baterai. Seluruh modul PZEM017 terhubung ke Raspberry Pi 5 melalui konverter USB to RS485 dan diakses secara bergantian berdasarkan alamat masing-masing modul. Sistem PLTB terdiri dari generator, MCB DC 10 A sebagai pengaman, serta shunt 50 A yang berfungsi sebagai pengukur arus. Penggunaan shunt 50 A diperlukan karena modul PZEM017 tidak dapat mengukur arus secara langsung. Arus DC dengan nilai besar dialirkan melalui shunt sehingga menghasilkan beda tegangan yang sangat kecil, yaitu sekitar ± 75 mV pada arus 50 A, yang selanjutnya dibaca oleh PZEM017 untuk menghitung nilai arus, daya, dan energi listrik. Sementara itu, sistem PLTS terdiri dari panel surya berkapasitas 50 WP, MCB DC 10 A, serta solar charge controller tipe MPPT yang berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai agar berlangsung secara optimal dan

aman. Media penyimpanan energi pada sistem ini menggunakan baterai 12 V 7 Ah yang dilengkapi dengan MCB DC 10 A sebagai sistem pengaman terhadap arus lebih dan hubung singkat. Keluaran dari baterai 12 V selanjutnya dimanfaatkan sebagai sumber daya untuk beban aktuator, yaitu motor DC tipe JGA25-370 geared motor. Pengendalian motor dilakukan menggunakan driver motor L298N, yang berfungsi sebagai antarmuka antara Raspberry Pi 5 dan motor DC. Driver L298N memungkinkan pengaturan arah putaran dan kecepatan motor melalui sinyal logika dan sinyal PWM yang dihasilkan oleh Raspberry Pi 5, sehingga motor dapat dioperasikan sesuai kebutuhan sistem pelabuhan pintar. Selain aktuator motor, sistem juga dilengkapi dengan sensor jarak VL53L0 yang digunakan untuk mendeteksi jarak objek secara non-kontak berbasis Time of Flight (ToF). Sensor VL53L0 terhubung ke Raspberry Pi 5 melalui antarmuka I2C dan digunakan sebagai input tambahan dalam pengambilan keputusan sistem, misalnya untuk mendeteksi keberadaan objek, kondisi pergerakan mekanis, atau batas operasional aktuator. Data jarak yang diperoleh dari sensor ini diproses oleh Raspberry Pi 5 dan dapat digunakan sebagai parameter kendali motor maupun sebagai data monitoring. Selain itu, rangkaian juga dilengkapi dengan sensor intensitas cahaya BH1750 untuk mengukur tingkat pencahayaan lingkungan, modul relay 6 channel, selector switch, serta LED indikator yang berfungsi menampilkan status sumber energi yang sedang aktif, baik dari PLTB, PLTS, maupun baterai. Seluruh data hasil pengukuran dari sensor daya, sensor cahaya, dan sensor jarak diolah oleh Raspberry Pi 5 untuk keperluan monitoring, pengendalian aktuator, serta

evaluasi kinerja sistem pembangkit listrik hibrida pada prototipe pelabuhan pintar.

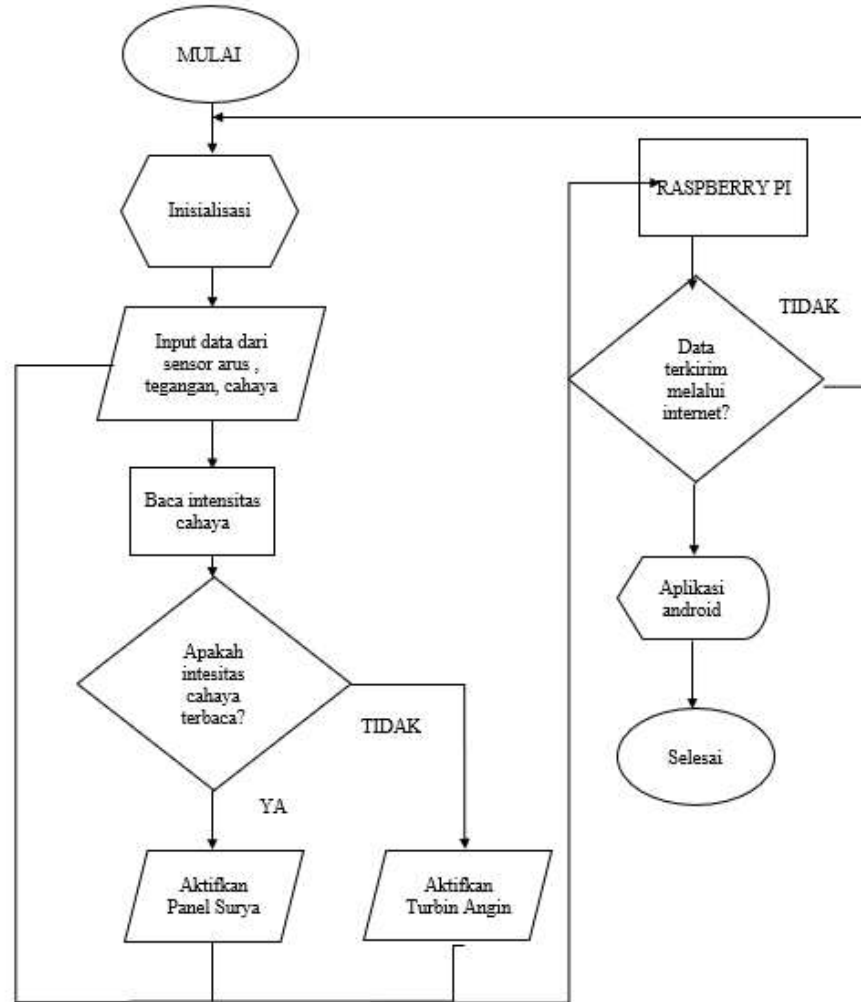
C. Blok Diagram Peneliti



Gambar 3.2: Blok Diagram Sistem
Sumber: Dokumen Pribadi

Desain rangkaian pada penelitian ini terdiri dari satu unit Raspberry Pi 5 yang berfungsi sebagai pengendali utama sistem. Raspberry Pi 5 berperan sebagai pusat pemrosesan data dan pengendali aktuator, serta terhubung dengan tiga modul sensor daya PZEM017 untuk memantau parameter listrik pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), pembangkit listrik tenaga surya

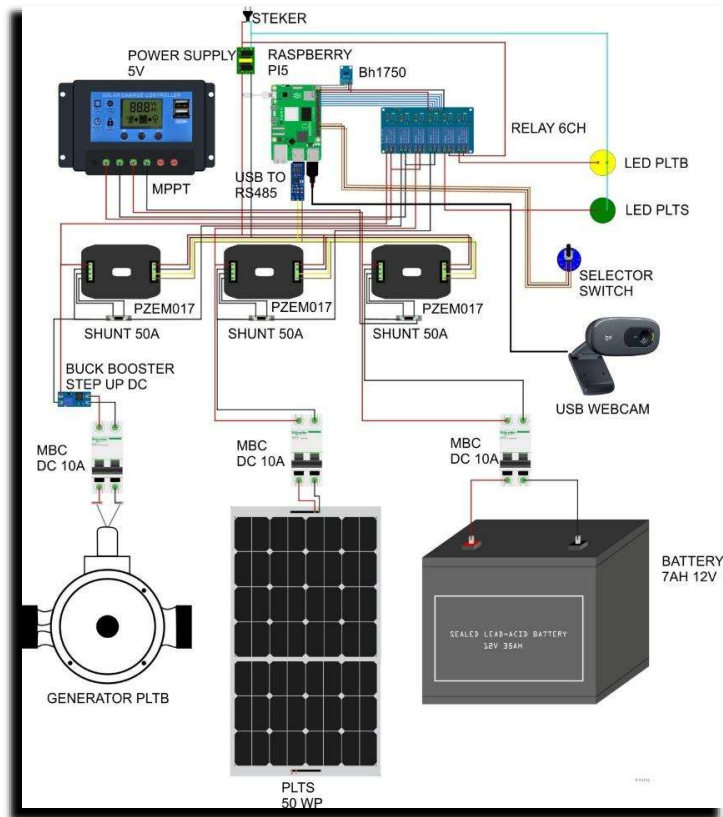
(PLTS), dan baterai. Ketiga modul PZEM017 tersebut masing-masing memiliki alamat komunikasi Modbus yang berbeda, yaitu alamat 1, alamat 2, dan alamat 3, sehingga memungkinkan komunikasi pada satu jalur RS485 tanpa terjadi konflik data. PZEM017 dengan alamat 1 digunakan untuk mengukur parameter listrik pada sistem PLTB, PZEM017 dengan alamat 2 digunakan untuk mengukur parameter listrik pada sistem PLTS, sedangkan PZEM017 dengan alamat 3 digunakan untuk memantau kondisi baterai. Seluruh modul PZEM017 terhubung ke Raspberry Pi 5 melalui konverter USB to RS485 dan diakses secara bergantian berdasarkan alamat masing-masing modul. Sistem PLTB dilengkapi dengan generator, MCB DC 10 A, serta shunt 50 A sebagai pengukur arus dimana PZEM017 tidak bisa mengukur arus langsung maka arus besar akan dialirkan pada shunt dan shunt akan memproses dan menghasilkan tegangan kecil (plus minus 75 mV pada 50A) yang kemudian dibaca oleh PZEM017 untuk menghitung nilai arus. Sistem PLTS terdiri dari panel surya berkapasitas 50 WP, MCB DC 10 A, dan solar charge controller tipe MPPT yang berfungsi mengatur proses pengisian baterai. Media penyimpanan energi menggunakan baterai 12 V 7 Ah yang dilengkapi dengan MCB DC 10 A sebagai sistem pengaman. Selain itu, rangkaian dilengkapi dengan sensor intensitas cahaya BH1750, modul relay 6 channel, selector switch dan LED indikator yang digunakan untuk menampilkan status sumber energi yang aktif. Seluruh data pengukuran diproses oleh Raspberry Pi 5 untuk keperluan monitoring dan pengendalian sistem.

1. *Flowchart*

Gambar 3.3: *Flowchart*
 Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.3, mekanisme pengambilan dan transmisi data diawali saat perangkat diaktifkan. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem untuk mempersiapkan seluruh operasional alat. Selanjutnya, berbagai sensor akan melakukan akuisisi data, khususnya parameter tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin dan panel surya. Data yang telah terhimpun kemudian dikirimkan oleh Raspberry Pi melalui koneksi internet. Pada tahap akhir, informasi tersebut akan diterima dan divisualisasikan melalui aplikasi berbasis Android.

2. Wiring Diagram



Gambar 3.4: *Wiring Diagram*

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan wiring diagram, sistem yang dirancang merupakan sistem pembangkit listrik hybrid PLTS–PLTB dengan penyimpanan energi menggunakan baterai dan monitoring berbasis Raspberry Pi 5. Panel surya 50 WP dan generator angin menghasilkan energi listrik yang masing-masing dilewatkan melalui MCB DC sebagai pengaman, kemudian diatur oleh *Solar Charge Controller* MPPT dan *buck booster* untuk menyesuaikan tegangan sebelum disimpan pada baterai 12 V. Parameter listrik diukur menggunakan modul PZEM017 dan shunt 50A, kemudian data dikirim ke Raspberry Pi melalui komunikasi RS485. Raspberry Pi berfungsi sebagai pusat monitoring dan kontrol, dilengkapi sensor BH1750 untuk pengukuran

intensitas cahaya, modul relay 6 channel untuk pengendalian indikator LED PLTS dan PLTB, serta selector switch sebagai pemilih mode operasi sistem.

Tabel 3.1: *Input* ke raspberry pi

No	Perangkat <i>Input</i>	Pin Perangkat	GPIO BCM	Pin Fisik RPi	Interfac <i>e</i>	Keterangan
1	Sensor BH1750	SDA	GPIO2	Pin 3	I2C	Data cahaya
2	Sensor BH1750	SCL	GPIO3	Pin 5	I2C	Clock I2C
3	Sensor BH1750	VCC	3.3V	Pin 1	Power	Catu daya
4	Sensor BH1750	GND	GND	Pin 6	<i>Ground</i>	<i>Ground</i> sensor
5	Selector Switch	<i>Output</i>	GPIO17	Pin 11	GPIO	Mode operasi
6	PZEM017 PLTB	RS485	USB	USB	RS485	<i>Monitoring</i> PLTB
7	PZEM017 PLTS	RS485	USB	USB	RS485	<i>Monitoring</i> PLTS
8	PZEM017 Baterai	RS485	USB	USB	RS485	<i>Monitoring</i> Battery
9	USB Webcam	USB	USB	USB	USB	<i>Monitoring</i> visual

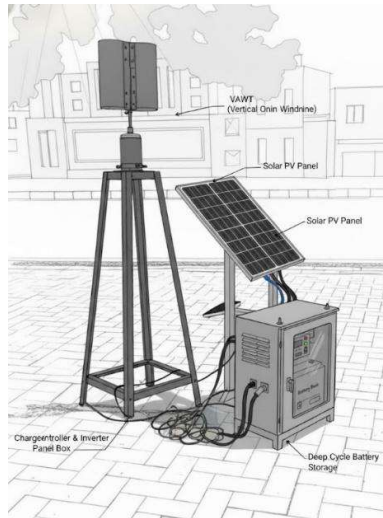
Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 3.2: Tabel *Output* raspberry pi

No	Perangkat <i>Output</i>	Fungsi	GPIO BCM	Pin Fisik RPi	Interfac <i>e</i>	Keterangan
1	Relay CH1	PLTB	GPIO5	Pin 29	GPIO	Aktif <i>LOW</i>
2	Relay CH2	PLTS	GPIO6	Pin 31	GPIO	Aktif <i>LOW</i>
3	Relay CH3	Baterai	GPIO13	Pin 33	GPIO	Aktif <i>LOW</i>
4	LED PLTB	Indikator	GPIO22	Pin 15	GPIO	LED Kuning
5	LED PLTS	Indikator	GPIO27	Pin 13	GPIO	LED Hijau

Sumber: Dokumen Pribadi

3. Desain mekanik



Tabel 3.3: Desain mekanik

Sumber : Dokumen pribadi

Perancangan mekanik pada sistem ini bertujuan untuk menghasilkan struktur pembangkit listrik tenaga hibrid yang kuat, stabil, dan aman dalam pengoperasian. Sistem menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) tipe *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk desain panel surya 62x30cm dan untuk panel box 50x60x20cm. Desain mekanik dibuat dengan mempertimbangkan kekuatan struktur, kemudahan instalasi, serta kemudahan perawatan.

D. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan penulis semester VII untuk membuat projek dan mengambil data penelitian. Tempat penelitian tentang “RANCANG BANGUN PELABUHAN PINTAR SEBAGAI UPAYA MENINGKATKAN EFEKTIVITAS PROSES SANDAR MENGGUNAKAN RASPBERRY PI” akan dilaksanakan di area kampus Politeknik Pelayaran Surabaya.

