

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT
DAN PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN BATERAI
PADA SISTEM PEMANAS AIR DI KAPAL**



I MADE DARMA SETIAWAN
NIT. 09.21.008.1.03

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

**OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT
DAN PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN BATERAI
PADA SISTEM PEMANAS AIR DI KAPAL**



I MADE DARMA SETIAWAN
NIT. 09.21.008.1.03

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 dibawah ini:

Nama : I MADE DARMA SETIAWAN

Nomor Induk Taruna : 09.21.008.103

Program Studi : SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
KELISTRIKAN KAPAL

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**“OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT DAN
PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN BATERAI PADA SISTEM
PEMANAS AIR DI KAPAL”**

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, 28 JULI 2025



I MADE DARMA SETIAWAN

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN
MPPT DAN PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN
BATERAI PADA SISTEM PEMANAS AIR DI KAPAL
Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal
Nama : I MADE DARMA SETIAWAN
NIT : 09.21.008.1.03
Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Seminar Proposal Tugas Akhir

Surabaya, 03 Desember 2024

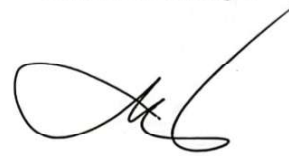
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II




(HENNA NURDIANSARI, S.T., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003



(Dr. ARIYONO SETIAWAN, S.T., M.T.)
NIP. 197903282005021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



(AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd.)
NIP. 19800517200502103

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN
MPPT DAN PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN
BATERAI PADA SISTEM PEMANAS AIR DI KAPAL

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : I MADE DARMA SETIAWAN

NIT : 09.21.008.1.03

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Seminar Hasil Tugas Akhir

Surabaya, 08 Juli 2025


Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(HENNA NURDIANSARI, S.T., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003



(Dr. ARIYONO SETIAWAN, S.T., M.T.)
NIP. 197903282005021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



(DIRHAMSYAH, S.E., M.Pd)
NIP. 1975043020021212

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT DAN PROTOKOL
MODBUS UNTUK PENGISIAN BATERAI PADA SISTEM PEMANAS AIR DI
KAPAL**

Disusun oleh:

I MADE DARMA SETIAWAN
NIT. 09.21.008.1.03

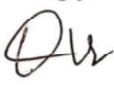
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 05 Januari 2025
Mengesahkan,

Penguji I


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


Penguji II


(OTRI WANI SIHALOHO, S.ST.)
NIP. 198610172010122004

Penguji III


(HENNA NURDIANSARI, ST., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


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

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT DAN PROTOKOL
MODBUS UNTUK PENGISIAN BATERAI PADA SISTEM PEMANAS AIR DI
KAPAL**


Disusun oleh:

I MADE DARMA SETIAWAN
NIT. 09.21.008.1.03

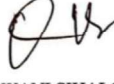
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 25 Juli 2025
Mengesahkan,

Penguji I


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

Penguji II


(OTRI WANI SIHALOHO, S.ST.)
NIP. 198610172010122004

Penguji III


(HENNA NURDIANSARI, ST., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


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

ABSTRAK

I Made Darma Setiawan, Optimalisasi Sistem Panel Surya dengan MPPT dan Protokol *Modbus* untuk Pengisian Baterai Pada Sistem Pemanas Air di Kapal. Politeknik Pelayaran Surabaya. Dibimbing oleh Henna Nurdiansari, S.T., M.T., M.Sc. dan Dr. Ariyono Setiawan, S.T., M.T.

Peningkatan efisiensi energi terbarukan di kapal menjadi krusial untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D), bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem optimalisasi panel surya untuk pengisian baterai, dengan fokus pada peningkatan efisiensi daya dan penyediaan monitoring performa secara *real-time*. Sistem dirancang menggunakan teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya. Panel surya yang digunakan 200Wp dengan dimensi 1290 x 760 x 30 mm. Hasil pengujian statis menunjukkan bahwa sensor-sensor yang digunakan memiliki tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata *error* sensor suhu sebesar 0,71% dan *error* sensor cahaya hanya 1,81% untuk memantau kondisi lingkungan. Pengujian dinamis dan integrasi sistem membuktikan bahwa implementasi MPPT mampu meningkatkan efisiensi daya keluaran secara signifikan sebesar 30,83% dibandingkan sistem tanpa MPPT. Sistem dengan MPPT juga mampu mengisi daya baterai sekitar 27% lebih cepat. Selain itu, sistem monitoring berbasis protokol *Modbus* yang dikembangkan memungkinkan pemantauan parameter kunci seperti tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya secara komprehensif dan jarak jauh melalui *database cloud*. Pengujian keandalan komunikasi data membuktikan bahwa sistem mampu mengirimkan seluruh paket data ke *database Google Sheets* dengan interval periodik setiap 15 detik tanpa kegagalan. Berdasarkan hasil tersebut, sistem optimalisasi panel surya yang dikembangkan ini layak diterapkan pada lingkungan maritim untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi terbarukan dan keandalan operasional sistem di atas kapal.

Kata Kunci : Panel surya, MPPT, protokol *Modbus*, pengisian baterai.

ABSTRACT

I Made Darma Setiawan. Optimization of a Solar Panel System with MPPT and Modbus Protocol for Battery Charging on a Ship's Water Heating System. Surabaya Maritime Polytechnic. Supervised by Henna Nurdiansari, S.T., M.T., M.Sc. and Dr. Ariyono Setiawan, S.T., M.T.

Enhancing the efficiency of renewable energy on ships is crucial for reducing dependency on fossil fuels. This research employs the Research and Development (R&D) method, aiming to design and implement a solar panel optimization system for battery charging, with a focus on increasing power efficiency and providing real-time performance monitoring. The system is designed using Maximum Power Point Tracking (MPPT) technology to maximize the solar panel's power output. A 200Wp solar panel with dimensions of 1290 x 760 x 30 mm was utilized. Static testing results show that the deployed sensors possess a high degree of accuracy, with an average error of 0.71% for the temperature sensor and only 1.81% for the light sensor used to monitor environmental conditions. Dynamic and system integration tests prove that the MPPT implementation significantly increases power output efficiency by 30.83% compared to a system without MPPT. Furthermore, the system with MPPT charges the battery approximately 27% faster. Additionally, the developed Modbus protocol-based monitoring system enables comprehensive and remote monitoring of key parameters such as voltage, current, temperature, and light intensity via a cloud database. Data communication reliability tests confirmed the system's capability to transmit entire data packets to a Google Sheets database at a periodic interval of 15 seconds without failure. Based on these results, the developed solar panel optimization system is feasible for implementation in maritime environments to enhance the utilization efficiency of renewable energy and the operational reliability of onboard systems.

Keywords : *Solar panel, MPPT, Modbus protocol, battery charging.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, kami dapat menyelesaikan laporan dengan judul “OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT DAN PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN BATERAI PADA SISTEM PEMANAS AIR DI KAPAL” ini dengan baik.

Pada kesempatan kali ini penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah terapan ini.
2. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar. E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya.
3. Bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd. selaku Ketua Prodi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal.
4. Ibu Henna Nurdiansari, S.T., M.T., M. Sc dan Bapak Dr. Ariyono Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing karya ilmiah terapan yang selalu memberikan bimbingan dan masukannya hingga selesainya karya ilmiah terapan ini.
5. I Made Birmawan dan Ni Nyoman Sri Marianti selaku kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan berupa doa, moral dan material.

Saya menyadari laporan ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi penyempurnaan di masa mendatang.

Surabaya, 28 Juli 2025

I Made Darma Setiawan
NIT 09.21.008.1.03

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN.....	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iv
PENGESAHAN PROPOSAL	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	6
B. Landasan Teori	7
1. Panel Surya.....	8
2. <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT).....	9

3. Baterai <i>Lead-Acid</i>	11
4. Konverter TTL to RS-485	12
5. ESP32	13
6. Sensor Suhu DS18B20	14
7. Sensor Cahaya BH1750.....	15
8. Liquid <i>Crystal Display</i> (LCD)	15
9. Sensor Arus ACS712	16
10. <i>Relay</i>	17
11. MCB DC.....	18
12. Step <i>Down Converter</i> LM2596	19
13. Aplikasi <i>Blynk</i>	20
14. Voltage Sensor <i>Divider</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN	22
A. Perancangan Sistem.....	22
B. Perancangan Alat	23
1. Blok Diagram Keseluruhan Alat	23
2. <i>Flowchart</i>	27
3. <i>Wiring</i> Diagram	29
C. Rencana Pengujian	30
1. Rencana Pengujian Statis	30
2. Rencana Pengujian Dinamis.....	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
A. Hasil Penelitian	34
1. Pengujian Statis	34

a. Pengujian Tegangan Panel Surya	34
b. MPPT	35
c. Pengujian Sensor Suhu DS18B20	37
d. Pengujian Sensor Cahaya BH1750	39
e. Pengujian LCD	41
f. Pengujian Konverter TTL to RS-485.....	43
g. Pengujian ESP32.....	44
2. Pengujian Dinamis	46
a. Pengujian Proteksi Baterai dengan MPPT	48
b. <i>Charging</i> Baterai	51
c. Pengujian Pengiriman Data Sensor ke <i>Google Sheets</i>	53
d. Pengujian Data Tanpa MPPT	55
e. Pengujian Data Dengan MPPT.....	56
B. Analisis Data	58
C. Kajian Produk Akhir.....	60
BAB V PENUTUP.....	64
A. Simpulan	64
B. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 2.1. Panel Surya.....	8
Gambar. 2.2. MPPT.....	9
Gambar. 2.3. Baterai <i>Lead-Acid</i>	11
Gambar. 2.4. Konverter TTL to RS-485	12
Gambar. 2.5. ESP32	13
Gambar. 2.6. Sensor Suhu DS18B20	14
Gambar. 2.7. Sensor Cahaya BH1750.....	15
Gambar. 2.8. LCD	15
Gambar. 2.9. Sensor Arus ACS712	16
Gambar. 2.10. Relay.....	17
Gambar. 2.11. MCB DC.....	18
Gambar. 2.12. <i>Step Down Converter</i> LM2596	19
Gambar. 2.13. Aplikasi <i>Blynk</i>	20
Gambar. 2.14. <i>Voltage Sensor Divider</i>	21
Gambar. 3.1. Blok Diagram Keseluruhan Alat	23
Gambar. 3.2. Blok Diagram	25
Gambar. 3.3. <i>Flowchart</i>	27
Gambar. 3.4. <i>Wiring Diagram</i>	29
Gambar. 4.1. Pengujian Tegangan Panel Surya	34
Gambar. 4.2. Pengujian MPPT.....	36
Gambar. 4.3. Perbandingan Sensor Suhu dengan <i>Thermogun</i>	38
Gambar. 4.4. Grafik Pengujian Sensor Suhu	39
Gambar. 4.5. Perbandingan Sensor Cahaya dengan <i>Digital Lux Meter</i>	40
Gambar. 4.6. Grafik Pengujian Sensor Cahaya.....	41
Gambar. 4.7. Pengujian LCD	42
Gambar. 4.8. Pengujian Konverter TTL to RS-485	43
Gambar. 4.9. Pengujian ESP32	45
Gambar. 4.10. Perakitan Komponen	46
Gambar. 4.11. Pengujian Alat.....	47
Gambar. 4.12. Grafik Pengujian Proteksi Baterai dengan MPPT	50
Gambar. 4.13. Pengujian <i>Charging</i> Baterai Tanpa MPPT	51
Gambar. 4.14. Pengujian Charging Baterai Dengan MPPT.....	52
Gambar. 4.15. Hasil Pengiriman Data ke <i>Google Sheets</i>	53
Gambar. 4.16. Grafik Daya dengan MPPT Dibandingkan Tanpa MPPT	57

DAFTAR TABEL

Tabel. 2.1. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	6
Tabel. 2.2. Spesifikasi Panel Surya	9
Tabel. 3.1. Perancangan Pin	30
Tabel. 4.1. Uji Tegangan Panel Surya 200Wp	35
Tabel. 4.2. Perbandingan Arus Input dan Output MPPT.....	36
Tabel. 4.3. Perbandingan Sensor Suhu dengan <i>Thermogun</i>	38
Tabel. 4.4. Uji Sensor Cahaya BH1750	40
Tabel. 4.5. Uji Keandalan Komunikasi Periodik via RS-485	44
Tabel. 4.6. Uji Proteksi Baterai pada Sistem MPPT	49
Tabel. 4.7. Hasil Charging Baterai Tanpa MPPT	52
Tabel. 4.8. Hasil Charging Baterai Dengan MPPT	53
Tabel. 4.9. Hasil Pengiriman Data Sensor ke Google Sheets.....	54
Tabel. 4.10. Hasil Data Tanpa MPPT	55
Tabel. 4.11. Uji Data Dengan MPPT	56

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang tersedia secara luas dan dikenal ramah terhadap lingkungan. Di bidang maritim, pemanfaatan energi surya dinilai sebagai alternatif yang prospektif guna menekan pemakaian bahan bakar fosil. Berdasarkan hasil beberapa studi, optimalisasi penggunaan energi surya pada kapal dapat dicapai melalui rancangan sistem panel surya yang efisien serta manajemen daya listrik yang tepat sesuai kebutuhan operasional kapal. Dengan pendekatan tersebut, pemanfaatan energi surya menjadi lebih maksimal, tidak hanya memenuhi kebutuhan utama operasional kapal, namun juga mendukung sistem pendukung lainnya (Supari et al., 2024).

Salah satu teknologi yang dinilai efektif dalam meningkatkan efisiensi panel surya adalah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Teknologi MPPT bekerja dengan mempertahankan titik operasi panel surya pada kondisi daya maksimum meskipun terjadi variasi intensitas radiasi matahari maupun suhu lingkungan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa implementasi MPPT secara nyata dapat meningkatkan tegangan keluaran panel surya. Oleh karena itu, teknologi ini dianggap sangat relevan untuk optimalisasi kinerja panel surya pada berbagai aplikasi, termasuk dalam pengisian baterai pada sistem kelautan (Faizal & Setyaji, 2016).

Selain MPPT, penggunaan sistem monitoring berbasis protokol *Modbus RTU* juga telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Protokol ini memberikan kemudahan dalam pemantauan data secara *real-time* dan akurat, bahkan dari lokasi yang jauh dari pusat pengendalian utama. Dengan pemanfaatan protokol *Modbus*, data produksi energi dapat dengan mudah diakses melalui integrasi perangkat RS-485 ke jaringan *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), sehingga manajemen energi menjadi lebih efektif, terutama dalam aplikasi jarak jauh (Ariwibisono & Muljanto, 2023).

Fokus utama penelitian ini adalah optimalisasi kinerja panel surya, aplikasi energi terbarukan juga telah meluas ke penggunaan dalam sistem pemanas air tenaga surya. Salah satu inovasi dalam sistem ini adalah penggunaan material penyimpan panas laten berbasis *parafin wax* yang diperkaya dengan aditif pasir silika guna meningkatkan konduktivitas termalnya. Studi menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi bahan ini mampu meningkatkan efisiensi sistem pemanas air tenaga surya dibandingkan sistem yang tidak menggunakan aditif tersebut. Hal ini memperlihatkan potensi energi terbarukan yang cukup besar untuk mendukung beragam kebutuhan energi di sektor kelautan (Numa & Azisah, 2019).

Dengan permasalahan yang terjadi maka penulis tertarik untuk mengembangkan dan meneliti alat dengan judul “OPTIMALISASI SISTEM PANEL SURYA DENGAN MPPT DAN PROTOKOL *MODBUS* UNTUK PENGISIAN BATERAI PADA SISTEM PEMANAS AIR DI KAPAL”.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana optimalisasi daya keluaran panel surya menggunakan MPPT dan tanpa MPPT untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai?
2. Bagaimana implementasi protokol *Modbus* dapat membantu dalam monitoring dan analisis performa sistem panel surya?

C. Batasan Masalah

1. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem panel surya yang dapat langsung digunakan untuk pengisian baterai.
2. Penelitian ini berfokus pada optimalisasi daya keluaran panel surya menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai.
3. Penelitian ini menggunakan data tegangan dan arus yang diakuisisi langsung dari sensor internal MPPT melalui komunikasi serial RS-485 dengan protokol *Modbus*.
4. Penelitian ini menggunakan protokol *Modbus* sebagai alat bantu untuk monitoring parameter sistem, seperti tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya.
5. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai perangkat utama untuk pengolahan data dan komunikasi dengan MPPT.
6. Penelitian ini menggunakan sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya dan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu.

7. Penelitian ini menggunakan *Liquid Crystal Display* (LCD) I2C 16x2 sebagai alat monitoring lokal dan aplikasi IoT berbasis *Blynk* untuk monitoring jarak jauh secara *real-time*.
8. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan panel surya *monocrystalline* berkapasitas 200W sebagai sumber energi utama.
9. Sistem diuji dalam kondisi lingkungan nyata dengan variasi intensitas cahaya matahari dan suhu panel surya.

D. Tujuan Penelitian

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem panel surya yang menggunakan MPPT untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya sehingga meningkatkan efisiensi pengisian baterai.
2. Menggunakan protokol *Modbus* untuk mendukung monitoring *real-time* dan analisis performa sistem panel surya secara efektif.

E. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, peneliti berharap dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak. Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil di kapal dengan memanfaatkan energi terbarukan dari panel surya.
2. Untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai melalui penggunaan MPPT yang mengoptimalkan daya keluaran panel surya.
3. Untuk menyediakan sistem monitoring *real-time* berbasis protokol *Modbus* yang dapat mempermudah analisis performa sistem panel surya.

4. Sebagai referensi sistem optimalisasi panel surya yang dapat digunakan pada penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Setiap penelitian pasti memiliki penelitian sebelumnya. Bagian ini berfungsi sebagai perbandingan antara penelitian saat ini dengan penelitian sebelumnya dan sebagai referensi untuk kemajuan di masa mendatang. Dalam studi ini, peneliti meninjau empat studi serupa yang ditemukan di jurnal.

Tabel. 2.1. *Review Penelitian Sebelumnya*

Sumber : Jurnal Penelitian

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan
1	Supari, S.T., M.T., Pinandita, S.T., M.Eng., Pratama, S.T., & Abimanyu, S.T. (2024) (PT. Literasi Nusantara Abadi Grup)	Optimalisasi Listrik Tenaga Surya Dalam Mobilitas Perahu: Metode dan Analisanya	Penelitian ini menjelaskan optimalisasi penggunaan energi surya dalam mobilitas perahu, termasuk desain sistem panel surya dan pengelolaan daya listrik untuk mendukung kebutuhan operasional. (Supari, 2024)	Penelitian sebelumnya berfokus pada desain sistem panel surya untuk mobilitas perahu tanpa integrasi protokol komunikasi, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada optimalisasi sistem panel surya dengan MPPT berbasis metode <i>Perturb and Observe</i> (P&O) yang diintegrasikan dengan protokol <i>Modbus</i> untuk pengisian baterai di kapal.
2	Faizal, A., & Setyaji, B. (2016) (Jurnal Teknik Elektro, Vol. 4, No. 1)	Desain <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode <i>Sliding Mode Control</i>	Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem MPPT berbasis metode <i>Sliding Mode Control</i> (SMC) mampu meningkatkan rata-rata tegangan keluaran panel surya sebesar 51,22% dan daya keluaran sebesar 81,29%. Sistem ini juga dapat menjaga tegangan	Penelitian sebelumnya menggunakan metode <i>Sliding Mode Control</i> untuk MPPT tanpa integrasi protokol komunikasi, sedangkan penelitian ini menggunakan metode <i>Perturb and Observe</i> (P&O) dan menambahkan elemen komunikasi <i>Modbus</i> untuk monitoring pada sistem panel surya dan pengisian baterai.

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan
			keluaran panel surya tetap optimal meskipun kondisi iradiasi matahari berubah-ubah. (Faizal, 2016)	
3	Ariwibisono, F. X., & Muljanto, W. P. (2023) (Nuansa Informatika Vol. 17, No. 2)	Implementasi Sistem Monitoring Produksi Energi PLTS Berbasis Protokol <i>Modbus RTU</i> dan <i>Modbus TCP</i>	Sistem monitoring berbasis protokol <i>Modbus RTU</i> yang memungkinkan pemantauan energi listrik PLTS secara <i>real-time</i> dan dapat diterapkan pada jaringan jarak jauh menggunakan RS-485 dan <i>TCP/IP</i> . (Ariwibisono, 2023)	Penelitian sebelumnya yaitu implementasi protokol <i>Modbus</i> untuk monitoring energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tanpa optimalisasi daya keluaran panel surya, sedangkan penelitian ini difokuskan mengintegrasikan protokol <i>Modbus</i> dengan MPPT untuk monitoring dan optimalisasi pengisian baterai serta daya keluaran panel surya secara <i>real-time</i> .
4	Numa, K. A., & Azisah, A. N. (2019) (Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang)	Analisis Unjuk Kerja Pemanas Air Surya Dengan Aditif Pasir Silika Pada Parafin Wax Sebagai Material Penyimpan Panas Laten	Penambahan pasir silika pada parafin wax meningkatkan konduktivitas termal PCM, sehingga efisiensi rata-rata pemanas air surya naik menjadi 14,903%. (Numa, 2019)	Penelitian sebelumnya berfokus pada peningkatan efisiensi pemanas air surya menggunakan PCM berbasis parafin wax dengan aditif pasir silika, sedangkan penelitian ini menggunakan metode <i>Perturb and Observe</i> (P&O) dan terintegrasi dengan protokol <i>Modbus</i> untuk pengisian baterai pada sistem pemanas air di kapal.

B. Landasan Teori

Dalam penelitian ini penulis menggunakan landasan teori yang akan digunakan sebagai dasar dari penelitian ini. Landasan teori ini berfungsi sebagai penjelasan tentang variable atau suatu permasalahan yang akan diangkat dan

dibahas oleh penulis dalam penelitian ini. Beberapa landasan teori yang menunjang KIT ini adalah sebagai berikut :

1. Panel Surya



Gambar. 2.1. Panel Surya

Sumber: <https://ciptakaryaenergi.co.id/product/panel-surya-200wp-monocrystalline/>

Pada gambar 2.1 panel surya *monocrystalline* berkerja dengan memanfaatkan efek fotovoltaiik untuk mengubah energi matahari menjadi listrik melalui proses fisika semikonduktor, prosesnya ketika foton atau partikel cahaya matahari menyentuh permukaan panel, energi ini melepaskan elektron dari atom silikon dalam sel surya sehingga menghasilkan aliran listrik arus searah atau *Direct Curent* (DC). Jenis panel surya *monocrystalline* memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan panel surya *polycrystalline*. Panel ini terbuat dari kristal silikon tunggal, yang memberikan struktur fisik lebih seragam dan warna hitam gelap. Sehingga jenis panel surya *monocrystalline* mampu meningkatkan efisiensi daya output lebih tinggi dibandingkan panel surya *polycrystalline*, ini menghasilkan performa panel surya *monocrystalline* lebih optimal (Atikah et al., 2020). Pada panel surya komponen yang utama adalah modul

photovoltaic yang disusun secara seri maupun secara paralel dari beberapa sel surya. Pada panel surya pengaruh intensitas cahaya atau pengaruh iradiasi matahari sangat berpengaruh pada produksi dari kinerja panel surya. Pada kondisi iradiasi matahari yang menurun maka arus yang dihasilkan oleh panel surya akan menurun secara proporsional, karena iradiasi bekerja terhadap karakteristik tegangan dan arus.

Tabel. 2.2. Spesifikasi Panel Surya

<i>Rated Power (P_{max})</i>	200W
<i>Max. Power Voltage (V_{mpp})</i>	18.24V
<i>Max. Power Current (I_{mpp})</i>	10.96A
<i>Open Circuit Voltage (V_{oc})</i>	21.8V
<i>Short Circuit Current (I_{sc})</i>	11.62A
<i>Max. System Voltage</i>	1000V
<i>Dimension</i>	1290 x 760 x 30 mm
<i>Weight</i>	21 Kg

2. *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*



Gambar. 2.2. MPPT

Sumber : <https://shopee.co.id/>

Pada gambar 2.2 *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* bekerja dengan prinsip algoritma yang digunakan untuk MPPT adalah *Perturb and Observe (P&O)*, yang bekerja dengan cara tegangan sedikit diubah pada

panel surya kemudian diamati perubahan daya keluarannya. Jika perubahan tegangan tersebut menyebabkan daya meningkat, algoritma akan terus mengubah tegangan ke arah yang sama. Jika daya menurun, algoritma akan membalik arah perubahan tegangan, proses ini diulangi secara terus-menerus hingga mencapai titik daya maksimum yaitu pada saat kondisi daya keluaran panel surya tidak lagi bertambah saat tegangan diubah. Metode ini sangat penting karena iradiasi matahari dan suhu yang berubah-ubah menyebabkan titik daya maksimum panel surya juga berubah. Penggunaan MPPT terbukti mampu meningkatkan efisiensi sistem panel surya dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT (Fauzi et al., 2018).

Maximum Power Point Tracking (MPPT) menggunakan konverter daya untuk mencari titik daya maksimum pada kurva karakteristik panel surya, namun iradiasi matahari yang diterima panel surya metode statis tidak sebesar metode dinamis. Panel surya dapat di optimalkan dengan menggunakan 2 metode yaitu metode dinamis dan statis. Metode dinamis menggunakan motor listrik untuk mengarahkan panel surya ke matahari, sehingga iradiasi matahari yang di terima panel surya dapat maksimum. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya. MPPT terdiri dari 2 bagian utama, yaitu konverter *DC-DC* dan metode algoritma MPPT. Algoritma *Perturb and Observe* (P&O) akan meningkatkan atau menurunkan tegangan panel surya dengan bantuan konverter secara terus menerus berdasarkan perbandingan daya hingga mencapai *Maximum Power Point*. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya.

3. Baterai *Lead-Acid*

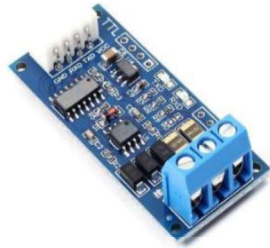


Gambar. 2.3. Baterai *Lead-Acid*

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

Pada gambar 2.3 baterai adalah komponen penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), terutama pada sistem off-grid. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat malam hari atau ketika iradiasi matahari tidak mencukupi. Dua jenis baterai yang umum digunakan adalah *Lead-Acid* dan *Lithium-Ion*. Baterai *Lead-Acid* memiliki karakteristik tegangan konstan selama pengisian daya, tetapi siklus hidupnya lebih pendek dibandingkan *Lithium-Ion*. Di sisi lain, baterai *Lithium-Ion* menawarkan efisiensi yang lebih tinggi, siklus hidup lebih panjang, dan pengisian daya dengan arus konstan, sehingga lebih stabil dalam kondisi cuaca yang berubah-ubah. Pemilihan baterai yang tepat sangat bergantung pada kebutuhan kapasitas, tegangan, kedalaman pengosongan, dan tingkat pengisian untuk memastikan umur baterai yang optimal (Pambudi et al., 2023).

4. Konverter TTL to RS-485



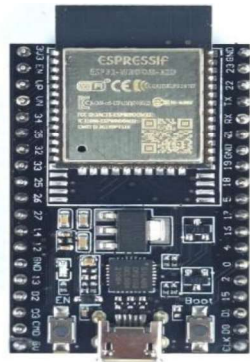
Gambar. 2.4. Konverter TTL to RS-485

Sumber : <https://www.tokopedia.com/rajacell/>

Pada gambar 2. 4 konverter *Transistor-Transistor Logic* TTL to RS-485 adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah sinyal logika *Transistor-Transistor Logic* (TTL) menjadi sinyal diferensial RS-485. Perangkat ini memungkinkan komunikasi serial antara perangkat yang menggunakan level tegangan TTL dengan perangkat yang mendukung protokol RS-485. RS-485 memiliki keunggulan dalam transmisi data jarak jauh hingga 1,2 km dan kemampuan menghubungkan hingga 32 perangkat dalam satu jaringan menggunakan topologi *daisy chain*. Konverter ini bekerja dengan metode *balanced transmission*, yang mengubah tegangan TTL menjadi selisih tegangan antara output A dan B, sehingga meminimalkan gangguan noise pada transmisi data. Dalam implementasinya, konverter TTL ke RS-485 sering digunakan dalam sistem industri seperti protokol *Modbus RTU* untuk memastikan komunikasi data yang stabil dan efisien (Mulyana & Tosin, 2020). Komunikasi *Modbus* TCP/IP adalah sebuah protokol komunikasi yang digunakan untuk mentransfer data antara perangkat elektronik melalui jaringan TCP/IP. *Modbus* TCP/IP menggunakan model komunikasi server, dimana master bertindak sebagai client sementara *slave* bertindak sebagai server. Protokol

Modbus mendukung beberapa jenis fungsi, seperti membaca dan menulis data *input* dan *output*, membaca status register, mengendalikan perangkat, dan lainnya. Dengan sistem *Modbus* protokol TCP/IP dapat memungkinkan untuk komunikasi antar *device* dan menunjukkan data yang *real-time*. Dalam pengembangan aplikasi *Modbus* TCP/IP, perlu untuk memperhatikan konfigurasi perangkat, pengaturan alamat IP dan *port*, serta pemrograman untuk mengimplementasikan fungsi *Modbus* yang sesuai.

5. ESP32



Gambar. 2.5. ESP32

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

Pada gambar 2.5 ESP32 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul *Wi-fi* dan *Bluetooth Low Energy* (BLE) yang terintegrasi, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan yang tinggi, konsumsi daya yang rendah, serta mendukung berbagai protokol komunikasi seperti *Modbus TCP/IP*. Dalam dunia industri, ESP32 sering digunakan untuk menghubungkan perangkat seperti sensor dan aktuator ke sistem kontrol utama melalui jaringan nirkabel. Kelebihan ESP32 terletak pada fleksibilitasnya dalam pemrograman, yang dapat dilakukan melalui berbagai platform seperti

Arduino IDE, serta harganya yang relatif ekonomis dibandingkan perangkat sejenis (Prastiwi et al., 2023).

ESP32 lebih umum digunakan dalam pengembangan kontrol berbasis TCP/IP yang dapat mengirim dan menerima data secara *real-time*. Penggunaan ESP32 pada industrial sistem dapat dipertimbangkan mengingat harga yang lebih murah dengan efisiensi yang cukup tinggi. Sebagai tampilan antarmuka *Human Machine Interface* (HMI) menjadi pilihan yang utama. HMI merupakan perangkat dan sarana yang sangat penting untuk suatu sistem pengendalian dan monitoring secara *real-time*.

6. Sensor Suhu DS18B20

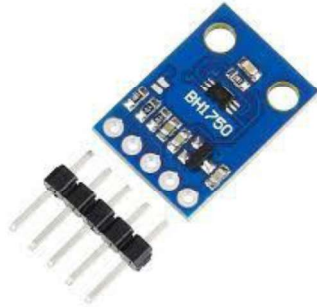


Gambar. 2.6. Sensor Suhu DS18B20

Sumber: <https://blog.indobot.co.id/>

Pada gambar 2.6 Sensor DS18B20 adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu tubuh seseorang dan tahan air. Output dari sensor DS18B20 berupa data digital. Karakteristik dari sensor ini antara lain, digunakan pada tegangan 3-5V, tingkat akurasi kesalahan yaitu $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dengan kisaran suhu antara -60°C sampai 85°C , kabel merah pada sensor DS18B20 untuk VCC, kabel hitam pada sensor DS18B20 untuk GND, kabel kuning pada sensor DS18B20 untuk data, diameter kabel yaitu 4mm dengan Panjang 90cm (Aritonang et al., 2021).

7. Sensor Cahaya BH1750

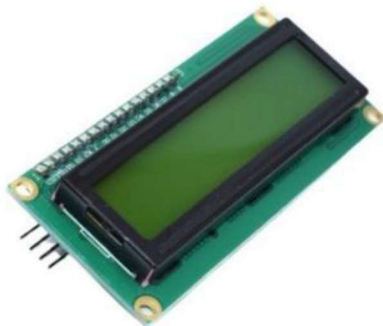


Gambar. 2.7. Sensor Cahaya BH1750

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

Pada gambar 2.7 BH1750 adalah sensor cahaya digital dengan antarmuka bus I2C. IC ini paling cocok untuk mendapatkan data cahaya ambien. Sensor ini dapat mendeteksi dengan rentang lebar pada resolusi tinggi sekitar 16-bit. Sensor cahaya BH1750 ini menghasilkan pengukuran luminositas dalam lux yaitu satuan iluminasi turunan SI yang dapat mengukur minimal 1 lux dan maksimal 65535 lux. Lux adalah satuan yang tingkat kecerahan yang diterima atau terpapar akibat adanya sumber cahaya (Khuriati, 2022).

8. *Liquid Crystal Display* (LCD)



Gambar. 2.8. LCD

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

Pada gambar 2.8 menunjukkan untuk menyederhanakan perancangan perangkat keras dan mengoptimalkan penggunaan pin *I/O*, modul *Liquid Crystal Display* (LCD) yang terlihat diintegrasikan dengan konverter I2C. Antarmuka cerdas ini memfasilitasi transfer data secara serial dari mikrokontroler, yang secara fundamental berbeda dari metode komunikasi paralel yang boros pin. Proses komunikasinya hanya memerlukan dua jalur utama yang esensial yaitu *Serial Data* (SDA) untuk jalur transmisi data dua arah, dan *Serial Clock* (SCL) untuk sinkronisasi sinyal waktu. Dengan demikian, alokasi pin pada mikrokontroler untuk pengendalian layar menjadi jauh lebih efisien, membebaskan sumber daya sistem yang terbatas (Prasetyo et al., 2024).

9. Sensor Arus ACS712



Gambar. 2.9. Sensor Arus ACS712

Sumber: <https://images.tokopedia.net/>

Pada gambar 2.9 yaitu sensor arus ACS712 adalah sensor yang menggunakan efek *Hall* untuk mengukur arus listrik baik dalam bentuk arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC). Sensor ini bekerja dengan mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh aliran arus pada kawat tembaga di dalam sensor, kemudian mengonversinya menjadi tegangan

analog yang proporsional dengan nilai arus. ACS712 memiliki tingkat linieritas tinggi, dengan akurasi rata-rata mencapai 97,18%, menjadikannya andal untuk berbagai aplikasi seperti sistem proteksi, monitoring konsumsi daya, dan alat ukur berbasis IoT. Sensor ini tersedia dalam beberapa varian sesuai dengan rentang pengukuran arus, seperti 5A, 20A, dan 30A, sehingga fleksibel untuk digunakan dalam berbagai kebutuhan (Alviero & Nugroho, 2023). ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Anugrah (2017) mengemukakan bahwa ACS712 ini memiliki tipe variasi sesuai dengan arus maksimal yakni 5A, 20A, 30A. ACS712 ini menggunakan VCC 5V.

10. *Relay*



Gambar. 2.10. *Relay*

Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id/>

Pada gambar 2.10 *relay* adalah perangkat elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengontrol aliran listrik dalam suatu rangkaian. *Relay* bekerja dengan memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik untuk membuka atau menutup kontak saklar. Dalam aplikasi modern, *relay* sering digunakan pada sistem otomasi dan pengendalian daya listrik, seperti pada smart meter berbasis *smart relay*.

Smart relay memiliki keunggulan dibandingkan *relay* konvensional, termasuk fleksibilitas tinggi, kemudahan dalam pemrograman, dan kemampuan untuk dikendalikan dari jarak jauh melalui komunikasi *Ethernet* atau *wireless*. Dengan menggunakan *smart relay*, kontrol daya dapat dilakukan secara efisien melalui perangkat lunak tanpa memerlukan instalasi fisik yang kompleks (Pujiyanto et al., 2022).

11. MCB DC



Gambar. 2.11. MCB DC

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

Pada gambar 2.11 *Miniature Circuit Breaker (MCB) Direct Current* (DC) adalah perangkat proteksi yang dirancang untuk memutus arus listrik secara otomatis ketika terjadi arus lebih atau hubung singkat pada sistem kelistrikan berbasis arus searah. Dalam sistem buck converter, MCB digunakan untuk melindungi komponen dari kerusakan akibat lonjakan arus yang tinggi, yang biasanya disebabkan oleh hubung singkat. Namun, MCB DC memerlukan pengaktifan ulang secara manual setelah melakukan proteksi. Oleh karena itu, dalam beberapa aplikasi, MCB sering dikombinasikan dengan relay untuk memberikan perlindungan tambahan

dan otomatisasi pada sistem kelistrikan. Dalam penelitian, MCB DC digunakan untuk menjaga kestabilan dan keamanan pada sistem pengisian baterai berbasis panel surya dengan buck converter (Lestyanto et al., 2023).

12. *Step Down Converter* LM2596

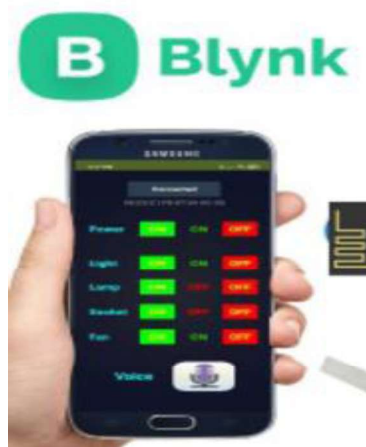


Gambar. 2.12. *Step Down Converter* LM2596

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

Pada Gambar 2.12 *step-down converter* LM2596 adalah jenis konverter daya yang dirancang untuk menurunkan tegangan input DC menjadi tegangan output DC yang lebih rendah. Salah satu implementasi *step down converter* adalah dengan menggunakan topologi *Single-Ended Primary Inductance Converter* (SEPIC), yang mampu menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai kebutuhan. Dalam penelitian, *step down converter* sering digunakan pada sistem *photovoltaic* untuk menstabilkan tegangan keluaran dari panel surya yang cenderung fluktuatif akibat perubahan intensitas cahaya matahari. Dengan menggunakan metode kontrol seperti *fuzzy logic*, *step-down converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang stabil, seperti pada kisaran *setpoint* 14 V untuk pengisian baterai. Sistem ini biasanya dikendalikan oleh mikrokontroler seperti Arduino Uno R3 (Putri et al., 2023).

13. Aplikasi *Blynk*



Gambar. 2.13. Aplikasi *Blynk*

Sumber : <https://www.arduinoindonesia.id/>

Pada gambar 2.13 *blynk* adalah aplikasi platform yang dirancang untuk mendukung pengembangan sistem berbasis IoT. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol perangkat seperti ESP32 melalui koneksi internet. Dalam penelitian, *Blynk* digunakan sebagai antarmuka utama untuk menampilkan data sensor secara *real-time*, seperti suhu dan ketinggian air. Platform ini terdiri dari tiga komponen utama: *Blynk App*, yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna; *Blynk Server*, yang mengelola komunikasi antara perangkat IoT dan aplikasi; serta *Blynk Library*, yang diintegrasikan ke dalam kode perangkat untuk memungkinkan konektivitas. Dengan fitur notifikasi, penyimpanan data, dan kontrol jarak jauh, *Blynk* memberikan solusi efektif untuk monitoring dan pengendalian perangkat IoT secara *real-time* (Reinanda et al., 2024).

Blynk merupakan sebuah aplikasi platform yang tersedia secara gratis untuk perangkat iOS dan Android. Fungsinya adalah untuk mengontrol perangkat seperti Arduino, Raspberry Pi, ESP dan sejenisnya

melalui koneksi internet. Dirancang khusus untuk *Internet of Things* (IoT), *Blynk* memungkinkan pengguna untuk mengendalikan perangkat dari jarak jauh, menampilkan data sensor, menyimpan data, serta melakukan berbagai fungsi lainnya.

14. *Voltage Sensor Divider*



Gambar. 2.14. *Voltage Sensor Divider*

Sumber: <https://images.tokopedia.net/>

Pada gambar 2.14 *Voltage sensor divider* adalah sensor tegangan jenis B25 yaitu modul yang dirancang untuk mengukur tegangan baik AC maupun DC. Sensor ini menerima masukan berupa sinyal tegangan dan menghasilkan keluaran dalam bentuk sinyal tegangan atau arus analog. Sebagai sensor tegangan resistif, modul ini mampu mendeteksi tegangan sederhana dengan batas maksimum pengukuran hingga 25V. Prinsip kerjanya menggunakan konsep pembagi tegangan dengan memanfaatkan resistor sebagai komponen utamanya (Desmira et al., 2024). Voltage sensor atau sensor tegangan dengan tipe B25 merupakan modul yang digunakan sebagai sensor yang dapat mengukur tegangan AC dan DC. Masukan dari sensor ini adalah berupa sinyal tegangan, dan keluarannya berupa sinyal tegangan atau arus analog.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Metode penelitian yang digunakan adalah *research and development* (R&D) sebagai pendekatan utama. Menurut Waruwu et al. (2024), metode R&D bertujuan untuk menghasilkan inovasi berupa produk atau model baru melalui proses sistematis, mulai dari analisis masalah, desain dan pengembangan, hingga evaluasi. Prosedur ini memastikan produk yang dihasilkan memiliki tingkat kebaharuan dan efektivitas yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan atau mengembangkan produk yang sesuai dengan kebutuhan dan permasalahan yang ada. Tahapan penelitian R&D meliputi beberapa langkah penting, yang dijelaskan oleh Borg dan Gall dalam Waruwu et al. (2024), yaitu:

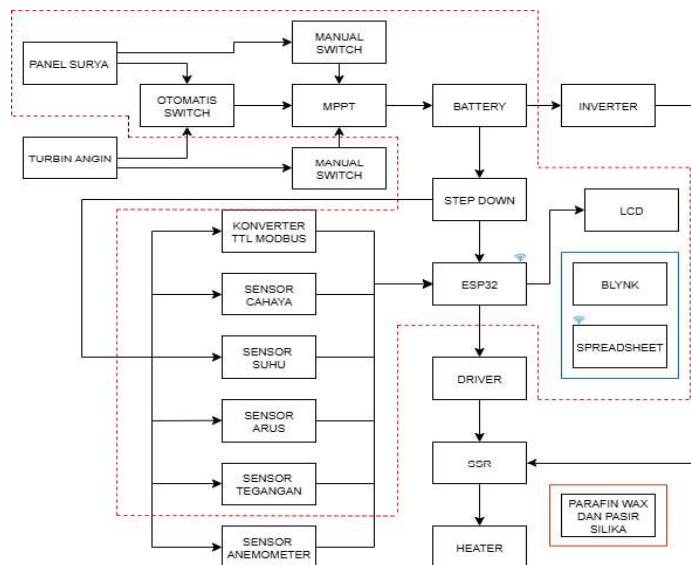
1. Analisis Potensi dan Masalah, adalah mengidentifikasi kebutuhan dan masalah yang menjadi fokus penelitian.
2. Pengumpulan Informasi, adalah mengumpulkan data teoritis yang relevan melalui studi literatur.
3. Desain Produk, adalah merancang produk awal, termasuk menentukan tujuan penelitian dan langkah-langkah spesifik.
4. Validasi Desain, adalah tahap menguji rancangan produk oleh ahli untuk memastikan efektivitasnya.
5. Perbaikan Desain, adalah menyesuaikan rancangan berdasarkan masukan dari validasi sebelumnya.

6. Uji Coba Awal, adalah melakukan pengujian pada skala terbatas untuk memastikan komponen berfungsi sesuai harapan.
7. Revisi Produk, adalah melakukan penyesuaian produk berdasarkan hasil uji coba awal.
8. Uji Coba Lapangan, adalah menguji produk dalam kondisi sebenarnya untuk mengevaluasi keandalannya.
9. Revisi Akhir Produk, adalah memperbaiki produk untuk menghasilkan versi final yang siap digunakan.
10. Diseminasi dan Implementasi, adalah menyebarluaskan produk ke masyarakat luas, termasuk pengajuan untuk hak paten jika diperlukan.

B. Perancangan Alat

1. Blok Diagram Keseluruhan Alat

Penelitian keseluruhan ini digambarkan dalam bentuk diagram blok pada gambar 3.1.



Gambar. 3.1. Blok Diagram Keseluruhan Alat

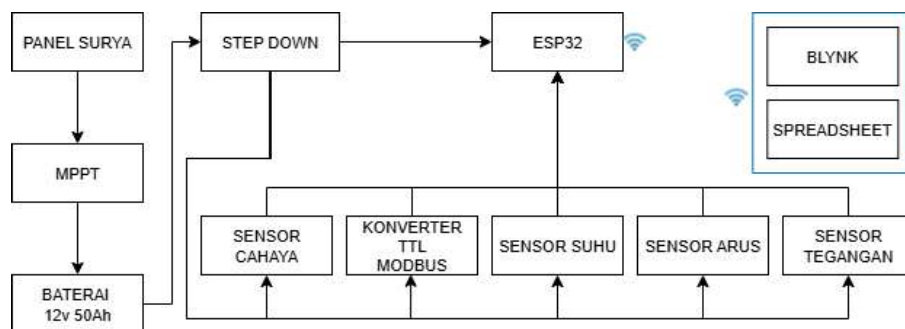
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Penelitian ini merupakan gabungan dari proyek karya ilmiah terapan lainnya, fokus pada penelitian ini pada bagian yang diarsir garis merah yaitu bagaimana cara optimalisasi sistem panel surya hingga pada titik maksimal kinerjanya. Blok diagram keseluruhan alat yang digambarkan menunjukkan hubungan antar komponen utama dalam sistem optimalisasi panel surya menggunakan MPPT dan protokol *Modbus* untuk pengisian baterai pada sistem pemanas air di kapal. Sistem ini terdiri dari beberapa elemen utama, yaitu panel surya, MPPT, modul konverter TTL RS485, ESP32, baterai *lithium-ion*, sensor-sensor pendukung, dan *tubular heater*. Panel surya berfungsi mengonversi energi matahari menjadi listrik, yang kemudian dioptimalkan oleh MPPT agar daya keluaran berada pada titik maksimum, meskipun kondisi lingkungan berubah-ubah. MPPT juga bertugas mengatur pengisian baterai *lithium-ion* agar efisien dan aman.

Untuk komunikasi antara MPPT dan mikrokontroler ESP32, digunakan modul konverter TTL RS485. Modul ini mengubah sinyal TTL dari ESP32 menjadi sinyal RS485 yang kompatibel dengan protokol *Modbus*, sehingga data seperti tegangan, arus, dan suhu dapat dikirimkan secara *real-time*. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali utama dalam sistem. Data dari MPPT dan sensor-sensor pendukung seperti sensor suhu DS18B20. Data ini kemudian ditampilkan pada layar LCD I2C 16x2 untuk monitoring lokal, serta dikirimkan ke aplikasi *Blynk* melalui koneksi nirkabel untuk monitoring jarak jauh secara *real-time*. Energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk mengoperasikan *tubular heater* sebagai bagian dari sistem pemanas air di kapal. Sistem ini

dirancang untuk bekerja secara efektif dan efisien dengan suplai energi terbarukan dari panel surya. Protokol *Modbus* yang diimplementasikan melalui modul konverter TTL RS485 memungkinkan integrasi komunikasi yang andal antara perangkat keras, memastikan data performa sistem dapat dianalisis dengan mudah. Blok diagram ini memberikan gambaran lengkap bagaimana setiap komponen saling berinteraksi dalam sistem. Dengan desain ini, penelitian bertujuan untuk menciptakan sistem yang efisien, ramah lingkungan, dan mendukung kebutuhan energi di kapal dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan secara optimal.

Penelitian ini secara khusus membahas optimalisasi sistem panel surya, yang digambarkan dalam bentuk blok diagram pada gambar 3.2.



Gambar. 3.2. Blok Diagram

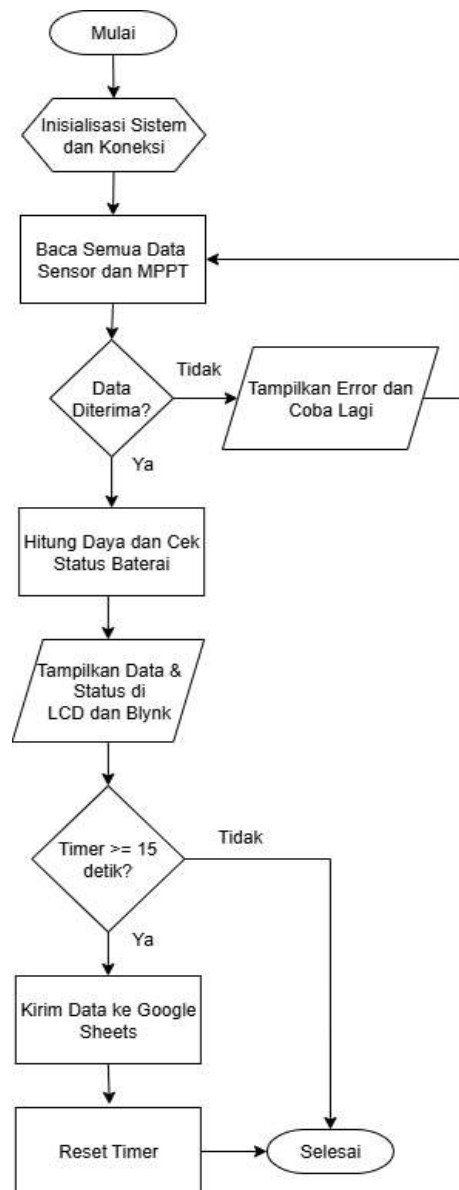
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Diagram ini menunjukkan hubungan antar komponen utama yang mendukung optimalisasi daya keluaran panel surya menggunakan teknologi MPPT dan monitoring berbasis protokol *Modbus*. Panel surya berfungsi sebagai sumber utama energi terbarukan dari energi matahari dikonversi menjadi energi listrik. Daya keluaran dari panel surya kemudian diolah oleh MPPT untuk memastikan panel surya beroperasi pada titik daya maksimum. MPPT secara dinamis menyesuaikan tegangan dan arus

keluaran panel surya agar daya yang dihasilkan tetap optimal meskipun kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari dan suhu, terus berubah. Untuk komunikasi antara MPPT dan mikrokontroler ESP32, digunakan modul konverter TTL RS485. Modul ini berfungsi mengubah sinyal TTL dari ESP32 menjadi sinyal RS485 yang kompatibel dengan protokol *Modbus*. Protokol *Modbus* memungkinkan pengumpulan data *real-time* dari MPPT, seperti tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Data ini kemudian diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali utama dalam sistem optimalisasi ini. Selain menerima data dari MPPT melalui protokol *Modbus*, ESP32 juga memproses data dari sensor-sensor pendukung seperti sensor suhu DS18B20 yaitu sensor digital yang dirancang untuk mengukur suhu dengan akurasi tinggi dan kemudahan integrasi dalam aplikasi panel surya untuk memantau suhu permukaan panel surya karena suhu tinggi dapat menurunkan efisiensi panel surya secara signifikan. Informasi yang diperoleh dari sensor-sensor ini digunakan untuk memantau kondisi sistem secara keseluruhan. Data hasil pemantauan ditampilkan pada layar LCD I2C 16x2 untuk monitoring lokal dan dikirimkan ke aplikasi *Blynk* melalui koneksi *Wi-fi* untuk monitoring jarak jauh secara *real-time*. Blok diagram ini menggambarkan bagaimana setiap komponen berinteraksi untuk mendukung optimalisasi sistem panel surya. Dengan integrasi antara MPPT, protokol *Modbus*, dan mikrokontroler ESP32, sistem ini dapat memberikan data lengkap mengenai performa sistem serta memaksimalkan daya keluaran panel surya. Data yang dikumpulkan

dapat membantu optimalisasi daya keluaran serta mendeteksi masalah seperti *overheating* atau ketidaksesuaian beban listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang mampu mengoptimalkan daya keluaran panel surya menggunakan teknologi MPPT dan monitoring berbasis protokol *Modbus*.

2. Flowchart

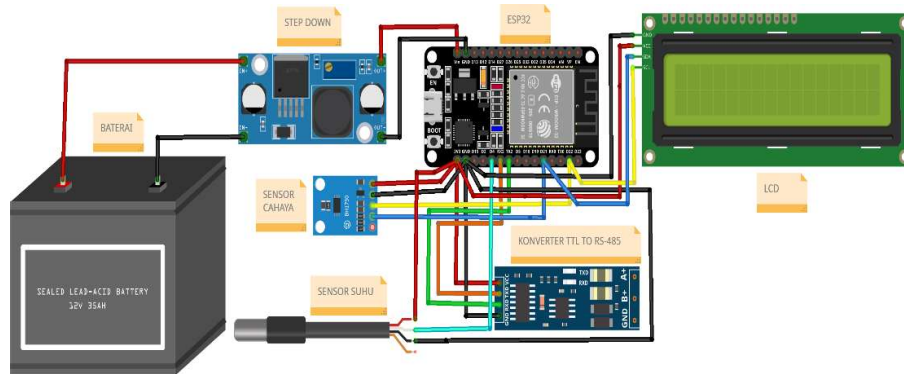


Gambar. 3.3. Flowchart

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Flowchart pada gambar 3.3 menjelaskan alur kerja sistem dalam satu siklus lengkap, dari awal hingga akhir. Proses dimulai dengan tahap inisialisasi sistem dan koneksi, di mana mikrokontroler ESP32 mengaktifkan seluruh perangkat keras termasuk sensor suhu, sensor cahaya, dan konverter RS-485 untuk komunikasi *Modbus* dengan MPPT serta menyiapkan koneksi jaringan untuk aplikasi *Blynk*. Setelah inisialisasi selesai, sistem masuk ke tahap utama yaitu membaca semua data dari sensor dan MPPT. Sistem kemudian melakukan validasi untuk memeriksa apakah data berhasil diterima. Jika gagal, sebuah pesan error akan ditampilkan dan sistem akan mencoba membaca ulang. Namun, jika data berhasil diterima, alur berlanjut ke tahap penghitungan daya dan pengecekan status baterai. Seluruh hasil dan status ini kemudian ditampilkan secara serentak pada layar LCD untuk pemantauan lokal dan aplikasi *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh. Pada tahap akhir siklus, sistem memeriksa *timer*. Jika belum mencapai 15 detik maka siklus kerja untuk putaran ini dianggap selesai dan alur berakhir pada selesai. Jika sudah 15 detik maka sistem akan menjalankan tugas tambahan yaitu mengirimkan data ke *Google Sheets* dan mereset *timer*, setelah itu siklus juga berakhir pada selesai. Dalam praktiknya, sistem akan terus mengulang siklus ini secara kontinu untuk melakukan pemantauan tanpa henti.

3. Wiring Diagram



Gambar. 3.4. *Wiring Diagram*

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Wiring diagram pada gambar 3.4 menunjukkan rancangan sistem ini dibagi menjadi dua alur kerja utama, yaitu alur catu daya untuk menghidupkan seluruh komponen dan alur komunikasi data untuk proses pembacaan serta pengendalian. Pertama, pada alur catu daya sumber energi utama sistem berasal dari baterai 12V. Tegangan dari baterai ini diturunkan menjadi 5V menggunakan modul *step-down converter* untuk memberikan suplai daya yang aman bagi mikrokontroler ESP32 melalui pin VIN. Selanjutnya, ESP32 menyediakan tegangan keluaran 3.3V yang stabil untuk memberi daya kepada seluruh komponen pendukung, yaitu sensor suhu, sensor cahaya, LCD dan konverter TTL to RS-485. Kedua, pada alur komunikasi data ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang terhubung ke setiap komponen melalui jalur spesifik. Jalur komunikasi I2C pada pin GPIO 21 dan GPIO 22 digunakan secara bersamaan untuk mengirim dan menerima data dari sensor cahaya BH1750 dan LCD. Sementara itu, sensor suhu DS18B20 menggunakan jalur komunikasi *1-Wire* pada pin GPIO 4.

Untuk komunikasi data dengan MPPT, digunakan jalur serial pada pin GPIO 16 dan GPIO 17 yang terhubung ke konverter TTL to RS-485.

Tabel. 3.1. Perancangan Pin
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Komponen	Pin Modul	Port Tujuan	Warna Kabel
Baterai 12V	Terminal (+)	IN+ (<i>Step Down Converter</i>)	Merah
	Terminal (-)	IN- (<i>Step Down Converter</i>)	Hitam
Step Down	OUT+	VIN (ESP32)	Merah
	OUT-	GND (ESP32)	Hitam
Konverter TTL to RS-485	VCC	3V3	Merah
	GND	GND	Hitam
	RXD	GPIO 17 (TX2)	Hijau
	TXD	GPIO 16 (RX2)	Oranye
Sensor Cahaya BH1750	VCC	3V3	Merah
	GND	GND	Hitam
	SCL	GPIO 22 (SCL)	Kuning
	SDA	GPIO 21 (SDA)	Biru
Sensor Suhu DS18B20	VCC (+)	3V3	Merah
	GND (-)	GND	Hitam
	Data (DQ)	GPIO 4	Cyan
LCD 16x2 I2C	VCC	3V3	Merah
	GND	GND	Hitam
	SCL	GPIO 22 (SCL)	Kuning
	SDA	GPIO 21 (SDA)	Biru

C. Rencana Pengujian

Perancangan alat pastinya akan lebih matang dengan adanya pengujian dari alat yang dibangun. Rencana pengujian adalah salah satu cara untuk menemukan titik titik permasalahan. Untuk menemukan permasalahan alat ini peneliti menggunakan metode pengujian yang diantaranya adalah metode pengujian statis dan pengujian dinamis.

1. Rencana Pengujian Statis

- a. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi karakteristik tegangan dan arus keluaran dari panel surya 200Wp. Panel akan dihubungkan ke

MPPT di bawah paparan sinar matahari untuk memastikan daya keluarannya sesuai dengan spesifikasi dalam berbagai kondisi intensitas cahaya.

- b. Fungsionalitas inti MPPT akan diuji untuk mengonfirmasi kemampuannya dalam mengonversi tegangan masukan yang lebih tinggi dari panel surya menjadi arus keluaran yang lebih besar untuk baterai. Pengujian ini melibatkan pengamatan nilai arus masukan dan keluaran pada layar MPPT untuk memverifikasi bahwa arus diperkuat, yang merupakan indikator kunci dari kemampuan optimalisasinya
- c. Akurasi sensor cahaya BH1750 akan diverifikasi dengan membandingkan nilai intensitas cahaya dalam satuan *lux* yang terukur dengan *digital lux meter* sebagai referensi. Hal ini untuk memastikan respon sensor bersifat linier dan akurat.
- d. Akurasi sensor suhu DS18B20 akan divalidasi dengan membandingkan hasil pembacaannya dengan alat ukur standar seperti *thermogan* digital. Pengujian dilakukan untuk memastikan sensor memberikan nilai suhu yang akurat sesuai kondisi lingkungan.
- e. Pengujian LCD difokuskan pada fungsionalitas visualnya. Pengujian mencakup pengecekan fisik layar untuk memastikan tidak ada *dead pixel* dan verifikasi bahwa semua data dari mikrokontroler ditampilkan secara akurat dan utuh.
- f. Pengujian konverter TTL to RS-485 yaitu dengan keandalan jalur komunikasi data melalui konverter akan divalidasi. Pengujian ini mengonfirmasi transmisi (TX) dan penerimaan (RX) data secara visual

melalui indikator LED pada konverter dan memastikan data dapat dikirim dan diterima secara stabil antara ESP32 dan MPPT.

- g. Operabilitas ESP32 sebagai unit pemrosesan pusat akan dipastikan. Pengujian meliputi verifikasi penerimaan daya yang stabil dan kemampuannya untuk menjalankan beberapa tugas secara simultan, seperti akuisisi data, komunikasi dua arah dengan MPPT, dan pengiriman perintah melalui *Wi-Fi*.

2. Rencana Pengujian Dinamis

- a. Pengujian kinerja dan efisiensi MPPT Pengujian komparatif akan dilakukan untuk mengukur peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh MPPT. Daya keluaran sistem dalam watt akan diukur dan dicatat selama periode waktu tertentu, baik dengan MPPT aktif maupun tanpanya. Hasil daya rata-rata dari kedua skenario tersebut akan dibandingkan untuk menghitung persentase peningkatan efisiensi secara kuantitatif.
- b. Pengujian kecepatan pengisian baterai perbandingan langsung waktu pengisian baterai akan dilakukan untuk mengukur dampak efisiensi MPPT pada kecepatan pengisian. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dari kapasitas awal yang ditentukan contohnya 45% hingga kapasitas penuh baterai yaitu 100% akan diukur dan dibandingkan antara sistem yang menggunakan MPPT dan yang tidak.
- c. Pengujian proteksi baterai fitur proteksi otomatis pada MPPT akan diuji dengan memantau proses pengisian hingga baterai mencapai kapasitas penuh. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa sistem secara presisi memutus arus pengisian ketika tegangan baterai mencapai

ambang batas keamanan sekitar 14.03V dan kemudian berhasil beralih ke mode *float charging* untuk menjaga kesehatan baterai.

- d. Pengujian keandalan *data logging* yaitu fungsi *data logger* berbasis *cloud* akan divalidasi. Pengujian ini melibatkan pemantauan *database Google Sheets* secara *real-time* untuk memastikan sistem mampu mengirimkan seluruh set data kinerja secara konsisten pada interval 15 detik yang telah ditentukan tanpa ada data yang hilang atau rusak.
- e. Pengujian kinerja sistem terintegrasi pada pengujian ini mengevaluasi kemampuan seluruh komponen untuk bekerja secara harmonis sebagai satu kesatuan. Sistem akan dioperasikan dalam kondisi nyata untuk memvalidasi alur kerja secara keseluruhan: dari panel surya yang menerima cahaya, MPPT yang mengoptimalkan daya, hingga ESP32 yang mengakuisisi data melalui *Modbus* dan menampilkannya secara simultan di LCD dan aplikasi *Blynk*.