

**RANCANG BANGUN *CHARGING STATION* PADA HALTE
BUS UMA BERBASIS PANEL SURYA SISTEM *OFF GRID***

SKRIPSI

OLEH:

M. AGUNG PRATAMA SIMAMORA

18.812.0001



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 12/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)12/8/25

RANCANG BANGUN *CHARGING STATION* PADA HALTE BUS UMA BERBASIS PANEL SURYA SISTEM *OFF GRID*

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh:

M. Agung Pratama Simamora

18.812.0001

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Rancang Bangun *Charging Station* Pada Halte Bus UMA
Berbasis Panel Surya Sistem *Off Grid*

Nama : M. Agung Pratama Simamora

NPM : 18.812.0001

Fakultas : Teknik Elektro

Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing



Moranain Mungkin, ST, M.Si
Pembimbing



Dr. Eng. Supriatno, ST, MT
Dekan



Habil Satria, MT, M.Kom, IPM, ASEAN Eng
Ka.Prodi

Tanggal Lulus : 10 Maret 2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

ii

Document Accepted 12/8/25

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bantuan orang lain. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 27 Mei 2025



M. Agung Pratama Simamora
NPM. 18.812.0001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Agung Pratama Simamora
NPM : 18.812.0001
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Rancang Bangun *Charging Station* Pada Halte Bus UMA Berbasis Panel Surya Sistem *Off Grid*”.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 10 Maret 2025

Yang menyatakan



(M. Agung Pratama Simamora)

ABSTRAK

Penelitian ini merancang dan menguji stasiun pengisian daya berbasis panel surya 100 Wp dengan sistem off-grid di halte bus UMA untuk menyediakan akses pengisian bagi pengguna transportasi umum dan mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional. Sistem ini mencakup rancangan mekanik dan elektrik serta diuji untuk mengisi perangkat seperti smartphone. Hasil pengujian menunjukkan kecepatan pengisian stabil pada 33,33% atau 1666,67 mAh per jam hingga 90% kapasitas, kemudian melambat untuk mencegah overcharging. Efisiensi optimal tercapai dalam 2,5 jam pertama, dengan waktu pengisian penuh sekitar 3 jam. Rancang bangun ini menunjukkan pengelolaan daya yang baik dan berkontribusi pada layanan transportasi publik ramah lingkungan.

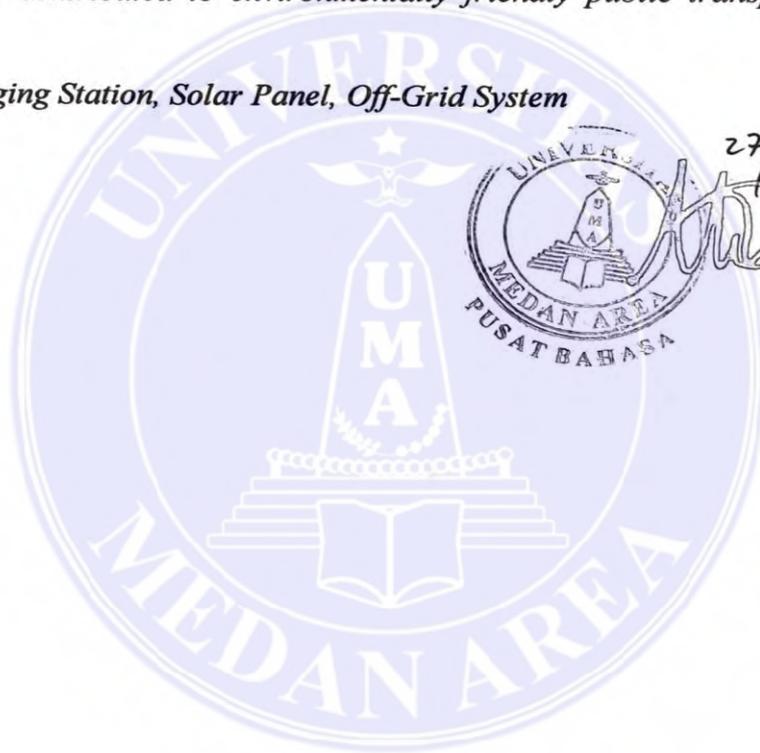
Kata Kunci: Stasiun Pengisian Daya, Panel Surya, Sistem Off Grid.



ABSTRACT

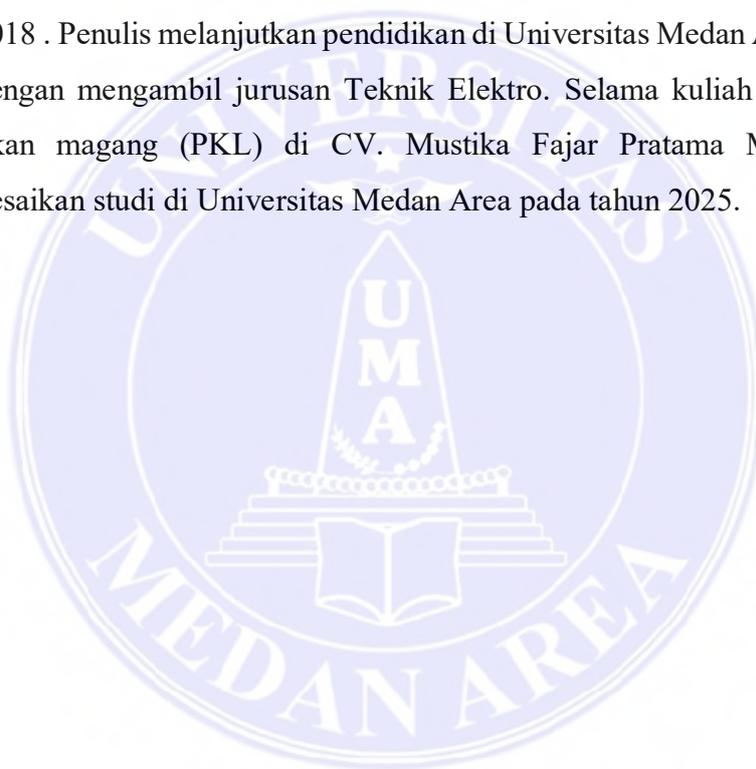
This research designed and tested a 100 Wp solar panel-based charging station with an off-grid system at the UMA bus stop to provide charging access for public transportation users and reduce dependence on conventional electricity. The system included mechanical and electrical designs and was tested to charge devices such as smartphones. The test results showed a stable charging speed of 33.33% or 1666.67 mAh per hour up to 90% capacity, then slowed down to prevent overcharging. Optimal efficiency was achieved in the first 2.5 hours, with full charging time around 3 hours. This design demonstrated good power management and contributed to environmentally friendly public transportation services.

Keywords: *Charging Station, Solar Panel, Off-Grid System*



RIWAYAT HIDUP

Muhammad Agung Pratama Simamora lahir pada tanggal 04 Agustus 2000 di Medan, Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang. Lahir dari pasangan Bapak Kobul Simamora dan Ibu Yusnita, yang merupakan anak ke 1 dari 3 bersaudara. Memulai pendidikan formal mulai tahun 2006 di SDIT Deli Insani dan lulus pada tahun 2012. Penulis melanjutkan pendidikan di MTS Al-Jam'iyatul Washliyah Tanjung Morawa dan lulus pada tahun 2015. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMK Teknologi Al-Jam'iyatul Washliyah 4 Medan dan lulus pada tahun 2018. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Medan Area pada tahun 2018 dengan mengambil jurusan Teknik Elektro. Selama kuliah penulis pernah melakukan magang (PKL) di CV. Mustika Fajar Pratama Medan. Penulis menyelesaikan studi di Universitas Medan Area pada tahun 2025.



KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan Kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala rahmat dan karunianya sehingga Tugas Akhir ini telah berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah rancang bangun teknologi dengan judul **“Rancang Bangun Charging Station Pada Halte Bus UMA Berbasis Panel Surya Sistem Off Grid”**.

Dalam penulisan Skripsi ini, penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material, moral dan spritual, Selayaknya penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ucapan terima kasih saya yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya yang telah memberikan perhatian dan kasih sayang yang luar biasa dalam mendukung saya untuk menempuh pendidikan.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Eng. Supriatno, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir.Habib Satria, MT, M.Kom, IPM, ASEAN Eng Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Medan Area.
5. Bapak Moranain Mungkin, ST, M.Si, Selaku Dosen Pembimbing untuk Tugas Akhir ini yang memberikan saran dan kritik yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir Ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Staff pegawai civitas akademis Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
7. Serta Seluruh teman seperjuangan angkatan stambuk 2018 Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan oleh karena itu kritikan dan juga saran yang bersifat membangun sangatlah penulis harapkan demi menunjang kesempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis juga berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun kepada masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Medan, 27 Mei 2025



(M. Agung Pratama Simamora)



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB II TEORI PENUNJANG	6
2.1 Panel Surya	6
2.2 Pola Rangkaian Instalasi Sel Surya.....	8
2.3 Karakteristik Sel Surya)	11

2.4	Jenis Sel Surya.....	14
2.5	Perhitungan Efisiensi Panel Surya	18
2.6	<i>Solar Charge Controller</i>	20
2.7	Baterai.....	22
2.8	MCB DC.....	24
2.9	Inverter.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.1.1	Tempat Penelitian.....	29
3.1.2	Waktu Penelitian	29
3.2	Metoda Penelitian.....	30
3.3	Alat dan Bahan	32
3.4	Model dan Tata Letak Alat.....	33
3.5	Blok Diagram Alat.....	34
3.6	Rangkaian Instalasi Seluruh Sistem	36
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS.....		38
4.1	Hasil Pembuatan Alat.....	38
4.2	Pengujian <i>Charging Station</i>	39
4.2.1	Mempersiapkan Alat Penelitian Hasil Rancangan ...	39
4.2.2	Prosedur Pengujian Sistem.....	40

BAB IV PENUTUP.....	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	46
 DAFTAR PUSTAKA	 47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Fisik Panel Surya	8
Gambar 2.2	Skema hubungan antara solar cell, modul, panel dan array ...	9
Gambar 2.3	Kurva arus dan tegangan	13
Gambar 2.4	Bentuk Fisik Panel Surya Jenis <i>Mono-Crystalline</i>	15
Gambar 2.5	Bentuk Fisik Panel Surya Jenis <i>Poly-Crystalline</i>	16
Gambar 2.6	Bentuk fisik panel surya jenis <i>Thin-Film</i>	18
Gambar 2.7	Bentuk fisik <i>Solar Charge Controller</i>	22
Gambar 2.8	Bentuk fisik baterai	23
Gambar 2.9	Bentuk fisik MCB DC	24
Gambar 2.10	Bentuk fisik inverter	25
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Kerangka Berfikir Penelitian	31
Gambar 3.2	Deskripsi Sistem <i>Charging</i>	33
Gambar 3.3	Blok Diagram Sistem <i>Charging</i>	34
Gambar 3.4	Bentuk Instalasi Seluruh Sistem	37
Gambar 4.1	Sistem <i>Charging Station</i> Berbasis Panel Surya <i>Off Grid</i>	38
Gambar 4.2	Spesifikasi Adaptor sebagai <i>Charger</i> ke <i>Hand Phone</i>	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Jadwal Kegiatan Penelitian	30
Tabel 3.2	Daftar Alat dan Bahan	32
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Proses Pen-chargingan Baterai <i>Hand Phone</i>	43
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Efisiensi Pengisian Berdasarkan Persentase Kapasitas yang Terisi dalam Setiap Jam	45



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan populasi perkotaan dan ketergantungan yang semakin meningkat terhadap transportasi umum, terutama bus, telah memunculkan kebutuhan akan infrastruktur pengisian ulang yang efisien dan ramah lingkungan (Irsan Pasaribu & Reza, 2021). Halte bus menjadi titik penting dalam sistem transportasi publik, dimana penumpang dapat menunggu dan bertukar antar moda transportasi (Jaya, 2022). Namun, banyak halte bus masih kurang dilengkapi dengan fasilitas pengisian daya untuk perangkat elektronik, seperti ponsel atau laptop (Firananta & Atmono, 2021). Dalam era di mana teknologi menjadi bagian integral dari kehidupan sehari-hari, keberadaan *charging station* di halte bus menjadi suatu kebutuhan yang mendasar (Doemaar et al., 2022).

Selain itu, dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan, penggunaan sumber energi terbarukan semakin menjadi perhatian utama. Panel surya menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama di lokasi yang terpencil atau sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional (Baharudin Yusuf et al., 2023).

Dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi, serta menerapkan sistem *off grid* yang mandiri, charging station pada halte bus dapat diimplementasikan secara efektif dan efisien (Haryadi et al., 2017). Hal ini tidak hanya memberikan akses pengisian daya yang mudah bagi pengguna transportasi

umum, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional dan mengurangi jejak karbon.

Oleh karena itu, rancang bangun *charging station* pada halte bus UMA berbasis panel surya sistem *off grid* merupakan langkah progresif dalam meningkatkan kualitas layanan transportasi publik, sambil secara positif berkontribusi terhadap upaya pelestarian lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana prosedur pembuatan *charging station* pada halte bus UMA berbasis panel surya sistem *off grid*?
2. Berapakah kapasitas panel surya sistem *off grid* yang digunakan pada sistem *charging*?
3. Bagaimana mengetahui kemampuan *charging station* berbasis panel surya sistem *off grid*?

1.3. Batasan Masalah

Agar kajian dalam penelitian ini fokus pada tujuan yang akan dicapai maka perlu memberikan batasan masalah. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah meliputi :

1. Charging station yang dirancang adalah untuk kapasitas pengisian baterai *smart phone*.
2. Panel surya yang digunakan kapasitas 100 Wp dengan *type polycrystalline*.

3. Pengaplikasian alat dilapangan bersifat temporer yakni hanya saat pengujian saja.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat *sistem charging station* pada halte bus UMA berbasis panel surya sistem *off grid* secara mekanik dan elektrik.
2. Memasang panel surya sistem *off grid* berkapasitas 100 Wp sebagai sumber energi listrik mandiri pada *charging station*.
3. Melakukan pengujian dan analisis sederhana terhadap kemampuan *charging station* berbasis panel surya sistem *off grid* dalam pengisian baterai *smart phone*

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari pembuatan alat ini adalah:

1. Energi Bersih: Penggunaan panel surya sebagai sumber energi untuk *charger station* akan membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan beralih ke energi terbarukan. Ini akan membantu mengurangi jejak karbon dan polusi udara.
2. Peningkatan Aksesibilitas: Dengan adanya *charger station* di halte bus UMA, pengguna bus listrik atau kendaraan listrik lainnya akan memiliki akses mudah untuk mengisi daya saat mereka menunggu atau berhenti di halte. Hal ini dapat mendorong lebih banyak orang untuk beralih ke kendaraan listrik, meningkatkan adopsi teknologi ramah lingkungan.

3. **Fleksibilitas Transportasi Publik:** Dengan adanya *charger station*, operator transportasi publik dapat dengan mudah mengintegrasikan armada kendaraan listrik ke dalam jaringan transportasi mereka. Ini membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem transportasi.
4. **Penghematan Biaya Operasional:** Meskipun biaya awal untuk membangun *charger station* dengan panel surya mungkin tinggi, dalam jangka panjang hal ini dapat menghasilkan penghematan biaya operasional yang signifikan karena sumber energi matahari gratis dan dapat diperbaharui.
5. **Kemandirian Energi:** Menggunakan energi matahari untuk mengisi daya kendaraan listrik di halte bus dapat membantu mengurangi ketergantungan pada infrastruktur energi tradisional.
6. **Pendidikan Lingkungan:** Adopsi teknologi hijau seperti *charger station* berbasis panel surya di halte bus UMA juga dapat menjadi titik fokus untuk pendidikan lingkungan. Ini bisa digunakan untuk menyadarkan masyarakat akan pentingnya energi terbarukan dan langkah-langkah kecil yang dapat mereka ambil untuk membantu melindungi lingkungan.

1.6. Sistematika Pembahasan

Dalam memperoleh hasil yang optimal dalam penyusunan skripsi ini, maka saya merencanakan urutan kajian sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Pada bagian ini berisi latar belakang masalah dalam penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat serta sistematika pembahasan.

Bab II Teori Penunjang

Pada bagian ini berisikan seputar penjelasan teori dasar mengenai alat dan bahan yang digunakan pada pembuatan sistem charging station pada halte bus UMA berbasis panel surya sistem *off grid*.

Bab III Metoda Pembuatan Alat

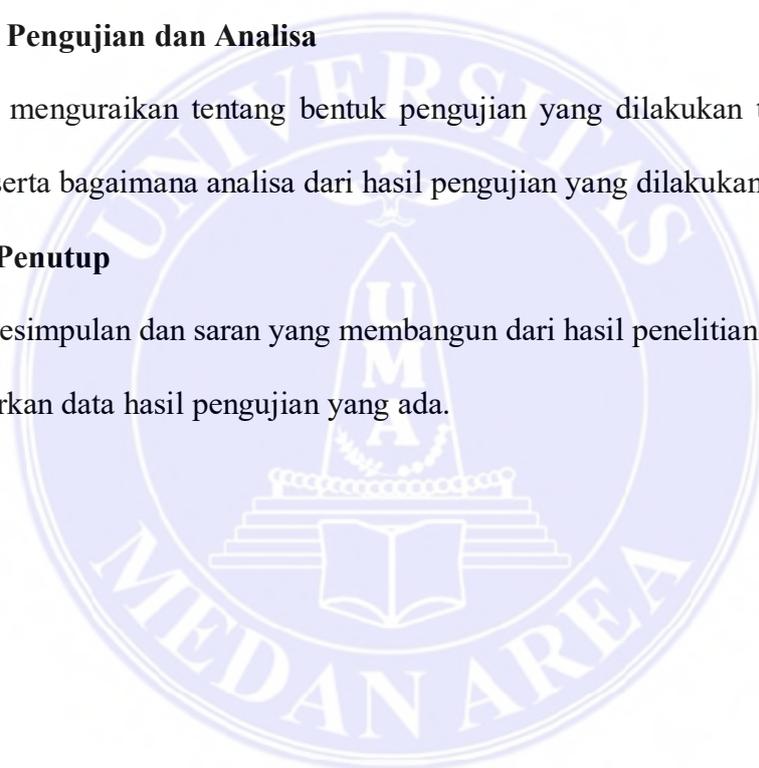
Pada bab ini menjelaskan tentang seputar metoda atau prosedur pembuatan alat serta bagaimana settingannya.

Bab IV Pengujian dan Analisa

Bab ini menguraikan tentang bentuk pengujian yang dilakukan terhadap modul trainer serta bagaimana analisa dari hasil pengujian yang dilakukan.

Bab V Penutup

Berisi kesimpulan dan saran yang membangun dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan data hasil pengujian yang ada.



BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1. Panel Surya

Panel surya adalah teknologi yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya terdiri dari sel surya, yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika sinar matahari mengenai sel surya, energi cahaya diubah menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik. Panel surya biasanya digunakan dalam instalasi fotovoltaiik untuk menyediakan listrik bagi rumah-rumah, gedung-gedung komersial, dan bahkan sistem tenaga listrik besar. Mereka merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara saat menghasilkan listrik (Aslam et al., 2022).

Penggunaan panel surya semakin populer karena teknologi ini menjadi lebih terjangkau dan efisien seiring berjalannya waktu. Banyak negara juga mendorong penggunaan energi matahari sebagai bagian dari strategi untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Marausna, 2021).

Penggunaan panel surya memiliki beragam manfaat, antara lain:

1. Energi Terbarukan: Panel surya menggunakan energi matahari yang merupakan sumber energi terbarukan dan tak terbatas. Hal ini membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin langka dan berkontribusi pada perlindungan lingkungan.

2. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca: Panel surya tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara saat menghasilkan listrik, sehingga membantu dalam mengurangi dampak perubahan iklim.
3. Penyediaan Energi Listrik yang Stabil: Panel surya menyediakan sumber energi yang dapat diandalkan dan stabil, terutama di daerah terpencil atau yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik tradisional.
4. Penghematan Biaya Listrik: Meskipun biaya awal untuk memasang panel surya mungkin tinggi, namun dalam jangka panjang, panel surya dapat membantu mengurangi tagihan listrik karena sumber energinya gratis.
5. Peningkatan Kemandirian Energi: Dengan menggunakan panel surya, individu, bisnis, dan komunitas dapat menjadi lebih mandiri secara energi dengan menghasilkan listrik sendiri dari sumber energi terbarukan.
6. Penciptaan Lapangan Kerja: Industri panel surya memberikan kontribusi pada penciptaan lapangan kerja di sektor energi terbarukan, termasuk desain, instalasi, perawatan, dan penelitian.
7. Peningkatan Nilai Properti: Rumah atau bangunan yang dilengkapi dengan sistem panel surya cenderung memiliki nilai properti yang lebih tinggi karena memiliki sumber energi yang ramah lingkungan dan mengurangi biaya listrik.
8. Pengurangan Beban Jaringan Listrik: Dengan menggunakan panel surya, beban pada jaringan listrik umum dapat dikurangi, mengurangi risiko pemadaman listrik dan meningkatkan keandalan sistem.
9. Fleksibilitas Pemasangan: Panel surya dapat dipasang di berbagai lokasi, baik di atap bangunan, lahan terbuka, atau struktur bawaan seperti tenda atau mobil.

Hal ini memberikan fleksibilitas dalam pemasangan dan memanfaatkan ruang yang tersedia.

10. Pembangunan Berkelanjutan: Penggunaan panel surya adalah langkah menuju pembangunan berkelanjutan yang mempertimbangkan kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka.

Berikut adalah salah satu bentuk fisik dari panel surya yakni disajikan pada Gambar 2.1:

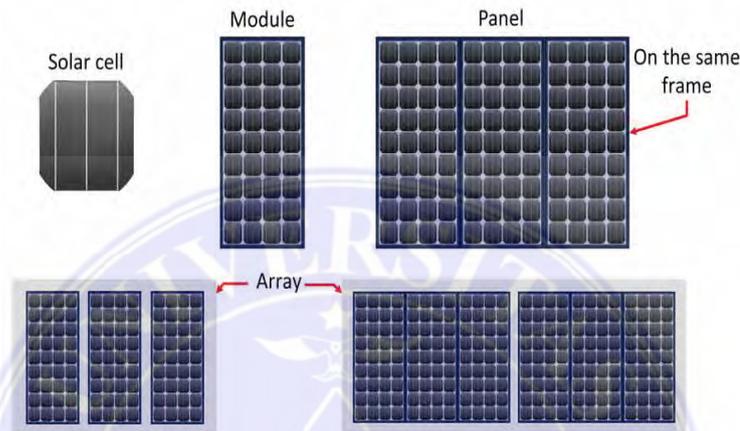


Gambar 2.1: Bentuk Fisik Panel Surya
(Sumber: <https://www.len.co.id/len-230p-polycrystalline/>)

2.2. Pola Rangkaian Instalasi Sel Surya

Modul surya, atau modul fotovoltaik, adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul ini tersusun dari beberapa panel surya. Kemudian, modul tersebut disusun dalam satu bingkai yang dilengkapi dengan laminasi atau lapisan pelindung. Istilah "array" mengacu pada susunan beberapa modul surya yang terpasang pada penyangga. Tujuan dari penyusunan PV modul secara seri terhadap sel surya adalah untuk meningkatkan

tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap sel, sementara arusnya dapat dirancang sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan selnya (Sepdian & Isnen, 2021). Berikut adalah gambar skema hubungan antara sel surya, modul, panel, dan array:



Gambar 2.2: Skema Hubungan Antara Solar Cell, Modul, Panel dan Array
(Sumber: <https://pasangpanelsurya.com/beda-sel-modul-panel-array-solar/>)

Apa perbedaan sel, modul, panel, dan array surya sebenarnya adalah Sel surya, modul surya, panel surya, dan array surya adalah istilah yang sering dipakai untuk mendeskripsikan sebuah benda kotak-kotak yang dipasang untuk menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Keempat istilah ini sangat sering sekali digunakan, sebenarnya tidak ada salahnya pakai keempat istilah tersebut karena memang dipakai untuk menyebut salah satu komponen PLTS.

1. Sel Surya

Sel surya adalah bahan semikonduktor yang bisa menerima dan menyerap paparan radiasi sinar matahari.

2. Modul Surya

Modul surya adalah suatu rangkaian arus listrik berisi sekumpulan sel surya

yang saling terhubung dan berfungsi mengubah cahaya menjadi listrik. Untuk melindungi dan menjaga keawetannya, modul surya dilapisi dengan bahan transparan dan bingkai aluminium. Modul surya inilah yang ada dipasaran dan mempunyai spesifikasi tentu yang dipertimbangkan dalam merancang sistem PLTS.

3. Panel Surya

Panel surya adalah rangkaian beberapa modul surya yang disusun dalam sebuah struktur kerangka, dalam gambar tersebut sebuah panel surya terdiri atas tiga modul surya dalam satu bingkai.

4. Array Surya

Array surya adalah kumpulan beberapa modul surya atau panel surya yang punya struktur terpisah tetapi terhubung dengan kabel dalam satu jaringan elektrik. Kalau dilihat pada Gambar 2.2. di atas, ada tiga modul surya yang terpisah (tidak dalam satu kerangka) namun terhubung dengan kabel.

Secara umum, ada dua pola rangkaian sistem dalam instalasi sel surya, yaitu sistem dengan rangkaian seri dan sistem dengan rangkaian paralel.

1. Rangkaian Seri Sel Surya:

Rangkaian seri sel surya adalah ketika sel surya utama dihubungkan secara berurutan, yakni dengan menghubungkan terminal positif (+) dari sel surya pertama dengan terminal negatif (-) dari sel surya kedua.

2. Rangkaian Paralel Sel Surya:

Rangkaian paralel sel surya adalah ketika sel surya dihubungkan secara parallel, yaitu dengan menghubungkan terminal positif dan negatif dari sel surya tersebut.

2.3. Karakteristik Sel Surya

Secara umum, ada tiga karakteristik utama dari sebuah sel surya:

1. Produksi Listrik:

Sel surya, yang merupakan komponen utama dalam sistem energi terbarukan, terbuat dari material semikonduktor, khususnya silikon. Material ini memiliki karakteristik unik, di mana ia berfungsi sebagai isolator pada suhu rendah dan beralih menjadi konduktor yang efisien saat terpapar energi dan panas dari sumber cahaya. Penting untuk dicatat bahwa luas permukaan semikonduktor tidak secara langsung menentukan jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya. Secara konsisten, sel surya dapat memproduksi tegangan mulai dari sekitar 0,5 volt hingga mencapai 600 milivolt (mV), dengan kapasitas arus maksimum sebesar 2 ampere (A).

Intensitas radiasi matahari yang optimal, yang digunakan sebagai standar dalam pengukuran kinerja sel surya, diukur pada tingkat 1000 watt per meter persegi (W/m^2) dan dikenal sebagai "1 Sun." Setiap panel surya memiliki kemampuan untuk menghasilkan arus listrik yang bervariasi, sekitar 30 miliampere per sentimeter persegi (mA/cm^2), yang dipengaruhi oleh kekuatan radiasi matahari yang diterimanya. Variasi ini menunjukkan betapa pentingnya kondisi lingkungan dan posisi geografis dalam memaksimalkan efisiensi konversi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik.

2. Temperatur:

Suhu adalah salah satu faktor krusial yang memengaruhi kinerja sel surya. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan efisiensi dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik.

Secara spesifik, ketika suhu sel surya meningkat, mobilitas pembawa muatan (elektron dan hole) di dalam material semikonduktor dapat terpengaruh, yang berujung pada berkurangnya jumlah energi yang dapat dikonversi dari radiasi matahari menjadi listrik.

Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian suhu menjadi aspek yang sangat penting dalam pengoperasian sistem fotovoltaik. Dengan menerapkan teknik pendinginan yang efektif dan menggunakan material yang dirancang khusus untuk mengurangi dampak suhu tinggi, kinerja sel surya dapat dioptimalkan. Implementasi strategi ini tidak hanya akan meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik, tetapi juga dapat memperpanjang umur dari perangkat tersebut. Kesadaran akan pengaruh suhu ini penting dalam perancangan dan instalasi sistem tenaga surya yang efisien dan berkelanjutan.

3. Intensitas Cahaya Matahari:

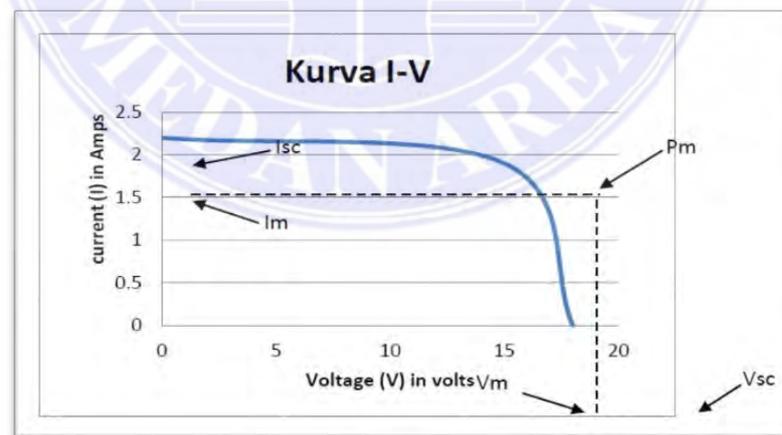
Intensitas radiasi matahari merupakan faktor signifikan yang memengaruhi performa sel surya. Kinerja sel surya sangat bergantung pada jumlah radiasi matahari yang diterimanya, yang secara langsung memengaruhi arus hubung singkat (short-circuit current, I_{sc}) dan tegangan open circuit (open-circuit voltage, V_{oc}). Ketika intensitas radiasi matahari mencapai titik puncak, arus hubung singkat (I_{sc}) akan mencapai nilai maksimalnya, karena lebih banyak foton yang dihasilkan dari radiasi tersebut dapat membangkitkan pasangan elektron-hole di dalam material semikonduktor, meningkatkan arus listrik.

Tegangan open circuit (V_{oc}), di sisi lain, meningkat secara logaritmik dengan peningkatan intensitas radiasi matahari. Hal ini terjadi karena V_{oc} bergantung pada perbedaan potensial di dalam sel surya yang ditingkatkan oleh jumlah

pembawa muatan yang lebih besar dihasilkan oleh radiasi yang lebih tinggi. Meskipun V_{oc} meningkat dengan intensitas cahaya, perubahan ini tidak linier, melainkan mengikuti pola logaritmik.

Dengan demikian, sel surya akan mencapai produksi energi listrik maksimal ketika intensitas radiasi matahari berada pada puncaknya, yang dikenal sebagai kondisi "1 Sun" (1000 W/m^2). Kondisi puncak ini memberikan kombinasi optimal antara arus dan tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya maksimum dari sel surya, namun, efisiensi keseluruhan juga akan dipengaruhi oleh faktor lain seperti suhu dan desain material semikonduktor. (Makkulau et al., 2020).

Berdasarkan karakteristik inilah yang memungkinkan sel surya untuk mengisi aki dan berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.



Gambar 2.3: Kurva arus dan tegangan
(Sumber: Wulandari, 2010)

Keterangan:

I_{sc} = Arus hubung singkat (short circuit)

V_{oc} = Tegangan open circuit (volt)

V_m = Tegangan maksimum (volt)

I_m = Arus maksimum (ampere)

P_m = Daya keluaran maksimum dari photovoltaic array (watt)

2.4. Jenis Sel Surya

Secara umum terdapat beberapa jenis sel surya yaitu sebagai berikut :

1. Monokristal Silikon (*Mono-crystalline*)

Monokristal silikon merupakan salah satu jenis sel surya dengan efisiensi tertinggi, yang bahan utamanya terdiri dari kristal silisium tunggal. Proses pembuatannya melibatkan penarikan batang silinder kristal tunggal dari lelehan silisium murni, menghasilkan struktur kristal yang seragam dan teratur. Struktur ini memungkinkan aliran elektron lebih mudah dan mengurangi hambatan internal, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi konversi energi.

Sel surya berbasis monokristal silikon dikenal memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, berkisar antara 16% hingga 25%, tergantung pada kualitas material dan teknologi manufaktur yang digunakan. Efisiensi ini menjadikan monokristal silikon sebagai pilihan yang sangat ideal untuk aplikasi di area dengan keterbatasan ruang, seperti di atap bangunan atau tempat dengan lahan terbatas. Dengan kemampuan menghasilkan lebih banyak listrik per satuan luas dibandingkan dengan jenis sel surya lainnya, jenis ini memungkinkan

penggunaan lahan yang lebih efisien.

Selain itu, sel surya monokristal juga memiliki umur operasional yang panjang dan kinerja yang lebih baik dalam kondisi pencahayaan rendah dibandingkan dengan jenis sel surya lain, seperti polikristal. Hal ini menjadikannya solusi yang unggul dalam berbagai situasi di mana efisiensi dan keterbatasan ruang menjadi pertimbangan utama. (Eka Pratama Pagan et al., 2018). Berikut adalah Gambar 2.4 yang menampilkan bentuk fisik dari sel surya jenis *mono-crystalline*:



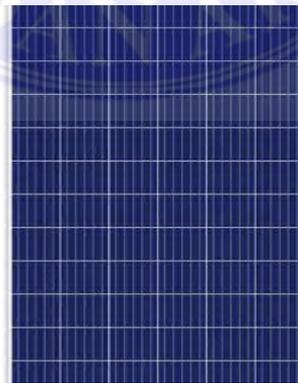
Gambar 2.4: Bentuk fisik panel surya jenis *mono-crystalline*
(Sumber: <https://www.royalpv.com/produk/panel-surya-120-wp-royalpv-monocrystalline/>)

b. Polikristal Silikon (*Poly-Crystalline*)

Polikristal silikon adalah salah satu jenis sel surya yang dibuat dari silisium dengan struktur kristal yang tidak seragam atau acak. Material ini terbentuk melalui proses pengecoran silisium cair yang kemudian dibiarkan mengeras, menciptakan pola kristal yang tampak seperti bunga es. Tidak seperti sel monokristal yang tersusun dari satu kristal tunggal, polikristal memiliki banyak butiran kristal yang saling berdampingan, yang menyebabkan sedikit lebih banyak hambatan internal bagi aliran elektron. Efisiensi konversi energi sel

surya polikristal berkisar antara 14% hingga 16%, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan sel surya monokristal. Meskipun efisiensinya lebih rendah, polikristal silikon memiliki keunggulan dalam hal biaya produksi yang lebih murah, karena proses pembuatannya lebih sederhana dan tidak memerlukan teknologi yang setinggi dalam pembuatan monokristal.

Selain itu, sel surya polikristal juga memiliki karakteristik yang cukup stabil dalam kondisi pencahayaan yang redup. Meskipun efisiensinya tidak sebaik monokristal, penurunan kinerja polikristal dalam kondisi pencahayaan yang kurang optimal tidak terlalu signifikan, menjadikannya pilihan yang baik untuk area dengan intensitas cahaya yang bervariasi. Keunggulan ini, ditambah dengan biaya yang lebih terjangkau, membuat sel surya polikristal sering digunakan dalam aplikasi skala besar, di mana efisiensi sedikit lebih rendah dapat diimbangi oleh ketersediaan ruang dan sumber daya yang lebih luas. (Eka Pratama Pagan et al., 2018). Berikut adalah Gambar 2.5 yang menampilkan bentuk fisik dari sel surya jenis *poly-crystalline*:



Gambar 2.5: Bentuk fisik panel surya jenis *poly-crystalline*
(Sumber: <https://jarwinn.com/products-category/jual-panel-surya-poly/>)

c. Amorphous Silikon (*Thin-Film*)

Amorphous silikon (a-Si) adalah jenis sel surya yang memiliki efisiensi konversi energi terendah di antara jenis-jenis sel surya lainnya, dengan rentang efisiensi sekitar 9% hingga 14%. Berbeda dengan sel monokristal dan polikristal, amorphous silikon tidak memiliki struktur kristal yang teratur. Material ini diproduksi melalui proses deposisi lapisan tipis silikon non-kristalin di atas permukaan substrat, seperti kaca atau plastik. Struktur amorf ini menyebabkan aliran elektron tidak seefisien sel yang berbasis kristal, yang menjelaskan tingkat efisiensinya yang lebih rendah. Salah satu keunggulan utama dari sel surya amorphous silikon adalah biaya produksinya yang relatif lebih murah, karena proses pembuatannya tidak memerlukan bahan baku dalam jumlah besar dan dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah. Oleh karena itu, jenis ini merupakan pilihan paling ekonomis di pasaran.

Penggunaan amorphous silikon sering kali terbatas pada aplikasi di perangkat elektronik kecil yang membutuhkan daya rendah, seperti kalkulator, jam tangan, dan perangkat portabel lainnya. Meskipun efisiensinya rendah, sel amorphous memiliki kemampuan untuk berfungsi dengan baik dalam kondisi pencahayaan rendah, termasuk cahaya dalam ruangan, sehingga cocok untuk alat-alat elektronik kecil yang sering digunakan di lingkungan dengan pencahayaan yang bervariasi.

Karena karakteristiknya yang fleksibel dan dapat diterapkan pada permukaan yang berbeda, sel amorphous silikon juga digunakan dalam beberapa aplikasi yang membutuhkan teknologi lapisan tipis, termasuk dalam integrasi pada jendela atau permukaan bangunan tertentu untuk menghasilkan energi

tambahan. (Eka Pratama Pagan et al., 2018). Berikut adalah Gambar 2.6 yang menampilkan bentuk fisik dari sel surya jenis amorphous silikon:



Gambar 2.6: Bentuk fisik panel surya jenis *Thin-Film*

(Sumber: <https://utomodeck.com/building-integrated-photovoltaics-kian-prospektif-pt-utomodeck-merambah-ke-bisnis-thin-film/>)

2.5. Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Untuk menghitung nilai efisiensi dari sebuah panel surya, terdapat beberapa parameter penting yang menjadi acuan. Masing-masing parameter tersebut berkontribusi pada bagaimana energi matahari yang diterima oleh panel dapat dikonversi menjadi energi listrik. Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan efisiensi panel surya:

1. Tegangan Keluaran Panel Surya (V): Ini adalah tegangan yang dihasilkan oleh panel surya ketika terpapar radiasi matahari dan biasanya diukur dalam volt (V). Tegangan ini mempengaruhi jumlah daya listrik yang dihasilkan.
2. Arus Keluaran Panel Surya (I): Arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya, diukur dalam ampere (A), yang mencerminkan laju aliran elektron akibat paparan radiasi matahari.

3. Intensitas Cahaya Matahari (G): Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel, diukur dalam watt per meter persegi (W/m²). Ini merupakan salah satu faktor utama yang menentukan output energi panel surya.
4. Luas Permukaan Panel Surya (Apv): Ukuran total permukaan panel yang menerima radiasi matahari, diukur dalam meter persegi (m²). Luasan ini menentukan seberapa banyak radiasi matahari yang dapat diserap panel.
5. Fill Factor (FF): Fill factor adalah parameter yang menggambarkan kualitas output dari sebuah panel surya, yang merepresentasikan seberapa dekat performa aktual panel mendekati performa ideal. Nilai fill factor berkisar antara 0,7 hingga 0,85, di mana semakin tinggi nilai fill factor, semakin baik kinerja panel surya. FF dihitung dengan membandingkan daya maksimum yang dapat dihasilkan dengan produk dari tegangan open circuit (Voc) dan arus short circuit (Isc).

Perhitungan nilai FF dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut:

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \dots\dots\dots(2.1)$$

6. Daya output panel surya (Pout)

Perhitungan daya output dapat dilihat pada persamaan 2.2 berikut :

$$P_{out} = V \times I \times FF \dots\dots\dots(2.2)$$

7. Daya input panel surya (Pin)

Daya input akibat iradiasi sumber cahaya dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut :

$$P_{in} = G \times A_{pv} \dots\dots\dots(2.3)$$

8. Efisiensi Panel Surya (η)

Perhitungan efisiensi panel surya dapat lihat pada persamaan 2.4 berikut:

$$\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

I_{mp} = Arus maksimum (Ampere)

V_{mp} = Tegangan maksimum (Volt)

I_{sc} = Arus rangkaian terbuka (Ampere)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (Volt), (Dahliya et al., 2021)

2.6. Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah perangkat elektronik yang memegang peran penting dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, dengan fungsi utamanya sebagai pengatur proses pengisian baterai, memastikan kapan baterai perlu diisi serta menjaga kualitas pengisian. Selain itu, alat ini juga berfungsi untuk mengatur arus listrik yang mengalir dari panel surya ke baterai, serta mengendalikan arus yang keluar ke beban.

Solar charge controller, yang sering disingkat SCC atau dikenal juga sebagai Battery Control Unit (BCU) atau Battery Control Regulator (BCR), merupakan komponen esensial dalam sistem panel surya. Peran SCC sangat penting karena berfungsi melindungi dan mengotomatiskan proses pengisian baterai, dengan tujuan mengoptimalkan kinerja panel surya dan baterai hingga menghasilkan keluaran beban yang maksimal. Selain itu, SCC juga membantu memperpanjang masa pakai baterai dengan menjaga agar pengisian dilakukan secara efisien dan tidak berlebihan. (Sianipar et al., 2023).

Solar Charge Controller (SCC) memiliki beberapa fungsi penting dalam sistem panel surya, yang bertujuan untuk menjaga efisiensi dan keamanan sistem, serta memperpanjang umur baterai dan komponen lainnya. Berikut adalah beberapa kondisi yang dapat diatur oleh SCC:

1. Pengendalian Tegangan Panel Surya

SCC berperan dalam mengontrol tegangan yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dialirkan ke baterai. Tanpa pengendalian ini, panel surya dapat mengisi baterai dengan tegangan yang melebihi kapasitas baterai, yang berpotensi merusak sel baterai. Kondisi overcharge (pengisian daya berlebihan) dapat menyebabkan baterai mengalami kerusakan serius, bahkan dalam beberapa kasus ekstrem, berpotensi menyebabkan ledakan. Oleh karena itu, SCC menjaga agar tegangan yang diterima baterai tetap berada dalam batas yang aman.

2. Pengawasan Tegangan Baterai

SCC juga memiliki kemampuan untuk memantau tegangan baterai. Saat tegangan baterai turun di bawah ambang batas yang telah ditetapkan, SCC akan secara otomatis memutuskan aliran listrik ke beban, mencegah baterai terkuras sepenuhnya. Pengosongan baterai hingga daya habis total dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai, dan dalam beberapa kasus, baterai tidak dapat digunakan kembali. Untuk mencegah hal ini, SCC bekerja sesuai dengan Depth of Discharge (DoD) baterai, yang merupakan persentase kapasitas baterai yang aman untuk digunakan sebelum pengisian ulang diperlukan.

3. Mencegah Arus Terbalik pada Malam Hari

Pada malam hari, ketika tidak ada sinar matahari yang dapat diserap oleh panel surya, panel tidak menghasilkan arus. Dalam kondisi ini, arus listrik yang tersimpan dalam baterai dapat mengalir balik ke panel surya. Arus balik ini dapat merusak komponen pada panel surya, sehingga SCC berfungsi untuk memutus aliran arus balik tersebut, menjaga keamanan sistem pada malam hari atau saat panel tidak aktif.

Dengan fungsi-fungsi ini, Solar Charge Controller berperan penting dalam menjaga kinerja optimal sistem tenaga surya, memastikan keamanan baterai dan panel surya, serta memperpanjang masa pakai komponen (Hasanah, 2021). Berikut adalah Gambar 2.7 yang menampilkan bentuk fisik dari *solar charge controller* yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 2.7: Bentuk fisik *solar charge controller*
(Sumber: <https://www.kelasteknisi.com/2023/11/solar-charge-controller.html>)

2.7. Baterai

Baterai merupakan perangkat elektrokimia yang berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Dalam konteks sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), baterai berperan sebagai komponen penyimpanan energi, di mana

arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari disimpan untuk digunakan pada malam hari, ketika panel surya tidak dapat menghasilkan listrik karena tidak ada radiasi matahari. Dengan demikian, baterai berfungsi sebagai cadangan energi (back up) yang memungkinkan sistem PLTS tetap beroperasi meskipun tidak ada sinar matahari.

Pada umumnya, sistem PLTS menggunakan baterai kering karena jenis baterai ini dikenal lebih andal dalam menjaga kualitas dan keawetan komponen sistem. Baterai kering cenderung memiliki perawatan yang lebih mudah, serta tahan lama, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem tenaga surya yang membutuhkan keandalan dan efisiensi tinggi untuk penyimpanan energi dalam jangka panjang. (Prasetyo et al., 2021). Berikut adalah Gambar 2.8 yang menampilkan bentuk fisik baterai yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 2.8: Bentuk fisik baterai

(Sumber: <https://www.sanspower.com/baterai-panel-surya-terbaik-untuk-anda-jangan-salah-pilih.html>)

2.8. MCB DC

MCB DC, atau Miniature Circuit Breaker Direct Current, adalah perangkat pemutus sirkuit yang dirancang khusus untuk melindungi sirkuit listrik berbasis arus searah (DC) dari kerusakan akibat kelebihan arus atau korsleting. Fungsi utamanya adalah untuk memutus aliran arus ketika terdeteksi adanya kondisi berbahaya, seperti arus berlebih atau hubung singkat, guna melindungi peralatan listrik dari kerusakan dan mencegah risiko kebakaran.

MCB DC banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang melibatkan arus searah, termasuk sistem tenaga surya, kendaraan listrik, serta instalasi kelistrikan di industri yang mengandalkan arus DC. Perangkat ini bekerja dengan sangat efisien dalam memutuskan sirkuit, sehingga memberikan perlindungan yang penting bagi berbagai komponen elektronik yang sensitif terhadap gangguan listrik, sekaligus menjaga keselamatan sistem secara keseluruhan. (Kusumo & Krisnandi, 2023)



Gambar 2.9: Bentuk fisik MCB DC

(Sumber: <https://indgosolar.com/wp-content/uploads/2023/09/DC-MCB-32A.jpg>)

2.9. Inverter

Inverter dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berperan penting dalam proses konversi energi. Inverter bertugas mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC), yang merupakan jenis arus yang umum digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga serta untuk disalurkan ke jaringan listrik umum. Karena sebagian besar peralatan listrik dan jaringan distribusi listrik beroperasi dengan arus AC, inverter menjadi komponen yang sangat penting dalam memastikan energi yang dihasilkan oleh sistem tenaga surya dapat dimanfaatkan secara efektif. Inverter juga dapat mengatur frekuensi dan tegangan keluaran agar sesuai dengan standar yang diperlukan oleh jaringan listrik atau perangkat yang terhubung. (Prayogo, 2019). Berikut adalah bentuk fisik sebuah inverter:



Gambar 2.10: Bentuk fisik inverter

(Sumber: https://suryapanelindonesia.com/imagesfile/power_inverter_2000w_6223.jpg)

Prinsip Kerja Inverter:

Berikut adalah penjelasan mengenai fungsi inverter dalam system Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang lebih mendalam:

1. **Konversi DC ke AC:** Inverter berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Proses ini dilakukan dengan menggunakan sakelar elektronik, seperti transistor atau MOSFET, yang beroperasi dengan cepat untuk membalikkan polaritas arus searah secara periodik. Hasil dari proses ini adalah gelombang persegi, yang meskipun tidak sempurna, dapat mendekati bentuk gelombang sinusoidal AC.
2. **Pengkondisian Sinyal:** Gelombang persegi yang dihasilkan oleh inverter perlu dihaluskan untuk menghilangkan ketidakteraturan dan menghasilkan gelombang sinusoidal yang lebih bersih dan stabil. Proses ini dilakukan menggunakan filter LC (induktor-kapasitor), yang mengurangi harmonisa dan noise, sehingga gelombang keluaran inverter menjadi lebih cocok untuk digunakan oleh peralatan listrik dan untuk disalurkan ke jaringan listrik umum.
3. **Pengaturan Tegangan dan Frekuensi:** Inverter dilengkapi dengan rangkaian kontrol canggih yang bertugas menjaga agar keluaran tegangan dan frekuensi tetap konstan. Rangkaian ini memastikan bahwa nilai-nilai tersebut sesuai dengan kebutuhan spesifik perangkat listrik atau standar jaringan listrik. Komponen yang terlibat dalam pengaturan ini termasuk modul pengatur tegangan, yang menyesuaikan level tegangan keluaran, dan pengatur frekuensi, yang memastikan bahwa frekuensi arus AC tetap stabil sesuai dengan standar (biasanya 50 Hz atau 60 Hz, tergantung pada wilayah).

Jenis-jenis Inverter pada PLTS:

1. **Inverter Stand-Alone:** Inverter jenis ini dirancang untuk digunakan dalam sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum (off-grid). Inverter stand-alone biasanya berfungsi bersama dengan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Ketika panel surya menghasilkan energi di siang hari, inverter ini mengonversi arus searah (DC) dari panel menjadi arus bolak-balik (AC) untuk digunakan oleh peralatan listrik. Pada malam hari atau saat cuaca mendung, energi yang tersimpan dalam baterai dapat digunakan, memastikan pasokan listrik yang terus menerus tanpa bergantung pada jaringan listrik eksternal.
2. **Inverter Grid-Tie:** Inverter ini dirancang untuk terhubung langsung ke jaringan listrik umum. Inverter grid-tie menyinkronkan keluaran AC dengan frekuensi dan tegangan jaringan, sehingga memungkinkan aliran listrik dari sistem PLTS ke jaringan listrik. Dengan menggunakan inverter jenis ini, pemilik sistem PLTS dapat menjual kelebihan energi yang dihasilkan kembali ke jaringan listrik, sehingga menghasilkan keuntungan finansial atau mengurangi biaya listrik. Inverter grid-tie tidak memerlukan penyimpanan energi dalam bentuk baterai, karena seluruh energi yang dihasilkan akan langsung disuplai ke jaringan.
3. **Inverter Hybrid:** Inverter hybrid menggabungkan fitur-fitur dari inverter stand-alone dan grid-tie, memberikan fleksibilitas lebih dalam pengelolaan energi. Inverter ini dapat beroperasi baik dalam mode terhubung dengan jaringan listrik maupun dalam mode off-grid. Ketika terhubung dengan jaringan, inverter hybrid dapat menyinkronkan keluaran dengan jaringan

dan juga mengalirkan energi ke jaringan. Sebaliknya, saat jaringan listrik tidak tersedia, inverter ini dapat beralih untuk menggunakan energi yang tersimpan dalam baterai. Inverter hybrid sering dilengkapi dengan sistem manajemen baterai yang canggih, sehingga memungkinkan pemilik sistem untuk mengoptimalkan penggunaan energi yang dihasilkan sesuai kebutuhan.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Charging Station* Pada Halte Bus UMA Berbasis Panel Surya Sistem *Off Grid*” direncanakan akan dilaksanakan di CV. AMT (Angkasa Mobie Tech). Lokasi penelitian terletak di Dusun II Sena, Kecamatan Batang Kuis, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan fasilitas yang mendukung serta infrastruktur yang sesuai untuk pengembangan stasiun pengisian daya berbasis panel surya dengan sistem *off grid*, yang akan diterapkan pada halte bus UMA sebagai bagian dari solusi energi terbarukan.

3.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan berlangsung selama kurang lebih tiga bulan. Untuk memberikan pemahaman yang lebih terperinci mengenai aktivitas-aktivitas yang akan dilakukan selama periode tersebut, Tabel 3.1 di bawah ini menyajikan jadwal kegiatan secara sistematis. Jadwal ini diharapkan dapat mempermudah dalam memahami alur dan tahapan dari setiap aktivitas yang dilaksanakan selama masa penelitian, mulai dari persiapan hingga penyusunan laporan akhir.

Tabel 3.1: Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Jenis Kegiatan	Bulan ke											
		1				2				3			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Persiapan	X											
2.	Survey Bahan dan Alat Penelitian		X										
3.	Rancang Bangun Alat Penelitian			X	X	X							
4.	Pengukuran Alat Uji dan Analisis						X	X	X				
5.	Penyusunan Laporan Skripsi									X	X	X	X

Keterangan:

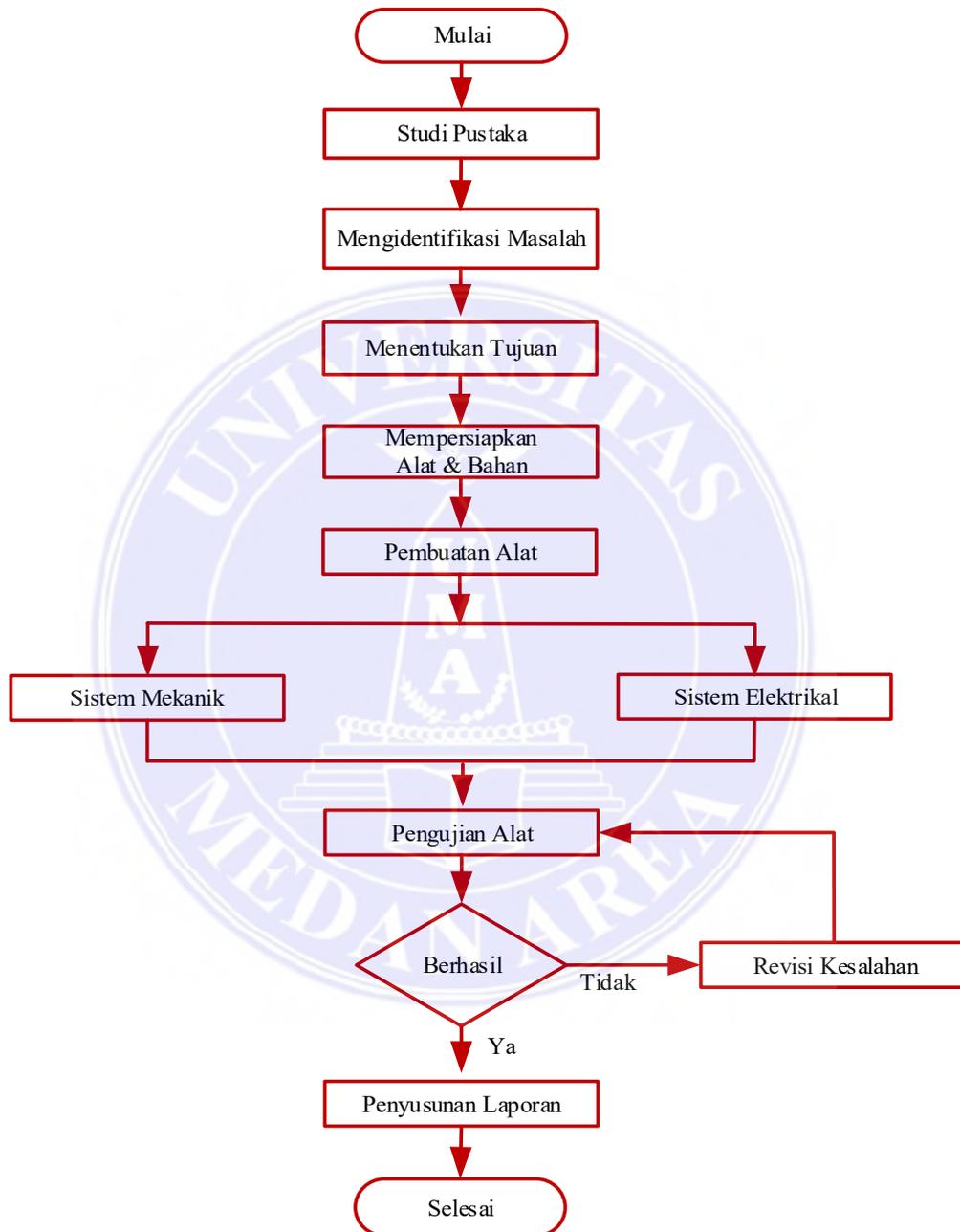
Setiap kegiatan dijadwalkan untuk dilaksanakan secara bertahap guna memastikan seluruh proses penelitian berjalan sesuai rencana dan menghasilkan data yang valid serta laporan akhir yang komprehensif.

3.2. Metoda Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rancang bangun alat serta pendekatan eksperimental. Proses ini mencakup pengujian dan pengukuran secara sistematis, di mana data yang diperoleh dari hasil pengujian dan pengukuran tersebut akan dianalisis secara mendalam. Hasil analisis akan disajikan dalam bentuk grafik untuk membantu dalam merumuskan kesimpulan yang tepat dan berdasarkan fakta.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dirancang untuk mempermudah serta memperjelas alur penelitian. Pada Gambar 3.1 di bawah ini, disajikan flowchart yang menggambarkan kerangka berpikir dalam penelitian dengan judul Rancang Bangun *Charging Station* Pada Halte Bus UMA Berbasis

Panel Surya Sistem *Off Grid*. *Flowchart* ini menjadi panduan tahapan-tahapan yang dilalui dalam menyelesaikan penelitian secara runtut, sehingga setiap langkah yang diambil dapat berjalan sesuai rencana dan mencapai hasil yang optimal.



Gambar 3.1: *Flowchart* kerangka berfikir penelitian

3.3. Alat dan Bahan

Untuk menyelesaikan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *Charging Station* pada Halte Bus UMA Berbasis Panel Surya Sistem *Off Grid*,” diperlukan sarana pendukung yang memadai, terutama berupa peralatan yang akan digunakan selama proses penelitian. Peralatan tersebut dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu peralatan mekanik dan peralatan pengujian elektrikal.

Peralatan mekanik yang digunakan meliputi satu set perkakas mekanik seperti *tools mechanic*, gerinda, bor listrik, solder listrik, mistar, dan alat tulis. Peralatan-peralatan ini berperan penting dalam tahapan perancangan, perakitan, dan instalasi komponen stasiun pengisian daya berbasis panel surya.

Untuk pengujian dan analisis elektrikal, alat-alat yang digunakan mencakup multimeter digital dan testpen. Multimeter digital akan digunakan untuk mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, dan resistansi, sementara testpen berfungsi untuk mendeteksi tegangan listrik secara cepat dan aman.

Selain peralatan, komponen listrik yang dibutuhkan dalam penelitian ini dirinci dalam Tabel 3.2 di bawah ini. Tabel ini memberikan daftar bahan dan komponen yang diperlukan untuk memastikan perancangan dan implementasi sistem *off grid* dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Tabel 3.2: Daftar Komponen /Bahan

No.	Komponen/Bahan
1	Panel Surya 100 WP
2	MCB
3	Solar Charge Controller
4	Inverter 500 W
5	Adaptor
6	Stop Kontak
7	Relay
8	Box Panel
9	Kabel Listrik
10	Baut dan Sekrup
11	DC Voltage Tester Volt Monitor Panel Meter
12	AC Voltage Tester Volt Monitor Panel Meter
13	Push Button On/Off

3.4. Model dan Tata Letak Alat

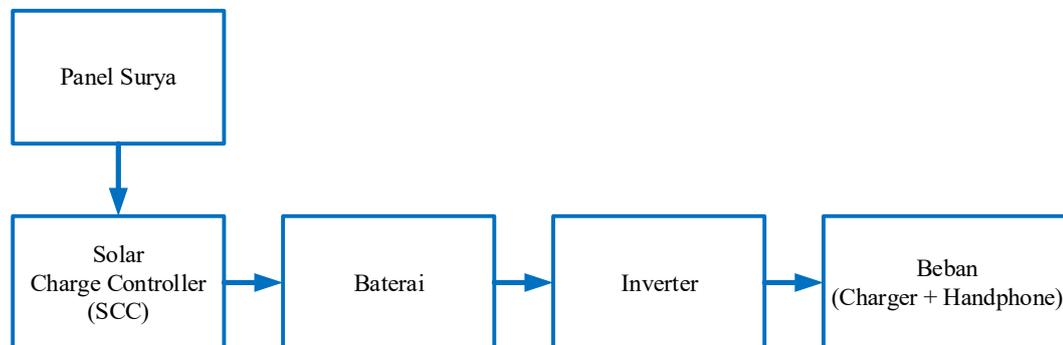
Berikut ini adalah Gambar 3.2 yaitu deskripsi model dan rencana tata letak alat yang akan dirancang dalam penelitian ini :



Gambar 3.2: Deskripsi Sistem Charging

3.5. Blok Diagram Alat

Untuk mempermudah dalam memahami bagaimana hubungan ataupun integrasi antara sistem yang akan dirancang maka berikut ini dijelaskan dalam bentuk blok diagram sebagai berikut :



Gambar 3.3: Blok Diagram Sistem Charging

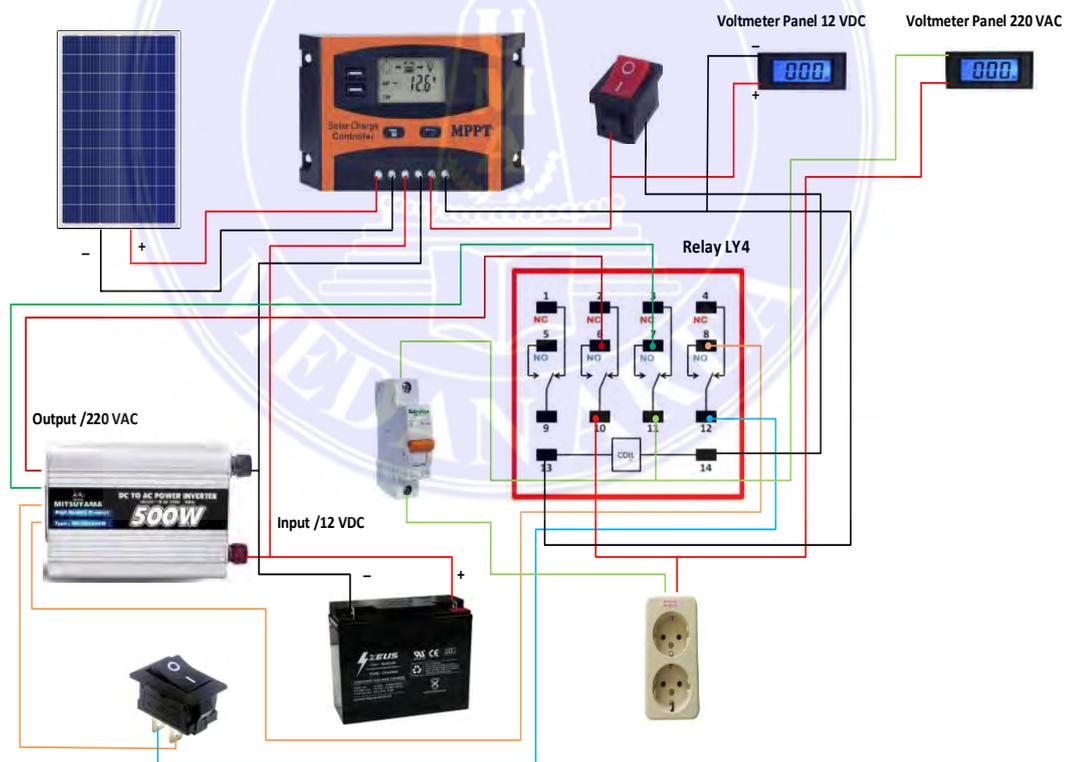
Dari Gambar 3.3 di atas dapat dijelaskan bagaimana koordinasi kerja masing-masing piranti terhadap sistem yang lain sehingga menjadi satu kesatuan yang saling terintegrasi menjadi sebuah Sistem *Charging Station* Berbasis Panel Surya dengan mode *Off Grid*. Adapun prinsip kerja dari masing-masing sistem pada blok diagram di atas adalah sebagai berikut :

1. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi listrik DC untuk pengisian baterai dan sebagai supply ke inverter jika baterai telah penuh. Adapun prinsip kerjanya adalah mengubah sinar matahari menjadi listrik menggunakan efek fotovoltaiik. Sel surya dalam panel menangkap foton dari sinar matahari dan menghasilkan arus listrik searah (DC).
2. *Solar Charge Controller* berfungsi mengatur dan mengendalikan aliran listrik dari panel surya ke baterai. Berikut beberapa fungsi spesifik dari *solar charge controller*:
 - a. Mengatur Pengisian Baterai: *Solar charge controller* memastikan bahwa baterai diisi dengan cara yang optimal. Ini mencegah baterai dari pengisian berlebihan (*overcharging*) yang bisa merusak baterai.
 - b. Mencegah Pengosongan Baterai Berlebih: *Solar charge controller* mencegah baterai dari pengosongan berlebih (*over-discharging*) dengan memutus aliran listrik ke beban saat voltase baterai turun di bawah batas aman.
 - c. Mengatur Arus dan Tegangan: *Solar charge controller* menstabilkan arus dan tegangan yang masuk ke baterai agar sesuai dengan kebutuhan pengisian baterai, memastikan pengisian yang efisien dan aman.

- d. Proteksi Terhadap Arus Balik: Pada malam hari atau saat panel surya tidak menghasilkan listrik, *solar charge controller* mencegah arus balik dari baterai ke panel surya, yang dapat menyebabkan kehilangan energi.
 - e. Monitoring dan Pemantauan Sistem: Beberapa *solar charge controller* dilengkapi dengan fitur monitoring yang memungkinkan pengguna untuk memantau kinerja sistem, termasuk status pengisian baterai, output panel surya, dan konsumsi daya.
 - f. Mengoptimalkan Kinerja Sistem: Dengan fitur-fitur seperti *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* atau *Pulse Width Modulation (PWM)*, *solar charge controller* dapat mengoptimalkan kinerja sistem tenaga surya, meningkatkan efisiensi dan output energi.
3. Baterai berfungsi sebagai Penyimpanan Energi: Fungsi utama baterai adalah menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari untuk digunakan pada saat malam hari atau saat cuaca mendung ketika produksi listrik dari panel surya berkurang atau berhenti.
 4. Inverter berfungsi sebagai pranti yang akan mengonversi arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus listrik bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh beban yaitu *charger handphone*.
 5. *Charger* berfungsi sebagai perangkat yang mengisi ulang daya baterai *handphone* atau berbagai jenis peralatan elektronik.
 6. *Handphone* berfungsi sebagai beban listrik bagi alat *charger* karena baterai *handphone* inilah yang merupakan piranti yang akan di-charging oleh sistem PLTS berbasis *Off Grid* ini.

3.6. Rangkaian Instalasi Seluruh Sistem

Berikut ini adalah Gambar 3.4 yang menampilkan bentuk instalasi lengkap seluruh sistem Charging Station Berbasis Panel Surya dengan menggunakan Sistem Off Grid. Instalasi ini terdiri dari beberapa komponen utama, seperti panel surya, inverter, baterai penyimpanan energi, dan stasiun pengisian daya yang dirancang untuk bekerja secara independen tanpa terhubung dengan jaringan listrik konvensional. Pada gambar tersebut, terlihat jelas bagaimana setiap komponen saling terhubung dan berfungsi untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya utama dalam pengoperasian stasiun pengisian energi *hand phone* setiap pengguna yang ada.



Gambar 3.4: Bentuk Instalasi Seluruh Sistem

BABV

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. **Kecepatan pengisian stabil** pada fase awal hingga 90% kapasitas, tetapi melambat secara signifikan saat mendekati penuh (100%).
2. **Pengisian penuh membutuhkan waktu 3 jam**, dengan laju yang paling efisien terjadi dalam 2,5 jam pertama (90%).
3. **Sistem perlambatan** pada pengisian akhir menunjukkan manajemen daya yang efisien, untuk menghindari overheating atau kerusakan pada baterai.

5.2. Saran

Berdasarkan analisis dan kesimpulan dari data pengisian baterai di atas, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Mengisi baterai hingga 100% setiap kali dapat mempercepat degradasi kapasitas baterai dalam jangka panjang.
2. Untuk penggunaan sehari-hari, mengisi hingga sekitar **80-90%** bisa menjadi solusi yang lebih baik untuk memperpanjang umur baterai.
3. Sebaiknya mulai pengisian baterai sebelum kapasitasnya turun hingga 0%. Misalnya, mengisi baterai saat kapasitas mencapai **20-30%** dapat membantu menjaga umur baterai, karena baterai lithium-ion cenderung bekerja lebih baik dalam rentang pengisian 20-80%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aslam, A., Ahmed, N., Qureshi, S. A., Assadi, M., & Ahmed, N. (2022). Advances in Solar PV Systems; A Comprehensive Review of PV Performance, Influencing Factors, and Mitigation Techniques. In *Energies* (Vol. 15, Issue 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en15207595>
- Baharudin Yusuf, M., Ahmad Baihaqi, M., Kurnia Yulyawan, E., & Abdillah, H. (2023). Energi Terbarukan Optimal: Sistem Hibrid Solar Panel dengan Picohidro Kincir Vertikal sebagai Solusi Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan. *Jurnal INTRO*, 2(1), 1–5. <https://ejournal.upm.ac.id/index.php/intro>
- Dahliya, D., Samsurizal, S., & Pasra, N. (2021). Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin. *SUTET*, 11(2), 71–80. <https://doi.org/10.33322/sutet.v11i2.1551>
- Doemaar, T. A., Rumlatur, S., & Alimuddin. (2022). PERANCANGAN DAN PEMBUATAN CHARGE PHONE MENGGUNAKAN SOLAR CELL UNTUK DIGUNAKAN PADA FASILITAS UMUM OUTDOOR DESAIN AND MANUFACTURE OF CHARGE PHONE USING SOLAR CELL FOR USE IN OUTDOOR PUBLIC FACILITIES. *Jurnal JELC*, 8(1).
- Eka Pratama Pagan, S., Devi Sara, I., & Hasan, H. (2018). Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal dan Polykristal Studi Kasus Cuaca Banda Aceh. *Jurnal KITEKTRO*, 3(4), 19–23.
- Firananta, Y., & Atmono, S. (2021). Desain Halte Bis Surabaya Dengan Tema Ikonik. *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri Dan Arsitektur*, 9(2), 97–108.
- Haryadi, S., Rusydi Furqon Syahrillah, G., Kalimantan MAB Jl Adhyaksa No, I., & Banjarmasin, K. (2017). RANCANG BANGUN PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI CHARGER HANDPHONE DI TEMPAT UMUM. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 02. <https://szshuori.en.alibaba.com>
- Hasanah, A. W. (2021). Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid 6,4 KWp Untuk 1 Unit Rumah Tinggal. *ENERGI & KELISTRIKAN*, 13(1), 20–25. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.965>
- Irsan Pasaribu, F., & Reza, M. (2021). Rancang Bangun Charging Station Berbasis Arduino Menggunakan Solar Cell 50 WP. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 46–55. <https://doi.org/10.30596/rele.v3i2.6477>
- Jaya, G. N. P. (2022). Analisis Fungsi Halte Dalam Sistem Transportasi Perkotaan Kota Bogor (Gde Ngurah Purnama Jaya) ANALISIS FUNGSI HALTE DALAM SISTEM TRANSPORTASI PERKOTAAN KOTA BOGOR. *Jurnal Teknik*, 23(1), 1–12.

- Kusumo, B., & Krisnandi, D. (2023). Analisa Kebocoran Arus Pada Distribusi Listrik Dengan Simulasi Penerapan RCBO Schneider 1 Phasa 6 Amper Pada Rumah Hunian. *Jurnal Elektro*, 11(1), 81–95.
- Makkulau, A., Samsurizal, S., & Kevin, S. (2020). Karakteristik Temperatur Pada Permukaan Sel Surya Polycrystalline Terhadap Efektifitas Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *SUTET*, 10(2), 69–78. <https://doi.org/10.33322/sutet.v10i2.1291>
- Marausna, G. (2021). PENGUJIAN SISTEM PENDINGIN PANEL SURYA BERBENTUK TUBULAR COOLER DENGAN SOLAR SIMULATOR UNTUK MENGUJI DAYA KELUARAN PANEL SURYA. *Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(1), 2622–3244.
- Prasetyo, Y., Tiyono, B., Jasa Kusumo H, R., & Pradana P, A. (2021). OTOMATISASI SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA SISTEM TENAGA SURYA. *Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin*, 04(03), 153–159. <http://www.journal.geutheeinstitute.com>.
- Prayogo, S. (2019). Pengembangan Sistem Manajemen Baterai Pada PLTS Menggunakan On-Off Grid Tie Inverter. *Teknik Energi*, 9(1), 58–63.
- Sepdian, & Isnen, M. (2021). Analisis Implementasi Panel Surya pada Pelanggan Listrik 900W. *Jurnal CYCLOTRON*, 4(2), 8–12.
- Sianipar, R., Puriza, Y., & Sunanda, W. (2023). Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop untuk Perumahan di Pulau Bangka. *CIRCUIT : Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 7(1), 38–45. <https://doi.org/10.22373/crc.v7i1.14538>

