

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR CELL*
DAN TENAGA UAP PADA SISTEM *VESSEL TO*
*GRID (V2G)***



MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT
NIT 09.21.013.1.03

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

**INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR CELL*
DAN TENAGA UAP PADA SISTEM *VESSEL TO*
*GRID (V2G)***



MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT
NIT 09.21.013.1.03

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 bertandatangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Taufiq Hidayat

Nomor Induk Taruna : 09.21.013.1.03

Program Diklat : *Technology Engineering Electrical of Ship*

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR CELL* DAN TENAGA UAP
PADA SISTEM *VESSEL TO GRID (V2G)***

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

Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 24 JULI 2025



MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT
NIT. 09.21.013.1.03

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR CELL* DAN
TENAGA UAP PADA SISTEM *VESSEL TO GRID (V2G)*
Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal
Nama : MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT
NIT : 09.21.013.1.03
Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

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

Surabaya, 30 januari 2025

Menyetujui,

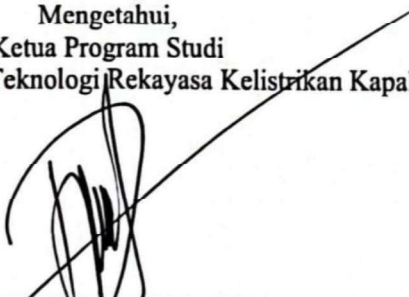
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


SONEAJI, S.T., M.T.
NIP. 197707132023211004


FRENKI IMANTO, S.Si.T., M.Pd.
NIP. 198210062010121001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


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

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR CELL* DAN
TENAGA UAP PADA SISTEM *VESSEL TO GRID (V2G)*
Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal
Nama : MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT
NIT : 09.21.013.1.03
Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan


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

Surabaya, 15 Juli 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


SONHAJI, S.T., M.T.
NIP. 197707132023211004


FRENKI IMANTO, S.Si.T., M.Pd.
NIP. 198210062010121001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


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

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK SOLAR CELL DAN TENAGA UAP
PADA SISTEM VESSEL TO GRID (V2G)**

Disusun oleh:

MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT

NIT. 09.21.013.1.03

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

Surabaya, 13 Februari 2025

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



SRI MULYANTO H. S.T., M.T.
NIP. 197204181998031002

Dosen Penguji II



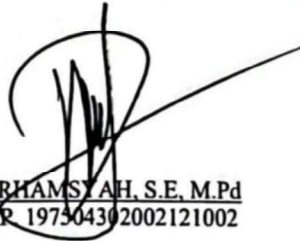
AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd.
NIP. 198005172005021003

Dosen Penguji III



SON Haji, S.T., M.T.
NIP. 197707132023211004

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



DIRHAMSYAH, S.E., M.Pd
NIP. 197304302002121002

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK SOLAR CELL DAN TENAGA UAP
PADA SISTEM VESSEL TO GRID (V2G)**

Disusun oleh:

MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT

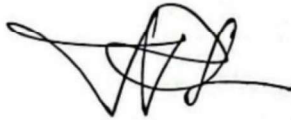
NIT. 09.21.013.1.03

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

Surabaya,.....2025

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



SRI MULYANTO H, S.T., M.T.
NIP. 197204181998031002

Dosen Penguji II



AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd.
NIP. 198005172005021003

Dosen Penguji III



SONHAJI, S.T., M.T.
NIP. 197707132023211004

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

ABSTRAK

MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT, “Integrasi Pembangkit Listrik *Solar Cell* dan Tenaga Uap Pada Sistem *Vessel To Grid* (V2G)”. Dibimbing oleh Bapak Sonhaji, S.T.,M.T. dan Bapak Frenki Imanto, S.SiT, M.Pd.

Sistem kelistrikan kapal merupakan jantung dari segala aktivitas di atas kapal. Jaringan ini menghasilkan, mendistribusikan, dan mengelola energi listrik yang menjadi sumber daya bagi beragam peralatan, mulai dari penerangan sederhana hingga sistem propulsi yang kompleks. Generator berperan sebagai pembangkit listrik utama, namun sistem cadangan berupa generator darurat atau baterai siap siaga untuk menjaga kelangsungan operasional kapal dalam kondisi darurat seperti pemadaman listrik total. Generator mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanik untuk memenuhi kebutuhan listrik di kapal.

Integrasi Sumber energi sistem *Hybrid* menawarkan solusi yang efektif untuk mengurangi beban keuangan akibat tagihan listrik yang terus meningkat. Dengan menggabungkan berbagai sumber energi secara cerdas, sistem hibrida memungkinkan kita untuk mencapai kemandirian energi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam konteks kapal, teknologi *vessel-to-grid* memungkinkan kapal listrik menjadi pembangkit virtual untuk menyimpan dan mengembalikan daya ke jaringan listrik.

Kata kunci : *Hybrid System, Vessel To Grid (V2G), Integrasi*

ABSTRACT

MUHAMMAD TAUFIQ HIDAYAT, “*Integration of Solar Cell and Steam Power Plants in Vessel To Grid (V2G) Systems*”. Supervised by Mr. Sonhaji, S.T., M.T. and Mr. Frenki Imanto, S.SiT, M.Pd

The ship's electrical system is the heart of all activities on board. This network produces, distributes, and manages electrical energy which is a source of power for various equipment, from simple lighting to complex propulsion systems. The generator acts as the main power generator, but a backup system in the form of an emergency generator or battery is ready to maintain the continuity of ship operations in emergency conditions such as a total power outage. The generator converts heat energy from fuel combustion into mechanical energy to meet the electricity needs on the ship.

Integration of Hybrid system energy sources offers an effective solution to reduce the financial burden of increasing electricity bills. By intelligently combining various energy sources, hybrid systems allow us to achieve energy independence and reduce negative impacts on the environment. In the context of ships, vessel-to-grid technology allowing electric ships to become virtual generators to store and return power to the electricity grid.

Keywords: Hybrid system, Vessel To Grid (V2G), Integration.

KATA PENGANTAR

Kami memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas penelitian tentang Integrasi Pembangkit Listrik *Solar Cell* dan Tenaga Uap Pada Sistem *Vessel To Grid* (V2G).

Karya Ilmiah Terapan (KIT) merupakan salah satu persyaratan baku taruna untuk menyelesaikan studi program Sarjana Terapan 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 moral 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, S.E, M.Pd, Selaku Ketua Prodi TRKK.
3. Bapak Sonhaji, S.T., M.T. dan Bapak Frenki Imanto, S.SiT, M.Pd. Selaku dosen pembimbing materi serta menjadi pendamping selama proses pengerjaan Karya Ilmiah Terapan.
4. Ibu Sutra Wardatul Jannah selaku dosen pemberi saran dan masukan selama proses perancangan alat pada karya ilmiah terapan.
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 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 terutama kepada rekan ETO saya Ray Vargas dan Yafi Chesta.
8. Seluruh Kru Kapal KM MOCHTAR PRABU MANGKUNEGARA yang memberikan dukungan materi dan pendidikan mental selama melaksanakan praktek laut.
9. Kepada seseorang yang penulis tidak bisa menyebutkan namanya yang telah menemani serta memberi dukungan mental dan semangat selama penulisan karya ilmiah terapan.

10. Semua pihak yang tidak dapat taruna sebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan penelitian karya ilmiah terapan ini.

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, 30 January 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Muhammad Taufiq Hidayat', with a stylized flourish at the end.

Muhammad Taufiq Hidayat

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Batasan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
A. Review Penelitian Sebelumnya	10
B. Landasan Teori	12
BAB III METODE PENELITIAN	25
A. Perancangan Sistem	25

B. Perancangan alat / Software	28
C. Rencana Pengujian	29
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	32
A. Pengujian Statis.....	32
1. Pengujian Tegangan dan Arus PLTS	32
2. Pengujian Tegangan dan Arus Uap Boiler.....	33
3. Pengujian Sensor INA219.....	35
4. Pengujian Fungsi <i>Switching Relay</i>	36
5. Pengujian Sistem Monitoring via Smartphone	37
B. Pengujian Dinamis.....	39
1. Pengujian Perubahan Intensitas Cahaya (PLTS).....	39
2. Pengujian Fluktuasi Output PLTU Mini.....	41
3. Pengujian <i>Switching</i> Otomatis	43
4. Analisa Efisiensi Pengisian Baterai dengan Input Stabil.....	45
BAB V PENUTUP.....	51
A. Kesimpulan.....	51
B. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian	10
Tabel 3. 1 Perangkat Penelitian	27
Tabel 3. 2 Perangkat Penunjang.....	27
Tabel 3. 3 Rencana Pengujian.....	30
Tabel 4. 1 Pengujian PLTS.....	33
Tabel 4. 2 Pengujian Arus dan Tegangan Turbin Uap Boiler.....	34
Tabel 4. 3 Pengujian Sensor INA219.....	36
Tabel 4. 4 Pengujian <i>Switching Relay</i>	37
Tabel 4. 5 Pengujian Sistem <i>Monitoring Via Smartphone</i>	38
Tabel 4. 6 Perubahan intensitas cahaya.....	40
Tabel 4. 7 Fluktuasi PLTU mini	42
Tabel 4. 8 <i>Switching</i> Otomatis	44
Tabel 4. 9 Efisiensi Pengisian Baterai PLTS	46
Tabel 4. 10 Efisiensi Pengisian Baterai PLTU.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Solar Cell</i>	13
Gambar 2. 2 Mesin Boiler Pada PLTU	14
Gambar 2. 3 Modul INA219	15
Gambar 2. 4 Baterai/Aki	16
Gambar 2. 5 ESP32	18
Gambar 2. 6 <i>Buck-boost Converter</i>	19
Gambar 2. 7 MPPT	20
Gambar 2. 8 Modul <i>Relay</i>	22
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem.....	25
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i>	28
Gambar 4. 1 Grafik Perubahan intensitas cahaya.....	41
Gambar 4. 2 Grafik Fluktuasi PLTU mini	43
Gambar 4. 3 Grafik Switching	45
Gambar 4. 4 Grafik Pengisian Baterai PLTS dan PLTU	49

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemerintah memiliki cita-cita besar, yakni menjadikan Indonesia menjadi poros maritim. Cita-cita ini digaungkan kembali oleh otoritas kebijakan moda transportasi laut. Untuk menjadikan Indonesia sebagai pusat maritim dunia, Menteri Perhubungan Budi Karya Sumadi yang mewakili Presiden, berkomitmen untuk melaksanakan berbagai proyek pembangunan di sektor kelautan, seperti: infrastruktur transportasi laut, aspek poleksosbud, penegakan hukum kelautan dan kedaulatan NKRI. Indonesia sebagai negara kepulauan yang memiliki potensi sumber daya alam (SDA) lautan yang sangat besar, karena itu membutuhkan peningkatan kualitas dan kuantitas sumber daya manusia (SDM) Kelautan yang andal.

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki potensi besar menjadi poros maritim dunia, Poros maritim dunia merupakan sebuah gagasan strategis yang diwujudkan untuk menjamin konektivitas antar pulau, pengembangan industri perkapalan dan perikanan, perbaikan transportasi laut serta fokus pada keamanan maritim. Dengan kata lain, visi ini merupakan gagasan atau wacana pemerintah untuk memajukan potensi perairan Indonesia (Lina Hastuti., 2022). Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan luas lautan mencapai 7,9 juta km², Indonesia memiliki potensi maritim yang sangat besar. Letaknya yang strategis di antara dua benua dan dua samudra juga memberikan keuntungan dalam hal perdagangan dan hubungan internasional.

Seperti telah diketahui, Sejalan dengan perkembangan teknologi maritim yang pesat, perencanaan sistem kelistrikan kapal laut menjadi semakin kompleks. Untuk memastikan operasional kapal yang efisien dan aman, diperlukan perancangan sistem kelistrikan yang terintegrasi dan andal, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kebutuhan daya, jenis peralatan, dan kondisi lingkungan. Diperlukan suatu proses mulai dari desain dasar (basic design) sampai dengan proses yang terakhir yang disebut desain produksi (production design) (Masringgit Marwiyah, dkk., 2023).

Pada umumnya di atas kapal terdapat mesin diesel pembangkit listrik sebanyak dua set, satu pembangkit listrik darurat. Penggunaan alat-alat listrik di kapal sangat penting dalam penerangan dan pengoperasian peralatan di kapal. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan operasional kerja yang aman, sekaligus kenyamanan saat beban tugas pekerjaan berada di kapal (IMA Nugraha *et al.*, 2024). Kekurangan pasokan listrik di kapal tidak hanya mengganggu kenyamanan penumpang, tetapi juga dapat mengancam keselamatan pelayaran dan menyebabkan kerusakan pada peralatan vital.

Kebutuhan listrik di atas kapal akan dirasakan pada malam hari saat kapal sedang berlayar, bermanuver, atau merapat di pelabuhan, menurut pengalaman para pelaut. Karena penggunaan yang terus meningkat, generator yang andal dan efektif diperlukan untuk memenuhi kebutuhan listrik ini (Darfin dan Gideon Seru., 2023). Generator berperan sebagai pemasok energi utama, menopang segala aktivitas di atas kapal, Beban kerja generator yang tinggi membuatnya rentan terhadap kerusakan jika tidak dirawat dengan baik.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik kapal, Pengembangan inovasi dalam

bidang energi terbarukan merupakan langkah strategis untuk mewujudkan diversifikasi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Sebagai contoh energi matahari, yang merupakan energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif dan ketersediaannya juga sangat memadai. Selain itu, energi uap merupakan sumber energi alternatif yang sangat potensial untuk dikembangkan. Pengembangan kedua sumber energi alternatif ini bersifat kontekstual, sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal. Energi terbarukan memiliki potensi signifikan sebagai sumber daya listrik alternatif bagi sektor industri perkapalan dan masyarakat umum. Dengan terus mengembangkan teknologi energi terbarukan skala kecil, kita dapat memenuhi kebutuhan energi berbagai sektor secara lebih berkelanjutan dan terjangkau.

PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (Photovoltaic) untuk mengkonversikan radiasi elektromagnetik berupa gelombang dan sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya (MY Maulana., 2023). PLTS memanfaatkan energy surya untuk menghasilkan listrik arus searah yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak balik apabila diperlukan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) umumnya terdiri dari modul surya yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC yang dapat digunakan untuk berbagai peralatan. Sistem kontrol berperan penting dalam mengatur kinerja seluruh komponen PLTS, memastikan efisiensi dan keandalan sistem.

PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi bahan bakar seperti minyak residu, batu bara, cangkang kelapa sawit, gas alam atau sampah untuk memanaskan uap secara berulang-ulang. Sebuah pembangkit listrik jika dilihat dari bahan baku untuk memproduksinya, maka pembangkit listrik tenaga uap bisa dikatakan pembangkit yang berbahan baku air. Uap di sini hanya sebagai tenaga pemutar turbin, sementara untuk menghasilkan uap dalam jumlah tertentu diperlukan air (JC Bhuana, dkk., 2021). Dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), siklus Rankine merupakan proses konversi energi yang terus-menerus. Air yang dipompa ke dalam boiler diubah menjadi uap bertekanan tinggi yang kemudian menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator, uap bekas dari turbin dikondensasikan kembali menjadi air dan proses berulang.

Pada situs *bluegrid.energy*, *Bluegrid* menyelesaikan tantangan besar dengan mengubah kapal menjadi pembangkit listrik untuk penyimpanan energi dengan kapasitas skala besar. *Bluegrid* menghadirkan teknologi dan kemampuan untuk mengoptimalkan sistem kapal ke jaringan (*vessel-to-grid*), memungkinkan kapal tidak hanya mengonsumsi daya secara efisien, tetapi juga mengembalikan daya ke jaringan listrik ketika diperlukan tanpa mengganggu operasional kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi penggunaan sistem pembangkit listrik hibrida yang menggabungkan teknologi tenaga surya dan uap boiler sebagai solusi inovatif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil di sektor maritim.

Hybrid merujuk pada integrasi dua atau lebih sumber pembangkit

listrik yang berasal dari energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem *hybrid* adalah untuk mengkombinasikan berbagai sumber energi sehingga dapat saling melengkapi kelemahan masing-masing, serta mencapai efisiensi pasokan dan efisiensi ekonomi pada beban tertentu (Sukrina, dkk., 2024). Sistem hibrida menawarkan solusi yang efektif untuk mengurangi beban keuangan akibat tagihan listrik yang terus meningkat. Dengan menggabungkan berbagai sumber energi secara cerdas, sistem hibrida memungkinkan kita untuk mencapai kemandirian energi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Ketidakstabilan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh PLTU dan PLTS sampai ke penyimpanan di baterai merupakan tantangan tersendiri. tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh PLTU dan PLTS secara akurat merupakan masalah serius dalam sistem kelistrikan modern. Fluktuasi yang signifikan dapat menyebabkan gangguan pada jaringan, penurunan kualitas daya, dan bahkan kerusakan pada peralatan listrik. Pada sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), sistem *controlling* dan *monitoring* sangat penting untuk menjaga kestabilan proses pembangkitan uap dan konversi energi menjadi energi listrik. Dan untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), sistem kontrol diperlukan untuk memaksimalkan pemanfaatan energi matahari dan mengoptimalkan kinerja *Solar Cell*. Pentingnya sistem *monitoring* dan *controlling* pada uap boiler dan sel surya tidak dapat dipungkiri, Sistem ini berperan krusial dalam memastikan efisiensi, stabilitas, dan keamanan operasi. Dengan adanya sistem ini, kita dapat memantau kinerja sistem secara real-time, mendeteksi dini adanya masalah.

Untuk memastikan keandalan dan efisiensi sistem kelistrikan yang terintegrasi dengan sumber listrik terbarukan, diperlukan upaya yang komprehensif dalam merancang, mengoperasikan, dan mengelola sistem, termasuk penggunaan teknologi penyimpanan energi, sistem kontrol yang canggih, dan strategi manajemen energi yang efektif.

Dengan adanya permasalahan diatas maka mendorong penulis untuk mengangkat judul “ **Integrasi Pembangkit Listrik *Solar Cell* dan Tenaga Uap Pada Sistem *Vessel To Grid (V2G)*”**. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan alat Integrasi sumber energi listrik uap dan *solar panel* serta mengetahui kinerja alat tersebut.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana Integrasi Pembangkit Listrik *Solar Cell* dan Tenaga Uap Pada sistem *controlling* dan *monitoring* dapat menjaga kestabilan tegangan dan arus dari PLTU dan PLTS sebelum disimpan ke baterai?
2. Bagaimana hasil kinerja Integrasi Pembangkit Listrik *Solar Cell* dan Tenaga Uap Pada sistem hybrid berbasis ESP32 dan sensor INA219 dalam proses pengukuran serta *switching* otomatis?

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, beberapa batasan masalah yang diterapkan meliputi:

1. Penelitian ini hanya fokus pada perancangan dan pembuatan prototipe alat

integrasi sumber energi Listrik *Solar Cell* dan tekanan uap.

2. Alat yang dibuat dalam penelitian ini merupakan model skala kecil (prototype) yang tidak merepresentasikan kebutuhan daya kapal secara penuh.
3. Sumber energi yang digunakan dibatasi pada *Solar Cell* dan tekanan uap boiler. Penelitian ini tidak membahas sumber energi terbarukan lain seperti angin atau gelombang laut.
4. Sistem kontrol yang dirancang dan diuji terbatas pada stabilisasi tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sebelum disimpan dalam baterai.
5. Pengujian Kinerja: Pengujian kinerja alat hanya mencakup pengukuran keluaran tegangan dan arus, serta efisiensi pengisian baterai. Penelitian ini tidak membahas secara detail tentang manajemen energi yang kompleks atau dampak operasional kapal secara luas.
6. Penggunaan *Solar Cell* hanya berkapasitas 50 wp.
7. Evaluasi kinerja berfokus pada aspek teknis (stabilitas listrik dan efisiensi).

Sementara analisis mendalam terkait biaya, dampak lingkungan, atau aspek sosial-ekonomi dari implementasi di kapal skala penuh tidak termasuk dalam batasan penelitian ini.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis peran sistem kontrol dan monitoring dalam menjaga kestabilan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

sebelum dialirkan ke sistem penyimpanan energi berupa baterai.

2. Mengkaji Kinerja Sistem hybrid yang berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor INA219 dalam proses pengukuran parameter listrik serta proses *switching* otomatis antar sumber energi yang dihasilkan dari PLTS dan PLTU.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi Lembaga

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam pengembangan sistem energi terbarukan yang menggabungkan dua sumber pembangkit, yakni PLTS dan PLTU. Selain itu, penelitian ini turut memperkaya referensi ilmiah di bidang otomasi sistem kelistrikan berbasis mikrokontroler di lingkungan institusi pendidikan.

2. Bagi Peneliti

Penelitian ini memberikan kesempatan bagi peneliti untuk menerapkan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan ke dalam bentuk karya ilmiah terapan. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat dalam meningkatkan kemampuan dalam merancang, mengimplementasikan, dan menganalisis sistem monitoring serta pengalihan otomatis sumber energi berbasis ESP32 dan sensor INA219.

3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini memberikan gambaran mengenai pemanfaatan teknologi

sistem hybrid energi terbarukan yang dapat mendukung pemenuhan kebutuhan listrik secara efisien dan berkelanjutan. Implementasi sistem monitoring otomatis diharapkan dapat mendorong pemanfaatan energi ramah lingkungan yang stabil dan mudah diaplikasikan dalam skala masyarakat.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Tabel 2. 1 Review Penelitian
Sumber : Dokumen Penelitian

No.	Nama	Judul Penelitian	Hasil	Perbedaan Penelitian
1.	I Achmad, AT Nugraha, 2022	Implementasi <i>Buck-Boost Converter</i> pada <i>Hybrid Turbin Angin Savonius</i> dan Panel Surya	<ul style="list-style-type: none"> • Bagaimana merancang dan menerapkan sistem hybrid antara turbin angin Savonius dan panel surya untuk menstabilkan tegangan keluaran dalam proses pengisian baterai? • Penelitian menggabungkan turbin angin Savonius dan panel surya 30 WP dalam satu sistem hybrid. Untuk menjaga kestabilan tegangan output, digunakan konverter tipe buck-boost. Sistem ini dirancang agar mampu mengatur besarnya tegangan dari dua sumber yang bersifat fluktuatif sebelum masuk ke baterai. • Implementasi konverter buck-boost terbukti mampu menstabilkan tegangan dari sistem hybrid PLTB dan PLTS, sehingga proses pengisian baterai dapat berjalan lebih optimal dan aman. 	Penelitian ini membahas perancangan sistem hybrid pembangkit Listrik berbasis panel surya dan boiler uap yang dikombinasikan dengan sistem kontrol dan monitoring guna menjaga kestabilan arus dan tegangan sebelum energi dialirkan ke baterai. Sistem ini menggunakan panel surya berkapasitas 50 WP yang dikendalikan melalui mikrokontroler ESP32 dan sensor INA219 untuk memantau parameter kelistrikan secara real-time.
2.	AR PERMADI, AL AGUNG. 2020	Rancang bangun <i>hybrid energy solar cell</i> dan pembangkit listrik tenaga bayu berbasis microcontroller	<ul style="list-style-type: none"> • Bagaimana merancang sistem hybrid pembangkit listrik tenaga surya dan bayu (angin) berbasis mikrokontroler agar dapat menghasilkan energi listrik yang stabil dan efisien? • Penelitian ini mengembangkan sistem pembangkit listrik hybrid yang menggabungkan panel surya dan turbin angin, dengan pengendalian menggunakan mikrokontroler. Tujuan utamanya adalah memaksimalkan 	Penelitian saya memanfaatkan sistem hybrid berbasis boiler uap dan panel surya 50 WP, dengan pengendali ESP32 dan sensor INA219 untuk monitoring real-time, <i>switching</i> otomatis, dan stabilisasi daya, serta dirancang khusus untuk sistem kelistrikan kapal dengan fitur keamanan tambahan

No.	Nama	Judul Penelitian	Hasil	Perbedaan Penelitian
			<p>pemanfaatan energi terbarukan melalui integrasi dua sumber energi yang saling melengkapi secara fungsional.</p> <ul style="list-style-type: none"> Sistem hybrid tenaga surya dan bayu yang dirancang berbasis mikrokontroler dapat menghasilkan suplai daya listrik yang stabil dan mendukung efisiensi energi dalam skala kecil. 	<p>dan kedalaman teknis yang lebih kompleks dalam implementasi maritim.</p>
3.	F Muliawati, S Riyadi, SC Annisa, Y Afrianto, NB Ginting, 2022	Implementasi Sistem Kontrol Manajemen Energi Hibrid Berbasis Mikrokontroler	<ul style="list-style-type: none"> Bagaimana mengimplementasikan sistem manajemen energi hybrid berbasis mikrokontroler yang memanfaatkan sumber panas dari matahari dan angin secara efektif? Penelitian ini merancang dan menerapkan sistem manajemen energi hybrid yang menggabungkan energi dari panel surya dan panas angin. Mikrokontroler digunakan sebagai unit pengendali utama yang berorientasi pada pemantauan dan pengukuran kinerja keseluruhan dari sistem hybrid. Tujuan utamanya adalah memastikan sistem dapat bekerja secara terkoordinasi dalam mengelola suplai energi dari dua sumber. Penerapan mikrokontroler dalam sistem ini memungkinkan pengelolaan energi hybrid yang lebih efisien dan terukur. Fokus sistem berada pada aspek manajemen daya secara umum tanpa pengalihan otomatis atau sistem kendali lanjutan. 	<p>Penelitian ini berfokus pada penerapan mikrokontroler untuk mengelola sistem hybrid energi matahari dan angin secara umum, tanpa mengutamakan stabilisasi tegangan, <i>switching</i> otomatis, atau lingkungan aplikasi tertentu. Sedangkan penelitian saya mengembangkan sistem hybrid berbasis boiler uap dan panel surya dengan ESP32 dan sensor INA219 yang tidak hanya melakukan pemantauan tegangan dan arus secara real-time, tetapi juga mampu melakukan <i>switching</i> otomatis antar sumber energi, serta diterapkan khusus pada sistem kelistrikan kapal dengan penambahan fitur keamanan dan stabilisasi daya yang disesuaikan untuk lingkungan maritim.</p>

B. Landasan Teori

Landasan teori mengenai integrasi pembangkit listrik *Solar Cell* dan tenaga uap di atas kapal, sebagai sumber dasar dari sebuah penelitian dimana menyajikan kerangka atau dasar secara sistematis dengan memahami konteks di mana masalah muncul. Berikut ini adalah beberapa landasan teori yaitu :

Analisis kinerja dan potensi energi terbarukan di lingkungan maritim dapat mencakup beberapa konsep penting berikut:

1. Integrasi Pada Sumber Listrik *Solar Cell* dan Tenaga Uap :

a. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sinar matahari yang mengenai permukaan bumi dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui *solar cell*. *Solar cell* merupakan komponen dasar dari panel surya, terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika cahaya matahari mengenai *Solar Cell*, elektron di dalam bahan semikonduktor tereksitasi dan menghasilkan arus listrik. Beberapa sel surya kemudian dihubungkan secara seri atau paralel untuk membentuk panel surya yang dapat menghasilkan daya listrik yang lebih besar.

Panel surya juga dapat digunakan sebagai sumber energi utama untuk rumah atau gedung dengan menggunakan sistem penyaluran listrik yang tepat. Solar panel merupakan salah satu cara yang efektif untuk menghemat energi dan meminimalkan emisi gas rumah kaca (Mahadipa Putra *et al.*, 2023).



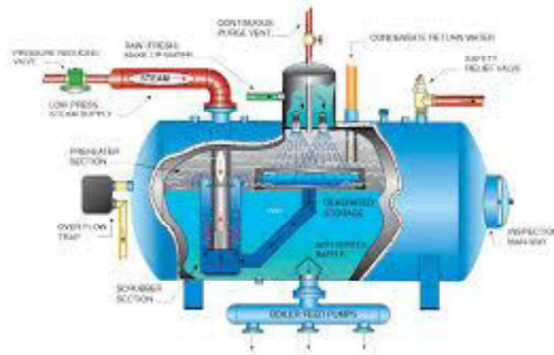
Gambar 2. 1 Solar Panel

Sumber: <https://news.indotrading.com/solar-panel-solusi-energi-ramah-lingkungan-untuk-masa-depan>

b. Pembangkit Listrik Tenaga Uap:

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Dalam proses produksi listrik PLTU, peralatan utamanya adalah *Boiler*, turbin, generator, transformator dan alat-alat bantu (*auxiliary*) (WA Sinaga., 2022). Salah satu peralatan penting pada sistem di PLTU untuk mendukung operasi tersebut adalah boiler. Uap yang didapat dari boiler digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator.

Boiler adalah peralatan yang berfungsi merubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan. Pembangkit-pembangkit yang ada dituntut untuk andal didalam menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Keandalan tersebut dapat dicapai apabila semua komponen komponen didalamnya mendukung dan siap beroperasi.



Gambar 2. 2 Mesin Boiler Pada PLTU

Sumber: <http://kmmigroup.com/WEB001/index.php/id/sort-learning/learning-bid-kelistrikan/149-mesin-boiler-pltu.html>

c. Modul INA219

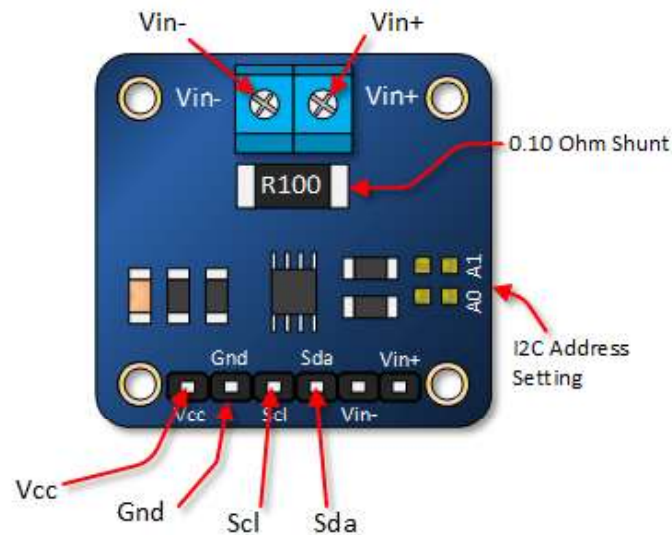
INA219 adalah sensor multifungsi yang memungkinkan pengukuran berbagai parameter listrik secara *real-time*. Modul ini dilengkapi dengan antarmuka I2C yang memudahkan integrasi dengan berbagai jenis mikrokontroler. Dengan INA219, kita dapat membangun berbagai proyek menarik, seperti monitor baterai, pengukur daya, dan sistem manajemen energi. INA219 banyak digunakan dalam sistem monitoring kelistrikan karena mampu menampilkan data secara *real-time*. Fungsi utama INA219 antara lain memantau tegangan hingga 26 volt, mengukur arus maksimal 3,2 ampere, menghitung daya listrik dalam sistem. Dengan kemampuannya, sensor ini sangat efektif untuk digunakan pada proyek energi terbarukan dan sistem manajemen baterai.

Sensor ini mengukur tegangan jatuh melintasi resistor 0.1 ohm pada PCB. Modul ini terhubung melalui antar muka I2C atau SMBUS. Spesifikasi sensor INA219 (R Artayuda, dkk., 2025.)

Tegangan input VCC : 3-5 VDC.

Range pengukuran tegangan : 0 –26 VDC.

Max current/arus : 3.2A, Dimensi : 25mm x 22mm.



Gambar 2. 3 Modul INA219

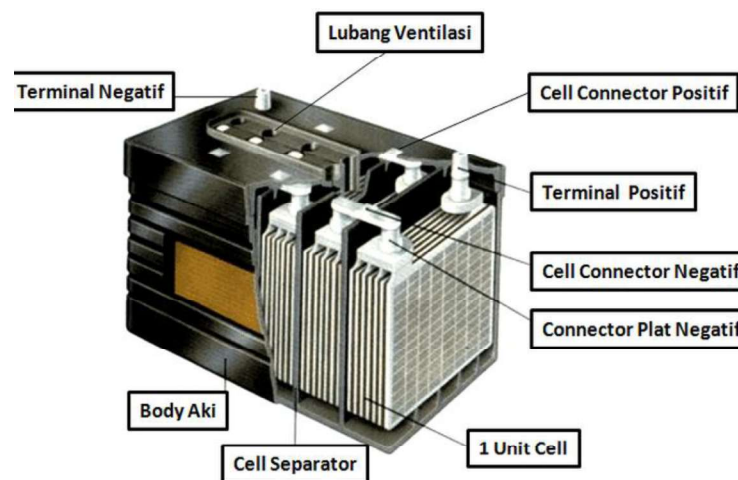
Sumber: <https://www.nn-digital.com/blog/2019/06/09/belajar-modul-ina219-sensor-arus-tegangan-daya-dengan-arduino/>

d. Battery

Baterai adalah komponen penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang bekerja berdasarkan reaksi elektrokimia. Proses kerjanya melibatkan perpindahan ion antara elektroda positif dan negatif, baik saat proses pengisian maupun saat melepaskan energi. Jenis baterai dibagi menjadi dua, yaitu baterai primer yang hanya bisa digunakan sekali dan baterai sekunder seperti lithium-ion yang dapat diisi ulang berkali-kali karena sifat reaksinya yang reversible. Baterai lithium-ion umum digunakan karena memiliki kapasitas penyimpanan tinggi, efisiensi baik, dan masa pakai yang relatif panjang.

Perangkat elektronik dengan penggunaan baterai tentunya melalui proses pengisian arus listrik terlebih dahulu, agar baterai tersebut dapat digunakan. Proses pengisian baterai adalah salah satu proses yang perlu diperhatikan karena memberikan dampak penting terhadap kesehatan dan kinerja baterai itu sendiri (Y Hilal, P Muliandhi dan EN Ardina., 2023).

Dalam sistem kelistrikan berbasis energi terbarukan seperti PLTS dan PLTU hybrid, baterai berperan penting sebagai penyimpan energi cadangan serta penstabil suplai daya. Pengisian baterai perlu dikelola dengan sistem yang terintegrasi agar proses pengisian berlangsung optimal dan tidak merusak sel baterai. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring menggunakan sensor arus dan tegangan untuk memastikan kinerja baterai tetap aman dan efisien dalam jangka panjang.



Gambar 2. 4 Baterai/Aki
Sumber : www.gridoto.com

e. ESP32

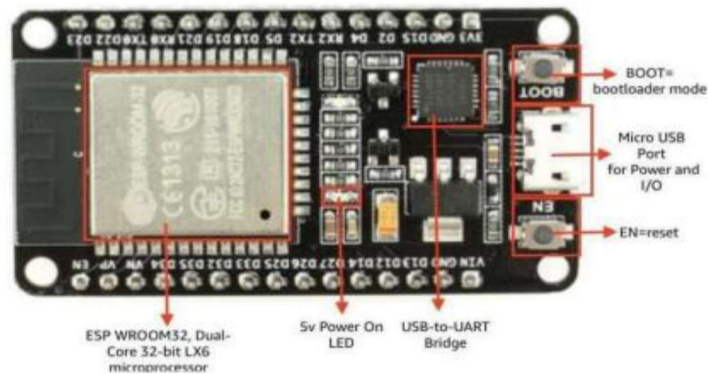
ESP32 adalah mikrokontroler dengan *board* mikrokontroler 32 bit yang tertanam jaringan wifi yang di support protokol jaringan wifi

802.11 b/g/n dengan frekuensi 2.4 GHz dan teknologi bluetooth v4.2 serta chip Bluetooth *low energy* (BLE). ESP32 dipopulerkan oleh Espressif Sistem dimana merupakan generasi lanjut dari 16 mikrokontroler. ESP8266 ini sangat mendukung dalam pembuatan sistem *aplikasi Internet of Things* (IoT) (Sari Darmayanti, dkk., 2024)

ESP32 memiliki kinerja tinggi dengan fitur dual-core, frekuensi hingga 240 MHz, dan konsumsi daya rendah. Dilengkapi dengan ADC, DAC, PWM, serta antarmuka komunikasi seperti UART, I2C, dan SPI, ESP32 mampu melakukan pemrosesan data dari sensor secara real-time, cepat, dan efisien.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem, yang mengumpulkan data dari sensor, memprosesnya, dan mengirimkannya ke aplikasi atau server untuk keperluan monitoring dan controlling. Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan untuk mengelola data dari sensor arus dan tegangan, serta mengatur *switching* otomatis antara sumber daya PLTS dan PLTU.

ESP32 mendukung berbagai jenis sensor, baik digital maupun analog. Beberapa sensor umum yang dapat terhubung meliputi INA219 untuk arus dan tegangan, sensor suhu (DHT11/DHT22), sensor cahaya (LDR), serta sensor lingkungan lainnya, melalui antarmuka seperti I2C, SPI, dan GPIO.



Gambar 2. 5ESP32

Sumber: <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/46622/19522048.pdf?sequence=1>

f. *Buck-Boost Converter*

Buck-Boost Converter adalah jenis konverter DC-DC terdapat beberapa komponen pendukung yaitu induktor, kapasitor, mosfet dan resistor dalam rangkaian konverter *buck-boost*, induktor berperan sebagai elemen kunci. Komponen pasif ini berfungsi menyimpan energi dalam medan magnet ketika saklar dalam keadaan tertutup. Ketika saklar terbuka, energi yang tersimpan dalam induktor akan dilepaskan untuk mengisi kapasitor dan memberikan daya ke beban.

Ketika tegangan input lebih rendah dari tegangan yang diinginkan, rangkaian menjadi mode *boost*. Sebaliknya, ketika tegangan input lebih tinggi dari tegangan yang diinginkan, maka menjadi mode *buck*. Ketika tegangan input stabil mendekati tegangan yang diinginkan, maka akan beroperasi dalam mode *buck-boost* (I Achmad, AT Nugraha., 2022).

Fungsi utama buck-boost converter adalah menjaga kestabilan tegangan output, meskipun input mengalami fluktuasi. Dalam penelitian ini, alat ini digunakan untuk menyesuaikan tegangan dari PLTU agar sesuai dengan kebutuhan sistem penyimpanan atau beban.

Rangkaian buck-boost umumnya terdiri dari komponen utama seperti induktor, kapasitor, MOSFET (sebagai saklar), dan resistor. Induktor berfungsi menyimpan energi dalam bentuk medan magnet saat saklar menutup, dan melepaskan energi ke kapasitor saat saklar membuka untuk mengatur aliran daya ke beban.



Gambar 2. 6 *Buck-boost Converter*

Sumber: <https://www.jakartanotebook.com/p/module-dc-buck-boost-converter-cc-cv-programmable-30v-4a-with-display-zk-4kx-blue>

g. *MPPT*

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sistem yang digunakan dalam solar charger controller, yang mengatur pengisian baterai. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) merupakan sebuah rangkaian sistem elektronika yang dioperasikan pada sebuah PV sehingga dapat menghasilkan power maksimal, karena MPPT lebih efisien 90% dari pada SCC biasa, (S Yuliani, ST Umi Fadlillah., 2024).

Kinerja MPPT sangat unggul karena mampu menyesuaikan input

dari *Solar Cell* dengan kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya matahari. Dengan melakukan penyesuaian dinamis terhadap tegangan dan arus, sistem ini mampu mengekstraksi daya maksimal dari panel, sehingga lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

Fungsi utama MPPT adalah untuk memastikan sistem pembangkit tenaga surya bekerja pada titik daya tertinggi (maksimum), sehingga efisiensi energi meningkat. MPPT sangat berguna dalam sistem PLTS karena mampu mengonversi tegangan yang fluktuatif menjadi energi yang optimal untuk pengisian baterai.



Gambar 2. 7 MPPT

Sumber: https://www.alibaba.com/product-detail/Panel-Battery-Intelligent-10a-20a-30a_62513587797.html

h. Relay

Relay merupakan saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik (electromagnetic). Saklar pada *relay* akan terjadi perubahan posisi off ke ON pada saat diberikan energi elektromagnetik pada armatur *relay* tersebut (FI Pasaribu, M Reza 2021). *Relay* dibutuhkan dalam rangkaian elektronika sebagai eksekutor

sekaligus *interface* antara beban dan sistem kendali elektronik yang berbeda sistem power supplynya.

Relay bekerja dengan cara mengubah sinyal listrik kecil menjadi pengendali bagi arus listrik yang lebih besar. Saat tegangan diterapkan ke kumparan, medan magnet yang terbentuk akan menarik tuas logam untuk menutup atau membuka sambungan listrik. Perubahan posisi ini memungkinkan *Relay* mengendalikan perangkat dengan daya tinggi menggunakan sinyal berdaya rendah dari mikrokontroler atau sensor.

Relay berperan penting sebagai interface antara sistem kontrol elektronik dan beban listrik yang memerlukan sumber daya berbeda. Komponen ini memungkinkan sistem mikrokontroler seperti ESP32 mengatur peralatan yang memiliki tegangan dan arus berbeda, seperti motor, lampu, atau rangkaian daya lainnya. *Relay* juga sering digunakan untuk keperluan *switching* otomatis dalam sistem monitoring dan kendali jarak jauh.

Jenis *relay* yang digunakan dalam sistem berbasis mikrokontroler umumnya adalah *relay* modul 5V seperti pada gambar, yang kompatibel dengan tegangan logika mikrokontroler. Modul ini biasanya dilengkapi dengan indikator LED dan optoisolator untuk memberikan keamanan tambahan terhadap gangguan arus balik.



Gambar 2. 8 Modul Relay

Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id/2024/02/mengenal-modul-relay-arduino-cara-kerja-dan-aplikasi-praktis.html>

i. Alat – alat ukur

Alat ukur adalah alat yang digunakan untuk mengukur benda atau kejadian tersebut. Seluruh alat pengukur dapat terkena kesalahan peralatan yang bervariasi. Bidang ilmu yang mempelajari cara-cara pengukuran dinamakan metrologi.

2. Kapal Pembangkit Listrik Vessel-to-Grid (V2G)

Kapal pembangkit listrik adalah kapal yang membawa alat pembangkit listrik, misalnya dari tenaga uap atau tenaga surya (solar panel). Kapal ini bisa digunakan untuk membantu memasok listrik ke daratan, terutama di pelabuhan atau daerah terpencil. Teknologi ini dikenal dengan nama Vessel-to-Grid (V2G), artinya kapal bisa mengirimkan listrik ke jaringan listrik umum saat sedang tidak dipakai berlayar.

Menurut Almousa dan Alharbi (2025), integrasi PGS ke dalam jaringan kelistrikan melalui pendekatan V2G dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Penulis mengembangkan model MESC

(Maritime Energy Ship Coordination) yang mengoptimalkan penjadwalan pembangkitan dan pergerakan kapal pembangkit untuk memaksimalkan kontribusi terhadap sistem jaringan.

Penggabungan dua sumber seperti tenaga uap dan panel surya pada kapal sangat cocok digunakan dalam sistem V2G, karena bisa menghasilkan listrik dari dua arah. Jika sistem ini diterapkan pada konsep seperti Bluegrid, maka kapal bisa menjadi pembangkit listrik berjalan yang membantu memenuhi kebutuhan listrik di berbagai tempat yang sulit dijangkau.

3. Integrasi Energi Terbarukan di Kapal:

- a. Integrasi *Solar Cell* : *Solar Cell* dapat diintegrasikan di atas kapal untuk menghasilkan listrik yang dapat digunakan untuk kebutuhan daya seperti penerangan, peralatan elektronik, atau sistem pengisian baterai.
- b. Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat diinstal di atas kapal untuk menghasilkan energi listrik tambahan dari uap boiler yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya kapal.

4. Analisis Kinerja:

- a. Efisiensi *Solar Cell*: Efisiensi *Solar Cell* mengacu pada kemampuan Panle Surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Efisiensi yang lebih tinggi akan menghasilkan lebih banyak listrik dengan jumlah sinar matahari yang sama.
- b. Efisiensi Uap Boiler: Efisiensi Uap Boiler mengacu pada kemampuan Uap boiler untuk mengubah energi kinetik uap menjadi energi listrik. Efisiensi yang lebih tinggi akan menghasilkan lebih banyak listrik dengan tekanan uap yang sama.

5. Potensi Energi Terbarukan di Lingkungan Maritim:

- a. Variabilitas Sumber Daya: Potensi Energi Surya dan Uap Boiler dapat bervariasi berdasarkan musim serta perawatan dan pemeliharaan yang baik pada peralatan akan meningkatkan efisiensi dan mengurangi variabilitas. Analisis potensi energi terbarukan di lingkungan maritim melibatkan penilaian potensi energi matahari dan Uap boiler yang dapat dihasilkan di lokasi kapal beroperasi.
- b. Pengaruh Cuaca Maritim: Lingkungan maritim dapat memiliki kondisi cuaca yang berbeda seperti angin kencang, gelombang laut, dan suhu yang tinggi. Analisis kinerja dan potensi energi terbarukan harus mempertimbangkan pengaruh kondisi cuaca ini terhadap kinerja *Solar Cell* dan Tenaga Uap

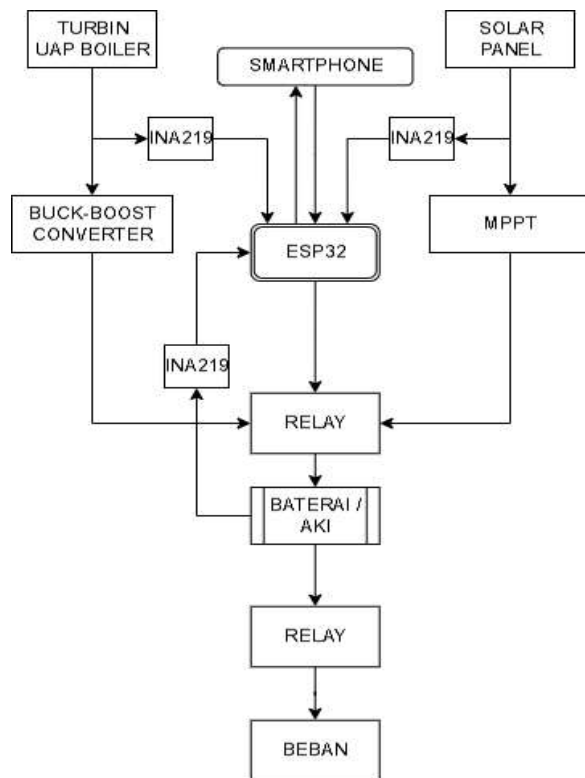
Melalui integrasi *Solar Cell* dan Uap Boiler di atas kapal serta analisis kinerja dan potensi energi terbarukan di lingkungan maritim, diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak lingkungan negatif dari sektor transportasi maritim.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode penelitian eksperimen, Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen karena dilakukan percobaan untuk membuat sebuah rancangan *monitoring* dan *controlling* pada sistem *hybrid* antara *Solar Cell* dan Tenaga uap yang diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32. Proses perencanaan berdasarkan pada skema yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

Sumber : Dokumen pribadi

1. Input sumber energi dan sensor yang masuk ke sistem:

Turbin Uap/Boiler → menghasilkan listrik DC

Solar Panel → menghasilkan listrik DC

Sensor INA219 → membaca arus dan tegangan dari masing-masing sumber (turbin dan panel)

Smartphone → sebagai media monitoring dan kontrol (via koneksi ke ESP32)

2. Proses pengolahan data dan kontrol sistem:

Buck-Boost Converter → menstabilkan tegangan dari turbin uap

MPPT (Maximum Power Point Tracking) → mengoptimalkan daya dari solar panel

ESP32 → sebagai pusat pengendali dan monitoring, menerima data dari sensor INA219 dan mengendalikan *Relay* berdasarkan logika integrasi sumber daya

Relay → memutus dan menghubungkan pengisian baterai dari sumber yang sesuai

3. Output hasil akhir dari sistem:

Baterai / Aki → menyimpan energi listrik dari sumber (*Solar Cell* dan PLTU mini)

Beban → perangkat atau sistem yang menggunakan energi dari baterai (seperti lampu, motor, dll)

Data Monitoring → ditampilkan ke *smartphone* melalui ESP32

Adapun perangkat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perangkat Penelitian

Sumber : Dokumen pribadi

No	Nama Perangkat	Jumlah
1.	<i>Solar panel</i>	1 Buah
2.	Turbin Boiler uap	1 buah
3.	<i>Buck-boost converter</i>	1 Buah
4.	<i>Relay</i>	2 Buah
5.	Modul INA219	3 Buah
6.	ESP32	1 Buah
7.	MPPT	1 Buah
8.	Baterai / Aki	1 Buah

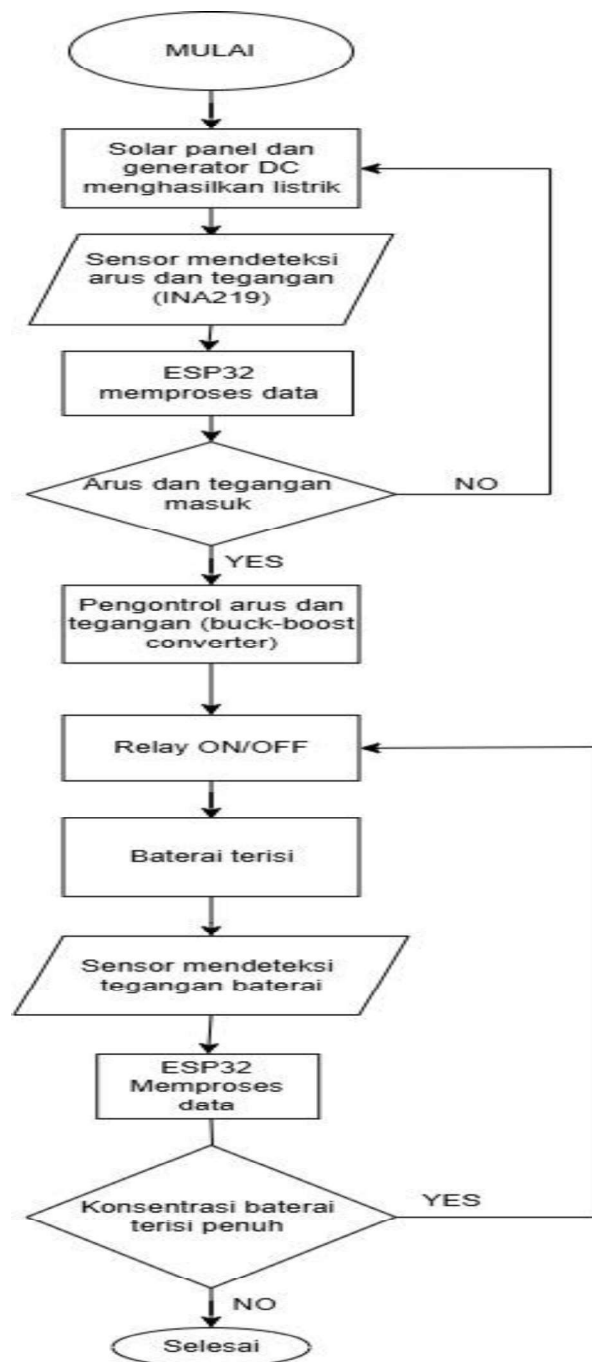
Selain perangkat yang digunakan pada tabel 3.1, juga terdapat beberapa perangkat penunjang yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Perangkat Penunjang

Sumber : Dokumen pribadi

No	Nama Perangkat	Banyak
1.	Beban	Secukupnya
2.	Kabel	Secukupnya
3.	Alat – alat Ukur	Secukupnya

B. Perancangan alat / Software



Gambar 3. 2 Flowchart

Sumber : Dokumen pribadi

Solar Cell dan Tekanan uap boiler digunakan untuk menghasilkan Listrik sebagai sumber energi utama, Sensor INA219 berfungsi untuk mendeteksi arus

dan tegangan yang masuk ke sistem, ESP32 mengolah data yang di terima dari sensor INA219. Apabila sistem tidak mendeteksi adanya arus dan tegangan masuk maka sistem Kembali ke awal. Sebaliknya Jika ada arus dan tegangan masuk, sistem melanjutkan ke tahap pengontrolan.

Buck-boost converter untuk mengontrol arus dan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan, Komponen *Relay* berfungsi sebagai saklar otomatis (*switching*). Ketika baterai mulai terisi sistem akan terus *me-monitoring*, Jika baterai sudah penuh sistem berhenti dan proses selesai (*relay OFF*), Jika baterai belum penuh sistem akan melanjutkan proses pengisian (*relay ON*).

C. Rencana Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui performa, keandalan, dan efisiensi dari sistem pembangkit listrik *hybrid* yang terdiri dari *Solar Cell* dan tekanan uap (Uap Boiler) serta sistem kontrol berbasis ESP32. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, mulai dari proses pembangkitan daya, pengaturan tegangan melalui *buck-boost converter*, pemantauan arus dan tegangan menggunakan sensor INA219, hingga proses *switching* otomatis oleh *relay* yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Selain itu, pengujian juga dilakukan terhadap modul MPPT untuk mengetahui efisiensi pengisian baterai serta kestabilan suplai listrik ke beban.

Setiap pengujian akan dilakukan secara terpisah dan bertahap, dimulai dari sumber input (turbin dan panel surya), pengukuran sensor, sistem pengisian, hingga kendali dan output ke beban. Hasil dari pengujian ini akan

menjadi dasar analisis kinerja sistem secara menyeluruh dan menjadi acuan dalam menyusun kesimpulan serta rekomendasi pada bab selanjutnya. Adapun rincian jenis pengujian, tujuan, alat yang digunakan, serta parameter yang diukur disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. 3Rencana Pengujian
Sumber :Dokumen pribadi

No.	Jenis Pengujian	Tujuan	Alat yang digunakan	Parameter yang di ukur
1.	Arus & Tegangan input dari panel surya	Mengetahui output daya dari panel surya setelah melalui konversi tegangan	INA219, Multimeter, ESP32	Tegangan, Arus, Daya
2.	Arus & Tegangan input dari turbin uap boiler	Mengetahui output daya dari turbin uap setelah melalui konversi tegangan	INA219, Multimeter, ESP32	Tegangan, Arus, Daya
3.	Pengujian Sensor INA219	Mengetahui akurasi pembacaan sensor INA219 terhadap arus dan tegangan	INA219, Multimeter	Tegangan, Arus, Daya
4.	Pengisian Baterai	Melihat lama waktu pengisian dan kestabilan arus masuk ke baterai	INA219, ESP32, Timer	Lama pengisian, Tegangan akhir, Arus rata rata
5.	<i>Switching relay</i> otomatis	Menilai Respon ESP32 dalam mengatur <i>switching</i> sumber listrik	ESP32, Modul <i>Relay</i> , Smartphone	Waktu <i>switching</i> , Kondisi Logika input dan output <i>Relay</i>
6.	Pengujian kendali smartphone	Menguji apakah ESP32 dapat di control melalui aplikasi smartphon	Smartphone, ESP32	Respon sistem terhadap perintah ON/OFF

Dengan dilaksanakannya pengujian ini, diharapkan dapat diperoleh data yang akurat mengenai performa dan efisiensi dari sistem pembangkit listrik *hybrid* yang dirancang. Hasil pengujian ini juga akan menjadi dasar dalam mengevaluasi apakah sistem telah berjalan sesuai spesifikasi, baik dari sisi kestabilan tegangan dan arus, efektivitas *switching* otomatis oleh ESP32, serta efisiensi pengisian baterai menggunakan metode MPPT. Selain itu, pengujian ini akan memperlihatkan keandalan sistem dalam menghadapi perubahan

kondisi sumber daya secara dinamis, sehingga dapat mendukung pengembangan sistem energi terbarukan berbasis mikrokontroler secara lebih optimal dan aplikatif.