

**ANALISIS KINERJA HARIAN SEL SURYA
MONOKRISTALIN DI SISTEM TEGANGAN DC UNTUK
SISTEM *OFF-GRID***

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Strata Satu (S1) Pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara

Oleh :

Herlan Syah

4103 7002 21 1001



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM NUSANTARA

202

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA HARIAN SEL SURYA MONOKRISTALIN DI SISTEM TEGANGAN DC UNTUK SISTEM *OFF-GRID*

HERLAN SYAH

4103 700 221 1001

Disetujui dan disahkan pada Sidang Skripsi

pada tanggal:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.

Dr. Iksal Rachman, M.T.

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Prodi Teknik Elektro

Dr. Ricky Yosepytry, M.M.Pd.

Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN

REVISI SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA HARIAN SEL SURYA MONOKRISTALIN DI SISTEM
TEGANGAN DC UNTUK SISTEM *OFF-GRID***

Telah Direvisi

Oleh

HERLAN SYAH

4103 7002 21 1001

Bandung, _____ 2025

Mengesahkan,

Penguji I

Penguji II

Ir. Joko Haryatno, M.T.

Dr. Tedjo Darmanto, M.T.

Ketua Sidang:

Dr. Ricky Yoseptry, M.M.Pd.

LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Herlan Syah

NIM : 41037002211001

Program Studi: Teknik Elektro

Menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul:

ANALISIS KINERJA HARIAN SEL SURYA MONOKRISTALIN DI SISTEM TEGANGAN DC UNTUK SISTEM *OFF-GRID* dibuat dengan sebenar-benarnya dari penelitian, pemikiran dan pemaparan hasil saya sendiri, untuk melengkapi sebagai pernyataan menjadi Sarjana (S1) pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara Bandung, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari buku Skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan jenjang Sarjana (S1) di lingkungan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara Bandung maupun perguruan-perguruan tinggi atau instansi manapun kecuali bagian yang sumber informasi dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bandung, 28 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,

HERLAN SYAH

NIM. 41037002211001

BIODATA PENULIS



Nama : Herlan Syah

Tempat, Tanggal Lahir : Bandung, 20 Mei 2002

Telepon : +6281224339626

Email : herlansyahtn@gmail.com

Riwayat Pendidikan : SD NEGERI CIMAUNG 1

SMPN 1 CIMAUNG

SMK NEGERI 1 SOREANG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa, atas limpahan rahmat, kasih sayang, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*ANALISIS KINERJA HARIAN SEL SURYA MONOKRISTALIN DI SISTEM TEGANGAN DC UNTUK SISTEM OFF-GRID*". Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) di Universitas Islam Nusantara, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro.

Dalam perjalanan panjang penyusunan skripsi ini, penulis tidak akan sampai pada titik ini tanpa dukungan, doa, dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan hati yang penuh rasa syukur dan hormat, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Allah Subhanahu wa ta'ala Atas kasih sayang-Nya yang tak terhingga, yang selalu menjadi penuntun dan penguat di setiap langkah. Yang selalu kebersamai penulis dalam segala kondisi, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini atas kehendak-Nya. Penulis berharap karya ini dapat bermanfaat bagi pembaca.
2. Endang Rukman, Sang Ayah yang senantiasa menerangi jalan hidup penulis dengan kasih sayang dan pengorbanan yang tulus, bak mentari. Heni Kusraeni, Sang Ibu yang senantiasa menyinari di kala kegelapan datang, layaknya sinar rembulan. Juga Firman Syah, Sang Kakak yang senantiasa memberikan dukungan moral, motivasi, serta bantuan yang begitu berarti. Peran yang selalu menjadi payung di kala hujan deras mengguyur dan menjadi pelindung di tengah ombak kehidupan yang menerjang. Untuk keluarga tersayang yang Allah titipkan kepada penulis, tiada kata yang dapat sepenuhnya mewakili rasa syukur ini, namun dengan segenap hati penulis sampaikan, Terima kasih untuk segalanya.
3. Julian, Sergie Lazuardhi, Farhan Abizar, Indra Putra Fajriansyah, Rizqi Adriansyah, Vito Dwi Nur Hidayat, Anisa Febrianti, Decky Putra Kurnia, dan Hidayat sebagai sahabat dan saudara bagi penulis. Terima kasih karena telah kebersamai dikala susah, senang, bahagia maupun saat penulis dalam keadaan patah. Yang senantiasa menjadi pendengar setia dan berbagi cerita hingga saat ini, serta yang selalu hadir menawarkan uluran tangan tanpa menunggu diminta.

Penulis berharap, nama-nama yang telah tercantum ini dapat terus saling kebersamai dimasa mendatang sembari meraih kehidupan yang lebih baik.

4. Bapak Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc., dan Dr. Iksal Rachman selaku dosen pembimbing penulis, terima kasih atas bimbingan, arahan, dan kesabaran yang telah diberikan. Ketersediaan dan perhatian Bapak dalam setiap proses ini menjadi cahaya yang memandu penulis melewati berbagai tantangan, baik dalam perkuliahan, pendidikan, maupun persiapan menuju dunia karier.
5. Dr. Ricky Yoseptry, S.T., M.M.Pd., Dekan Fakultas Teknik, terima kasih atas dukungan dan motivasi yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh dosen dan staf Tata Usaha Fakultas Teknik, terima kasih atas ilmu, pengalaman, dan bantuan administrasi yang telah diberikan dengan tulus dan penuh kesabaran.
7. Prof. Dr. Endang Komara, M.Si., Rektor Universitas Islam Nusantara, terima kasih atas kesempatan yang diberikan untuk menimba ilmu di universitas ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Elektro angkatan 2021 juga semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala pengalaman, pembelajaran, dukungan dan doa yang telah diberikan.

Akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Bandung, 27 Desember 2024

Herlan Syah

NIM. 41037002211001

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi terbarukan terus meningkat seiring dengan kesadaran global terhadap pentingnya pengurangan emisi karbon dan dampak lingkungan. Sel surya monokristalin menjadi salah satu solusi utama karena efisiensinya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC di kota Bandung, dengan mempertimbangkan pengaruh variabel lingkungan seperti intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kondisi cuaca setempat. Penelitian ini juga bertujuan untuk merancang sistem off-grid berbasis panel surya yang optimal untuk kebutuhan rumah tangga di daerah pedesaan.

Data penelitian diperoleh melalui pengukuran yang dilakukan secara konsisten setiap jam, mulai pukul 07.00 hingga 14.00 WIB, dengan parameter utama meliputi tegangan dan arus keluaran pada sistem tegangan DC, serta suhu lingkungan. Pengamatan difokuskan pada waktu dan kondisi yang bervariasi untuk mendapatkan gambaran yang akurat terkait kinerja sel surya dalam berbagai intensitas cahaya dan suhu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi sistem tegangan DC. Tegangan maksimum sebesar 18,9 V terjadi pada pukul 12.00 WIB dengan suhu lingkungan 34°C. Arus maksimum yang tercatat adalah 5,6 A, sementara daya keluaran maksimum mencapai 106,2 W pada waktu yang sama. Intensitas cahaya matahari maksimum tercatat pada pukul 12.00 WIB, menunjukkan hubungan langsung dengan performa optimal panel surya.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan instalasi sel surya yang lebih efisien, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri.

Kata Kunci : Energi terbarukan, Sel Surya Monokristalin, Sistem Tegangan DC, Sistem Off-Grid, Bandung.

ABSTRACT

The demand for renewable energy continues to increase in line with global awareness of the importance of reducing carbon emissions and environmental impacts. Monocrystalline solar cells have become one of the primary solutions due to their efficiency in converting solar energy into electrical energy. This study aims to analyze the performance of monocrystalline solar cells in DC voltage systems in Bandung, considering the influence of environmental variables such as solar light intensity, air temperature, and local weather conditions. This study also aims to design an off-grid system based on solar panels that is optimized for household needs in rural areas.

The research data was obtained through consistent hourly measurements from 07:00 to 14:00 WIB, focusing on key parameters including output voltage and current in DC systems, as well as ambient temperature. Observations were focused on varied times and conditions to achieve an accurate depiction of solar cell performance under different light intensity and temperature scenarios.

The study results indicate that solar light intensity and ambient temperature significantly influence the efficiency of the DC voltage system. The maximum voltage of 18.9 V occurred at 12:00 WIB with an ambient temperature of 34°C. The recorded maximum current was 5.6 A, while the maximum power output reached 106.2 W at the same time. The maximum solar light intensity was recorded at 12:00 WIB, demonstrating a direct relationship with the optimal performance of the solar panel.

This research is expected to serve as a reference for the planning of more efficient solar cell installations for both household and industrial needs.

Keywords : Renewable energy, Monocrystalline Solar Cells, DC Voltage System, Off-Grid System, Bandung.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN REVISI SKRIPSI	ii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	iii
BIODATA PENULIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Dasar Teori Energi Surya	10
2.3 Solar Panel (Panel Surya)	12
2.4 Jenis-jenis Panel Surya	14
2.5 Solar Cell Monocrystalline	19
2.6 Konsep Daya	22
2.7 Baterai Aki dalam Sistem Energi Surya	26
2.8 Konsep Sistem Tegangan DC	28
BAB III PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI SISTEM	33
3.1 Kerangka Berpikir	33
3.2 Metode Penelitian	34
3.3 Perencanaan Blok Diagram	43

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS	44
4.1 Pengolahan Data Hasil Pengukuran	44
4.2 Analisis Hubungan Variabel.....	49
4.3 Performa Sistem Tegangan DC.....	52
4.4 Faktor Lingkungan yang Memengaruhi Kinerja	55
4.5 Kendala dan Permasalahan Teknis.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tabel Jadwal Penelitian	6
Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu	8
Tabel 2.2 Perbandingan jenis-jenis solar cell.....	19
Tabel 2.2 Perbandingan Tegangan DC dan AC	30
Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data Sel Surya Monokristalin Tanggal 12 November 2024 Sampai 14 November 2024.....	44
Tabel 4.2 Suhu Lingkungan Harian	45
Tabel 4.3 Tegangan Keluaran Panel Surya	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Polycrystalline dan Monocrystalline.....	16
Gambar 2.2 Panel Thin Film.....	17
Gambar 2.3 Panel Bifacial	17
Gambar 2.4 Panel Berbasis Perovskit	18
Gambar 3.1 Solar Panel Monocrystalline	35
Gambar 3.2 Flowchart Penelitian	43
Gambar 4.1 Grafik Suhu Lingkungan	46
Gambar 4.2 Tegangan Keluaran Panel Surya.....	48
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Bertahap.....	50
Gambar 4.4 Efisiensi Tertinggi pada Saat Pengambilan Data.....	53
Gambar 4.6 Pengukuran Suhu pada Panel Monokristalin	56
Gambar L.1 Gambar Surat Keputusan Tugas Akhir.....	65
Gambar L.2 Gambar Surat Permohonan Penelitian Tugas Akhir	66
Gambar L.3 Gambar Surat Bimbingan	67
Gambar L.4 Gambar Dokumentasi Alat dan Instrumen Penelitian	68
Gambar L.5 Gambar Baterai Aki GS ASTRA NS70.....	69
Gambar L.6 Gambar Proses Pengambilan Data.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan telah menjadi salah satu fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Krisis energi yang meluas, ditambah dengan dampak perubahan iklim, mendorong banyak negara, termasuk Indonesia, untuk mengeksplorasi dan mengembangkan solusi energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Energi surya, yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber utama, merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling potensial dan layak untuk dikembangkan.

Indonesia, sebagai negara tropis yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki intensitas cahaya matahari yang melimpah sepanjang tahun. Hal ini menjadikannya salah satu lokasi terbaik untuk penerapan teknologi energi surya. Dengan rata-rata durasi penyinaran matahari selama 4-6 jam per hari di sebagian besar wilayahnya, potensi energi surya di Indonesia sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai solusi energi yang berkelanjutan. Selain itu, energi surya juga memberikan keunggulan dalam hal keberlanjutan dan fleksibilitas, terutama untuk mendukung kebutuhan energi di wilayah-wilayah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional.

Namun, penerapan energi surya di Indonesia masih menghadapi tantangan, terutama di daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Dalam konteks ini, sistem off-grid berbasis panel surya menjadi solusi yang sangat relevan. Sistem off-grid memungkinkan penyediaan listrik secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan utama, menjadikannya alternatif yang ideal untuk wilayah pedesaan dan kepulauan.

Dalam teknologi panel surya, sel surya monokristalin merupakan salah satu jenis sel surya yang paling banyak digunakan. Sel surya ini terbuat dari silikon murni dengan struktur kristal tunggal yang memungkinkan aliran elektron lebih lancar, sehingga

memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis lain seperti polikristalin atau thin film. Efisiensi konversi energi sel surya monokristalin berkisar antara 15-25%, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan performa tinggi.

Namun, salah satu tantangan utama dalam pengoperasian sel surya monokristalin adalah pengaruh suhu lingkungan yang tinggi. Studi menunjukkan bahwa kenaikan suhu di atas 25°C dapat menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi hingga 0,5% per derajat. Dalam konteks wilayah tropis seperti Indonesia, di mana suhu harian seringkali mencapai 30°C atau lebih, penurunan efisiensi ini menjadi faktor kritis yang perlu diperhatikan. Selain itu, intensitas cahaya yang fluktuatif sepanjang hari, terutama pada pagi dan sore hari, juga memengaruhi output daya yang dihasilkan oleh panel surya.

Sistem tegangan DC (Direct Current) merupakan salah satu sistem yang paling umum digunakan dalam aplikasi energi surya. Sistem ini dikenal karena kesederhanaannya, di mana arus listrik mengalir dalam satu arah. Sistem tegangan DC memiliki keunggulan dalam efisiensi energi, terutama untuk aplikasi jarak pendek yang tidak memerlukan konversi tambahan. Dalam konteks pengoperasian sel surya, analisis kinerja harian sangat penting untuk memahami bagaimana faktor lingkungan seperti suhu, intensitas cahaya, dan kelembapan memengaruhi efisiensi sistem secara keseluruhan.

Penelitian yang dilakukan di Bandung, sebuah kota besar dengan iklim tropis basah, memberikan wawasan unik mengenai performa sel surya monokristalin dalam kondisi lingkungan yang dinamis. Bandung memiliki variasi suhu harian yang signifikan, dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi pada siang hari tetapi cenderung menurun pada pagi dan sore hari. Kondisi ini memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap kinerja sistem tegangan DC dalam berbagai parameter lingkungan.

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah akumulasi debu dan kotoran pada permukaan panel surya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa debu dapat mengurangi efisiensi penyerapan sinar matahari hingga 10%, terutama jika tidak

dilakukan perawatan rutin. Selain itu, sudut kemiringan panel surya juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi. Di wilayah tropis, penyesuaian sudut kemiringan berdasarkan posisi matahari dapat meningkatkan daya yang dihasilkan hingga 15% .

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja harian sel surya monokristalin dalam sistem tegangan DC untuk sistem off-grid. Dengan menggunakan data pengukuran di Bandung, penelitian ini tidak hanya akan mengevaluasi performa sel surya tetapi juga memberikan panduan praktis untuk mengembangkan sistem energi surya mandiri yang optimal untuk kebutuhan rumah tangga di daerah pedesaan.

Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kendala teknis yang muncul selama pengoperasian sistem tegangan DC. Salah satu kendala utama adalah fluktuasi tegangan yang disebabkan oleh perubahan intensitas cahaya, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada perangkat yang terhubung dengan panel surya. Selain itu, integrasi sistem penyimpanan energi seperti baterai dapat menjadi solusi untuk menyeimbangkan fluktuasi daya yang terjadi sepanjang hari, terutama selama intensitas cahaya rendah.

Analisis kinerja harian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC untuk sistem off-grid tidak hanya memberikan wawasan teknis tetapi juga menjadi dasar untuk meningkatkan keandalan sistem energi surya. Di wilayah perkotaan seperti Bandung, aplikasi teknologi ini memiliki potensi besar untuk mendukung kebutuhan energi bersih, baik untuk rumah tangga maupun industri. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam transisi menuju penggunaan energi terbarukan secara lebih luas di Indonesia.

Dengan potensi energi surya yang melimpah dan tantangan yang ada, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja harian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC di Bandung. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis untuk meningkatkan efisiensi energi surya di wilayah tropis, sekaligus mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana analisis kinerja harian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC untuk sistem off-grid?
2. Faktor-faktor apa saja yang memengaruhi efisiensi kinerja sel surya monokristalin dalam kondisi lingkungan tertentu untuk sistem off-grid?
3. Bagaimana variasi parameter seperti intensitas cahaya, suhu, dan daya memengaruhi output daya sel surya monokristalin pada sistem off-grid?
4. Apa saja kendala teknis yang dihadapi dalam pengoperasian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC dalam sistem off-grid dan bagaimana solusinya?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kinerja harian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC untuk aplikasi sistem off-grid.
2. Mengidentifikasi dan mengkaji faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi efisiensi kinerja sel surya monokristalin dalam sistem off-grid.
3. Mengevaluasi pengaruh variasi parameter seperti intensitas cahaya, suhu, dan daya terhadap output daya sel surya monokristalin dalam sistem off-grid.
4. Mengidentifikasi kendala teknis yang muncul dalam pengoperasian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC untuk sistem off-grid serta menawarkan solusi untuk mengatasinya.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

1. Menambah literatur dan referensi akademik terkait analisis kinerja harian sel surya monokristalin untuk aplikasi off-grid.
2. Memberikan kontribusi teoritis dalam memahami pengaruh faktor lingkungan terhadap sistem tegangan DC pada sistem off-grid.
3. Mendukung pengembangan teori terkait efisiensi panel surya di wilayah tropis.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Memberikan panduan teknis untuk merancang sistem off-grid berbasis panel surya yang optimal untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga di daerah pedesaan.
2. Menyediakan data empiris tentang efisiensi panel surya monokristalin untuk mendukung desain sistem energi mandiri.
3. Mendukung penggunaan teknologi penyimpanan energi seperti baterai dalam sistem off-grid untuk meningkatkan stabilitas daya.

1.4.3 Manfaat Sosial

1. Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan, terutama di wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik.
2. Memberikan solusi energi bersih yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, khususnya di daerah terpencil.
3. Mendukung pembangunan berkelanjutan melalui implementasi sistem energi surya yang andal dan efisien.

BAB III PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Bab ini membahas tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, yang mencakup kerangka berfikir, metode penelitian, prosedur penelitian, perencanaan eksperimen, perencanaan blok diagram hingga rancangan sistem yang akan dikembangkan.

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Bab ini akan menjelaskan hasil dari penelitian yang telah dilakukan meliputi hasil analisis sampai pada hasil ujicoba sistem yang telah dibangun.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab terakhir dari laporan penelitian yang akan menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran hal-hal yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut atau yang belum dikerjakan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Teknologi/Metode Yang Digunakan	Kesimpulan
1	Analisis Pengaruh Suhu Terhadap Daya Output pada Panel Surya	Partaonan Harahap et al. (2022)	<ul style="list-style-type: none">- Panel surya monokristalin dan polikristalin- Penggunaan air pendingin- Pengukuran arus, tegangan, dan daya pada berbagai suhu	Penggunaan air pendingin meningkatkan efisiensi panel surya. Panel monokristalin dengan pendingin air pada suhu 26°C menghasilkan daya 31,772 W pada pukul 12.00 WIB.
2	Analisa Kinerja PLTS Off-Grid yang Dirangkai Secara Seri dan Paralel	Muhammad Iqbal (2021)	<ul style="list-style-type: none">- Panel surya monokristalin- Sistem PLTS off-grid- Pengukuran arus, tegangan, daya, suhu, dan radiasi matahari setiap 30 menit dari	Penyinaran selama 8 jam dengan pengukuran setiap 30 menit menunjukkan bahwa

			pukul 08.00-16.00 WIB	efisiensi panel surya dipengaruhi oleh variasi suhu dan radiasi matahari.
3	Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS Off Grid 1000 Watt di Desa Mahalona Kecamatan Towuti	Muhammad Naim (2020)	<ul style="list-style-type: none"> - Panel surya monokristalin - Sistem PLTS off-grid 1000 Watt - Analisis kebutuhan komponen seperti photovoltaic, solar charge controller, baterai, dan inverter 	<p>Rancangan PLTS off-grid 1000 Watt menggunakan 4 panel surya monokristalin 260 Wp, solar charge controller MPPT, baterai deep cycle 48 VDC, dan inverter bidirectional. Sistem ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan kelistrikan di Desa Mahalona.</p>

2.2 Dasar Teori Energi Surya

Energi surya adalah energi yang berasal dari radiasi sinar matahari dan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, panas, atau bentuk energi lainnya. Sebagai salah satu sumber energi terbarukan, energi surya menawarkan potensi yang sangat besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan dampak buruknya terhadap lingkungan. Prinsip kerja energi surya melibatkan konversi radiasi matahari menjadi energi melalui efek fotovoltaik atau sistem termal matahari. Teknologi energi surya umumnya menggunakan panel surya sebagai perangkat utama dalam menangkap dan mengonversi energi.

Energi surya memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya salah satu solusi utama dalam transisi energi global:

1. **Ketersediaan Melimpah:** Matahari sebagai sumber energi memiliki potensi radiasi yang tak terbatas selama siklus alami tetap berjalan.
2. **Ramah Lingkungan:** Tidak menghasilkan emisi karbon selama proses konversi, sehingga dapat membantu mitigasi perubahan iklim.
3. **Terbarukan:** Energi surya tidak akan habis dan dapat terus diperbarui selama matahari bersinar.
4. **Fleksibilitas:** Dapat diaplikasikan pada skala kecil (rumah tangga) hingga skala besar (industri atau pembangkit listrik).

Selain itu, energi surya juga menjadi salah satu solusi terbaik untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Aplikasi teknologi ini di Indonesia, terutama pada daerah pedesaan dan kepulauan, sangat bermanfaat untuk mendukung elektrifikasi nasional. Dengan dukungan teknologi yang terus berkembang, efisiensi panel surya meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir, menjadikannya pilihan yang layak secara ekonomi.

a. Efek Fotovoltaik

Efek fotovoltaik merupakan fenomena dasar yang memungkinkan konversi energi surya menjadi listrik. Ketika foton dari sinar matahari menyentuh permukaan material

semikonduktor, seperti silikon, elektron di dalam material akan terstimulasi dan bergerak, menciptakan aliran listrik. Proses ini terjadi di dalam sel surya, yang merupakan komponen utama dari panel surya.

Prinsip kerja efek fotovoltaiik:

1. Foton dari radiasi matahari mengenai permukaan sel surya.
2. Energi foton diserap oleh elektron dalam material semikonduktor, menyebabkan elektron terlepas dari atomnya.
3. Pergerakan elektron menciptakan arus listrik yang kemudian dikumpulkan oleh elektroda di dalam sel surya.

b. Teknologi Energi Surya di Indonesia

Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi surya, terutama karena letaknya di garis khatulistiwa yang mendapatkan radiasi matahari sepanjang tahun. Rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia adalah 4,8 kWh/m²/hari, yang cukup untuk mendukung berbagai aplikasi teknologi energi surya.

Berbagai proyek energi surya telah dilaksanakan di Indonesia, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah terpencil dan program PLTS Atap untuk rumah tangga. Keberhasilan proyek-proyek ini menunjukkan bahwa energi surya dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan elektrifikasi di daerah-daerah dengan akses listrik terbatas.

c. Keuntungan Lingkungan dan Ekonomi

Pemanfaatan energi surya tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga keuntungan ekonomi, seperti:

1. Mengurangi Emisi Karbon: Energi surya tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, yang membuatnya ideal untuk mendukung target emisi karbon rendah.
2. Efisiensi Biaya Jangka Panjang: Setelah instalasi awal, biaya operasi dan pemeliharaan sistem energi surya relatif rendah.
3. Diversifikasi Sumber Energi: Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang harganya cenderung fluktuatif.

d. Tantangan dalam Pemanfaatan Energi Surya

Meskipun memiliki banyak keunggulan, terdapat beberapa tantangan dalam pengembangan energi surya di Indonesia, seperti:

1. Biaya Investasi Awal: Instalasi panel surya memerlukan investasi awal yang cukup tinggi.
2. Variabilitas Cuaca: Performa sistem energi surya dapat menurun pada hari berawan atau hujan.
3. Kurangnya Infrastruktur Pendukung: Di beberapa daerah, masih terdapat keterbatasan dalam hal infrastruktur yang mendukung teknologi energi surya.

Dengan mengatasi tantangan ini melalui inovasi teknologi dan dukungan kebijakan, energi surya dapat memberikan kontribusi yang lebih besar dalam memenuhi kebutuhan energi nasional.

2.3 Solar Panel (Panel Surya)

Panel surya adalah perangkat yang dirancang untuk menangkap energi matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Teknologi ini memanfaatkan sel fotovoltaik sebagai komponen utama untuk melakukan konversi tersebut. Sel fotovoltaik bekerja berdasarkan prinsip efek fotovoltaik, di mana cahaya matahari yang mengenai permukaan sel surya memicu pergerakan elektron di dalam material semikonduktor, sehingga menghasilkan arus listrik

a. Komponen Utama Panel Surya

1. Sel Fotovoltaik: Sel ini adalah inti dari panel surya, terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Sel fotovoltaik bertugas mengubah cahaya matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Material semikonduktor yang digunakan memiliki karakteristik tertentu yang memungkinkannya menangkap foton dan memicu aliran elektron dengan efisiensi tinggi.
2. Kerangka Panel: Berfungsi sebagai pelindung dan penopang struktur panel agar tahan terhadap angin, hujan, dan cuaca ekstrem lainnya. Kerangka biasanya terbuat dari aluminium atau bahan lain yang ringan tetapi kuat.

3. **Konektor Listrik:** Memungkinkan transfer energi listrik yang dihasilkan ke sistem penyimpanan atau distribusi. Konektor ini dirancang untuk mengurangi kehilangan daya selama proses transmisi.
4. **Lapisan Pelindung:** Melindungi sel surya dari debu, air, dan kerusakan mekanis. Lapisan ini biasanya menggunakan kaca tempered yang tahan terhadap benturan dan perubahan suhu.

b. Fungsi Panel Surya

Panel surya memiliki berbagai fungsi, di antaranya:

1. **Kebutuhan Rumah Tangga:** Panel surya digunakan untuk menghasilkan listrik untuk penerangan, pengisian daya perangkat elektronik, dan pemanas air.
2. **Aplikasi Industri:** Digunakan untuk mendukung operasi mesin-mesin tertentu yang membutuhkan energi listrik terus-menerus, seperti mesin pendingin dan pompa air.
3. **Sistem Khusus:** Panel surya dapat diaplikasikan pada teknologi luar angkasa, kendaraan listrik, dan PLTS terapung.
4. **Sumber Energi Cadangan:** Digunakan sebagai sumber daya listrik cadangan di daerah-daerah terpencil atau selama kondisi darurat.

c. Keunggulan Panel Surya

1. **Sumber Energi Bersih:** Panel surya tidak menghasilkan emisi karbon, sehingga ramah lingkungan dan berkontribusi terhadap pengurangan dampak perubahan iklim.
2. **Perawatan yang Minimal:** Dengan desain yang tahan lama, panel surya hanya memerlukan pembersihan rutin untuk menjaga efisiensi.
3. **Fleksibilitas Aplikasi:** Panel surya dapat dipasang pada berbagai lokasi, termasuk atap bangunan, lahan kosong, dan permukaan air.
4. **Hemat Biaya Jangka Panjang:** Setelah investasi awal, biaya operasionalnya rendah karena tidak membutuhkan bahan bakar tambahan.

d. Tantangan Penggunaan Panel Surya

1. **Akumulasi Debu dan Kotoran:** Debu pada permukaan panel dapat mengurangi efisiensi hingga 10%, sehingga diperlukan pembersihan rutin.

2. Efek Suhu: Peningkatan suhu dapat menurunkan efisiensi konversi hingga 0,5% per derajat Celsius di atas 25°C.
3. Variabilitas Cuaca: Panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari, sehingga kinerjanya dapat menurun pada hari berawan atau hujan.
4. Biaya Awal yang Tinggi: Instalasi panel surya memerlukan investasi awal yang cukup besar, meskipun biaya operasionalnya rendah.
5. Keterbatasan Penyimpanan Energi: Dibutuhkan sistem penyimpanan yang efisien seperti baterai untuk menyimpan energi selama malam hari atau saat cuaca buruk.

e. Inovasi dan Perkembangan Panel Surya

Perkembangan teknologi terus mendorong efisiensi dan aplikasi panel surya:

1. Panel Surya Berbasis Perovskit: Material perovskit memberikan potensi efisiensi tinggi dengan biaya produksi yang lebih rendah.
2. Teknologi Tandem: Menggabungkan dua jenis sel fotovoltaik untuk menangkap spektrum cahaya yang lebih luas, meningkatkan efisiensi.
3. Panel Surya Fleksibel: Memungkinkan pemasangan pada permukaan yang tidak rata, seperti kendaraan atau kain.

Dengan semua keunggulan dan tantangan yang ada, panel surya tetap menjadi salah satu solusi utama untuk memenuhi kebutuhan energi bersih dan berkelanjutan di masa depan.

2.4 Jenis-jenis Panel Surya

Panel surya tersedia dalam berbagai jenis dengan karakteristik yang berbeda, yang memungkinkan penggunaannya untuk berbagai aplikasi. Berikut adalah jenis-jenis panel surya utama yang banyak digunakan:

2.4.1 Panel Monokristalin

Panel monokristalin terbuat dari silikon murni dengan struktur kristal tunggal. Panel ini dikenal sebagai jenis yang paling efisien dibandingkan dengan jenis lainnya, dengan efisiensi konversi energi berkisar antara 15-25%. Struktur kristal tunggal

memungkinkan pergerakan elektron yang lebih efisien, sehingga menghasilkan daya yang lebih tinggi pada kondisi pencahayaan yang sama.

Keunggulan Panel Monokristalin:

1. Efisiensi tinggi, cocok untuk area dengan ruang terbatas.
2. Performa yang stabil dalam kondisi intensitas cahaya rendah.
3. Tahan lama dan memiliki umur pakai hingga 25-30 tahun.

Kekurangan Panel Monokristalin:

1. Biaya produksi lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya.
2. Produksi memerlukan silikon berkualitas tinggi, yang meningkatkan biaya bahan baku.

2.4.2 Panel Polikristalin

Panel polikristalin terbuat dari potongan-potongan silikon yang dilebur menjadi satu. Panel ini lebih ekonomis dibandingkan dengan panel monokristalin, meskipun memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah, yaitu sekitar 13-16%. Warna biru khas dari panel ini disebabkan oleh cara kristal silikon memantulkan cahaya.

Keunggulan Panel Polikristalin:

1. Biaya lebih rendah dibandingkan dengan monokristalin.
2. Proses produksinya lebih sederhana.
3. Cocok untuk proyek skala besar dengan anggaran terbatas.

Kekurangan Panel Polikristalin:

1. Efisiensi lebih rendah dibandingkan monokristalin, terutama pada intensitas cahaya rendah.
2. Membutuhkan area instalasi yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang sama.



Gambar 2.1 Panel Polycrystalline dan Monocrystalline

2.4.3 Panel Thin Film

Panel thin film dibuat dengan melapisi material fotovoltaik tipis seperti CdTe (cadmium telluride) atau a-Si (amorphous silicon) pada substrat kaca, plastik, atau logam. Panel ini lebih ringan dan fleksibel dibandingkan dengan jenis monokristalin atau polikristalin, sehingga cocok untuk aplikasi tertentu.

Keunggulan Panel Thin Film:

1. Fleksibilitas tinggi, memungkinkan pemasangan pada permukaan yang tidak rata.
2. Biaya produksi lebih rendah dibandingkan jenis lainnya.
3. Performa yang lebih baik pada kondisi cahaya rendah atau temperatur tinggi.

Kekurangan Panel Thin Film:

1. Efisiensi lebih rendah (10-12%) dibandingkan dengan panel monokristalin atau polikristalin.
2. Umur pakai lebih pendek.



Gambar 2.2 Panel Thin Film

2.4.4 Panel Bifacial

Panel bifacial dapat menangkap cahaya dari kedua sisi panel, meningkatkan total energi yang dihasilkan. Panel ini biasanya digunakan di area dengan permukaan reflektif, seperti pasir, salju, atau permukaan terang lainnya.

Keunggulan Panel Bifacial:

1. Meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan cahaya pantulan.
2. Cocok untuk aplikasi di area terbuka dengan intensitas cahaya yang tinggi.

Kekurangan Panel Bifacial:

1. Biaya instalasi lebih tinggi karena memerlukan desain khusus untuk mendukung pengambilan cahaya dari kedua sisi.



Gambar 2.3 Panel Bifacial

2.4.5 Panel Surya Berbasis Perovskit

Perovskit adalah material baru yang menunjukkan potensi efisiensi tinggi dengan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan silikon. Panel berbasis perovskit saat ini masih dalam tahap penelitian dan pengembangan, tetapi telah menunjukkan hasil yang menjanjikan.

Keunggulan Panel Berbasis Perovskit:

1. Efisiensi tinggi dengan biaya rendah.
2. Proses produksi lebih ramah lingkungan.
3. Dapat digunakan sebagai lapisan tambahan pada panel silikon (teknologi tandem).

Kekurangan Panel Berbasis Perovskit:

1. Stabilitas jangka panjang masih menjadi tantangan.
2. Belum tersedia secara luas untuk aplikasi komersial.



Gambar 2.4 Panel Berbasis Perovskit

Perbandingan Jenis Solar Cell					
Jenis Panel	Efisiensi	Biaya Produksi	Umur Pakai	Keunggulan Utama	Kekurangan Utama
Monokristalin	15-25%	Tinggi	25-30 tahun	Efisiensi tinggi	Biaya tinggi
Polikristalin	13-16%	Menengah	20-25 tahun	Ekonomis	Membutuhkan area lebih luas
Thin Film	10-12%	Rendah	10-15 tahun	Fleksibel	Efisiensi rendah
Bifacial	18-25%	Tinggi	25-30 tahun	Menangkap cahaya dua sisi	Instalasi lebih mahal
Perovskit	>25%	Rendah	-	Potensi efisiensi tinggi	Stabilitas belum optimal

Tabel 2.2 Perbandingan jenis-jenis solar cell

Jenis-jenis panel surya ini memungkinkan pengguna untuk memilih teknologi yang paling sesuai dengan kebutuhan dan kondisi spesifik aplikasi mereka. Dengan perkembangan teknologi yang terus berlanjut, diharapkan efisiensi dan ketersediaan panel surya akan semakin meningkat, mendukung transisi global menuju energi bersih.

2.5 Solar Cell Monocrystalline

Solar cell monocrystalline merupakan jenis sel surya yang terbuat dari silikon murni dengan struktur kristal tunggal. Struktur ini memungkinkan elektron bergerak lebih efisien, sehingga menjadikan solar cell monocrystalline sebagai salah satu teknologi panel surya dengan efisiensi tertinggi dibandingkan jenis lainnya. Efisiensi konversi energi panel monokristalin berkisar antara 15-25%, tergantung pada kualitas material dan desain teknologinya.

a. Karakteristik Solar Cell Monocrystalline

1. Efisiensi Tinggi: Solar cell monocrystalline memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan jenis polikristalin dan thin film. Hal ini

menjadikannya pilihan utama untuk aplikasi di area yang terbatas tetapi membutuhkan daya besar.

2. Tahan Lama: Solar cell ini dirancang untuk memiliki umur pakai hingga 25-30 tahun, dengan penurunan performa yang sangat minimal setiap tahunnya (biasanya kurang dari 0,5% per tahun).
3. Estetika: Panel ini biasanya memiliki warna hitam seragam yang dihasilkan oleh struktur kristal tunggalnya, memberikan tampilan yang lebih elegan dibandingkan jenis lain.

b. Keunggulan Solar Cell Monocrystalline

1. Performa Stabil dalam Intensitas Cahaya Rendah, solar cell monocrystalline tetap dapat menghasilkan daya yang cukup bahkan pada kondisi intensitas cahaya rendah, seperti saat mendung atau pagi/sore hari.
2. Berdasarkan hasil pengambilan data, panel surya monokristalin menunjukkan peningkatan output daya seiring dengan meningkatnya suhu, selama intensitas cahaya matahari tetap tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa panel ini tetap mampu bekerja secara optimal di lingkungan dengan suhu tinggi.
3. Kompatibilitas Sistem, solar cell ini dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam berbagai sistem tegangan DC atau AC dengan bantuan inverter dan regulator tegangan yang sesuai.

c. Kekurangan Solar Cell Monocrystalline

1. Biaya Produksi Tinggi: Pembuatan kristal silikon tunggal memerlukan proses yang rumit dan mahal, yang berkontribusi pada tingginya harga solar cell monocrystalline di pasaran.
2. Material yang Rentan Limbah: Proses produksi menghasilkan banyak limbah silikon, meskipun teknologi terbaru telah mencoba mengurangi dampak ini.
3. Meskipun panel surya monokristalin memiliki efisiensi tinggi, output daya dapat mengalami fluktuasi akibat perubahan cuaca yang mendadak, seperti kondisi cerah yang tiba-tiba menjadi mendung. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel.

d. Spesifikasi Solar Cell Monocrystalline pada Model ASL-M100m

Penelitian ini menggunakan modul monokristalin dengan model ASL-M100m, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Peak Power (P_{max}): 100Wp.
- Open Circuit Voltage (V_{oc}): 22.3V.
- Short Circuit Current (I_{sc}): 6.00A.
- Voltage at Maximum Power (V_{mp}): 18.0V.
- Current at Maximum Power (I_{mp}): 5.6A.
- Maximum System Voltage: 1000V.

e. Aplikasi Solar Cell Monocrystalline

1. Rumah Tangga: Digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga, seperti penerangan, pengisian daya perangkat elektronik, dan pemanas air.
2. Sektor Industri: Mendukung kebutuhan daya dalam proses produksi, seperti operasional mesin atau perangkat pendingin.
3. Infrastruktur Publik: Banyak digunakan dalam lampu jalan bertenaga surya dan sistem PLTS di daerah terpencil.
4. Teknologi Spesifik: Solar cell monocrystalline sering menjadi pilihan dalam aplikasi luar angkasa karena efisiensinya yang tinggi dan daya tahannya di lingkungan ekstrem.

f. Performa dalam Kondisi Lingkungan Tropis

Kondisi tropis seperti di Indonesia memberikan tantangan khusus bagi pengoperasian panel surya, terutama terkait fluktuasi intensitas cahaya akibat perubahan cuaca yang cepat. Solar cell monocrystalline memiliki beberapa keunggulan di lingkungan ini:

- Berdasarkan hasil pengambilan data, panel surya monokristalin tetap mampu meningkatkan output daya seiring dengan kenaikan suhu, selama intensitas cahaya matahari tetap tinggi.

- Adaptasi pada Intensitas Cahaya yang Beragam: Efisiensi tinggi pada kondisi pencahayaan yang bervariasi membantu memaksimalkan daya output sepanjang hari.

Solar cell monocrystalline merupakan solusi ideal untuk memenuhi kebutuhan energi terbarukan di wilayah tropis, dengan kombinasi efisiensi tinggi, daya tahan, dan fleksibilitas aplikasi. Teknologi ini terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksinya, sehingga semakin terjangkau untuk berbagai lapisan masyarakat.

2.6 Konsep Daya

Konsep daya adalah konsep fundamental yang mencakup kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja atau menghasilkan energi dalam satuan waktu tertentu. Pemahaman yang mendalam tentang daya sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi dan performa sistem kelistrikan, termasuk sistem energi surya. Konsep daya ini tidak hanya relevan untuk aplikasi rumah tangga tetapi juga dalam skala industri dan pembangkit listrik tenaga surya.

a. Definisi Daya

Secara sederhana, daya listrik didefinisikan sebagai hasil kali antara tegangan (V) dan arus listrik (I). Hubungan ini dinyatakan dalam rumus matematis:

$$P = V \times I$$

- P: Daya (watt, W)
- V: Tegangan (volt, V)
- I: Arus listrik (ampere, A)

Selain itu, dalam sistem arus bolak-balik (AC), daya dapat dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Hubungan ketiga jenis daya ini dapat direpresentasikan dalam diagram segitiga daya.

b. Jenis-jenis Daya dalam Sistem Listrik

1. Daya Aktif (P):

- Daya aktif adalah daya sebenarnya yang dikonsumsi oleh perangkat untuk melakukan kerja nyata, seperti menyalakan lampu atau memutar motor.
- Satuan daya aktif adalah watt (W).
- Contoh: Sebuah lampu pijar 60W menggunakan daya aktif sebesar 60 watt untuk menghasilkan cahaya.

2. Daya Reaktif (Q):

- Daya reaktif adalah daya yang diserap dan dilepaskan oleh elemen induktif (seperti motor) atau kapasitif (seperti kapasitor) dalam sistem listrik.
- Satuan daya reaktif adalah volt-ampere reaktif (VAR).
- Meskipun tidak menghasilkan kerja nyata, daya reaktif memengaruhi efisiensi sistem listrik secara keseluruhan.

3. Daya Semu (S):

- Daya semu adalah kombinasi dari daya aktif dan daya reaktif, yang dihitung dengan rumus: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
- Satuan daya semu adalah volt-ampere (VA).
- Daya semu merepresentasikan total kapasitas sistem listrik.

c. Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya (PF) adalah rasio antara daya aktif dengan daya semu. Faktor ini mencerminkan efisiensi sistem listrik dalam menggunakan energi. Nilai faktor daya berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai yang mendekati 1 menunjukkan efisiensi yang tinggi.

Rumus Faktor Daya:

$$PF = P / S$$

Sistem dengan faktor daya rendah cenderung memiliki kerugian energi yang lebih besar dan dapat menyebabkan peningkatan biaya operasional.

d. Efisiensi dalam Konversi Daya

Efisiensi adalah ukuran seberapa efektif suatu sistem mengonversi energi input menjadi output yang berguna. Dalam panel surya, efisiensi diukur sebagai rasio daya output yang dihasilkan terhadap daya radiasi matahari yang diterima:

$$\text{Efisiensi (\%)} = (P_{\text{output}} / P_{\text{input}}) \times 100$$

Panel surya dengan efisiensi tinggi dapat menghasilkan lebih banyak daya dari jumlah radiasi yang sama, yang membuatnya lebih ekonomis dan efektif.

e. Penerapan Daya pada Sistem Energi Surya

Dalam sistem energi surya, konsep daya diterapkan untuk mengevaluasi performa berbagai komponen, seperti panel surya, baterai, dan inverter. Berikut adalah penerapannya:

1. Daya Maksimum Panel Surya (Pmax):
 - Spesifikasi daya maksimum menunjukkan daya tertinggi yang dapat dihasilkan panel surya dalam kondisi ideal (radiasi matahari 1000 W/m², suhu 25°C).
 - Contoh: Model ASL-M100m memiliki Pmax sebesar 100 Wp.
2. Daya Output Baterai:
 - Baterai menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Kapasitas daya baterai dinyatakan dalam watt-jam (Wh) atau ampere-jam (Ah).
 - Misalnya, baterai dengan kapasitas 100 Ah dan tegangan 12V memiliki daya total: Daya (Wh) = 100 Ah × 12 V = 1200 Wh.
3. Pengoperasian Beban Listrik:
 - Perhitungan daya penting untuk memastikan sistem dapat mendukung beban listrik tertentu, seperti lampu, kipas angin, atau peralatan rumah tangga lainnya.

f. Contoh Studi Kasus Penggunaan Daya

Misalkan sistem energi surya memiliki 6 baterai, masing-masing dengan tegangan 12V dan kapasitas 100Ah. Baterai ini dihubungkan secara seri-paralel untuk menghasilkan tegangan total 24V. Sistem digunakan untuk mengoperasikan 3 lampu proyek masing-masing 50W selama 48 jam.

1. Total Kapasitas Daya Baterai:
 - Setiap dua baterai dihubungkan seri untuk membentuk grup dengan tegangan 24V. Tiga grup dihubungkan paralel.
 - Total kapasitas daya: $\text{Daya Total} = 3 \text{ grup} \times (24\text{V} \times 100\text{Ah}) = 7200 \text{ Wh}$.
2. Daya yang Dibutuhkan Beban:
 - Total daya yang dibutuhkan oleh 3 lampu selama 48 jam: $\text{Daya Beban} = 3 \text{ lampu} \times 50\text{W} \times 48 \text{ jam} = 7200 \text{ Wh}$.
3. Hasil:
 - Dengan asumsi efisiensi sistem 90%, kapasitas efektif baterai adalah: $\text{Kapasitas Efektif} = 7200 \text{ Wh} \times 0.9 = 6480 \text{ Wh}$.
 - Sistem dapat mendukung operasi lampu proyek selama hampir 48 jam tanpa kehabisan daya.

g. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Daya dalam Sistem Surya

1. Intensitas Radiasi Matahari: Semakin tinggi intensitas radiasi, semakin besar daya yang dihasilkan panel surya.
2. Kondisi Cuaca: Kondisi Cuaca merupakan faktor yang paling penting dalam keberlangsungan kinerja panel surya.
3. Sudut Kemiringan Panel: Penyesuaian sudut panel meningkatkan penyerapan radiasi matahari.
4. Kondisi Permukaan Panel: Akumulasi debu atau kotoran dapat mengurangi efisiensi sistem.
5. Efisiensi Penyimpanan Energi: Daya hilang selama proses pengisian dan pelepasan energi di baterai.

2.7 Baterai Aki dalam Sistem Energi Surya

Baterai aki adalah perangkat penyimpanan energi yang memanfaatkan reaksi kimia untuk menghasilkan listrik. Dalam sistem energi surya, baterai aki berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga energi tersebut dapat digunakan kapan saja, bahkan saat malam hari atau dalam kondisi cuaca mendung.

a. Definisi dan Prinsip Kerja Baterai Aki

Baterai aki, yang juga dikenal sebagai baterai asam timbal, bekerja berdasarkan reaksi elektrokimia antara elektroda timbal (Pb), timbal dioksida (PbO₂), dan elektrolit berupa larutan asam sulfat (H₂SO₄). Proses pengisian dan pelepasan energi listrik melibatkan reaksi kimia berikut:

1. Pengisian (Charging):
 - Ion hidrogen (H⁺) dalam elektrolit bereaksi dengan timbal dioksida (PbO₂) di anoda untuk membentuk air (H₂O).
 - Ion sulfat (SO₄²⁻) bergabung dengan timbal (Pb) di katoda untuk membentuk timbal sulfat (PbSO₄).
2. Pelepasan (Discharging):
 - Reaksi kimia berbalik, menghasilkan aliran elektron yang menghasilkan arus listrik.

b. Spesifikasi dan Kapasitas Baterai Aki dalam Penelitian Ini

Dalam penelitian ini, digunakan enam buah baterai aki dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk: GS ASTRA
- Tipe: NS70
- Tegangan (Voltage): 12V
- Kapasitas (Ampere-hour): 65 Ah
- Konfigurasi: Dua baterai dihubungkan seri untuk membentuk satu grup dengan tegangan total 24V. Tiga grup ini kemudian dihubungkan secara paralel.
- Total Kapasitas: Daya Total = 3 grup × (24V × 65Ah) = 4680 Wh.



Gambar 2.5 Aki GS ASTRA NS70

c. Fungsi dan Kelebihan Baterai Aki dalam Sistem Surya

1. Penyimpanan Energi: Menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat malam hari atau kondisi minim cahaya matahari.
2. Regulasi Tegangan: Membantu menjaga stabilitas tegangan dalam sistem, terutama ketika beban listrik berubah-ubah.
3. Kompatibilitas dengan Sistem Surya: Baterai aki dirancang untuk bekerja dengan baik dalam sistem tegangan DC, yang umum digunakan dalam aplikasi energi surya.
4. Biaya Relatif Rendah: Dibandingkan dengan jenis baterai lainnya, seperti lithium-ion, baterai aki lebih terjangkau, meskipun memiliki efisiensi yang lebih rendah.

d. Kekurangan Baterai Aki

1. Umur Pakai Terbatas: Umumnya memiliki umur pakai antara 3-5 tahun, tergantung pada pola penggunaan dan perawatan.
2. Efisiensi Pengisian Rendah: Efisiensi rata-rata pengisian dan pelepasan daya adalah sekitar 70-85%.
3. Perawatan Rutin: Membutuhkan pemeliharaan rutin untuk memastikan performa optimal, seperti pengecekan level elektrolit.
4. Berat dan Ukuran: Relatif berat dan besar dibandingkan dengan baterai modern lainnya.

e. **Faktor-faktor yang Mempengaruhi Performa Baterai Aki**

1. Suhu Lingkungan: Suhu tinggi dapat mempercepat penguapan elektrolit, sementara suhu rendah dapat mengurangi kapasitas penyimpanan baterai.
2. Kedalaman Pengosongan (Depth of Discharge, DoD): Pengosongan baterai yang terlalu dalam dapat memperpendek umur pakai baterai.
3. Frekuensi Pengisian dan Pelepasan: Siklus pengisian dan pelepasan yang terlalu sering dapat mengurangi kapasitas total baterai.
4. Perawatan: Perawatan yang baik, seperti memastikan level elektrolit tetap optimal, dapat memperpanjang umur pakai baterai.

2.8 Konsep Sistem Tegangan DC

Sistem tegangan DC (Direct Current) adalah sistem kelistrikan di mana arus listrik mengalir secara konstan dalam satu arah. Tegangan DC berbeda dengan tegangan AC (Alternating Current), yang memiliki arus bolak-balik. Dalam aplikasi energi surya, tegangan DC banyak digunakan karena kompatibel dengan keluaran alami panel surya, yang menghasilkan arus searah.

a. Definisi Tegangan DC

Tegangan DC adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian yang tetap konstan. Dalam sistem DC, elektron mengalir dari terminal negatif ke terminal positif sumber daya melalui jalur konduktif. Tegangan DC biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan sumber daya yang stabil dan kontinu, seperti sistem energi surya, elektronik portabel, dan baterai.

b. Keunggulan Sistem Tegangan DC

1. Efisiensi Tinggi pada Jarak Pendek: Sistem DC memiliki kehilangan energi yang lebih rendah pada transmisi jarak pendek dibandingkan dengan sistem AC.
2. Kompatibilitas dengan Baterai: Baterai sebagai penyimpan energi listrik bekerja dengan arus searah, sehingga sistem DC cocok untuk mengintegrasikan panel surya dengan penyimpanan energi.

3. Desain Sistem yang Sederhana: Sistem DC memerlukan komponen elektronik yang lebih sedikit, seperti inverter, dibandingkan sistem AC, yang memerlukan konversi bolak-balik.
4. Stabilitas Tegangan: Tegangan DC menawarkan stabilitas yang tinggi, membuatnya ideal untuk perangkat elektronik sensitif.

c. Kekurangan Sistem Tegangan DC

1. Kesulitan pada Transmisi Jarak Jauh: Tegangan DC kurang efisien untuk transmisi listrik jarak jauh karena kehilangan daya yang lebih besar akibat resistansi kabel.
2. Kompleksitas pada Konversi Tegangan: Perubahan tegangan dalam sistem DC memerlukan konverter step-up atau step-down, yang dapat meningkatkan kompleksitas sistem.
3. Kompatibilitas Terbatas: Banyak perangkat rumah tangga dirancang untuk menggunakan tegangan AC, sehingga memerlukan inverter untuk mengonversi DC menjadi AC.

d. Aplikasi Tegangan DC dalam Sistem Energi Surya

Dalam sistem energi surya, tegangan DC memiliki berbagai peran penting, antara lain:

1. Keluaran Panel Surya: Panel surya menghasilkan listrik dalam bentuk arus searah. Tegangan keluaran ini bervariasi tergantung pada jenis panel dan intensitas cahaya matahari.
2. Pengisian Baterai: Tegangan DC digunakan untuk mengisi baterai dalam sistem penyimpanan energi. Regulator tegangan memastikan arus pengisian sesuai dengan spesifikasi baterai.
3. Operasi Peralatan DC: Banyak perangkat yang dirancang untuk bekerja langsung dengan tegangan DC, seperti lampu LED, kipas DC, dan pompa air tenaga surya.

e. Komponen Utama dalam Sistem Tegangan DC

1. Panel Surya: Menghasilkan listrik arus searah dengan tegangan tertentu, misalnya panel monokristalin dengan spesifikasi tegangan maksimum (V_{mp}) 18V.

2. Regulator Tegangan (Charge Controller): Melindungi baterai dari pengisian berlebih dengan mengatur tegangan dan arus dari panel surya.
3. Baterai: Menyimpan energi listrik dalam bentuk DC untuk digunakan saat diperlukan.
4. Inverter (Opsional): Mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC jika diperlukan untuk perangkat yang tidak kompatibel dengan arus searah.

f. Perbandingan Tegangan DC dan Tegangan AC

Tabel 2.2 Perbandingan Tegangan DC dan AC

Aspek	Tegangan DC	Tegangan AC
Arah Arus	Konstan, satu arah	Bolak-balik
Kehilangan Daya	Rendah pada jarak pendek	Lebih efisien pada jarak jauh
Kompatibilitas	Cocok untuk baterai dan elektronik	Cocok untuk perangkat rumah tangga
Stabilitas	Sangat stabil	Fluktuatif

g. Keunggulan Tegangan DC dalam Sistem Energi Surya

1. Efisiensi Pengisian Baterai: Tegangan DC langsung sesuai dengan kebutuhan baterai tanpa memerlukan konversi tambahan.
2. Keandalan Sistem: Sistem DC memiliki lebih sedikit komponen elektronik, yang berarti risiko kerusakan lebih rendah.
3. Fleksibilitas Desain: Sistem DC dapat dirancang untuk berbagai skala aplikasi, dari rumah tangga kecil hingga pembangkit listrik tenaga surya skala besar.

h. Contoh Studi Kasus

Misalkan sebuah sistem energi surya menghasilkan tegangan output DC sebesar 24V untuk mengisi baterai dengan kapasitas 200Ah. Sistem digunakan untuk mengoperasikan lampu LED berdaya 20W selama 10 jam per hari.

1. Kebutuhan Energi Harian: Energi yang diperlukan oleh lampu: $20W \times 10 \text{ jam} = 200Wh$.

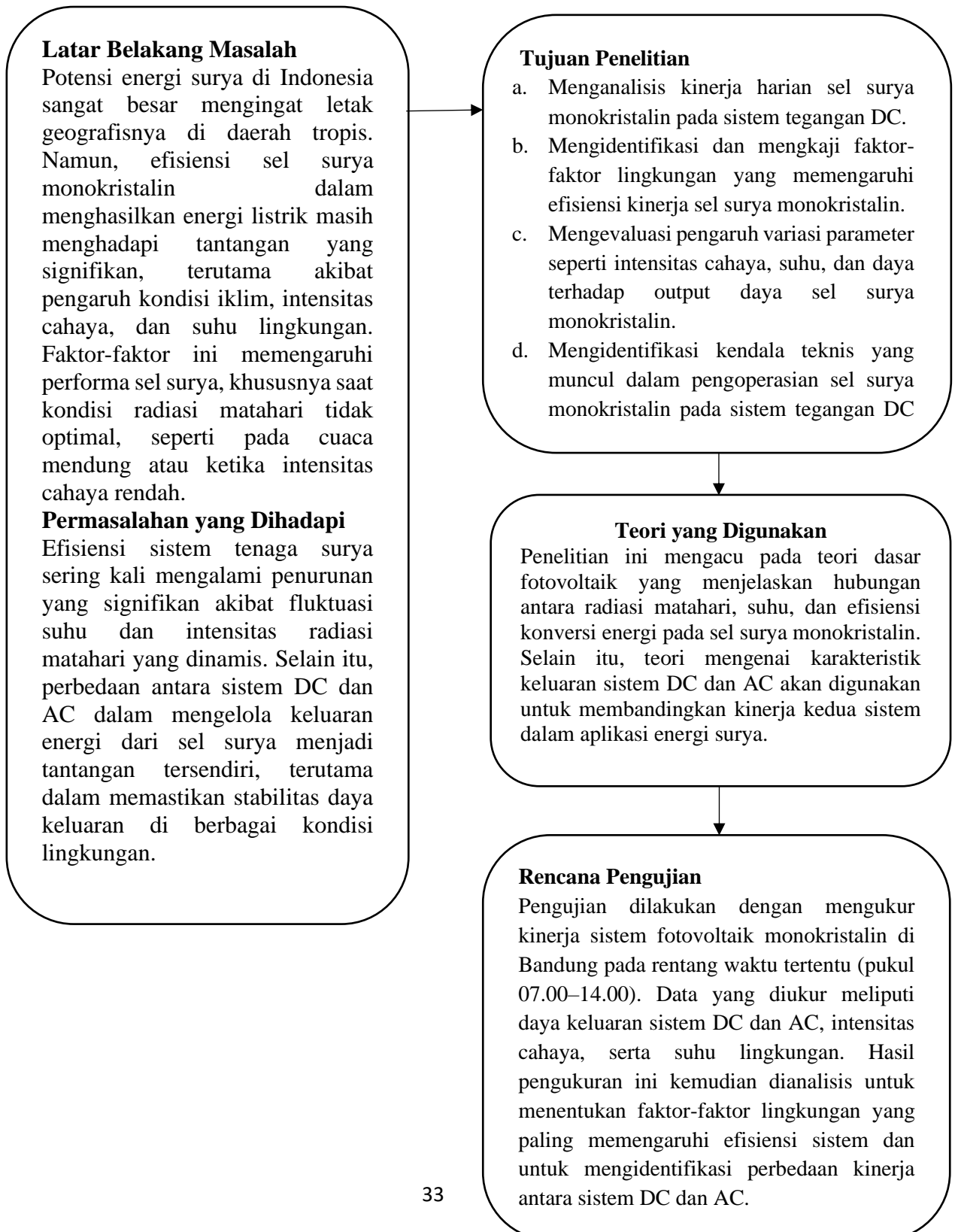
2. Kapasitas Baterai yang Dibutuhkan: Dengan efisiensi sistem 90%, kapasitas baterai minimum adalah: $200\text{Wh} \div 0.9 = 222.22\text{Wh}$. Kapasitas ini dapat dipenuhi dengan satu baterai 12V, 20Ah.
3. Kinerja Sistem: Sistem tegangan DC memungkinkan pengoperasian langsung lampu LED tanpa inverter, mengurangi kerugian daya akibat konversi.

Tegangan DC merupakan elemen kunci dalam sistem energi surya karena kompatibilitasnya dengan komponen utama seperti panel surya dan baterai. Dengan desain yang optimal, sistem tegangan DC dapat memberikan solusi energi yang efisien, andal, dan berkelanjutan.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI SISTEM

3.1 Kerangka Berpikir



3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yang berfokus pada pengumpulan data numerik dan analisis statistik untuk menjelaskan fenomena tertentu. Pendekatan ini sangat relevan untuk mengkaji kinerja harian sel surya monokristalin pada sistem tegangan DC, karena memungkinkan evaluasi kuantitatif terhadap pengaruh variabel lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, dan kelembapan terhadap efisiensi panel surya.

3.2.2 Pendekatan

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deduktif kuantitatif. Pendekatan ini berangkat dari teori-teori yang telah ada mengenai pengaruh berbagai faktor lingkungan terhadap efisiensi panel surya monokristalin, yang kemudian diuji kebenarannya melalui pengumpulan data empiris di lapangan. Penelitian ini berfokus pada pengukuran variabel-variabel numerik, seperti intensitas cahaya, suhu, dan tegangan listrik, yang diolah menggunakan analisis statistik untuk menemukan pola hubungan sebab-akibat yang relevan.

Sebagai pendekatan deduktif, penelitian ini dimulai dengan pengetahuan dan asumsi teoritis yang telah mapan, misalnya, bahwa kenaikan suhu di atas 25°C dapat menyebabkan penurunan efisiensi panel surya hingga 0,5% per derajat. Asumsi ini menjadi dasar bagi formulasi hipotesis yang diuji dalam konteks penelitian. Dengan pendekatan kuantitatif, setiap fenomena yang diamati diubah menjadi data numerik yang dapat diukur secara objektif. Hal ini memungkinkan pengambilan kesimpulan yang didasarkan pada fakta, bukan sekadar interpretasi subjektif.

Pendekatan deduktif kuantitatif ini diterapkan melalui beberapa tahapan penelitian yang sistematis. Tahapan pertama adalah identifikasi masalah, di mana peneliti mengamati fenomena penurunan efisiensi panel surya di bawah kondisi lingkungan tertentu. Observasi awal ini didukung oleh tinjauan literatur yang menggarisbawahi pentingnya variabel seperti intensitas cahaya, suhu, dan kelembapan terhadap kinerja

panel surya. Berdasarkan teori dan pengamatan tersebut, hipotesis penelitian dirumuskan untuk diuji secara empiris.

Pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen lapangan dengan mengukur parameter lingkungan dan kinerja panel surya pada berbagai waktu dalam sehari. Misalnya, pengukuran suhu lingkungan diukur menggunakan termometer digital. Setiap pengukuran dilakukan secara berulang untuk memastikan keakuratan data. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan perangkat lunak statistik untuk menentukan hubungan antara variabel independen, seperti suhu dan intensitas cahaya, dengan variabel dependen, yaitu efisiensi panel surya.



Gambar 3.1 Solar Panel Monocrystalline

Keunggulan pendekatan deduktif kuantitatif terletak pada objektivitas dan struktur yang jelas dalam proses penelitian. Dengan menggunakan data yang terukur, hasil penelitian memiliki validitas yang tinggi dan dapat diuji ulang oleh peneliti lain. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat digeneralisasi ke konteks yang serupa, seperti wilayah tropis lain yang memiliki karakteristik lingkungan serupa dengan lokasi penelitian.

Sebagai contoh penerapan, penelitian ini menganalisis bagaimana variasi suhu dan intensitas cahaya pada pagi, siang, dan sore hari memengaruhi output daya panel surya dalam satuan watt. Analisis regresi digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan tersebut, sehingga dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang kinerja panel surya di bawah kondisi lingkungan yang dinamis.

Pendekatan deduktif kuantitatif ini juga memungkinkan peneliti untuk memberikan rekomendasi praktis berdasarkan hasil yang diperoleh. Sebagai contoh, penelitian ini dapat menyarankan optimasi sudut kemiringan panel surya atau perlunya sistem pendingin untuk menjaga suhu panel agar tetap ideal. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teori tetapi juga memiliki implikasi praktis yang dapat diterapkan secara luas.

Kesimpulannya, pendekatan deduktif kuantitatif yang diterapkan dalam penelitian ini memberikan landasan yang kuat untuk mengevaluasi efisiensi panel surya monokristalin di bawah kondisi lingkungan tropis. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap kesimpulan yang diambil didasarkan pada data yang valid dan terukur, sehingga memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan teknologi energi surya yang lebih efisien dan berkelanjutan.

3.2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif eksperimental, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur pengaruh faktor-faktor lingkungan terhadap efisiensi panel surya monokristalin. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian pengamatan dan pengukuran yang terkontrol, dengan fokus pada data kuantitatif yang dapat diolah menggunakan analisis statistik untuk menghasilkan informasi yang akurat dan reliabel. Sebagai penelitian eksperimental, pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel yang telah ditentukan sebelumnya.

Penelitian kuantitatif eksperimental sangat sesuai untuk menjawab pertanyaan utama dalam penelitian ini, yaitu bagaimana parameter lingkungan seperti suhu, intensitas cahaya, dan kelembapan memengaruhi kinerja panel surya. Dengan menggunakan

pendekatan ini, penelitian tidak hanya mendeskripsikan fenomena yang diamati tetapi juga memberikan bukti empiris yang dapat digunakan untuk mendukung atau menolak hipotesis yang diajukan.

Penelitian ini juga bersifat deskriptif, karena salah satu tujuannya adalah untuk menggambarkan pola hubungan antara variabel-variabel tersebut secara rinci. Desain penelitian ini mencakup pengumpulan data melalui pengukuran langsung di lapangan, yang dilakukan pada waktu-waktu tertentu dalam sehari untuk menangkap dinamika perubahan kondisi lingkungan. Data yang diperoleh kemudian diolah secara statistik untuk mengidentifikasi pola atau tren yang relevan.

Jenis penelitian ini memiliki keunggulan dalam hal objektivitas dan validitas, karena data yang digunakan berasal dari pengukuran yang terstandarisasi. Selain itu, penelitian ini memungkinkan generalisasi hasil ke kondisi lingkungan yang serupa, sehingga hasilnya dapat diaplikasikan dalam konteks yang lebih luas, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia. Sebagai contoh, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk merancang sistem panel surya yang lebih efisien dalam menghadapi fluktuasi suhu harian yang sering terjadi di daerah tropis.

3.2.3 Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian ini melibatkan sistem panel surya monokristalin dengan spesifikasi teknis yang telah ditentukan. Panel surya ini dipilih berdasarkan kemampuannya untuk memberikan efisiensi konversi energi yang tinggi, dengan rentang efisiensi antara 15-25%. Pemilihan panel surya monokristalin dilakukan karena jenis ini memiliki keunggulan dalam hal kinerja pada intensitas cahaya tinggi dan kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan tropis, dibandingkan dengan jenis panel surya lainnya seperti polikristalin atau thin film.

Lokasi penelitian dipilih di Bandung, Jawa Barat, yang memiliki karakteristik lingkungan yang mendukung penelitian ini. Bandung memiliki intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi dengan rata-rata durasi penyinaran harian selama 4-6 jam. Selain itu, suhu harian di Bandung mengalami fluktuasi yang cukup signifikan, dari suhu rendah di

pagi hari hingga suhu tinggi di siang hari. Kondisi ini memungkinkan pengujian panel surya dalam berbagai situasi, sehingga hasil penelitian dapat menggambarkan kinerja panel surya secara komprehensif.

Pemilihan sampel penelitian dilakukan dengan metode purposive sampling, yaitu memilih objek penelitian yang secara khusus memenuhi kriteria tertentu. Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini mencakup efisiensi konversi energi, ketahanan terhadap kondisi lingkungan, dan relevansi dengan tujuan penelitian. Selain itu, instrumen pengukuran seperti termometer digital, dan multimeter digital juga termasuk dalam sampel penelitian, karena alat-alat ini digunakan untuk mengukur parameter lingkungan dan performa panel surya secara langsung.

Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan secara berkala pada waktu-waktu tertentu dalam sehari, seperti pagi, siang, dan sore hari. Hal ini bertujuan untuk menangkap variasi kondisi lingkungan yang memengaruhi kinerja panel surya. Dengan menggunakan sampel yang representatif dan alat ukur yang presisi, data yang diperoleh diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai hubungan antara variabel-variabel yang diteliti.

3.2.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini melibatkan tiga pendekatan utama, yaitu observasi langsung, eksperimen terkontrol, dan dokumentasi. Kombinasi dari ketiga metode ini dirancang untuk memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat valid, reliabel, dan relevan dengan tujuan penelitian.

1. Observasi Langsung

Observasi langsung dilakukan dengan mengamati kinerja panel surya di lokasi penelitian pada berbagai kondisi lingkungan. Pengamatan ini melibatkan pencatatan data parameter lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, dan kelembapan, serta performa panel surya dalam menghasilkan daya listrik. Data dikumpulkan pada waktu-waktu tertentu dalam sehari, seperti pagi hari ketika intensitas cahaya masih rendah, siang hari saat suhu mencapai puncaknya, dan sore hari ketika intensitas cahaya mulai menurun.

Observasi ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai variasi kinerja panel surya dalam kondisi lingkungan yang berbeda.

2. Eksperimen Terkontrol

Eksperimen terkontrol dilakukan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel lingkungan dan efisiensi panel surya. Dalam eksperimen ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi, seperti termometer digital untuk mengukur suhu, dan multimeter digital untuk mengukur tegangan serta arus listrik. Data yang diperoleh dari eksperimen ini digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara variabel-variabel tersebut, misalnya pengaruh kenaikan suhu terhadap efisiensi konversi energi panel surya.

3. Dokumentasi

Metode dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data sekunder yang relevan dengan penelitian ini. Data sekunder mencakup informasi dari jurnal ilmiah, laporan teknis, dan literatur lainnya yang berkaitan dengan efisiensi panel surya, faktor lingkungan, dan sistem tegangan DC. Dokumentasi ini berfungsi sebagai referensi tambahan yang mendukung analisis data primer yang diperoleh dari observasi dan eksperimen.

Seluruh data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil. Analisis ini mencakup pengujian hipotesis, perhitungan korelasi, serta penyajian data dalam bentuk grafik dan tabel. Dengan menggunakan metode pengumpulan data yang terintegrasi, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan temuan yang akurat dan relevan, yang tidak hanya menjawab pertanyaan penelitian tetapi juga memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi surya yang lebih efisien.

3.2.5 Manfaat Pendekatan Penelitian

Pendekatan kuantitatif eksperimental ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. **Objektivitas:** Data yang dihasilkan bersifat objektif karena diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan alat yang terkalibrasi.
2. **Reproduktivitas:** Metode ini memungkinkan penelitian untuk diulang dengan kondisi serupa, sehingga hasilnya dapat diverifikasi.
3. **Analisis yang Sistematis:** Data yang dikumpulkan dapat dianalisis untuk menemukan pola hubungan antara variabel, seperti pengaruh suhu terhadap tegangan.
4. **Relevansi Praktis:** Hasil penelitian dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi sistem energi surya di wilayah tropis.
5. **Pengembangan Teknologi:** Data kuantitatif yang diperoleh dapat menjadi dasar untuk pengembangan teknologi panel surya yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan.
6. **Peningkatan Pemahaman:** Studi ini memberikan wawasan baru tentang bagaimana variabel lingkungan memengaruhi kinerja panel surya, yang dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

3.2.6 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data melibatkan langkah-langkah berikut:

1. **Pengukuran Tegangan dan Suhu:** Data tegangan (V) dan suhu ($^{\circ}\text{C}$) diukur setiap jam mulai pukul 08.00 hingga 13.00. Sebagai contoh, pada tanggal 13 November 2024, tegangan panel tercatat sebesar 10.77 V pada suhu 20°C pukul 08.00. Data ini dibandingkan dengan hasil pengukuran pada hari lainnya untuk mengidentifikasi pola perubahan.
2. **Pencatatan Data Lingkungan:** Suhu lingkungan dicatat menggunakan termometer digital untuk mengetahui pengaruhnya terhadap tegangan output panel surya.

Variasi suhu antara pagi, siang, dan sore dianalisis untuk memahami fluktuasi kinerja panel.

3. Dokumentasi: Hasil pengukuran dicatat dalam tabel data harian untuk mempermudah analisis. Dokumentasi juga mencakup kondisi visual panel, seperti keberadaan debu atau kotoran yang dapat memengaruhi kinerja. Setiap perubahan signifikan dicatat untuk analisis lebih lanjut.

3.2.7 Analisis Data yang Dikumpulkan

Data yang telah dikumpulkan dianalisis menggunakan metode statistik sederhana namun efektif untuk mengidentifikasi dan memahami hubungan antar variabel penelitian. Analisis ini meliputi langkah-langkah untuk menggambarkan pola data, mengevaluasi korelasi, serta menginterpretasikan hasil berdasarkan tujuan utama penelitian. Fokus utama analisis adalah menemukan hubungan antara:

- a. Hubungan antara suhu dan tegangan.

Data suhu yang diukur selama penelitian dibandingkan dengan tegangan output dari panel surya. Hubungan ini penting untuk memahami bagaimana peningkatan atau penurunan suhu lingkungan memengaruhi performa panel surya, khususnya dalam menghasilkan tegangan.

- b. Pengaruh intensitas cahaya terhadap daya yang dihasilkan.

Analisis ini dilakukan dengan membandingkan intensitas cahaya yang diterima panel surya dengan daya listrik yang dihasilkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana intensitas cahaya matahari memengaruhi efisiensi konversi energi oleh panel surya.

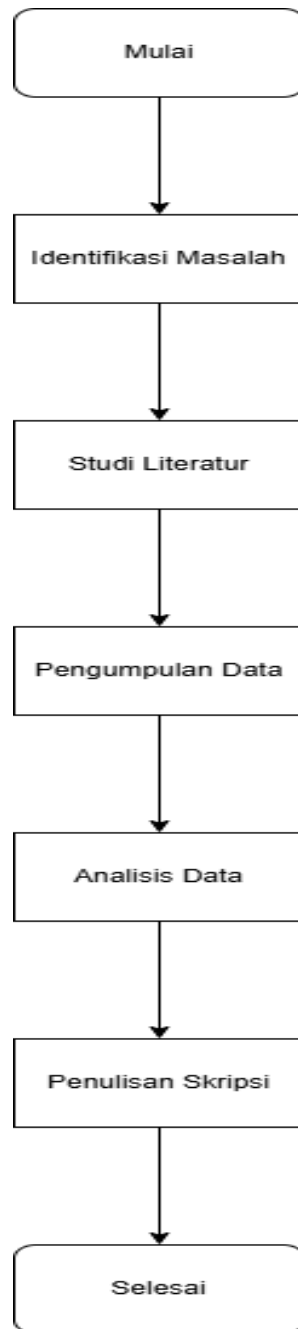
- c. Variasi output daya berdasarkan waktu pengambilan data.

Data output daya diamati dan dicatat pada berbagai interval waktu untuk mengidentifikasi pola harian. Dengan demikian, variasi daya yang dihasilkan pada pagi, siang, dan sore hari dapat terlihat dengan jelas.

Hasil dari setiap analisis dipresentasikan dalam bentuk grafik dan tabel. Grafik yang menunjukkan hubungan antara suhu dan tegangan, serta intensitas cahaya terhadap daya yang dihasilkan, dirancang untuk memberikan gambaran visual yang jelas dan mudah dipahami. Grafik ini dilengkapi dengan tabel numerik untuk mendukung analisis lebih lanjut bagi pembaca yang ingin menggali informasi lebih detail.

Selain itu, metode penelitian ini juga mempertimbangkan kemungkinan adanya faktor-faktor pengganggu yang memengaruhi hasil, seperti perubahan mendadak pada kondisi cuaca atau fluktuasi lingkungan lainnya. Dengan pendekatan ini, keakuratan hasil yang dihasilkan dapat dipastikan.

3.3 Perencanaan Blok Diagram



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

Diagram alur yang ditampilkan menunjukkan proses penelitian atau penyusunan skripsi yang tersusun secara sistematis. Berikut adalah penjelasannya:

Penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, di mana peneliti mencari dan menentukan isu atau tantangan utama yang menjadi fokus penelitian. Langkah ini penting untuk memahami ruang lingkup penelitian serta relevansi masalah tersebut terhadap bidang yang diteliti.

Setelah masalah teridentifikasi, peneliti melanjutkan dengan studi literatur, yaitu proses mencari informasi dan teori-teori yang relevan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, atau publikasi lain. Studi ini bertujuan untuk mendapatkan landasan teori yang kuat dan mengetahui penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan.

Selanjutnya, peneliti memasuki tahap pengumpulan data, di mana data yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan penelitian dikumpulkan. Data ini dapat diperoleh melalui berbagai metode seperti observasi, wawancara, survei, atau eksperimen, tergantung pada jenis penelitian yang dilakukan.

Setelah data terkumpul, peneliti melanjutkan dengan analisis data, yaitu proses mengolah dan menginterpretasikan data menggunakan metode analisis tertentu. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menemukan pola, hubungan, atau kesimpulan yang dapat menjawab tujuan penelitian.

Hasil dari analisis data kemudian dituangkan dalam bentuk tertulis melalui tahap penulisan skripsi. Pada tahap ini, peneliti menyusun laporan penelitian secara sistematis dengan memasukkan latar belakang, metodologi, hasil, pembahasan, dan kesimpulan.

BAB IV

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Pengolahan data hasil pengukuran merupakan langkah awal dalam memahami kinerja harian panel surya monokristalin. Data yang diperoleh dari pengukuran lapangan meliputi tegangan output (V), suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$), dan waktu pengukuran (WIB). Data ini dianalisis untuk mendapatkan gambaran performa panel surya dalam kondisi lingkungan yang berbeda, terutama di wilayah tropis seperti Bandung.

Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data Sel Surya Monokristalin Tanggal 12 November 2024 Sampai 14 November 2024

PENGAMBILAN DATA SOLAR CELL DARI 3 SOLAR CELL BERDASARKAN WAKTU								
Hari/Tanggal : Selasa, 12 November 2024			Hari/Tanggal : Selasa, 12 November 2024			Hari/Tanggal : Selasa, 12 November 2024		
Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu	Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu	Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu
22	12.77	08.00	22	12,7	08.00	22	17,69	08.00
22	12.77	09.00	22	12,7	09.00	22	17,69	09.00
25	14.51	10.00	25	14,5	10.00	25	14,51	10.00
26	15.09	11.00	26	15,02	11.00	26	15,03	11.00
30	17.42	12.00	30	17,36	12.00	30	17,34	12.00
32	18.58	13.00	32	18,49	13.00	30	18,51	13.00
Hari/Tanggal : Rabu, 13 November 2024			Hari/Tanggal : Rabu, 13 November 2024			Hari/Tanggal : Rabu, 13 November 2024		
Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu	Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu	Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu
20	10.77	08.00	20	10,74	08.00	20	10,76	08.00
20	10.77	09.00	20	10,74	09.00	20	10,76	09.00
20	10.77	10.00	20	10,74	10.00	20	10,76	10.00
22	11.85	11.00	22	11,82	11.00	22	11,83	11.00
24	12.93	12.00	24	12,94	12.00	24	12,92	12.00
26	14.0	13.00	26	14,01	13.00	26	14,05	13.00

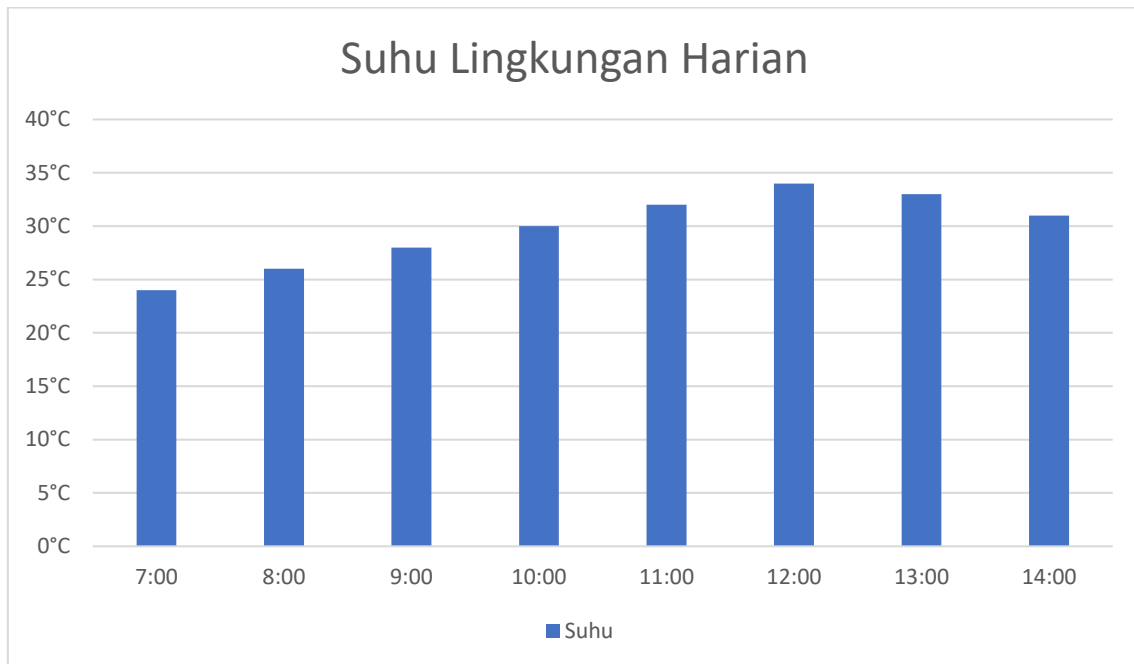
Hari/Tanggal : Kamis, 14 November 2024			Hari/Tanggal : Kamis, 14 November 2024			Hari/Tanggal : Kamis, 14 November 2024		
Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu	Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu	Suhu (C)	Tegangan yang dihasilkan (V)	Waktu
24	13.93	08.00	24	13,92	08.00	24	13,91	08.00
26	15.09	09.00	26	15,07	09.00	26	15,08	09.00
28	16.26	10.00	28	16,26	10.00	28	16,22	10.00
30	17.42	11.00	30	14,43	11.00	30	14,42	11.00
35	20.32	12.00	35	20,34	12.00	35	20,31	12.00
32	18.58	13.00	32	18,57	13.00	32	18,73	13.00

4.1.1 Tabel dan Grafik Suhu Lingkungan Harian

Suhu lingkungan adalah variabel pendukung utama yang penting dalam analisis kinerja panel surya. Suhu diukur bersamaan dengan data tegangan pada setiap interval waktu. Grafik suhu menunjukkan kenaikan bertahap dari pagi hari di Universitas Islam Nusantara mencapai puncaknya sekitar pukul 12.00 hingga 13.00, sebelum mulai menurun di sore hari.

Tabel 4.2 Suhu Lingkungan Harian

Hasil Pengambilan Data Suhu	
Waktu (Jam)	Suhu (°C)
07.00	24
08.00	26
09.00	28
10.00	30
11.00	32
12.00	34
13.00	33
14.00	31



Gambar 4.1 Grafik Suhu Lingkungan

Grafik di atas menunjukkan variasi suhu lingkungan harian yang diukur dari pukul 07.00 WIB hingga pukul 14.00 WIB. Suhu lingkungan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu hingga mencapai puncaknya pada siang hari.

- Pada pukul 07.00 WIB, suhu awal tercatat sekitar 25°C. Suhu ini merepresentasikan kondisi pagi hari dengan intensitas cahaya matahari yang masih rendah.
- Suhu terus mengalami peningkatan bertahap, mencapai sekitar 30°C pada pukul 10.00 WIB, seiring dengan peningkatan intensitas cahaya matahari.
- Puncak suhu terjadi pada pukul 12.00 WIB dan bertahan hingga pukul 13.00 WIB, dengan suhu tertinggi sekitar 34°C. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang waktu tersebut, radiasi matahari mencapai tingkat maksimum.
- Setelah pukul 13.00 WIB, suhu sedikit menurun menjadi sekitar 33°C pada pukul 14.00 WIB, yang menandakan adanya penurunan intensitas matahari menjelang sore.

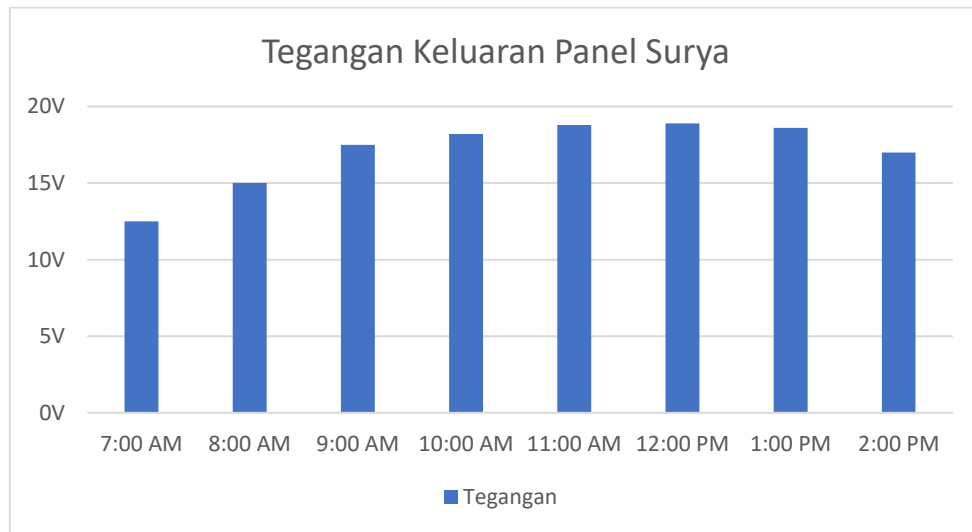
Grafik ini mengilustrasikan pola kenaikan suhu lingkungan yang konsisten, di mana suhu tertinggi terjadi pada siang hari ketika matahari berada pada posisi zenit. Data ini relevan untuk memahami pengaruh suhu terhadap performa sistem fotovoltaik yang diuji dalam penelitian.

4.1.2 Tabel dan Grafik Tegangan Keluaran Panel Surya

Tegangan (V) keluaran panel surya adalah variabel utama yang dianalisis untuk menentukan kinerja sistem. Data ini diperoleh dari pengukuran langsung selama tiga hari pengujian, dengan interval waktu yang sama. Grafik menunjukkan pola yang konsisten, di mana tegangan meningkat seiring dengan intensitas cahaya yang tinggi, dan menurun ketika intensitas cahaya berkurang. Tegangan maksimum yang diambil di Universitas Islam Nusantara tercapai pada pukul 12.00, sesuai dengan waktu intensitas cahaya matahari tertinggi.

Tabel 4.3 Tegangan Keluaran Panel Surya

Hasil Pengambilan Data Tegangan Keluaran Panel Surya	
Waktu (WIB)	Tegangan (V)
07.00	12.5
08.00	15.0
09.00	17.5
10.00	18.2
11.00	18.8
12.00	18.9
13.00	18.6
14.00	17.0



Gambar 4.2 Tegangan Keluaran Panel Surya

Berdasarkan grafik "Tegangan Keluaran Panel Surya" pada tabel 4.2, terlihat bahwa tegangan keluaran panel surya meningkat dari pagi hari, dimulai pada pukul 07.00 dengan nilai sekitar 12 volt. Tegangan terus naik hingga mencapai nilai maksimum sekitar 18 volt pada pukul 09.00 hingga 12.00. Setelah itu, tegangan mulai menurun secara perlahan pada pukul 13.00 dan 14.00. Pola ini menunjukkan bahwa tegangan keluaran panel surya berkorelasi dengan intensitas cahaya matahari, yang cenderung memuncak di sekitar siang hari.

- **Analisis Awal dari Data Pengukuran**

1. Pola Suhu dan Tegangan: Suhu lingkungan mencapai puncaknya pada pukul 12.00 hingga 13.00. Pada rentang waktu ini, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya juga mencapai nilai maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang cukup tinggi namun stabil dapat mendukung efisiensi panel surya, terutama pada siang hari ketika intensitas cahaya matahari juga berada pada puncaknya. Namun, setelah pukul 13.00, suhu mulai menurun, diikuti oleh penurunan tegangan. Pola ini mengindikasikan hubungan langsung antara suhu lingkungan dan kinerja panel surya.

2. Hubungan Tegangan dengan Variabel Pendukung: Tegangan keluaran meningkat seiring dengan naiknya suhu lingkungan dalam kisaran 28°C hingga 34°C , menunjukkan bahwa dalam kondisi ini panel bekerja secara optimal. Namun, setelah pukul 13.00 WIB, terjadi penurunan tegangan akibat berkurangnya intensitas cahaya matahari, bukan karena efek pemanasan berlebih pada modul surya. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa penurunan daya lebih berkaitan dengan perubahan cuaca dari cerah ke mendung, yang mengurangi jumlah sinar matahari yang diterima panel.
3. Efisiensi Kinerja Panel Surya: Kinerja panel surya menunjukkan hasil optimal pada rentang waktu pukul 10.00 hingga 13.00, saat intensitas cahaya matahari tinggi dan suhu lingkungan stabil. Tegangan maksimum yang dicapai pada pukul 12.00 sebesar 18.9 V hampir mendekati spesifikasi teknis panel, menunjukkan bahwa modul berfungsi dengan baik dalam kondisi tersebut. Penurunan tegangan setelah pukul 13.00 menunjukkan pentingnya mempertimbangkan variabel waktu dan suhu untuk menjaga performa panel surya.

Pengolahan data ini menjadi dasar untuk analisis hubungan antar variabel dan evaluasi performa sistem yang akan dibahas lebih lanjut pada bab berikutnya.

4.2 Analisis Hubungan Variabel

Analisis hubungan variabel bertujuan untuk memahami bagaimana tegangan yang dihasilkan oleh panel surya monokristalin dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan waktu pengukuran. Hubungan ini dievaluasi untuk menentukan pola-pola signifikan yang dapat memengaruhi kinerja panel surya.

4.2.1 Hubungan antara Suhu Lingkungan dengan Tegangan Keluaran

Suhu lingkungan memainkan peran dalam memengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Berdasarkan data pengukuran, ditemukan bahwa tegangan keluaran meningkat seiring dengan naiknya suhu lingkungan dalam kisaran 28°C hingga 34°C , terutama saat intensitas cahaya matahari tetap tinggi. Pada suhu ini, panel surya

monokristalin bekerja secara optimal dengan menghasilkan tegangan maksimum sebesar 18,9 V pada pukul 12.00 WIB.

Namun, tidak ditemukan bukti bahwa suhu yang lebih tinggi dari 34°C secara langsung menyebabkan penurunan tegangan. Sebaliknya, data menunjukkan bahwa penurunan tegangan setelah pukul 13.00 WIB lebih disebabkan oleh perubahan kondisi cuaca, yaitu berkurangnya intensitas cahaya akibat mendung. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya merupakan faktor dominan dalam memengaruhi output daya panel, bukan hanya suhu lingkungan. Oleh karena itu, strategi optimalisasi sistem penyimpanan energi dan monitoring cuaca lebih relevan untuk memastikan stabilitas daya dalam sistem off-grid.

4.2.2 Hubungan antara Waktu dengan Tegangan Keluaran

Waktu pengukuran juga memengaruhi tegangan keluaran panel surya. Data menunjukkan bahwa tegangan meningkat secara bertahap dari pukul 07.00 hingga mencapai puncaknya pada pukul 12.00 hingga 13.00. Setelah waktu tersebut, tegangan mulai menurun seiring dengan menurunnya intensitas cahaya matahari.



Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Bertahap

Periode pagi hingga siang hari menunjukkan kondisi optimal untuk menghasilkan energi maksimum. Namun, penurunan tegangan di sore hari dapat mengindikasikan

perlunya strategi penyimpanan energi menggunakan baterai agar daya tetap tersedia di luar jam optimal. Selain itu, penggunaan perangkat inverter dengan efisiensi tinggi dapat membantu mengelola daya dengan lebih baik selama periode rendah intensitas cahaya.

4.2.3 Pola dan Implikasi Hubungan Variabel

1. **Optimalisasi Suhu Operasional:** Penting untuk menjaga suhu panel surya dalam rentang optimal (28°C hingga 34°C) untuk memaksimalkan tegangan keluaran. Suhu yang melebihi rentang ini dapat menyebabkan degradasi material panel, yang berdampak pada penurunan efisiensi jangka panjang. Penggunaan desain panel dengan lapisan anti-termal atau material yang lebih tahan panas dapat menjadi inovasi teknologi yang relevan.
2. **Pemanfaatan Periode Optimal:** Rentang waktu pukul 10.00 hingga 13.00 adalah waktu optimal untuk menghasilkan daya maksimum. Dalam konteks implementasi, pemanfaatan energi yang dihasilkan selama periode ini dapat difokuskan pada beban listrik yang membutuhkan daya besar. Strategi ini memungkinkan efisiensi pemanfaatan energi surya dan penghematan biaya operasional.
3. **Analisis Waktu dan Suhu:** Pada pagi hari, saat suhu masih rendah, tegangan yang dihasilkan stabil tetapi belum mencapai nilai optimal karena intensitas cahaya matahari masih rendah. Pada siang hari, terutama sekitar pukul 12.00 WIB, tegangan mencapai nilai maksimum seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dan suhu lingkungan. Namun, data menunjukkan bahwa kenaikan suhu tidak menyebabkan degradasi efisiensi, melainkan tegangan tetap tinggi selama intensitas cahaya juga tinggi. Setelah pukul 13.00 WIB, terjadi penurunan tegangan yang lebih disebabkan oleh perubahan kondisi cuaca dari cerah menjadi mendung, yang mengurangi jumlah cahaya matahari yang diterima panel. Oleh karena itu, optimasi sistem penyimpanan energi dan pengelolaan daya berdasarkan perubahan cuaca dapat meningkatkan stabilitas kinerja panel surya dalam sistem off-grid.

4. Pengaruh Lingkungan Lokal: Kondisi lingkungan lokal, seperti pola cuaca harian dan letak geografis, memberikan kontribusi besar terhadap hasil pengukuran. Bandung, sebagai lokasi penelitian, memiliki suhu harian yang relatif stabil, yang mendukung analisis hubungan ini. Namun, variasi cuaca seperti mendung atau hujan dapat memengaruhi hasil pengukuran dan harus dipertimbangkan dalam analisis lebih lanjut.

Analisis hubungan variabel ini memberikan wawasan mendalam mengenai performa panel surya dalam berbagai kondisi lingkungan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem energi surya yang lebih efisien dan adaptif, khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia.

4.3 Performa Sistem Tegangan DC

Penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja sistem tegangan DC sangat bergantung pada intensitas cahaya dan suhu lingkungan. Panel surya monokristalin yang digunakan dirancang untuk mendukung aplikasi sistem off-grid dengan stabilitas tegangan yang tinggi dalam rentang waktu siang hari, ketika intensitas cahaya maksimum.

Tegangan maksimum sebesar 18,9 V tercatat pada pukul 12.00 WIB dengan suhu lingkungan mencapai 34°C. Output daya optimal tercapai pada periode siang hari, yang merupakan waktu ideal untuk pengisian baterai dalam sistem off-grid.

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan daya yang cukup untuk kebutuhan rumah tangga dengan beban moderat. Namun, fluktuasi suhu di atas 34°C menyebabkan penurunan efisiensi panel surya, yang menjadi perhatian dalam desain sistem penyimpanan energi off-grid.

4.3.1 Efisiensi Panel Surya dalam Menghasilkan Daya

Efisiensi panel surya dalam menghasilkan daya ditentukan oleh kemampuan modul untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik dalam berbagai kondisi lingkungan. Berdasarkan hasil pengukuran, panel surya monokristalin menunjukkan efisiensi tertinggi pada pukul 12.00 hingga 13.00, ketika intensitas cahaya matahari berada pada puncaknya dan suhu lingkungan stabil pada kisaran 32°C hingga 34°C.



Gambar 4.4 Efisiensi Tertinggi pada Saat Pengambilan Data

Namun, efisiensi panel mulai menurun setelah pukul 13.00, seiring dengan penurunan intensitas cahaya matahari. Penurunan ini menunjukkan bahwa panel surya sangat sensitif terhadap fluktuasi lingkungan, sehingga pengelolaan waktu operasi optimal menjadi faktor penting dalam memaksimalkan kinerja sistem.

4.3.2 Analisis Output Daya Maksimum dan Minimum

Output daya maksimum dicapai pada pukul 12.00 dengan tegangan sebesar 18.9 V, mendekati nilai tegangan maksimum pada spesifikasi teknis modul. Sementara itu, output daya minimum terjadi pada pukul 07.00 dengan tegangan sebesar 12.5 V, ketika intensitas cahaya matahari masih rendah.

Faktor-faktor yang memengaruhi fluktuasi output daya antara lain:

- **Intensitas Cahaya Matahari:** Peningkatan intensitas cahaya secara langsung meningkatkan tegangan keluaran panel. Penurunan tegangan setelah pukul 13.00 WIB lebih disebabkan oleh perubahan cuaca dari cerah menjadi mendung, yang mengurangi jumlah cahaya matahari yang diterima panel.

- Suhu Lingkungan: Berdasarkan hasil pengukuran, kenaikan suhu dalam rentang $28^{\circ}\text{C} - 34^{\circ}\text{C}$ tidak menyebabkan penurunan efisiensi, tetapi justru mendukung peningkatan output daya selama intensitas cahaya tetap tinggi. Penurunan daya yang terjadi lebih dipengaruhi oleh berkurangnya sinar matahari akibat perubahan kondisi cuaca.

Kinerja panel dalam menghasilkan daya maksimum menunjukkan bahwa modul yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi dengan baik sesuai spesifikasi teknisnya.

4.3.3 Perbandingan Data Aktual dengan Spesifikasi Teknis Panel Surya

Spesifikasi teknis panel surya monokristalin model ASL-M100m menyebutkan nilai tegangan maksimum sebesar 22.3 V dan daya puncak sebesar 100 Wp. Berdasarkan hasil pengukuran:

1. Tegangan maksimum yang dicapai adalah 18.9 V, atau sekitar 85% dari nilai spesifikasi teknis. Hal ini menunjukkan bahwa modul mampu bekerja mendekati optimal dalam kondisi pengujian di lapangan.
2. Tegangan minimum yang tercatat adalah 12.5 V, yang menunjukkan pengaruh signifikan dari rendahnya intensitas cahaya pada pagi hari.

4.3.4 Implikasi Performa Sistem Tegangan DC

1. Efisiensi Energi: Rentang waktu pukul 10.00 hingga 13.00 adalah periode optimal untuk menghasilkan energi maksimum. Pemanfaatan energi selama periode ini dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.
2. Stabilitas Sistem: Fluktuasi tegangan pada pagi dan sore hari memengaruhi stabilitas daya yang dihasilkan. Penggunaan baterai penyimpanan energi dapat membantu mengatasi ketidakstabilan ini.
3. Kinerja Modul: Modul panel surya yang digunakan menunjukkan kinerja yang mendekati spesifikasi teknis dalam kondisi pengujian. Namun, hasil ini menunjukkan perlunya optimalisasi lebih lanjut untuk mencapai efisiensi maksimum.

Performa sistem tegangan DC dalam penelitian ini memberikan bukti bahwa panel surya monokristalin memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam sistem energi terbarukan. Namun, pengelolaan sistem yang efektif diperlukan untuk mengatasi tantangan lingkungan dan fluktuasi daya yang dihasilkan.

4.4 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Kinerja

Analisis faktor lingkungan dilakukan untuk mengidentifikasi elemen-elemen utama yang memengaruhi efisiensi dan kinerja panel surya monokristalin dalam sistem tegangan DC. Faktor-faktor tersebut meliputi intensitas cahaya, suhu lingkungan, dan kondisi cuaca (awan atau hujan). Pemahaman terhadap pengaruh faktor-faktor ini memungkinkan perencanaan sistem energi surya yang lebih efisien.

4.4.1 Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi

Intensitas cahaya adalah faktor utama yang menentukan kinerja panel surya dalam menghasilkan daya listrik. Berdasarkan data pengukuran, efisiensi panel surya mencapai puncaknya pada rentang waktu pukul 10.00–13.00 WIB, ketika intensitas cahaya berada pada level tertinggi. Tegangan maksimum sebesar 18,9 V terjadi pada pukul 12.00 WIB, mencerminkan hubungan langsung antara intensitas cahaya dengan tegangan keluaran.



Gambar 4.5 Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi

Namun, pada pagi dan sore hari, ketika intensitas cahaya menurun, tegangan keluaran juga mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa desain sistem energi surya off-grid harus mengintegrasikan baterai yang andal untuk menyimpan energi pada siang hari, sehingga kebutuhan energi pada malam hari tetap dapat terpenuhi.

4.4.2 Pengaruh Suhu terhadap Penurunan Daya Keluaran

Suhu lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi panel surya. Pengamatan menunjukkan bahwa performa optimal panel surya terjadi pada rentang suhu 28°C hingga 34°C. Namun, ketika suhu meningkat di atas 34°C, resistansi internal pada panel meningkat, menyebabkan penurunan efisiensi.



Gambar 4.6 Pengukuran Suhu pada Panel Monokristalin

Misalnya, data menunjukkan bahwa penurunan tegangan hingga 15% dibandingkan tegangan maksimum lebih dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya akibat kondisi cuaca mendung daripada suhu tinggi. Oleh karena itu, pengembangan strategi optimasi sistem penyimpanan energi dan prediksi cuaca menjadi penting untuk menjaga stabilitas kinerja panel surya dalam sistem off-grid, terutama di daerah tropis yang memiliki fluktuasi cuaca yang cepat.

4.4.3 Kondisi Cuaca terhadap Hasil Penelitian

Kondisi cuaca, seperti cerah, mendung, atau hujan, juga memainkan peran penting dalam memengaruhi kinerja panel surya. Berikut adalah analisis berdasarkan kondisi cuaca yang diamati:

1. Cuaca Cerah: Intensitas cahaya matahari stabil sepanjang hari, memungkinkan panel surya mencapai daya maksimum.
2. Cuaca Mendung: Penurunan intensitas cahaya hingga 50% menyebabkan tegangan keluaran menurun secara signifikan.
3. Cuaca Hujan: Penurunan intensitas cahaya yang ekstrem menyebabkan tegangan keluaran hampir mendekati nilai minimum, menunjukkan perlunya sistem baterai yang baik untuk menjaga stabilitas daya selama kondisi cuaca buruk.

Penerapan teknologi yang dapat menangkap sinar matahari difus, seperti modul panel dengan lapisan khusus, dapat meningkatkan efisiensi pada kondisi cuaca mendung atau hujan. Selain itu, penggunaan perangkat penyimpanan energi menjadi sangat penting untuk memastikan pasokan daya tetap stabil selama kondisi cuaca tidak optimal.

4.4.4 Implikasi Faktor Lingkungan terhadap Sistem

1. Optimalisasi Lokasi Pemasangan: Pemasangan panel surya di lokasi yang mendapatkan sinar matahari maksimal sepanjang hari menjadi kunci keberhasilan sistem off-grid.
2. Manajemen Energi: Penyimpanan energi menggunakan baterai diperlukan untuk mengatasi fluktuasi daya akibat perubahan intensitas cahaya dan suhu.
3. Pemeliharaan Panel: Pembersihan rutin permukaan panel dari debu atau residu hujan dapat meningkatkan efisiensi sistem hingga 10–15%. Faktor lingkungan memainkan peran penting dalam menentukan performa panel surya monokristalin. Dengan memahami dan mengelola pengaruh faktor-faktor ini, sistem energi surya dapat dirancang untuk mencapai efisiensi dan keandalan yang lebih tinggi, bahkan di bawah kondisi lingkungan yang menantang.

4.5 Kendala dan Permasalahan Teknis

Dalam proses penelitian dan pengumpulan data, terdapat berbagai kendala dan permasalahan teknis yang memengaruhi hasil pengujian dan analisis. Kendala ini perlu dievaluasi untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai tantangan yang dihadapi dalam implementasi sistem energi surya.

4.5.1 Fluktuasi Tegangan dan Dampaknya pada Stabilitas Daya

Salah satu kendala utama yang dihadapi adalah fluktuasi tegangan yang terjadi pada pagi dan sore hari. Tegangan yang tidak stabil ini memengaruhi efisiensi sistem dan dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat elektronik yang terhubung jika tidak diatasi dengan baik.

Untuk mengatasi fluktuasi ini, penggunaan regulator tegangan dan inverter berkualitas tinggi direkomendasikan. Selain itu, penyimpanan energi dalam baterai selama periode tegangan tinggi dapat membantu menjaga stabilitas daya sepanjang hari.

4.5.2 Kendala Teknis Selama Pengambilan Data

Selama pengumpulan data, beberapa kendala teknis yang ditemukan meliputi:

1. Akumulasi Debu pada Panel Surya: Debu yang menumpuk pada permukaan panel mengurangi efisiensi konversi energi. Solusi yang diusulkan adalah pembersihan rutin panel untuk memastikan optimalisasi performa.
2. Perubahan Cuaca Mendadak: Kondisi cuaca yang mendung atau hujan memengaruhi intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya, sehingga mengganggu hasil pengukuran.
3. Keterbatasan Alat Ukur: Alat ukur seperti multimeter dan termometer memiliki batasan akurasi, sehingga dapat menyebabkan sedikit deviasi pada hasil data.

4.5.3 Analisis Akurasi dan Keterbatasan Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi tertentu yang dapat memengaruhi akurasi data. Sebagai contoh:

- Multimeter memiliki tingkat akurasi $\pm 0.5\%$, yang dapat menghasilkan perbedaan kecil pada pengukuran tegangan.
- Termometer digital memiliki deviasi $\pm 1^\circ\text{C}$, yang dapat memengaruhi pengamatan suhu lingkungan.

Penggunaan alat ukur dengan akurasi lebih tinggi direkomendasikan untuk penelitian di masa mendatang untuk meningkatkan keandalan hasil pengukuran. Dari penelitian yang telah dilakukan, dengan fokus pada implikasi praktis hasil analisis terhadap pengembangan sistem energi surya.

1. Kinerja Optimal Panel Surya: Panel surya monokristalin menunjukkan kinerja terbaik pada rentang suhu 28°C hingga 34°C , dengan tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 18.9 V pada pukul 12.00.
 2. Pengaruh Lingkungan: Intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan merupakan faktor dominan yang memengaruhi efisiensi panel surya.
 3. Kendala Teknis: Fluktuasi tegangan, akumulasi debu, dan keterbatasan alat ukur menjadi tantangan utama yang dihadapi selama penelitian.
- Implikasi Praktis
 1. Optimalisasi Desain Sistem: Sistem penyimpanan energi menggunakan baterai direkomendasikan untuk mengatasi fluktuasi daya dan memastikan pasokan energi yang stabil.
 2. Pemeliharaan Panel Surya: Pembersihan rutin panel surya dapat meningkatkan efisiensi konversi energi.
 3. Pengembangan Teknologi: Inovasi material panel surya yang lebih tahan terhadap suhu tinggi dapat meningkatkan kinerja sistem dalam kondisi lingkungan ekstrem.

Kesimpulan analitis ini memberikan landasan yang kuat untuk pengembangan sistem energi surya yang lebih efisien dan berkelanjutan, khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia. Dengan memahami kendala dan potensi yang ada, implementasi sistem energi terbarukan dapat ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil pengukuran kinerja harian panel surya monokristalin pada sistem tegangan DC untuk sistem off-grid, berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil:

1. Hubungan antara Suhu, Intensitas Cahaya, dan Tegangan Keluaran

Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu lingkungan seiring dengan peningkatan intensitas cahaya matahari berkontribusi terhadap peningkatan tegangan dan daya keluaran panel surya monokristalin. Tegangan maksimum sebesar 18,9 V dan daya maksimum 106,2 W tercapai pada pukul 12.00 WIB saat kondisi cuaca cerah dengan suhu lingkungan mencapai 34°C.

2. Kendala Teknis dan Faktor Pendukung

Efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu dan intensitas cahaya. Faktor lain seperti kebersihan permukaan panel dan sudut kemiringan juga memengaruhi hasil pengukuran. Panel surya bekerja dengan lebih efisien dalam kondisi yang terawat baik dan dengan paparan cahaya optimal.

3. Signifikansi Sistem Off-Grid

Penelitian ini memberikan gambaran komprehensif tentang kinerja panel surya di lingkungan tropis seperti Bandung. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk perencanaan dan optimasi instalasi sistem energi surya di wilayah serupa.

4. Peluang Pengembangan Sistem Off-grid

Berdasarkan hasil pengujian, sistem off-grid berbasis panel surya monokristalin di daerah tropis seperti Bandung dapat menjadi alternatif solusi energi listrik bagi daerah yang belum terjangkau listrik utama. Namun, diperlukan optimalisasi dalam sistem penyimpanan daya untuk menjaga kestabilan suplai listrik pada kondisi cuaca yang tidak menentu.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian, beberapa saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Optimasi Instalasi Panel Surya

Disarankan untuk memasang panel surya pada sudut kemiringan yang sesuai dengan posisi matahari untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi. Membersihkan panel secara rutin untuk menghindari penumpukan debu atau kotoran yang dapat mengurangi efisiensi penyerapan cahaya.

2. Perawatan dan Pemeliharaan Rutin

Akumulasi debu pada permukaan panel surya dapat mengurangi efisiensi konversi energi. Oleh karena itu, diperlukan pembersihan panel secara berkala untuk menjaga performa optimal.

3. Peningkatan Penggunaan Teknologi Baterai

Mengintegrasikan sistem penyimpanan energi seperti baterai dengan kapasitas dan efisiensi tinggi untuk memanfaatkan energi yang dihasilkan selama periode optimal, sehingga dapat digunakan pada waktu intensitas cahaya rendah.

4. Aplikasi pada Daerah Pedesaan

Studi lebih lanjut direkomendasikan untuk menyesuaikan hasil penelitian ini pada aplikasi nyata di daerah pedesaan yang membutuhkan solusi energi mandiri berbasis sistem off-grid.

5. Sosialisasi dan Edukasi

Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan melalui kampanye edukasi dan pelatihan instalasi panel surya, terutama di daerah terpencil yang memiliki akses listrik terbatas.

6. Pengembangan sistem monitoring cuaca: Untuk mengatasi pengaruh cuaca mendung terhadap output daya, dapat dikembangkan sistem monitoring cuaca dan pengendalian otomatis yang memungkinkan penggunaan sumber daya alternatif saat intensitas cahaya berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Angga Septian MN, Reza Nurdiyansah, Agus Setiawan, Sunardi, "Analysis of Solar Power Generation System Requirements Based on Economic Factors in Photovoltaic Specification Selection," REKAYASA Jurnal Penerapan Teknologi dan Pembelajaran, vol. 20, no. 1, pp. 29-41, 2022. DOI: 10.15294/rekayasa.v20i1.45841
- Armin Sofijan, "THE SOLAR RENEWABLE ENERGY SYSTEM STUDY WITH A CAPACITY OF 1300 W UTILITIZING POLYCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC," Journal of Mechanical Science and Engineering, vol. 6, no. 1, pp. 5-11, 2019. ISSN 2354-9467
- Aydın Güllü, Hilmi Kuşçu, dan Eray Yilmazlar, "Efficiency Analysis in Solar Panel Energy Systems: AC-DC Conversion Cost and DC-DC Energy Use," International Scientific Conference UNITECH 2020, November 20-21, Gabrovo, 2020
- Boudewijn B. Pannebakker, Arjen C. de Waal, and Wilfried G. J. H. M. van Sark, "Photovoltaics in the Shade: One Bypass Diode per Solar Cell Revisited," Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 25, no. 10, pp. 836-849, 2017. DOI: 10.1002/pip.2898
- Brainvendra Widi Dionova, Rudi Junjung P.S., Devan Junesco Vresdian, Legenda Prameswono Pratama, Muhammad Irsyad Abdullah, M. N. Mohammed, dan Sinka Wilyanti, "Evaluation of 300 WP Solar Photovoltaic Panel Performance for Electric Vehicle Charging Station," EKSERGI Jurnal Teknik Energi, vol. 19, no. 3, pp. 80-82, 2023. ISSN 0216-8685 (print); 2528-6889 (online)
- Deepak Verma, Savita Nema, A.M. Shandilya, Soubhagya K. Dash, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques: Recapitulation in Solar Photovoltaic Systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 54, pp. 1018-1034, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.068

- Emmanuel B. Ettah, Ukoette J. Ekah, Nsed Akonjom, "Performance Analysis of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in a Semi-arid Region," *IJESI: International Journal of Environmental Science and Innovation*, vol. 4, no. 2, pp. 43-49, 2021
- Erwan Pratama and Richa Watiasih, "Perbandingan Performa Solar Panel Monocrystalline dan Polycrystalline," *ELKHA*, vol. 12, no. 2, pp. 105-111, 2020. ISSN 1858-1463 (print), 2580-6807 (online)
- Hamzah Eteruddin, Atmam, David Setiawan, dan Yanuar Z. Arief, "Effects of the Temperature on the Output Voltage of Mono-Crystalline and Poly-Crystalline Solar Panels," *SINERGI*, vol. 24, no. 1, pp. 73-80, 2020. ISSN 1410-2331 (print); 2460-1217 (online). DOI: 10.22441/sinergi.2020.1.010
- Heri Suyanto, Nurmiati Pasra, Kartika Tresya Mauriraya, "Optimization Analysis of Output of Photovoltaic Types on the Effect of Solar Temperature and Radiation," *Proceedings of Institut Teknologi PLN*, vol. 3, no. 1, pp. 17-19, 2021
- Iwan Arisetyadhi, Tresna Dewi, Rd Kusumanto, "Experimental Study on The Effect of Arches Setting on Semi-Flexible Monocrystalline Solar Panels," *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, vol. 5, no. 2, pp. 111-118, 2020. DOI: 10.22219/kinetik.v5i2.1055
- Jessica R. Piper and Shanhui Fan, "Broadband Absorption Enhancement in Solar Cells with an Atomically Thin Active Layer," *ACS Photonics*, vol. 3, no. 5, pp. 571-577, 2016. DOI: 10.1021/acsp Photonics.5b00510
- Olamide O. Olusanya, Olusogo J. Adetunji, Charles D. Ajibola, Ayobami T. Olusesi, Bamidele M. Olukoya, dan Olayinka A. Jongbo, "A Computational Comparative Analysis of Solar Panel Performance under Outdoor and Indoor Environment," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 227-235, 2024. ISSN 2579-0617 (print); 2579-0625 (online). DOI: 10.4314/fuoyejet.v9i2.11
- Primasari C. Wardhani, Nur A. Fauziyah, Aulia D. Fatikasari, Bagas Aryaseta, Achmad D. Alfiansyah, "Daily Performance Profile Comparison Test of Monocrystalline

and Polycrystalline Solar Panels,” 3rd International Conference Eco-Innovation in Science, Engineering, and Technology, NST Proceedings, vol. 2022, pp. 131-137, 2022. DOI: 10.11594/nstp.2022.2721 Siddharth Buddhiraju dan Shanhui Fan, “Theory of Solar Cell Light Trapping through a Nonequilibrium Green’s Function Formulation of Maxwell’s Equations,” Physical Review B, vol. 96, no. 3, pp. 1-10, 2017. DOI: 10.1103/PhysRevB.96.035304

Tom Verschueren, Kevin Mets, Bart Meersman, Matthias Strobbe, Chris Develder, Lieven Vandeveldde, “Assessment and Mitigation of Voltage Violations by Solar Panels in a Residential Distribution Grid,” International Conference on Renewable Energy Systems, pp. 1-10, 2015

Wei Li, Yu Shi, Kaifeng Chen, Linxiao Zhu, Shanhui Fan, “A Comprehensive Photonic Approach for Solar Cell Cooling,” ACS Photonics, vol. 4, no. 774, pp. 774-782, 2017. DOI: 10.1021/acsp Photonics.7b00089

LAMPIRAN



UNIVERSITAS ISLAM NUSANTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Soekarno Hatta No. 530, Bandung 40286, Telp./Faks.+6222 7509656
Website:www.uninus.ac.id-email:info@uninus.ac.id

Nomor : 1065/UNINUS/FTEK/PK/2024
Lamp. : -
Hal : Surat Keputusan Tugas Akhir

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR

Dekan Fakultas Teknik UNINUS menyatakan bahwa :

Nama	: Herlan Syah
NIM	: 41037002211001
Program Studi	: Teknik Elektro
Pembimbing I	: Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.
Pembimbing II	: Dr. Iksal Rachman, M.T.

Diberi hak untuk mengerjakan Tugas Akhir terhitung tanggal 02 November 2024 s/d 02 Mei 2025 (1 Semester), dengan Judul :

"ANALISIS KINERJA HARIAN SEL SURYA MONOKRISTALIN DI SISTEM TEGANGAN DC UNTUK SISTEM OFF-GRID"

Maka dengan ini yang bersangkutan diberi hak untuk menggunakan fasilitas Laboratorium Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik UNINUS menurut ketentuan yang berlaku dan berkewajiban memenuhi ketentuan-ketentuan yang ada.

Apabila terdapat kekeliruan dikemudian hari dalam penetapan ini, maka akan diperbaiki sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Bandung
Pada Tanggal, 2 November 2024
Dekan,

Dr. Ricky Yoseptry, M.M.Pd.
FTEK UNINUS
NIDN. 0419097201

Gambar L.1 Gambar Surat Keputusan Tugas Akhir



UNIVERSITAS ISLAM NUSANTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Soekarno Hatta No. 530, Bandung 40286, Telp./Faks.+6222 7509656
Website:www.uninus.ac.id-email:info@uninus.ac.id

Bandung, 4 November 2024

Nomor : 977A/UNINUS/FTEK/PK/2024
Lampiran : -
Perihal : **Permohonan Penelitian Tugas Akhir**

Kepada Yth.
Universitas Islam Nusantara
Jl. Soekarno-Hatta No.530, Sekejati, Kec. Buahbatu,
Kota Bandung, Jawa Barat 40286

Assalamua'laikum Wr. Wb

Dengan ini kami mengajukan permohonan kepada Bapak/Ibu untuk dapat menerima mahasiswa kami :


No	Nama	NIM	Program Studi
1.	Decky Putra Kurnia	41037002211003	Teknik Elektro
2.	Herlan Syah	41037002211001	Teknik Elektro

Untuk Melakukan Penelitian Tugas Akhir di **Universitas Islam Nusantara**. Penelitian Tugas Akhir tersebut merupakan salah satu syarat untuk dapat lulus dan mendapat gelar sarjana di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara.

Sehubungan dengan hal tersebut, mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat menerima dan membimbing mahasiswa kami. Demikianlah permohonan ini kami sampaikan, atas perhatian Bapak/Ibu kami ucapkan Terima Kasih.

Wassalamua'laikum Wr. Wb

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ricky Yoseptry, M.M.Pd.
FTEK UNINUS
NIDN. 0419097201

Gambar L.2 Gambar Surat Permohonan Penelitian Tugas Akhir



UNIVERSITAS ISLAM NUSANTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Soekarno Hatta No. 530, Bandung 40286, Telp/Faks +6222 7509656
Website: www.uninus.ac.id-email: fakultasteknikuninus@gmail.com

FORMULIR BIMBINGAN TUGAS AKHIR MAHASISWA

Nama : **Herlan Syah**
 NIM : **41037002211001**
 Program Studi : Teknik Elektro
 Pembimbing I : Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.
 Pembimbing II : Dr. Iksal Rachman, M.T.
 Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja Harian Sel Surya Monokristalin di Sistem Tegangan DC Untuk Sistem *Off-Grid*

No.	Tanggal	Catatan Perbaikan	Hal/Bab	Paraf Pembimbing
1.	10/01/2024	perbaiki isi pendahuluan	BAB 1	<i>[Signature]</i>
2.	10/01/2024	penambahan kata sistem off-grid pada Abstrak		<i>[Signature]</i>
3.	10/01/2024	perbaiki judul penelitian		<i>[Signature]</i>
4.	10/01/2024	perbaiki flowchart	Bab 3	<i>[Signature]</i>
5.	10/01/2024	menambahkan simbol pada grafik suhu	Bab 4	<i>[Signature]</i>
6.	10/01/2024	perbaiki simbol yang digunakan pada grafik	Bab 4	<i>[Signature]</i>

Pembimbing I

Pembimbing II

Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.

Dr. Iksal Rachman, M.T.

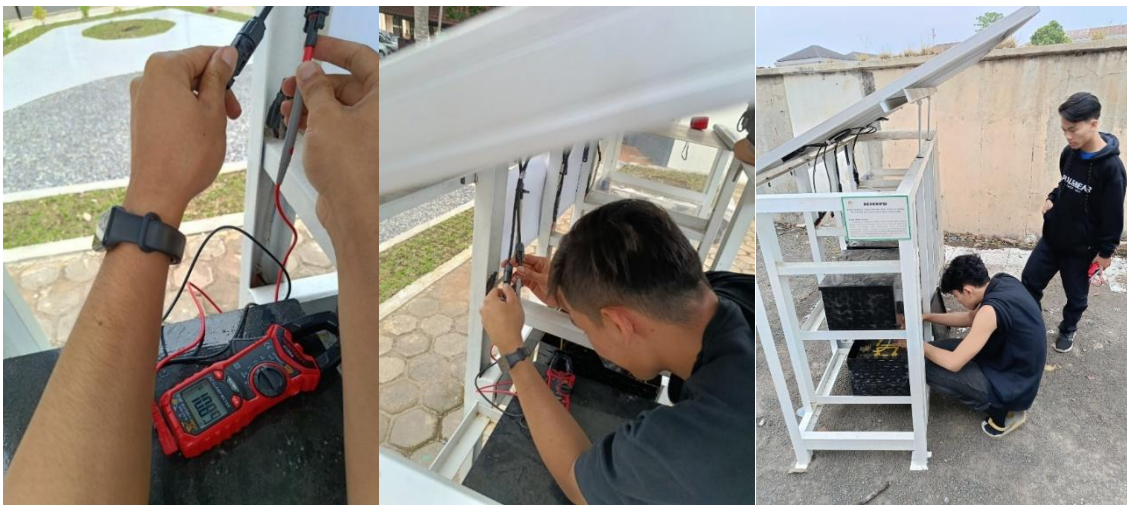
Gambar L.3 Gambar Surat Bimbingan



Gambar L.4 Gambar Dokumentasi Alat dan Instrumen Penelitian



Gambar L.5 Gambar Baterai Aki GS ASTRA NS70



Gambar L.6 Gambar Proses Pengambilan Data