TUGAS AKHIR

MONITORING PENYIMPANAN DAN PENYALURAN ENERGI LISTRIK PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) BERBASIS ANDROID

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Elektro Pada Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

MHD RAHUL
2007220060

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Mhd Rahul
NPM	: 2007220060
Program Studi	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: Monitoring Penyimpanan Dan Penyaluran Energi Listrik Pada PLTS Berbasis Android
Bidang ilmu	: Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Partaonan Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M. T

Dosen Pembanding II / Peguji

Assoc. Prof. Dr. M. Fitrah Zambak, S.T., M.Sc

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,

Dr. Ir. Hendrik Siregar Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Mhd Rahul
Tempat /Tanggal Lahir	: Medan, 17 Februari 2002
NPM	: 2007220060
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

"Monitoring Penyimpanan Dan Penyaluran Energi Listrik Pada PLTS Berbasis Android",

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2025

Saya yang menyatakan,

(MHD. RAHUL)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "MONITORING PENYIMPANAN DAN PENYALURAN ENERGI LISTRIK PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) BERBASIS ANDROID" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan tugas akhir ini.
2. Bapak Proft. Dr. Agussani, M.A.P., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Dr Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Beny Oktrialdy, S.T., M.T selaku Sekertaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Partaonan Harahap, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulisan dalam menyelesaikan Tuhas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teman – teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektro.

Medan, 12 Agustus 2025

Penulis

MHD RAHUL

ABSTRACT

Solar Power Plants (PLTS) represent one of the most environmentally friendly and sustainable renewable energy solutions, offering significant potential to support the transition toward national energy independence. However, their utilization faces several challenges, including fluctuations in solar radiation intensity, limitations in energy storage capacity, and the need for accurate monitoring systems to ensure optimal efficiency. This study aims to design and implement an Android-based monitoring system for energy storage and distribution in PLTS, supported by Internet of Things (IoT) technology. The system was developed using a 10 Wp solar panel, a 12 V battery, an MPPT solar charge controller, a voltage sensor, an INA219 current sensor, and an ESP32 microcontroller connected to an Android application via Wi-Fi. The research employed an experimental method by comparing sensor measurement results with standard measuring instruments such as a multimeter and clamp meter. Monitoring tests were conducted under various weather conditions (sunny, cloudy, overcast, rainy) to evaluate their effects on battery storage performance and load distribution. The experimental results showed that the average measurement error was below 2%, demonstrating high accuracy. The Android application successfully displayed voltage, current, power, and battery capacity in real-time, allowing users to easily monitor and manage system performance.This study confirms that IoT integration in PLTS not only improves monitoring effectiveness and system reliability but also contributes to enhancing energy efficiency, extending device lifespan, and strengthening energy security based on renewable resources in Indonesia.

***Keywords**: PLTS, Energy Monitoring, IoT, Android, ESP32, Energy Storage, Energy Distribution, Energy Security.*

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan, berkelanjutan, serta berpotensi besar mendukung transisi menuju kemandirian energi nasional. Namun, tantangan utama dalam pemanfaatannya adalah fluktuasi intensitas sinar matahari, keterbatasan kapasitas penyimpanan energi, serta kebutuhan pemantauan sistem yang akurat agar efisiensi operasional tetap terjaga. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring penyimpanan dan penyaluran energi listrik pada PLTS berbasis Android dengan dukungan teknologi Internet of Things (IoT). Sistem dibangun menggunakan panel surya 10 Wp, baterai 12 V, solar charge controller MPPT, sensor tegangan, sensor arus INA219, serta mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan aplikasi Android melalui jaringan Wi-Fi. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap alat ukur standar (multimeter dan clamp meter). Monitoring diuji pada berbagai kondisi cuaca (cerah, berawan, mendung, hujan) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penyimpanan daya baterai dan distribusi beban. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error pengukuran di bawah 2%, sehingga sistem memiliki akurasi tinggi. Aplikasi Android mampu menampilkan parameter tegangan, arus, daya, serta kapasitas baterai secara real-time sehingga pengguna dapat mengontrol kinerja sistem secara mudah dan efisien. Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi IoT pada PLTS tidak hanya meningkatkan efektivitas pemantauan dan keandalan sistem, tetapi juga menjadi langkah strategis dalam meningkatkan efisiensi energi, memperpanjang umur perangkat, serta memperkuat ketahanan energi berbasis sumber daya terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci: PLTS, Monitoring Energi, IoT, Android, ESP32, Penyimpanan Energi, Penyaluran Energi, Ketahanan Energi.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR... i
ABSTRAK... iii
DAFTAR ISI... iv
BAB 1 PENDAHULUAN.. 1
1.1 Latar Belakang… 1
1.2 Rumusan Masalah… 2
1.3 Tujuan Masalah… 2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian… 2
1.5 Manfaat Penelitian…. 2
1.6 Sistematika Penulisan… 2
BAB II INJAUAN PUSTAKA… 4
2.1 Tinjauan Pustaka yang Relevan…. 4
2.2 Energi Listrik…. 5
2.3 Daya Listrik… 6
2. 4.1 Jenis-Jenis PLTS... 8
2.4.2 Komponen Pada PLTS... 10
2.4 Sistem Penyimpanan Energi Listrik …. 13
2.5 Sistem Penyaluran Energi Listrik… 14
2.6 Sistem Monitoring Energi Listrik… 15
2.6.1 Defenisi dan Tujuan Monitoring… 15
2.7 Mikrokontroller dan Modul Pendukung… 16
2.7.1 Mikrokontroller ESP32… 16
2.7.2 Sensor Arus INA219… 17
2.7.3 Modul Relay… 19
2.7.4 Modul Stepdown Lm2596… 20
2.7.5 Panel Surya… 22
2.7.6 Baterai… 23
2.7.7 Solar Charge Controller (SCC)… 25
2.8 Perancangan Sistem… 26
2.9 Internet of Things (IoT)… 27
2.9.1 Defenisi dan Konsep Dasar… 27
2.9.2 Arsitektur Internet of Things… 27
2.9.3 Keunggulan IoT dalam Monitoring Energi… 28
2.9.4 Tantangan Implementasi IoT 28
2.9.5 IoT dalam Konteks PLTS Berbasis Android… 29
2.10 Energi Terbarukan dan Perannya dalam Keberlanjutan… 29
2.10.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia… 30
2.10.2 Peran Energi Terbarukan terhadap Lingkungan… 30
2.10.3 Peran Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan.. 30
2.10.4 Tantangan Pengembangan Energi Terbarukan… 31
2.10.5 Sinergi Energi Terbarukan dengan Teknologi Monitoring…..
2.11 Peran Android dalam Sistem Monitoring Energi… 32
2.11.1 Arsitektur Aplikasi Android untuk Monitoring Energi… 32
2.11.2 Kelebihan Android dalam Sistem Monitoring… 33

2.11.3 Fungsi Android dalam Monitoring PLTS… 34
2.11.4 Studi Implementasi Android dalam Monitoring Energi… 34
2.11.5 Tantangan Penggunaan Android dalam Monitoring…..... 35
2.11.6 Peran Android dalam Mendukung Energi Berkelanjutan... 36
2.12 Smart Grid dan Integrasi dengan PLTS… 36
2.12.1 Definisi Smart Grid…..... 36
2.12.2 Karakteristik Smart Grid…..... 36
2.12.3 Integrasi PLTS ke dalam Smart Grid…..... 37
2.12.4 Peran Android dalam Smart Grid Berbasis PLTS… 38
2.12.5 Manfaat Smart Grid dengan Integrasi PLTS… 38
2.12.6 Tantangan Integrasi PLTS ke Smart Grid…..... 39
2.12.7 Prospek Smart Grid di Masa Depan..... 39
2.13 Efisiensi Sistem PLTS… 40
2.13.1 Definisi Efisiensi dalam PLTS…..... 40
2.13.2 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi PLTS…. 40
2.13.3 Perhitungan Efisiensi PLTS…..... 41
2.13.4 Upaya Meningkatkan Efisiensi PLTS…..... 41
2.13.5 Efisiensi PLTS dalam Konteks Monitoring Berbasis Android...42
2.13.6 Tantangan Efisiensi PLTS di Indonesia…..... 42
2.13.7 Prospek Peningkatan Efisiensi PLTS..... 43
BAB III METODE PENELITIAN.... 44
1. Jenis Penelitian..... 44
2. Lokasi dan Waktu Penelitian... 44
3. Populasi dan Sampel Penelitian... 44
4. Teknik Pengumpulan Data..... 44
5. Alat dan Bahan Penelitian..... 44
6. Teknik Analisis Data..... 46
7. Desain Penelitian.... 46
8. Diagram alir penelitian 48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN... 50
1. Hasil Perancangan Sistem..... 50
2. Hasil Implementasi... 50
3. Hasil Pengujian Akurasi Sensor..... 50
4. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi... 52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN... 59
1. KESIMPULAN..... 59
2. SARAN… 60
DAFTAR PUSTAKA... 61

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya adalah sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediannya dan energi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan diubah menjadi energi listrik, dengan menggunakan sel surya. Mengetahui bahwa panas matahari bisa dimanfaatkan sebagai sumber tenaga baru, belakangan ini penelitian yang terkait dengan pemanfaatan sinar matahari atau lebih dikenal dengan *solar cell* telah banyak dilakukan , dan hasil yang dicapai tidak begitu mengecewakan karena terbukti *solar cell* dapat digunakan sebagai tenaga alternatif pengganti bahan bakar [1].

Fotovoltaik merupakan suatu teknologi konversi yang mengubah cahaya (foto) menjadi listrik (volt) secara langsung (direct conversion). Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotolistrik (photovoltaic effect). Efek sel photovoltaik terjadi akibat lepasnya elektron yang disebabkan adanya cahaya yang mengenai logam. Logam-logam yang tergolong golongan 1 pada sistem periodik unsur-unsur seperti Lithium, Natrium, Kalium, dan Cessium sangat mudah melepaskan elektron valensinya. Selain karena reaksi redoks, elektron valensi logam-logam tersebut juga mudah lepas oleh adanya cahaya yang mengenai permukaan logam tersebut. Diantara logam-logam diatas Cessium adalah logam yang paling mudah melepaskan elektronnya [2].

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan sebuah teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi matahari menjadi tenaga listrik melalui penggunaan sel surya. Teknologi ini menawarkan potensi besar dalam menyediakan sumber listrik terutama di daerah yang terisolasi atau sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN [3].

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis merancang sebuah simulasi *Internet of Things (IoT)* untuk mempermudah penggunaan photovoltaic termasuk monitoring penyimpanan dan penyaluran daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS yang terintegrasi dengan android dan dapat diaplikasikan pada smartphone.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang aplikasi berbasis android yang memantau penyimpanan penyaluran energi PLTS secara real- time?
2. Bagaimana efektivitas sistem monitoring ini dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi distribusi energi listrik dari PLTS?

1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan aplikasi berbasis Android yang dapat melakukan pemantauan penyimpanan dan penyaluran energi listrik hasil PLTS.
2. Menganalisis efektivitas sistem monitoring dalam meminimalkan kesalahan dan meningkatkan efisiensi operasional di PLTS.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini lebih terarah dan tanpa mengurangi maksud dan tujuannya, maka di tetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan berfokus pada monitoring penyimpanan dan penyaluran energi listrik pada PLTS berbasis android.
2. Penelitian ini akan mengunakan metode pengambilan data pengukuran dan memahami monitoring penyimpanan dan penyaluran energi listrik pada PLTS berbasis android.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat membantu dalam menyediakan solusi teknologi untuk membantu mengelola distribusi energy secara lebih efektif. Dengan pemahaman yang baik tentang hubungan ini, dapat dicapai efisiensi energy yang lebih baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang permasalahan yang menjadi topik pembahasan, rumusan masalah yang diangkat berdasarkan latar belakang yang didapatkan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori – teori dasar yang menunjang pembahasan permsalahan dan teori pendukung lainnya yang relevan berdasarkan referensi yang berkaitan dengan pembahasan ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

BAB 3 Metode Penelitian Bab ini menjelasakan tentang letak lokasi penelitian, fungus – fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan – tahapan yang dilakukan dalan pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah – langkah pengujian.

BAB 4 ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini, menjelaskan tentang analisishasil penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam pnelitian ini.

BAB 5 PENUTUP

BAB 5 Penutup Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran – saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka yang Relevan

Setiap tahun kebutuhan akan tenaga listrik terus bertambah seiring dengan jumlah penduduk yang meningkat. Kebutuhan daya listrik yang meningkat sejalan dengan keandalan pendistribusian daya listrik. Melalui kebutuhan energi listrik yang tinggi dalam suatu wilayah, dapat menggambarkan bahwa tingkat kesejahteraan masyarakat wilayah tersebut. Dengan semakin tingginya konsumsi energi listrik suatu wilayah artinya semakin tinggi pula standar kehidupan masyarakat. Hal ini diikuti pula oleh adanya sikap kritis masyarakat dalam sesuatu yang terjadi yang mempengaruhi kehidupannya, salah satunya termasuk pelayanan tenaga listrik [4]. Dalam pengoperasian sistem jaringan distribusi, kegiatan didalamnya cukup kompleks dalam pelaksanaannya. Tujuan kegiatan tersebut untuk menjamin keberlanjutan penyaluran tenaga listrik kepada konsumen dengan mutu dan kehandalan yang baik dan aman [5].

Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban, dan biasanya jarak antara pusat pembangkit ke pusat-pusat beban cukup jauh. Jauhnya jarak antara pembangkit dengan beban, akan menimbulkan penurunan kualitas tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi [6]. Untuk mengurangi penurunan kualitas tegangan dan rugi-rugi daya di sepanjang saluran transmisi, maka dalam penyaluran energi listrik digunakan tegangan. Penggunaan tegangan tinggi pada saluran transmisi mempunyai nilai ekonomis, karena untuk penyaluran daya yang sama arus yang dialirkan menjadi berkurang [7]. Kemudian penggunaan bahan tembaga pada konduktor akan berkurang karena luas penampang konduktor yang digunakan berkurang. Pada saluran transmisi tenaga listrik terdapat jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu jenis kawat penghantar, luas penampang kawat penghantar, panjang kawat penghantar, resistansi, induktansi, dan kapasitansi kawat penghantar [8].

2.2 Energi Listrik

Energi listrik memiliki peran yang sangat besar dalam kehidupan sehari-hari manusia. Salah satu manfaat utamanya adalah sebagai sumber penerangan, memungkinkan kita untuk beraktivitas kapan saja tanpa harus bergantung pada cahaya matahari [9].

Selain itu, listrik juga mendukung perkembangan teknologi komunikasi, seperti telepon, internet, dan perangkat elektronik lainnya, yang memudahkan kita untuk terhubung dengan orang lain di berbagai belahan dunia dengan cepat dan efisien.

Tidak hanya itu, energi listrik juga membantu meningkatkan efisiensi dalam berbagai bidang, baik di industri maupun rumah tangga. Dalam dunia industri, listrik digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi, sehingga proses pembuatan barang menjadi lebih cepat dan lebih banyak. Sementara itu, di rumah tangga, listrik memudahkan pekerjaan sehari-hari dengan adanya berbagai peralatan elektronik seperti kulkas, mesin cuci, dan kompor listrik, yang membuat kehidupan lebih nyaman dan praktis [10].

Di samping itu, listrik juga memiliki peran penting dalam bidang transportasi dan kesehatan. Kendaraan listrik kini semakin populer sebagai solusi ramah lingkungan yang mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dalam dunia medis, listrik menjadi sumber daya utama untuk berbagai alat kesehatan, seperti mesin rontgen, ventilator, dan perangkat bedah lainnya yang membantu tenaga medis dalam memberikan pelayanan yang lebih baik. Dengan segala manfaatnya, energi listrik tidak hanya meningkatkan kualitas hidup manusia, tetapi juga mendukung kemajuan teknologi dan keberlanjutan lingkungan [11].

Lebih jauh, energi listrik juga menjadi faktor pendorong dalam inovasi energi terbarukan. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Angin, dan Pembangkit Listrik Tenaga Air merupakan wujud transformasi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Energi terbarukan yang dikonversi menjadi energi listrik diyakini mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menjawab tantangan keterbatasan sumber daya fosil.

Energi listrik bisa dikonversikan menjadi energi lain untuk menunjung aktivitas

manuasia seperti menggerakan motor, lampu penerangan, dan juga untuk memanaskan suatu benda. Energi yang dihasilkan dapat berasal dari berbagai sumber seperti air, minyak, batu bara, panas bumi dan panas matahari. Listrik merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting. Sejak listrik ditemukan, kehidupan manusia mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam berbagai bidang.

Energi listrik adalah daya listrik yang terpakai selama waktu tertentu. Besarnya energi listrik yang digunakan pada peralatan listrik sebanding dengan hasil kali antara energi yang digunakan alat listrik (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. Bila daya diukur dalam watt jam, maka:

$P = W / t$

Dengan:

P = daya (watt)

t = Waktu (jam)

W = Energi (watt jam)

Watt jam (*watthour* = Wh) merupakan energi yang dikeluarkan jika 1 watt digunakan selama 1 jam.

2.3 Daya Listrik

Daya dalam sistem tenaga listrik merupakan jumlah energi listrik yang digunakan dalam suatu usaha, dan daya tersebut merupakan nilai suatu perkalian antara tegangan dengan arus yang mengalir. Secara sistematis sesuai dengan persamaan berikut :

$P = V \times I$

Dimana :

P = Daya (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik. PLTS bekerja dengan menggunakan panel surya atau fotovoltaik (PV) yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik. Energi yang dihasilkan ini kemudian dapat

langsung digunakan atau disimpan dalam baterai untuk dipakai saat matahari tidak bersinar. Karena sumber energinya berasal dari matahari yang merupakan sumber daya terbarukan, PLTS menjadi salah satu solusi terbaik untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca [12].

Keunggulan utama dari PLTS adalah sifatnya yang ramah lingkungan dan biaya operasional yang relatif rendah setelah pemasangan awal. Tidak seperti pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil yang menghasilkan polusi udara dan gas karbon, PLTS tidak menghasilkan emisi berbahaya selama proses produksi listrik.

Selain itu, panel surya memiliki umur pakai yang cukup panjang, bisa mencapai 20–30 tahun, sehingga menjadi investasi jangka panjang yang menguntungkan. Namun, salah satu tantangan utama dalam penggunaan PLTS adalah ketergantungannya pada intensitas cahaya matahari, yang bisa bervariasi tergantung pada lokasi, cuaca, dan waktu [13].

Untuk mengatasi tantangan tersebut, PLTS sering dikombinasikan dengan sistem penyimpanan energi seperti baterai agar listrik tetap tersedia saat malam hari atau ketika cuaca mendung. Baterai yang digunakan umumnya adalah jenis lithium-ion atau lead-acid, yang mampu menyimpan energi dalam jumlah besar dan melepaskannya saat dibutuhkan [14]. Selain itu, dalam skala yang lebih besar, PLTS dapat terhubung dengan jaringan listrik utama (grid) untuk memasok listrik ke masyarakat atau bahkan menjual kelebihan daya yang dihasilkan. Sistem ini dikenal sebagai PLTS on-grid, sementara sistem yang berdiri sendiri tanpa terhubung ke jaringan listrik disebut PLTS off-grid [15].

Saat ini, PLTS semakin banyak digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga industri. Banyak rumah tangga mulai memasang panel surya untuk mengurangi tagihan listrik dan meningkatkan kemandirian energi. Di sektor industri, perusahaan besar juga mulai beralih ke PLTS sebagai langkah untuk mengurangi dampak lingkungan dan biaya operasional jangka panjang. Dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, efisiensi panel surya terus meningkat, dan biaya pemasangannya semakin terjangkau, menjadikan PLTS sebagai salah satu solusi energi masa depan yang berkelanjutan [16].

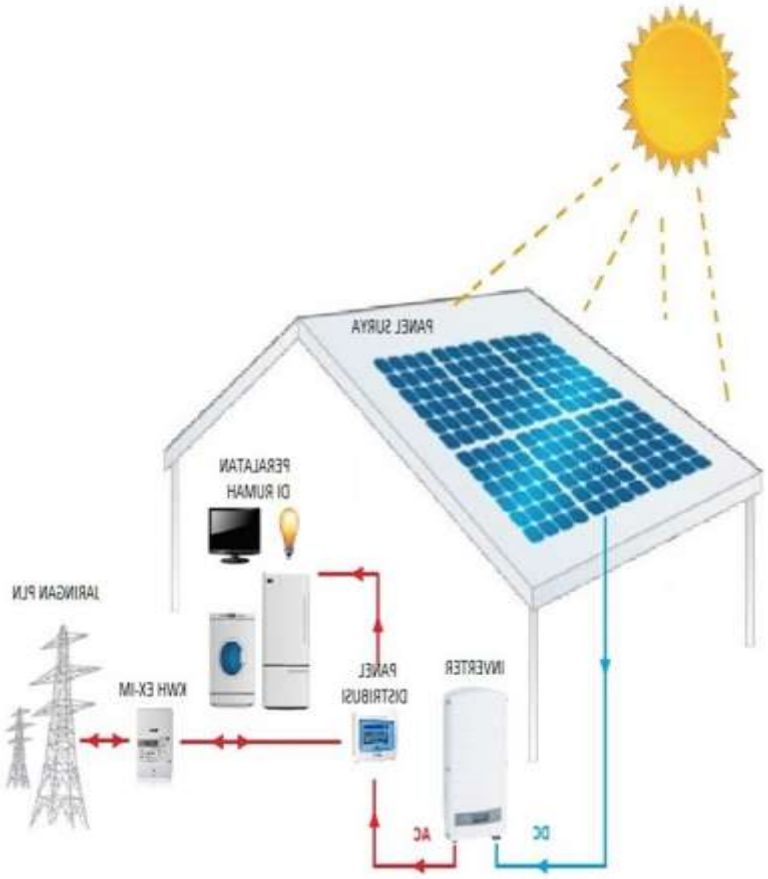
2. 4.1 Jenis-Jenis PLTS

1. PLTS *On-Grid*

PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected* PV Sistem adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatkan energi matahari melalui modul surya atau photovoltaic modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin.

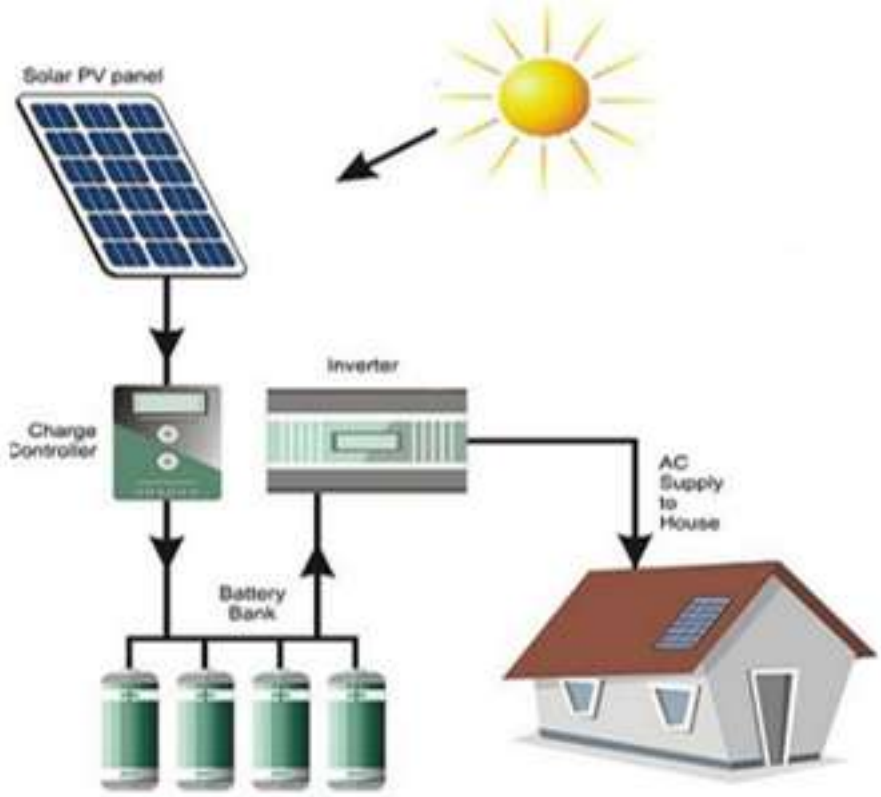
Sistem PLTS On Grid dengan Back Up Battery adalah sistem PLTS solusi energi hijau untuk penduduk perkotaan baik perumahan, perkantoran atau fasilitas publik. Sistem ini menggunakan modul surya (Photovoltaic Module) sebagai penghasil listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik PLN dan sekaligus turut andil dalam penyelamatan lingkungan dengan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi listrik.

Sistem PLTS On Grid ini juga berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan. Keuntungan dari sistem ini adalah menghasilkan energi listrik mandiri dan mengurangi tagihan listrik PLN, mereduksi penggunaan bahan bakar fosil sehingga mengurangi polusi atau emisi bahan bakar, bersih, tidak berisik, menggunakan energy gratis dari matahari sepanjang tahun, menyediakan cadangan listrik untuk beban beban penting apabila terjadi gangguan PLN pada periode tertentu dan tidak memerlukan biaya operasional yang besar serta pengoperasian dan perawatan system yang sangat mudah.



2. PLTS *Off-Grid*

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (Off-Grid) merupakan system pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic. Untuk dapat menghasilkan energi listrik system PLTS Off-Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.



2.4.2 Komponen Pada PLTS

Adapun komponen penyusun PLTS off grid adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya

Komponen utama dalam sistem PLTS adalah panel surya yang merupakan rakitan dari beberapa sel surya. Sel surya tersusun dari dua lapisan semi konduktor dengan muatan berbeda. Lapisan atas sel surya itu bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Sel-sel itu dipasang dengan posisi sejajar dan seri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumunium ataupun baja anti karat yang dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sel diberi sambungan listrik untuk dapat disambungkan dengan sel lain.

2. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT adalah algoritma yang termasuk dalam pengontrol muatan yang digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari modul PV dalam kondisi tertentu.

Metode MPPT yang umum digunakan antara lain metode aproksimasi gradien, metode jaringan syaraf tiruan, logika fuzzy, optimasi segerombolan partikel, optimasi koloni semut, dan metode perturb and observe (PO). Metode ini bekerja dengan mengukur tegangan dan arus, kemudian mengubah siklus kerja pada konverter arus searah (DC)–DC untuk memperoleh daya maksimum. Tegangan keluaran arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter jembatan penuh fase tunggal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rasio daya maksimum tanpa MPPT adalah 79,41%, sedangkan dengan MPPT, daya maksimum adalah 94,51%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin memiliki daya rata-rata yang lebih tinggi ketika menggunakan MPPT.

Oleh karena itu, digunakan algoritma pengendali logika fuzzy (FLC) untuk mengatur biaya sekaligus mempercepat respons pensaklaran kendali PWM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan teknologi MPPT berbasis FLC, efisiensi daya keluaran meningkat dari 45,5% menjadi 87%. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan kinerja generator pada PLTB agar daya yang dihasilkan selalu maksimal. Teknik yang digunakan adalah strategi pengendalian menggunakan pengendali MPPT.

3. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi mengubah arus DC menjadi arus AC. Arus yang dihasilkan panel surya adalah DC. Oleh karena itu, pada sistem PLTS dibutuhkan inverter untuk mengubah energi agar dapat menyuplai kebutuhan perangkat AC. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban dan juga apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang terhubung ke jaringan listrik atau sistem yang berdiri sendiri.

4. Baterai

Berdasarkan aplikasinya maka baterai dibedakan untuk otomotif, *marine* dan *deep cycle*. *Deep cycle* itu meliputi baterai yang biasa (*photovoltaic*) digunakan dan untuk *backup* PV *power*. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi tipe basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Mat*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dengan VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*). Baterai kering *deep cycle* juga dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil. Penurunan kemampuannya tidak lebih dari 1-2% per bulan tanpa perlu *discharge.*

Cara menghitung kebutuhan kapasitas baterai :

$$\text{Kapasitas baterai (Wh)} = \frac{\text{Kebutuhan energi (Wh)}}{\text{DoD x Efisiensi Baterai}}$$

$$\text{Kapasitas baterai (Ah)} = \frac{\text{Kebutuhan energi (Wh)}}{\text{Tegangan Baterai (Vdc)}}$$

Baterai yang digunakan didesain dengan Depth of Discharge (DoD) atau kedalaman pengosongan baterai. Depth of Discharge (DoD) atau kedalaman pengosongan baterai adalah persentase kapasitas baterai yang telah digunakan. DoD merupakan faktor penting dalam pemilihan baterai karena dapat memengaruhi masa pakai dan kinerjanya.

2.5 Sistem Penyimpanan Energi Listrik

Sistem penyimpanan energi listrik menjadi bagian penting dalam pemanfaatan energi, terutama untuk memastikan ketersediaan listrik yang stabil dan andal [17]. Dalam skala besar, energi listrik biasanya disimpan menggunakan teknologi seperti *Pumped Hydro Storage* (PHS), baterai skala grid, dan sistem flywheel. Salah satu metode yang paling umum adalah PHS, yang bekerja dengan memanfaatkan kelebihan energi listrik untuk memompa air ke reservoir yang lebih tinggi, lalu melepaskannya kembali ke turbin ketika listrik dibutuhkan. Selain itu, baterai lithium-ion skala besar mulai banyak digunakan dalam jaringan listrik untuk menyimpan energi dari sumber terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) [18].

Dalam skala yang lebih kecil, sistem penyimpanan energi banyak diaplikasikan dalam perangkat elektronik dan kendaraan listrik menggunakan berbagai jenis baterai, seperti lithium-ion, lead-acid, dan nickel-metal hydride (NiMH). Baterai ini berfungsi sebagai penyimpanan daya cadangan yang memungkinkan perangkat tetap beroperasi meskipun tidak terhubung langsung dengan sumber listrik [19]. Salah satu aplikasi penting adalah pada kendaraan listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber daya utama, memungkinkan kendaraan untuk beroperasi tanpa emisi gas buang. Selain itu, baterai juga digunakan dalam sistem rumah tangga sebagai penyimpanan energi dari PLTS, memastikan pasokan listrik tetap tersedia pada malam hari atau saat sinar matahari tidak mencukupi [20].

Sistem penyimpanan energi listrik pada PLTS berperan penting dalam menjaga kontinuitas suplai daya. Karena panel surya hanya dapat menghasilkan listrik saat ada sinar matahari, baterai penyimpanan digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan pada siang hari agar dapat digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung. Teknologi yang umum digunakan dalam penyimpanan daya PLTS adalah baterai lithium-ion dan lead-acid, yang menawarkan efisiensi tinggi dan umur pakai yang cukup panjang. Dengan adanya sistem penyimpanan energi yang baik, PLTS dapat menjadi sumber listrik yang lebih andal dan berkelanjutan, mendukung transisi menuju energi bersih dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [21].

2.6 Sistem Penyaluran Energi Listrik

Penyaluran energi listrik merupakan proses mengalirkan listrik dari pembangkit hingga ke pengguna akhir, seperti rumah tangga, industri, dan fasilitas umum. Proses ini melibatkan beberapa tahap utama, yaitu pembangkitan, transmisi, distribusi, dan konsumsi listrik. Energi listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Setelah listrik dihasilkan, tegangan dinaikkan menggunakan transformator agar dapat disalurkan melalui jaringan transmisi dengan kehilangan daya seminimal mungkin [22].

Pada tahap transmisi, listrik dialirkan melalui jaringan tegangan tinggi yang terdiri dari menara transmisi dan saluran udara atau kabel bawah tanah. Tegangan tinggi digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya saat listrik dikirimkan dalam jarak jauh. Komponen utama dalam sistem transmisi meliputi gardu induk, transformator tegangan tinggi, dan konduktor listrik. Gardu induk berfungsi sebagai titik distribusi listrik dari pembangkit ke berbagai jalur transmisi. Sistem transmisi ini menghubungkan pusat pembangkit listrik dengan berbagai wilayah, sehingga listrik dapat menjangkau daerah yang jauh dari lokasi pembangkit [23].

Setelah melalui transmisi jarak jauh, listrik masuk ke tahap distribusi, di mana tegangan diturunkan menggunakan transformator distribusi sebelum dialirkan ke pengguna akhir. Pada tahap ini, listrik disalurkan melalui jaringan distribusi menengah dan rendah menggunakan tiang listrik atau kabel bawah tanah. Gardu

distribusi berperan dalam menyalurkan listrik ke berbagai pelanggan, baik rumah tangga, perkantoran, maupun industri. Di daerah perkotaan, jaringan distribusi umumnya menggunakan kabel bawah tanah untuk meningkatkan keamanan dan estetika lingkungan, sedangkan di daerah pedesaan lebih banyak menggunakan jaringan kabel udara karena lebih ekonomis [24].

Pada skala terkecil, listrik akhirnya sampai ke rumah-rumah atau gedung melalui instalasi listrik yang terdiri dari panel listrik, meteran listrik, dan kabel distribusi dalam bangunan. Meteran listrik berfungsi untuk mengukur jumlah listrik yang digunakan oleh pelanggan dan menentukan tagihan listrik. Selain itu, terdapat berbagai perlengkapan keamanan seperti sekering dan MCB (Miniature Circuit Breaker) yang melindungi sistem dari gangguan seperti korsleting atau beban berlebih. Dengan sistem penyaluran listrik yang baik, listrik dapat didistribusikan secara aman dan efisien untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sehari-hari [25].

2.7 Sistem Monitoring Energi Listrik

2.7.1 Defenisi dan Tujuan Monitoring

Monitoring energi listrik merupakan proses sistematis untuk mengukur, merekam, dan menganalisis parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya guna memastikan kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) secara optimal. Tujuan utama dari kegiatan monitoring adalah mengidentifikasi kondisi operasional PLTS, mencegah potensi kerusakan komponen, serta mendukung efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan [26].

Arsitektur umum sistem monitoring PLTS dibangun atas tiga lapisan utama: pengukuran, pemrosesan, dan penyajian data. Sensor-sensor seperti sensor tegangan, arus, dan intensitas cahaya, terhubung ke mikrokontroler atau Programmable Logic Controller (PLC) yang mengolah data secara real-time. Misalnya, sistem berbasis PLC dan IoT menghasilkan deviasi pengukuran di bawah 3 %, menunjukkan akurasi tinggi dalam pemantauan skala kecil hingga menengah [27]. Data yang dikumpulkan dikirimkan melalui berbagai protokol komunikasi, seperti Wi-Fi (ESP8266/ESP32) atau modul Bluetooth, kemudian disajikan dalam platform lokal atau berbasis web/cloud. Dalam studi, sistem monitoring PLTS berbasis IoT memungkinkan transfer data ke cloud secara real-time untuk

pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Sementara itu, modul ESP32 memungkinkan desain SCADA lokal yang terhubung ke platform Thinger.IO, mengelola data secara efisien untuk sistem PV canggih.

Dalam skala lebih luas, monitoring PLTS dapat diintegrasikan dalam sistem Smart Grid melalui platform IoT. Hal ini memungkinkan pengelolaan energi yang cerdas, real-time, dan berkelanjutan [28]. Misalnya, studi literatur memperlihatkan bagaimana IoT dapat mendukung manajemen permintaan dan prediksi performa sistem PV melalui konektivitas cloud dan smart energy management. Selain itu, pengembangan sistem monitoring terintegrasi memungkinkan implementasi manajemen energi di microgrid maupun skala industri dengan efisiensi dan keamanan yang lebih tinggi.

Implementasi monitoring secara kontinu membantu operator atau pengguna dalam mengambil keputusan berbasis data. Data historis kinerja PLTS memungkinkan identifikasi pola efisiensi, penjadwalan perawatan yang lebih baik, serta mitigasi dini terhadap kegagalan sistem. Dalam kerangka microgrid dan DER (Distributed Energy Resources), monitoring ini berperan penting dalam memelihara stabilitas jaringan serta adaptasi sistem terhadap variabilitas energi terbarukan.

2.8 Mikrokontroller dan Modul Pendukung

2.8.1 Mikrokontroller ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dilengkapi prosesor dual-core Xtensa LX6, konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, serta GPIO yang dapat diprogram untuk berbagai aplikasi [29].

Kelebihan utama ESP32 dibandingkan generasi sebelumnya seperti ESP8266 adalah performa yang lebih tinggi, efisiensi daya yang lebih baik, dan ketersediaan fitur tambahan seperti ADC (Analog to Digital Converter) 12-bit, DAC (Digital to Analog Converter), serta dukungan komunikasi I²C, SPI, dan UART. Dalam sistem monitoring PLTS, ESP32 berperan sebagai pusat pengendalian yang mengolah data dari sensor, melakukan perhitungan parameter kelistrikan, dan mengirimkan hasilnya ke aplikasi Android melalui Wi-Fi atau Bluetooth [30].

2.8.2 Sensor Arus INA219

INA219 adalah sensor arus berbasis *high-side current shunt monitor* yang dikembangkan oleh Texas Instruments. Sensor ini mampu mengukur arus hingga ±3,2 A dan tegangan hingga 26 V, dengan resolusi tinggi melalui komunikasi digital I²C. Kelebihan INA219 adalah kemampuannya mengukur tegangan bus, tegangan shunt, serta menghitung daya secara langsung di dalam chip, sehingga memudahkan integrasi dalam sistem monitoring energi listrik. Dalam aplikasi PLTS, INA219 digunakan untuk mengukur arus yang mengalir dari panel surya ke baterai atau dari baterai ke beban, serta memantau tegangan sistem untuk perhitungan daya secara real-time [31].

Spesifikasi utama INA219:

1. **Tegangan input (Bus Voltage):** hingga **26 V**.
2. **Pengukuran arus:** hingga ±3,2 A (tergantung nilai resistor shunt yang digunakan).
3. **Resolusi:** 12-bit ADC untuk akurasi tinggi.
4. **Komunikasi:** digital melalui protokol **I²C**, sehingga mudah diintegrasikan

dengan mikrokontroler (Arduino, ESP32, Raspberry Pi, dll.).

5. **Fitur tambahan:** mampu menghitung daya (Power = Voltage × Current) langsung di dalam chip.

Kelebihan INA219:

1. **High-Side Sensing** → memungkinkan pengukuran arus di sisi positif (high-side) sehingga lebih aman dan akurat dibandingkan low-side sensing.
2. **Multi-parameter measurement** → mampu mengukur:
   1. Tegangan shunt (tegangan jatuh pada resistor shunt).
   2. Tegangan bus (tegangan sistem).
   3. Arus.
   4. Daya (hasil perhitungan langsung di dalam chip).
3. **Integrasi mudah** → karena menggunakan komunikasi digital I^2C, hanya membutuhkan dua pin (SDA dan SCL).
4. **Akurasi tinggi** → cocok untuk aplikasi monitoring energi listrik secara real-time.

Peran INA219 dalam sistem PLTS:

1. **Mengukur arus dari panel surya ke baterai** → untuk mengetahui besarnya arus pengisian.
2. **Mengukur arus dari baterai ke beban** → untuk memantau konsumsi daya.
3. **Memantau tegangan sistem** → baik tegangan panel maupun tegangan baterai.
4. **Perhitungan daya real-time** → membantu sistem monitoring berbasis Android menampilkan data energi yang lebih informatif (daya masuk, daya keluar, serta status baterai).Dengan demikian, penggunaan **INA219** sangat penting pada **sistem monitoring PLTS berbasis Android**, karena memungkinkan pengguna mengetahui kondisi sistem secara detail, real-time, dan akurat.

2.8.3 Modul Relay

Relay adalah Saklar (Switch) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen Electromechanical (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (Coil) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/Switch). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (low power) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan Relay yang menggunakan Elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakan Armature Relay (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A.

Dengan demikian, relay memungkinkan arus kecil mengendalikan arus yang jauh lebih besar. Hal ini sangat berguna dalam berbagai aplikasi kelistrikan, baik tegangan rendah maupun tinggi.

Bagian utama Relay:

1. **Elektromagnet (Coil)** → berupa lilitan kawat yang menghasilkan medan magnet saat dialiri arus listrik.
2. **Armature (Tuas Mekanis)** → bagian logam yang digerakkan oleh medan magnet.
3. **Kontak Saklar (Switch Contact)** → terdiri dari **COM (Common)**, **NO (Normally Open)**, dan **NC (Normally Closed)** yang akan berubah posisi saat relay aktif.
    1. **COM**: titik umum yang dihubungkan ke sumber/beban.
    2. **NO (Normally Open)**: posisi saklar terbuka saat relay tidak aktif, akan terhubung ke COM saat relay aktif.
    3. **NC (Normally Closed)**: posisi saklar tertutup saat relay tidak aktif, akan terputus saat relay aktif.

Cara kerja Relay:

1. Saat **coil tidak mendapat arus**, armature dalam posisi normal (COM terhubung ke NC).
2. Saat **coil dialiri arus kecil (misalnya 5V 50 mA)**, medan magnet terbentuk dan menarik armature sehingga COM berpindah terhubung ke NO.
3. Dengan mekanisme ini, relay dapat mengendalikan rangkaian dengan tegangan dan arus yang lebih tinggi (misalnya 220V 2A) hanya dengan sinyal listrik kecil.

Contoh penerapan:

1. Mengendalikan **lampu AC 220V** dengan sinyal mikrokontroler 5V.
2. Digunakan dalam sistem **otomatisasi** (misalnya PLTS berbasis Android, smart home, dan kontrol beban listrik).
3. Melindungi rangkaian elektronik dengan memisahkan sinyal tegangan rendah dan tegangan tinggi.

2.8.4 Modul Stepdown Lm2596

Modul stepdown lm2596 adalah modul yang memiliki IC LM2596 sebagai komponen utamanya. IC LM2596 adalah sirkuit terpadu / integrated circuit yang berfungsi sebagai Step-Down DC converter dengan current rating 3A. Terdapat beberapa varian dari IC seri ini yang dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu versi adjustable yang tegangan keluarannya dapat diatur, dan versi fixed voltage output yang tegangan keluarannya sudah tetap. Memiliki Potensio yang bisa

di atur tegangan maksimal 12V. **Modul Step-Down LM2596** adalah modul konverter DC-DC yang menggunakan **IC LM2596** sebagai komponen utama. IC ini berfungsi sebagai **step-down (buck) converter**, yaitu rangkaian yang menurunkan tegangan input DC yang lebih tinggi menjadi tegangan output DC yang lebih rendah, dengan efisiensi yang cukup tinggi dibandingkan regulator linier.

Beberapa karakteristik utama **IC LM2596**:

1. **Tegangan input**: umumnya dapat bekerja pada rentang **4V hingga 40V DC**.
2. **Tegangan output**:
    1. **Versi Adjustable** → tegangan keluaran dapat diatur menggunakan **potensiometer** (biasanya mulai dari 1,25V hingga sekitar 35V, tergantung desain modul).
    2. **Versi Fixed Voltage Output** → memiliki tegangan keluaran yang sudah ditentukan, misalnya **3,3V, 5V, atau 12V**.
3. **Arus keluaran (Current Rating)**: hingga **3A** (dengan pendinginan yang memadai).
4. **Efisiensi konversi**: bisa mencapai **80–90%**, jauh lebih hemat dibandingkan regulator linier.
5. **Frekuensi switching**: sekitar **150 kHz**, sehingga memungkinkan penggunaan komponen eksternal yang lebih kecil.

Keunggulan modul ini adalah praktis, murah, dan banyak digunakan dalam aplikasi elektronik, seperti:

1. Menurunkan tegangan dari panel surya sebelum masuk ke beban tertentu.
2. Catu daya mikrokontroler (Arduino, ESP32, dsb).
3. Power supply untuk perangkat IoT.
4. Pengisian baterai dengan kontrol tambahan.

Pada modul LM2596 tipe adjustable, **potensiometer** digunakan untuk mengatur besar tegangan output. Misalnya, jika tegangan input 24V, maka output dapat disesuaikan sesuai kebutuhan, seperti 12V, 9V, atau 5V. Namun pada umumnya, **tegangan maksimal yang sering digunakan adalah 12V** agar stabil dan sesuai dengan kebutuhan banyak perangkat elektronik.

2.8.5 Panel Surya

Panel surya atau modul fotovoltaik adalah perangkat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Kinerja panel surya dipengaruhi oleh faktor seperti intensitas cahaya, suhu, sudut kemiringan, dan kondisi permukaan panel. Pada sistem ini, panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama yang menyuplai daya untuk pengisian baterai melalui solar charge controller, sekaligus memasok energi langsung ke beban jika kondisi mendukung [32].

Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya:

1. **Intensitas cahaya matahari** → Semakin tinggi intensitas cahaya, semakin besar energi listrik yang dihasilkan.
2. **Suhu** → Peningkatan suhu panel biasanya menurunkan efisiensi konversi energi.
3. **Sudut kemiringan (tilt angle)** → Penentuan sudut pemasangan panel berpengaruh pada seberapa optimal panel menangkap radiasi matahari sepanjang hari.
4. **Kondisi permukaan panel** → Debu, kotoran, atau bayangan dapat mengurangi daya keluaran panel.

Pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), **panel surya berperan sebagai sumber energi utama** yang menyuplai daya listrik untuk:

1. **Mengisi baterai** melalui **Solar Charge Controller (SCC)** sehingga energi dapat disimpan dan digunakan saat malam hari atau kondisi cuaca tidak

mendukung.

2. **Menyuplai energi langsung ke beban** (misalnya lampu, kipas DC, atau perangkat elektronik lainnya) apabila energi yang dihasilkan cukup besar dan sesuai dengan kebutuhan beban.

   Dengan kata lain, panel surya tidak hanya menjadi sumber energi utama, tetapi juga menentukan seberapa stabil dan efisien sistem PLTS dapat beroperasi. Oleh karena itu, pemilihan jenis panel, kapasitas, dan penempatannya harus direncanakan secara optimal agar energi yang dihasilkan maksimal.

2.8.6 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen terpenting juga dalam PLTS off grid. Karena PLTS off grid ini tidak terhubung ke PLN, maka baterai lah yang akan digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul surya disiang hari. Baterai yang umum digunakan pada sistem PLTS off grid adalah baterai lead acid. Baterai lead acid banyak digunakan karena baterai tersebut tahan lama, mudah dalam penggunaannya, lebih aman, dan harganya relatif lebih murah dari pada baterai yang lainya.

Jenis baterai yang umum digunakan pada **sistem PLTS off-grid** adalah **baterai Lead Acid (aki)**.

Alasan penggunaan baterai Lead Acid dalam PLTS:

1. **Tahan lama** → Baterai lead acid memiliki daya tahan yang cukup baik jika

digunakan dengan prosedur pengisian dan pengosongan yang tepat.

2. **Mudah digunakan** → Tidak memerlukan perawatan yang rumit, hanya perlu pengecekan berkala pada tegangan dan kondisi fisik baterai.
3. **Lebih aman** → Relatif lebih stabil dibanding beberapa jenis baterai lain, sehingga resiko kegagalan lebih kecil.
4. **Harga terjangkau** → Biaya investasi awal lebih murah dibandingkan baterai jenis **Lithium-ion**, sehingga lebih ekonomis untuk sistem PLTS skala kecil hingga menengah.

Jenis-jenis baterai Lead Acid yang biasa digunakan dalam PLTS:

1. **Flooded Lead Acid (FLA)** → tipe basah yang membutuhkan perawatan rutin (pengecekan air aki).
2. **Sealed Lead Acid (SLA)** → tipe tertutup yang lebih praktis dan bebas perawatan.
3. **Absorbent Glass Mat (AGM)** → memiliki kinerja lebih baik, umur panjang, dan lebih tahan terhadap siklus charge/discharge.
4. **Gel Battery** → menggunakan elektrolit berbentuk gel, lebih awet, cocok untuk aplikasi siklus dalam (deep cycle).

Peran baterai dalam PLTS:

1. **Menyimpan energi** yang dihasilkan modul surya pada siang hari.
2. **Menyuplai energi** saat malam hari atau ketika daya keluaran panel surya tidak mencukupi.
3. **Menjaga kestabilan sistem** sehingga beban tetap mendapat suplai listrik yang andal dan kontinu.

2.8.7 *Solar Charge Controller* (SCC)

Solar charge controller adalah perangkat elektronik yang mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai untuk mencegah pengisian berlebih (*overcharging*) atau pengosongan berlebih (*overdischarging*). Terdapat dua jenis SCC yang umum digunakan, yaitu tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), dengan MPPT memiliki efisiensi konversi daya yang lebih tinggi [33].

Secara umum, terdapat dua jenis **Solar Charge Controller (SCC)** yang banyak digunakan, yaitu:

1. **PWM (Pulse Width Modulation)**
   - PWM bekerja dengan cara menurunkan tegangan keluaran panel surya agar sesuai dengan tegangan baterai.
   - Metode ini relatif sederhana dan biaya lebih murah.
   - Namun, efisiensinya tidak terlalu tinggi karena sebagian energi dari panel tidak dimanfaatkan secara maksimal.
   - Cocok digunakan untuk sistem skala kecil dengan kebutuhan daya rendah hingga menengah.
2. **MPPT (Maximum Power Point Tracking)**
   - MPPT bekerja dengan algoritma cerdas yang secara terus-menerus melacak **titik daya maksimum (Maximum Power Point)** pada panel surya.
   - Dengan cara ini, SCC tipe MPPT dapat mengoptimalkan perbedaan tegangan antara panel surya dan baterai sehingga energi yang disalurkan lebih besar.
   - Efisiensi konversi daya bisa mencapai **95–98%**, jauh lebih tinggi dibandingkan tipe PWM.
   - MPPT sangat ideal digunakan untuk sistem PLTS berskala menengah hingga besar, terutama ketika tegangan panel lebih tinggi dibandingkan

tegangan baterai.

Dengan demikian, pemilihan jenis Solar Charge Controller harus disesuaikan dengan kebutuhan daya, kapasitas sistem, serta anggaran biaya. Pada sistem PLTS berbasis monitoring Android, penggunaan SCC tipe MPPT umumnya lebih direkomendasikan karena mampu memberikan data yang lebih stabil dan pemanfaatan energi yang lebih optimal.

2.9 Perancangan Sistem

Sebuah sistem yang sederhana terdiri atas input, proses dan output dimana data diinputkan melalui proses masukan kemudian diproses menjadi sebuah nilai atau informasi dimana outputnya dapat berupa tampilan di monitor atau hasil report berupa hardcopy.

Adapun gambar dari sebuah sistem sederhana dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 2.1 Model Sistem Sederhana

Ada beberapa siklus dalam perancangan sebuah sistem informasi yang berlangsung secara berulang-ulang, yaitu :

1. Analisis sistem menganalisis dan mendefenisikan masalah dan kemungkinan solusinya untuk sistem informasi dan proses organisasi.
2. Perancangan sistem merancang input, output, struktur file, program, prosedur, perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk mendukung sistem informasi.
3. Operasi dan perawatan mendukung operasi sistem informasi dan melakukan perubahan atau tambahan fasilitas.
4. Evaluasi sistem melakukan evaluasi pada sistem sehingga dapat diketahui kekurangan yang msih terdapat dan melakukan perubahan atau tambahan fasilitas.

2.10 Internet of Things (IoT)

2.10.1 Defenisi dan Konsep Dasar

Internet of Things (IoT) adalah paradigma teknologi yang menghubungkan

berbagai perangkat fisik (*things*) ke jaringan internet sehingga dapat mengumpulkan, mengirimkan, dan menerima data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung. Perangkat-perangkat ini biasanya dilengkapi sensor, aktuator, prosesor, dan modul komunikasi sehingga mampu berinteraksi satu sama lain maupun dengan sistem eksternal [34]. Konsep IoT pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999, yang menekankan potensi internet untuk terhubung dengan objek fisik dan bukan hanya komputer.

IoT bekerja dengan memanfaatkan *unique identifier* seperti alamat IP untuk tiap perangkat, memungkinkan pengelolaan, pemantauan, dan pengendalian secara jarak jauh [35].

Penerapan IoT kini meluas pada berbagai bidang, seperti *smart home*, transportasi, industri, kesehatan, pertanian, dan energi terbarukan. Dalam konteks PLTS, IoT digunakan untuk memantau kinerja pembangkit, status baterai, dan distribusi energi secara real-time [36].

2.10.2 Arsitektur Internet of Things

Arsitektur IoT umumnya dibagi menjadi tiga lapisan utama, yaitu :

1. Perception Layer (Lapisan Persepsi)

Lapisan ini meliputi semua perangkat fisik yang berfungsi untuk mengidentifikasi, mendeteksi, dan mengumpulkan data dari lingkungan. Contohnya: sensor arus (INA219), sensor tegangan, modul GPS, dan aktuator. Dalam PLTS, lapisan ini bertugas mengukur parameter kelistrikan dan kondisi operasional sistem [37].

2. Network Layer (Lapisan Jaringan)

Berfungsi sebagai media transmisi data dari perangkat IoT ke server atau cloud platform. Protokol komunikasi yang digunakan dapat berupa Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, atau jaringan seluler. Untuk proyek PLTS berbasis ESP32, biasanya digunakan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan data secara real-time ke aplikasi Android atau server web [38].

3. Application Layer (Lapisan Aplikasi)

Lapisan ini menampilkan data dalam bentuk yang mudah dipahami pengguna, seperti dashboard web atau aplikasi mobile. Pada PLTS, lapisan ini dapat

menampilkan grafik tegangan, arus, daya, dan kapasitas baterai secara langsung, serta memberikan peringatan (*alert*) bila terjadi kondisi abnormal [39].

2.10.3 Protokol Komunikasi *Internet of Things (IoT)*

Keberhasilan IoT sangat bergantung pada protokol komunikasi yang efisien. Beberapa protokol yang umum digunakan antara lain:

1. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – ringan, cocok untuk perangkat berdaya rendah, menggunakan mekanisme *publish/subscribe*.
2. HTTP/HTTPS – protokol berbasis web yang banyak digunakan namun lebih berat dibanding MQTT.
3. CoAP (Constrained Application Protocol) – dirancang untuk perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya.

Dalam monitoring PLTS, MQTT sering digunakan karena kemampuannya mentransmisikan data secara cepat dengan beban jaringan yang rendah.

2.10.4 Keunggulan IoT dalam Monitoring Energi

Penggunaan IoT pada monitoring energi listrik, khususnya PLTS, menawarkan sejumlah keunggulan:

1. Pemantauan Real-time – Data kondisi panel surya, baterai, dan beban dapat diakses kapan saja.
2. Akses Jarak Jauh – Memungkinkan pengelolaan sistem dari lokasi berbeda melalui internet.
3. Pengambilan Keputusan Berbasis Data – Data historis dapat dianalisis untuk optimasi sistem dan perencanaan perawatan.
4. Otomatisasi Proses – Sistem dapat diatur untuk merespons kondisi tertentu secara otomatis, misalnya memutus beban jika kapasitas baterai rendah.

2.10.5 Tantangan Implementasi IoT

Meskipun menawarkan banyak manfaat, IoT juga memiliki tantangan teknis:

1. Keamanan Data – Rentan terhadap penyadapan (*eavesdropping*) dan

manipulasi data jika tidak dilengkapi enkripsi.

2. Konsumsi Daya – Perangkat IoT memerlukan manajemen daya yang efisien, terutama pada sistem berbasis energi terbarukan.
3. Konektivitas – Stabilitas jaringan menjadi faktor penentu keberhasilan pengiriman data real-time.

Upaya mitigasi dilakukan dengan menerapkan protokol keamanan seperti SSL/TLS, autentikasi pengguna, dan manajemen akses berbasis peran (*role-based access control*).

2.10.6 IoT dalam Konteks PLTS Berbasis Android

Pada proyek PLTS berbasis Android, IoT berperan menghubungkan perangkat monitoring seperti ESP32 dan sensor INA219 ke aplikasi mobile. Data dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke server atau langsung ke smartphone, lalu ditampilkan dalam bentuk grafik atau indikator. Hal ini mempermudah pengguna memantau performa PLTS secara intuitif, mengambil keputusan cepat saat terjadi masalah, serta memaksimalkan efisiensi penyaluran energi. Dengan kemampuannya yang fleksibel, IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga dapat dikembangkan menjadi sistem smart energy management yang terintegrasi dengan smart grid, sehingga mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang berkelanjutan.

2.10 Energi Terbarukan dan Perannya dalam Keberlanjutan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami dalam skala waktu relatif singkat, sehingga tidak akan habis apabila dimanfaatkan secara bijak. Sumber energi ini meliputi sinar matahari, angin, aliran air, panas bumi, dan biomassa. Berbeda dengan energi fosil yang terbatas dan menghasilkan emisi karbon tinggi, energi terbarukan bersifat ramah lingkungan serta mendukung upaya mitigasi perubahan iklim global [39].

Dalam beberapa dekade terakhir, tren penggunaan energi terbarukan mengalami peningkatan signifikan. Hal ini didorong oleh semakin tingginya permintaan energi dunia, keterbatasan cadangan energi fosil, serta kesadaran masyarakat terhadap pentingnya keberlanjutan lingkungan. International Energy

Agency (IEA) memproyeksikan bahwa pada tahun 2050, energi terbarukan akan mendominasi bauran energi global dengan kontribusi lebih dari 50%, di mana energi surya akan menjadi salah satu pilar utama.

2.10.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar karena letak geografisnya yang strategis di daerah tropis serta memiliki garis khatulistiwa. Potensi energi surya diperkirakan mencapai lebih dari 200.000 MWp, potensi energi air sebesar 75.000 MW, potensi panas bumi sekitar 29.000 MW, serta potensi bioenergi sekitar 32.000 MW [41]. Namun, pemanfaatannya masih jauh dari optimal.

Energi surya menjadi salah satu sumber daya terbarukan yang paling prospektif di Indonesia. Dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar 4,8 kWh/m²/hari, PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dapat dikembangkan hampir di seluruh wilayah Indonesia. Potensi ini sejalan dengan kebutuhan elektrifikasi nasional, terutama di daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN.

2.10.2 Peran Energi Terbarukan terhadap Lingkungan

Energi terbarukan berperan penting dalam mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan energi fosil. Sektor energi menyumbang lebih dari 30% emisi gas rumah kaca global, terutama dari pembakaran batu bara, minyak, dan gas bumi. Dengan mengganti sumber energi fosil menggunakan energi terbarukan, emisi karbon dapat ditekan secara signifikan.

Selain itu, energi terbarukan juga mengurangi polusi udara yang berdampak buruk terhadap kesehatan masyarakat. Sebagai contoh, PLTS tidak menghasilkan emisi berbahaya dalam operasinya, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTU berbahan bakar batubara.

2.10.3 Peran Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan

Pembangunan berkelanjutan menekankan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Energi terbarukan menjadi elemen penting dalam

mendukung ketiga aspek tersebut:

1. Aspek Ekonomi – Energi terbarukan membuka peluang investasi baru, menciptakan lapangan kerja, dan mengurangi ketergantungan impor energi fosil.
2. Aspek Sosial – Pemanfaatan energi terbarukan meningkatkan akses listrik di daerah pedesaan, meningkatkan kualitas hidup masyarakat, dan mendukung aktivitas pendidikan maupun kesehatan.
3. Aspek Lingkungan – Energi terbarukan membantu mengurangi emisi karbon, melestarikan ekosistem, dan mendorong penggunaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

   Di Indonesia, pengembangan energi terbarukan juga mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya tujuan ke-7 yaitu "Energi Bersih dan Terjangkau".

2.10.4 Tantangan Pengembangan Energi Terbarukan

Meskipun memiliki banyak potensi, pemanfaatan energi terbarukan masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain:

1. Biaya Investasi Awal – Pemasangan sistem PLTS, turbin angin, maupun infrastruktur energi terbarukan lainnya memerlukan modal awal yang relatif tinggi.
2. Ketidakstabilan Produksi Energi – Sumber energi terbarukan seperti surya dan angin bergantung pada kondisi cuaca dan waktu, sehingga fluktuatif dan membutuhkan sistem penyimpanan energi.
3. Keterbatasan Teknologi – Tingkat efisiensi panel surya maupun baterai penyimpanan masih menjadi kendala dalam pemanfaatan energi terbarukan secara optimal.
4. Regulasi dan Kebijakan – Diperlukan dukungan regulasi yang jelas dan konsisten dari pemerintah untuk mendorong investasi dan percepatan pembangunan energi terbarukan.

2.10.5 Sinergi Energi Terbarukan dengan Teknologi Monitoring

Untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan, terutama PLTS, diperlukan teknologi monitoring yang efektif. Monitoring memungkinkan pengguna mengetahui kondisi sistem secara real-time, termasuk parameter

tegangan, arus, daya, dan kapasitas baterai. Integrasi energi terbarukan dengan Internet of Things (IoT) dan aplikasi Android dapat meningkatkan efisiensi, memudahkan pengelolaan, serta memberikan data historis untuk perencanaan energi yang lebih baik.

Sebagai contoh, sistem PLTS rumah tangga yang dilengkapi monitoring berbasis Android memungkinkan pengguna memantau konsumsi energi, mengatur beban, serta mengantisipasi kerusakan komponen lebih dini. Dengan demikian, teknologi monitoring berperan penting dalam memastikan keberlanjutan pemanfaatan energi terbarukan.

2.11 Peran Android dalam Sistem Monitoring Energi

Android merupakan sistem operasi berbasis Linux yang dirancang untuk perangkat bergerak seperti smartphone dan tablet. Sejak diperkenalkan oleh Google pada tahun 2008, Android telah menjadi sistem operasi mobile paling dominan di dunia dengan pangsa pasar lebih dari 70%. Kelebihan utama Android adalah sifatnya yang open-source, sehingga pengembang memiliki fleksibilitas tinggi dalam mengembangkan aplikasi sesuai kebutuhan, termasuk dalam bidang monitoring energi listrik.

Dalam konteks monitoring energi pada PLTS, Android berfungsi sebagai media antarmuka (interface) yang menyajikan data hasil pengukuran secara real-time kepada pengguna. Data tersebut dapat berupa tegangan, arus, daya, kapasitas baterai, hingga grafik konsumsi energi harian. Dengan tampilan yang interaktif, pengguna dapat dengan mudah memahami kondisi sistem tanpa harus memiliki latar belakang teknis yang mendalam.

2.11.1 Arsitektur Aplikasi Android untuk Monitoring Energi

Aplikasi Android dalam monitoring energi biasanya tersusun atas tiga lapisan utama:

1. **Lapisan Akuisisi Data (Data Acquisition Layer)**

Lapisan ini mencakup perangkat keras seperti sensor tegangan, sensor arus (misalnya INA219), serta mikrokontroler (ESP32). Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses dan dikirimkan ke smartphone melalui koneksi Wi-Fi, Bluetooth, atau protokol komunikasi IoT seperti MQTT.

2. Lapisan Pemrosesan Data (Data Processing Layer)

Pada lapisan ini, data yang diterima akan diolah untuk menghasilkan informasi yang lebih bermakna. Contohnya, aplikasi Android dapat menghitung total konsumsi energi dalam kWh, menampilkan kapasitas baterai dalam bentuk persentase, atau memberikan peringatan ketika daya baterai berada di bawah ambang batas tertentu.

3. Lapisan Penyajian Data (Data Presentation Layer)

Lapisan ini merupakan antarmuka pengguna (user interface) yang menyajikan data dalam bentuk visualisasi seperti grafik, indikator, dan notifikasi. Tampilan aplikasi dirancang agar sederhana, informatif, dan mudah dipahami, sehingga pengguna dapat segera mengambil keputusan berdasarkan informasi yang disajikan.

2.11.2 Kelebihan Android dalam Sistem Monitoring

Penggunaan Android dalam sistem monitoring energi memiliki sejumlah keunggulan:

1. Portabilitas Tinggi

Hampir semua masyarakat memiliki smartphone berbasis Android. Hal ini memudahkan akses data monitoring tanpa memerlukan perangkat tambahan.

2. Konektivitas Luas

Android mendukung berbagai teknologi komunikasi seperti Wi-Fi, Bluetooth, NFC, hingga jaringan seluler 4G/5G. Kelebihan ini memungkinkan aplikasi monitoring bekerja dalam berbagai kondisi jaringan.

3. User Interface yang Interaktif

Android menyediakan beragam pustaka (*library*) untuk membangun antarmuka grafis yang menarik, termasuk grafik dinamis, indikator real-time, dan dashboard monitoring energi.

4. Integrasi dengan Cloud Computing

Aplikasi Android dapat terhubung dengan server cloud, sehingga data monitoring tidak hanya dapat diakses secara lokal, tetapi juga secara global melalui internet.

5. Biaya Pengembangan Relatif Rendah

Karena Android bersifat open-source, biaya pengembangan aplikasi relatif murah dibandingkan dengan sistem tertutup. Hal ini mendukung riset dan inovasi di bidang energi terbarukan[40].

2.11.3 Fungsi Android dalam Monitoring PLTS

Dalam monitoring PLTS berbasis Android, terdapat beberapa fungsi penting yang dapat dioptimalkan, yaitu:

1. Pemantauan Real-Time

Aplikasi Android dapat menampilkan tegangan, arus, dan daya secara langsung saat sistem PLTS beroperasi.

2. Pencatatan Data Historis

Data yang dikumpulkan dapat disimpan dalam database lokal maupun cloud. Hal ini memungkinkan analisis performa PLTS dalam jangka panjang.

3. Notifikasi dan Alarm

Android dapat diprogram untuk memberikan peringatan otomatis ketika terjadi kondisi tidak normal, seperti baterai hampir habis, tegangan panel surya turun drastis, atau adanya beban berlebih.

4. Kontrol Beban Jarak Jauh

Beberapa aplikasi Android dilengkapi fitur untuk mengendalikan relay yang terhubung ke beban, sehingga pengguna dapat mematikan atau menyalakan perangkat listrik dari jarak jauh.

5. Analisis dan Optimasi Energi

Dengan bantuan algoritma tertentu, Android dapat menampilkan rekomendasi penggunaan energi, misalnya mengatur kapan beban berat dioperasikan agar efisiensi energi lebih optimal.

2.11.4 Studi Implementasi Android dalam Monitoring Energi

Beberapa penelitian telah mengembangkan aplikasi Android untuk monitoring energi, di antaranya:

1. Studi oleh Putra (2020) – mengembangkan aplikasi Android untuk monitoring sistem PLTS off-grid dengan ESP8266. Sistem ini berhasil menampilkan data tegangan panel surya, arus baterai, dan konsumsi beban dengan tingkat akurasi lebih dari 95%.
2. Penelitian oleh Dewi (2021) – membuat aplikasi Android dengan integrasi cloud Firebase untuk monitoring PLTS skala rumah tangga. Hasilnya, pengguna dapat memantau konsumsi energi meskipun berada di luar lokasi.
3. Riset terbaru oleh Nugroho (2023) – menggabungkan Android dengan IoT berbasis MQTT untuk monitoring PLTS skala kecil. Aplikasi mampu memberikan notifikasi otomatis ketika kapasitas baterai turun di bawah 20%, sehingga meningkatkan keandalan sistem.

2.11.5 Tantangan Penggunaan Android dalam Monitoring

Meskipun memiliki banyak kelebihan, implementasi Android dalam monitoring energi juga menghadapi beberapa tantangan:

1. Ketergantungan pada Jaringan

Aplikasi Android berbasis IoT sangat bergantung pada koneksi internet. Apabila jaringan tidak stabil, maka data monitoring bisa tertunda atau tidak terkirim.

2. Konsumsi Daya Smartphone

Aplikasi monitoring real-time biasanya berjalan di latar belakang dan dapat mengonsumsi daya baterai smartphone lebih cepat.

3. Keamanan Data

Pengiriman data melalui jaringan internet rentan terhadap serangan siber. Oleh karena itu, perlu adanya mekanisme enkripsi data dan autentikasi pengguna.

4. Kompatibilitas Perangkat

Tidak semua versi Android mendukung fitur terbaru. Hal ini dapat menjadi kendala ketika aplikasi monitoring dikembangkan dengan fitur canggih namun tidak kompatibel dengan smartphone lama.

2.11.6 Peran Android dalam Mendukung Energi Berkelanjutan

Android tidak hanya berfungsi sebagai media monitoring, tetapi juga dapat

menjadi alat pengelolaan energi (energy management tools)**.** Dengan integrasi algoritma optimasi, aplikasi Android dapat membantu pengguna mengatur beban listrik berdasarkan data produksi dan penyimpanan energi. Misalnya, aplikasi dapat menyarankan agar mesin cuci digunakan pada siang hari ketika produksi energi dari panel surya sedang tinggi.

Selain itu, Android dapat terintegrasi dengan sistem smart home untuk mengatur peralatan listrik secara otomatis. Dengan demikian, Android berkontribusi pada efisiensi energi, pengurangan biaya listrik, serta pencapaian target energi berkelanjutan[41].

2.12 Smart Grid dan Integrasi dengan PLTS

2.12.1 Definisi Smart Grid

Smart grid merupakan konsep modernisasi jaringan listrik yang memanfaatkan teknologi informasi, komunikasi, dan otomatisasi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, serta keberlanjutan sistem tenaga listrik[42]. Berbeda dengan jaringan listrik konvensional yang bersifat satu arah (dari pembangkit ke konsumen), smart grid memiliki kemampuan dua arah, sehingga konsumen dapat sekaligus menjadi produsen energi (*prosumer*).

Dalam sistem smart grid, energi listrik tidak hanya berasal dari pembangkit skala besar (PLN), tetapi juga dapat bersumber dari energi terbarukan seperti panel surya (PLTS), turbin angin, dan biomassa. Teknologi smart grid memungkinkan integrasi berbagai sumber energi tersebut ke dalam jaringan listrik dengan tetap menjaga kualitas tegangan, kestabilan frekuensi, dan kontinuitas suplai[43].

2.12.2 Karakteristik Smart Grid

Beberapa karakteristik utama smart grid antara lain:

1. **Integrasi Energi Terbarukan**

   Smart grid mampu mengakomodasi sumber energi yang bersifat intermiten, seperti PLTS yang hanya menghasilkan listrik saat ada cahaya matahari.

2. **Komunikasi Dua Arah**

   Konsumen dapat berinteraksi langsung dengan sistem, misalnya melalui *smart meter* atau aplikasi monitoring energi berbasis Android.

3. **Otomatisasi Sistem**

   Smart grid memiliki sistem otomatis untuk mendeteksi gangguan, melakukan penyesuaian suplai, hingga mengalihkan distribusi energi.

4. **Manajemen Beban**

   Sistem ini dapat mengatur kapan beban tertentu dijalankan agar konsumsi energi lebih efisien.

5. **Efisiensi dan Keandalan Tinggi**

   Dengan teknologi sensor dan komunikasi, smart grid dapat meminimalkan rugi-rugi energi sekaligus meningkatkan keandalan jaringan [56].

2.12.3 Integrasi PLTS ke dalam Smart Grid

Integrasi PLTS ke smart grid dilakukan melalui beberapa tahap teknis:

1. **Koneksi Panel Surya ke Inverter**

   Panel surya menghasilkan arus searah (DC) yang kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) melalui inverter grid-tied.

2. **Pengaturan Sinkronisasi**

   Inverter dilengkapi sistem sinkronisasi agar tegangan dan frekuensi listrik yang dihasilkan sesuai dengan jaringan PLN.

3. **Smart Meter dan Monitoring**

   Penggunaan smart meter memungkinkan pencatatan energi listrik yang dihasilkan dan dikonsumsi. Data ini dapat diakses melalui aplikasi Android sehingga pengguna mengetahui jumlah energi yang diekspor atau diimpor dari jaringan.

4. **Manajemen Energi (Energy Management System)**

   Sistem manajemen energi mengatur kapan energi dari PLTS digunakan untuk beban lokal, disimpan ke baterai, atau disalurkan kembali ke jaringan PLN.

5. **Proteksi dan Stabilitas**
   Integrasi PLTS juga dilengkapi proteksi seperti anti-islanding untuk mencegah gangguan jaringan [57].

2.12.4 Peran Android dalam Smart Grid Berbasis PLTS

Android menjadi salah satu komponen penting dalam pengembangan smart grid karena berfungsi sebagai **antarmuka pengguna**. Beberapa peran Android antara lain:

1. **Pemantauan Produksi dan Konsumsi Energi**
   Aplikasi Android dapat menampilkan data produksi panel surya, kapasitas baterai, serta konsumsi beban rumah tangga.
2. **Kontrol Beban Otomatis**
   Android dapat digunakan untuk mengatur beban tertentu agar menyala atau mati secara otomatis sesuai ketersediaan energi.
3. **Notifikasi Status Jaringan**
   Jika terjadi gangguan atau ketidakseimbangan daya, aplikasi Android dapat memberikan peringatan langsung kepada pengguna.
4. **Integrasi dengan IoT dan Cloud**
   Data dari PLTS dapat dikirim ke server cloud melalui Android, sehingga monitoring dapat dilakukan kapan saja dan di mana saja.
5. **Partisipasi Konsumen sebagai Prosumer**
   Melalui aplikasi Android, konsumen dapat mengetahui berapa energi yang diekspor ke PLN dan berapa yang diimpor. Hal ini mendukung konsep *smart prosumer* [58].

2.12.5 Manfaat Smart Grid dengan Integrasi PLTS

Integrasi PLTS ke dalam smart grid memberikan berbagai manfaat, di antaranya:

1. Efisiensi Energi – Energi dari panel surya dapat langsung dimanfaatkan, sehingga mengurangi ketergantungan pada listrik PLN.
2. Pengurangan Emisi Karbon – Pemanfaatan energi terbarukan membantu menurunkan emisi gas rumah kaca.
3. Peningkatan Keandalan Sistem – Smart grid dapat mendistribusikan energi secara lebih merata dan cepat memulihkan jaringan jika terjadi gangguan.
4. Transparansi Konsumsi Energi – Konsumen dapat mengetahui pola konsumsi energi mereka secara detail.
5. Ekonomi Energi – Dengan skema net-metering, konsumen dapat menjual kelebihan energi ke PLN sehingga menambah keuntungan finansial [59].

2.12.6 Tantangan Integrasi PLTS ke Smart Grid

Meskipun menjanjikan, integrasi PLTS dalam smart grid menghadapi beberapa tantangan, yaitu:

1. Variabilitas Energi Surya – Produksi energi sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang tidak selalu stabil.
2. Investasi Awal yang Tinggi – Instalasi PLTS dan smart meter memerlukan biaya yang relatif mahal.
3. Isu Keamanan Siber – Sistem berbasis IoT dan Android rawan terhadap serangan siber, sehingga perlu perlindungan enkripsi data.
4. Kesiapan Infrastruktur – Tidak semua daerah memiliki infrastruktur listrik dan jaringan komunikasi yang memadai untuk mendukung smart grid.
5. Regulasi dan Standarisasi – Diperlukan kebijakan pemerintah yang jelas mengenai integrasi energi terbarukan ke jaringan PLN [60].

2.12.7 Prospek Smart Grid di Masa Depan

Smart grid dengan integrasi PLTS memiliki prospek cerah di masa depan. Seiring dengan peningkatan penetrasi energi terbarukan, smart grid akan menjadi

tulang punggung sistem kelistrikan modern. Aplikasi Android sebagai media monitoring akan semakin canggih, didukung teknologi Artificial Intelligence (AI) dan Big Data untuk memprediksi konsumsi energi dan produksi PLTS secara lebih akurat.

Bahkan, tren smart home juga akan terhubung langsung dengan smart grid. Misalnya, lemari es, AC, atau mesin cuci akan otomatis menyesuaikan waktu operasionalnya berdasarkan data produksi energi dari PLTS. Dengan demikian, smart grid berkontribusi besar dalam mewujudkan sistem energi yang lebih hijau, efisien, dan berkelanjutan [61].

2.13 Efisiensi Sistem PLTS

2.13.1 Definisi Efisiensi dalam PLTS

Efisiensi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah perbandingan antara energi listrik yang berhasil dihasilkan oleh panel surya dengan energi radiasi matahari yang diterimanya pada permukaan modul [62]. Semakin tinggi efisiensi, semakin besar proporsi energi matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik yang bermanfaat.

Efisiensi PLTS tidak hanya ditentukan oleh kualitas panel surya, tetapi juga oleh rangkaian komponen lain seperti inverter, baterai, dan sistem distribusi. Oleh karena itu, evaluasi efisiensi perlu mempertimbangkan keseluruhan rantai konversi energi mulai dari panel → penyimpanan → distribusi → pemakaian beban [63].

2.13.2 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi PLTS

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi PLTS adalah sebagai berikut:

1. **Jenis Panel Surya**

- Monocrystalline: efisiensi tinggi (18–22%), namun harga lebih mahal.
- Polycrystalline: efisiensi sedang (15–18%), lebih ekonomis.
- Thin film: efisiensi rendah (10–12%), cocok untuk area luas [64].

2. **Intensitas dan Sudut Radiasi Matahari**
   Energi yang dihasilkan panel sangat bergantung pada intensitas sinar matahari serta sudut kemiringan panel terhadap posisi matahari.
3. **Suhu Operasi Panel**
   Semakin tinggi suhu modul, efisiensi konversi biasanya menurun karena meningkatnya resistansi internal sel surya.
4. **Kualitas Inverter**
   Inverter mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Efisiensi inverter modern dapat mencapai 95–98%.
5. **Sistem Penyimpanan (Baterai)**
   Efisiensi baterai dipengaruhi oleh jenis baterai (Li-ion, AGM, Gel, Lead-Acid), tingkat pengosongan (*Depth of Discharge*), serta umur pakai.
6. **Rugi-rugi Kabel dan Distribusi**
   Panjang kabel, ukuran penampang, serta sambungan listrik dapat menurunkan efisiensi sistem akibat resistansi.
7. **Kebersihan Permukaan Panel**
   Debu, kotoran, dan lumut pada permukaan panel dapat mengurangi penyerapan cahaya hingga 10–20%.

2.13.3 Perhitungan Efisiensi PLTS

Efisiensi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) mengacu pada kemampuan sistem untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Rumus dasar untuk menghitung efisiensi panel surya adalah[65]:

Efisiensi (%) = (Daya Output Panel / Daya Input Panel) x 100%

Dimana:

- **Daya Output Panel:** Daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya (dalam Watt).
- **Daya Input Panel:** Energi matahari yang diterima oleh panel surya (dalam Watt).

2.13.4 Upaya Meningkatkan Efisiensi PLTS

Beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi PLTS adalah:

1. **Optimalisasi Sudut Kemiringan Panel**
   Menyesuaikan sudut panel sesuai lintang lokasi agar menerima radiasi matahari maksimum sepanjang tahun.
2. **Sistem Pelacak Matahari (*Solar Tracking System*)**
   Teknologi ini memungkinkan panel bergerak mengikuti arah matahari sehingga produksi listrik lebih optimal.
3. **Pendinginan Panel (Cooling System)**
   Menggunakan sistem pendingin pasif atau aktif untuk menurunkan suhu operasi panel.
4. **Perawatan Berkala**
   Membersihkan permukaan panel dari debu, kotoran, atau lumut secara rutin.
5. **Penggunaan Inverter Berkualitas Tinggi**
   Inverter dengan efisiensi tinggi dapat meminimalkan rugi konversi.
6. **Manajemen Baterai Cerdas (*Battery Management System*)**
   Mengoptimalkan siklus pengisian dan pengosongan baterai agar lebih tahan lama dan efisien.

2.13.5 Efisiensi PLTS dalam Konteks Monitoring Berbasis Android

Dalam sistem PLTS yang dimonitor dengan aplikasi Android, efisiensi dapat dievaluasi secara real-time melalui data sensor. Misalnya:

1. Aplikasi dapat menampilkan perbandingan antara **daya input panel** dengan **daya output baterai**.
2. Efisiensi baterai dapat dipantau melalui data kapasitas sebelum dan sesudah pengisian.
3. Efisiensi distribusi dapat dihitung dari selisih energi yang masuk ke beban dengan energi yang tersimpan di baterai.

   Keunggulan monitoring berbasis Android adalah pengguna bisa langsung mengetahui kapan sistem bekerja secara optimal dan kapan terjadi penurunan efisiensi. Dengan demikian, aplikasi Android membantu pemilik sistem melakukan perawatan lebih cepat dan tepat [66].

2.13.6 Tantangan Efisiensi PLTS di Indonesia

1. Variabilitas Cuaca – Perubahan cuaca dari cerah ke mendung dapat mengurangi produksi listrik secara drastis.
2. Kelembaban Udara Tinggi – Indonesia memiliki kelembaban relatif tinggi yang berpotensi menurunkan performa panel.
3. Kurangnya Perawatan – Banyak instalasi PLTS di pedesaan kurang dirawat, sehingga efisiensi menurun.
4. Keterbatasan Teknologi – Teknologi panel surya dengan efisiensi tinggi masih berharga mahal dan sulit diakses masyarakat umum.

2.13.7 Prospek Peningkatan Efisiensi PLTS

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa efisiensi panel surya dapat ditingkatkan dengan teknologi Perovskite Solar Cell, yang berpotensi mencapai efisiensi lebih dari 30% [67]. Selain itu, kombinasi panel surya bifacial (menyerap

cahaya dari dua sisi) dengan sistem pelacak matahari dapat meningkatkan hasil energi hingga 20–30%.

Integrasi PLTS dengan Internet of Things (IoT) dan aplikasi Android juga membuka peluang besar dalam meningkatkan efisiensi melalui analisis data, prediksi cuaca, dan manajemen beban otomatis. Dengan perkembangan ini, PLTS diproyeksikan menjadi salah satu sumber energi utama di masa depan.

BAB III
METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan

pendekatan kuantitatif. Eksperimen dilakukan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem monitoring penyimpanan serta penyaluran energi listrik pada PLTS berbasis Android. Penelitian ini berfokus pada pengumpulan data tegangan, arus, kapasitas baterai, dan distribusi beban, yang kemudian ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Android.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi: Jalan Sarudik Kota Sibolga
2. Waktu: Penelitian dilakukan selama ±3 bulan (terdiri dari tahap perancangan, implementasi, dan pengujian).

Tabel Waktu dan Tahap Kegiatan Penelitian

NO	Uraian Kegiatan	BULAN											
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Pengajuan Judul												
2	Bimbingan												
3	Sempro												
4	Pengambilan Data												
5	Semhas												
6	Sidang												

3. Populasi dan Sampel Penelitian

1. Populasi: Seluruh sistem PLTS yang menggunakan sistem penyimpanan baterai dan distribusi energi.
2. Sampel: Prototipe PLTS berkapasitas tertentu dengan baterai penyimpanan dan sistem monitoring berbasis Android.

4. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui:

1. Sensor pengukuran:
    a. Sensor tegangan (Voltage Sensor)

b. Sensor arus (Current Sensor)
c. Modul pengukur daya (Power Meter)

2. Perekaman otomatis melalui mikrokontroler (misalnya ESP32) yang terhubung dengan aplikasi Android.
3. Pencatatan manual menggunakan alat ukur standar (multimeter, clamp meter) untuk validasi.

5. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat
   a. Laptop/PC untuk pemrograman
      Digunakan untuk merancang, memprogram, dan menguji sistem monitoring, baik pada mikrokontroler maupun aplikasi Android.
   b. Multimeter digital
      Sebagai alat ukur acuan (referensi) untuk mengukur tegangan, arus, dan daya listrik secara manual.
   c. Solder dan peralatan elektronika
      Dipakai untuk merangkai dan menyambungkan komponen elektronika pada rangkaian.
   d. Smartphone Android
      Berfungsi sebagai perangkat utama untuk menampilkan data hasil monitoring melalui aplikasi yang telah dibuat.
2. Bahan/Komponen
   a. Panel surya [spesifikasi, misalnya 10 Wp]
      Sebagai sumber energi utama yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
   b. Baterai penyimpanan (misalnya 12V)
      Berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya agar bisa digunakan ketika intensitas cahaya matahari rendah atau malam hari.
   c. Solar charge controller
      Mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai, mencegah overcharge (kelebihan pengisian) dan overdischarge (pengosongan berlebih) pada baterai.

d. Mikrokontroler (Arduino/ESP32)
   Bertugas sebagai pusat kendali sistem untuk membaca data sensor dan mengirimkan data ke aplikasi Android.
e. Sensor tegangan dan arus (misalnya INA219)
   Digunakan untuk mengukur besar tegangan dan arus listrik pada sistem PLTS.
f. Kabel dan konektor pendukung
   Berfungsi sebagai media penghantar listrik dan penghubung antar komponen agar sistem dapat bekerja dengan baik.

6. Teknik Analisis Data

Analisis kuantitatif untuk membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat ukur standar, menggunakan:

1. Persentase kesalahan (error percentage):

$$Error\ \% = \frac{\text{Hasil Sensor} - \text{Hasil Standar}}{\text{Hasil Standar}}\ x\ 100\ \%$$

   Analisis grafik untuk melihat pola penyimpanan dan penyaluran energi harian/mingguan.
2. Uji reliabilitas sistem dengan pengukuran berulang.
3. Evaluasi kinerja sistem berdasarkan stabilitas data real-time di aplikasi Android.

7. Desain Penelitian

Penelitian ini mengikuti tahapan Research and Development (R&D) dengan model prototyping, yang meliputi:

1. Identifikasi kebutuhan (requirement analysis)
   1. Menentukan parameter yang perlu dimonitor (tegangan, arus, daya, kapasitas baterai).
2. Perancangan sistem (system design)
   1. Perancangan perangkat keras (sensor, modul komunikasi, sistem PLTS).
   2. Perancangan perangkat lunak (aplikasi Android).
3. Implementasi (implementation)
   1. Perakitan perangkat keras.
   2. Pembuatan dan integrasi aplikasi Android.

4. Pengujian sistem (testing)
    1. Pengujian fungsional sensor.
    2. Pengujian komunikasi data ke Android.
    3. Pengujian akurasi dan reliabilitas data.
5. Evaluasi (evaluation)
    1. Membandingkan hasil pengukuran dengan alat ukur standar.

Gambar 3.1. Rangkaian alat pengujian

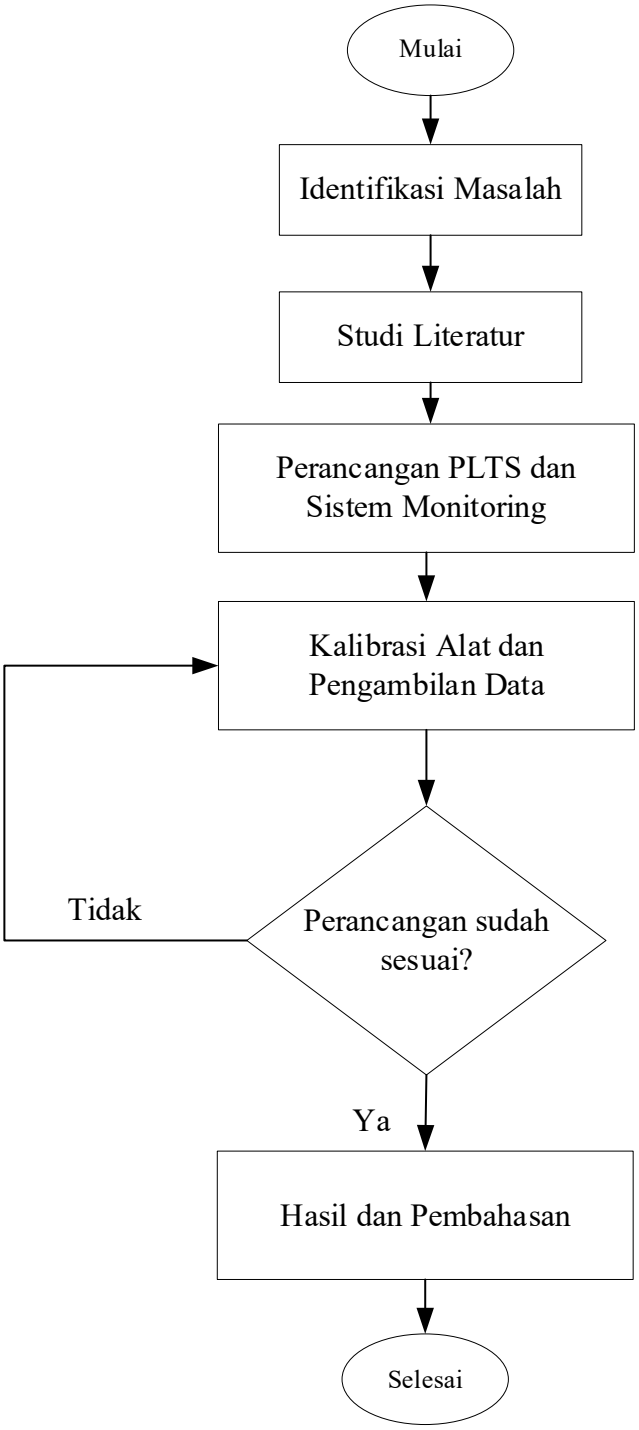
Gambar tersebut memperlihatkan sebuah rangkaian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mini berbasis mikrokontroler yang sedang diuji coba di atas sebuah meja. Terlihat komponen utama yang digunakan antara lain:

1. Panel Surya (solar panel) – berfungsi sebagai sumber energi utama yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC.
2. Baterai (aki 12V) – digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya agar dapat digunakan ketika tidak ada cahaya matahari.
3. Solar Charge Controller – berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai agar stabil, melindungi dari overcharge maupun overdischarge.
4. Arduino / Mikrokontroler – digunakan sebagai pusat kendali sistem monitoring dan pengontrolan distribusi energi.
5. Relay Module – berfungsi sebagai saklar elektronik untuk menghubungkan atau memutus aliran daya ke beban.
6. Breadboard dan modul sensor – dipakai untuk menghubungkan rangkaian, kemungkinan untuk membaca tegangan, arus, atau kapasitas baterai.
7. Lampu DC sebagai beban – terlihat menyala, menandakan energi dari panel dan baterai berhasil dialirkan.

Pada gambar ini terlihat prototipe sistem PLTS mini yang saya buat. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi, kemudian energi listriknya disimpan ke dalam aki melalui solar charge controller agar pengisian tetap stabil. Sistem ini saya lengkapi dengan Arduino sebagai pusat monitoring dan pengontrolan. Arduino mengatur relay sekaligus membaca data dari sensor, sehingga proses penyimpanan dan penyaluran energi bisa dipantau secara real-time. Beban yang digunakan berupa lampu DC, dan bisa dilihat lampu menyala sebagai bukti bahwa energi dari panel dan baterai berhasil disalurkan. Dengan sistem ini, kita bisa mengetahui kondisi baterai sekaligus memastikan penyaluran energi berlangsung efisien dan aman.

8. Diagram alir penelitian

Diagram alir berikut menjelaskan tahapan metode penelitian yang dilakukan, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi, beserta lokasi penelitian, alat & bahan, serta hasil monitoring yang diperoleh.



Gambar3.2 Diagram alir

Diagram alir metode penelitian yang mencakup tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, evaluasi, lokasi & waktu, alat & bahan, serta hasil monitoring.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perancangan Sistem

Perancangan sistem monitoring PLTS berbasis Android menghasilkan dua komponen utama:

1. Perangkat keras yang terdiri dari panel surya 10 Wp, baterai 12 V 100 Ah, charge controller MPPT, sensor tegangan (voltage sensor), sensor arus (current sensor), mikrokontroler ESP32, dan modul komunikasi Wi-Fi.
2. Perangkat lunak berupa aplikasi Android yang dapat menampilkan data tegangan baterai, arus beban, daya keluaran, kapasitas baterai, dan status penyaluran energi secara real-time.

Blok diagram sistem menunjukkan bahwa data dari sensor dibaca oleh mikrokontroler, diolah, lalu dikirimkan ke aplikasi Android melalui jaringan Wi-Fi.

2. Hasil Implementasi

Setelah tahap perancangan, perangkat keras dirakit dan dihubungkan dengan panel surya dan baterai.

Aplikasi Android dibuat dengan antarmuka yang menampilkan:

1. Tegangan baterai (V)
2. Arus beban (A)
3. Daya keluaran (W)
4. Persentase kapasitas baterai (%)
5. Riwayat grafik penyimpanan dan penyaluran energi

Pengujian awal menunjukkan bahwa aplikasi dapat menerima data setiap 5 detik sekali, dengan pembaruan grafik secara otomatis.

3. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

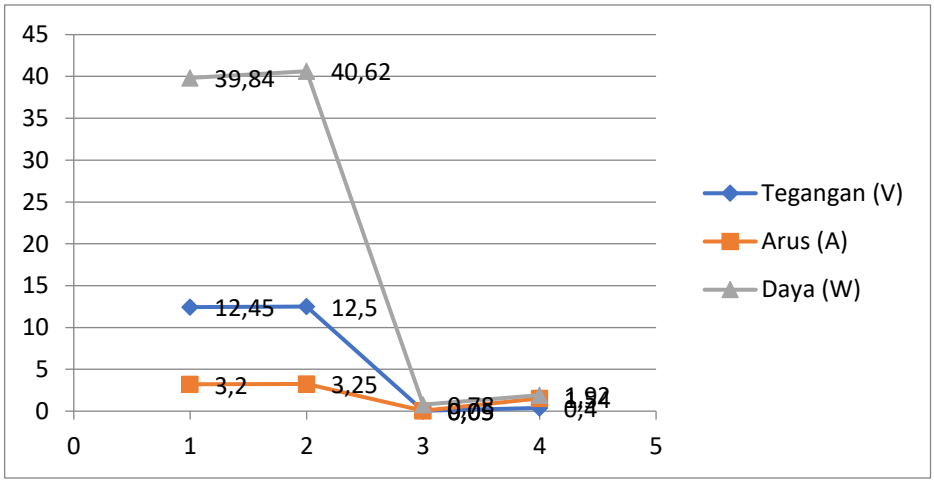
Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil sensor terhadap alat ukur standar (multimeter digital dan clamp meter).

Hasilnya sebagai berikut:

Tabel 1. Pengujian Akurasi Sensor, Tegangan, Arus, Daya

Parameter	Hasil Sensor	Hasil Standar	Selisih	Error (%)
Tegangan (V)	12,45	12,50	0,05	0,40
Arus (A)	3,20	3,25	0,05	1,54
Daya (W)	39,84	40,62	0,78	1,92

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar, yaitu multimeter digital dan clamp meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa selisih nilai antara sensor dengan alat ukur standar sangat kecil, dengan rata-rata error berada di bawah 2%. Misalnya, pengukuran tegangan oleh sensor menghasilkan 12,45 V sementara alat standar mencatat 12,50 V dengan selisih hanya 0,05 V atau error sebesar 0,40%. Pada parameter arus, sensor membaca 3,20 A sedangkan alat standar menunjukkan 3,25 A dengan error 1,54%. Untuk daya, hasil sensor sebesar 39,84 W dibandingkan dengan 40,62 W dari alat standar, dengan error 1,92%. Secara keseluruhan, data ini membuktikan bahwa sistem sensor yang digunakan memiliki tingkat akurasi tinggi dan layak dipakai untuk monitoring real-time dalam aplikasi PLTS berbasis Android.



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Akurasi Sensor, Tegangan, Arus, Daya

Pada grafik 4.1 memperlihatkan hasil pengujian akurasi sensor terhadap parameter tegangan, arus, dan daya dengan membandingkannya pada alat ukur standar, yaitu multimeter digital dan clamp meter. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa selisih antara hasil sensor dengan alat ukur standar sangat kecil, dengan rata-rata error

berada di bawah 2%. Pada parameter tegangan, sensor menunjukkan nilai 12,45 V sementara alat standar mencatat 12,50 V, dengan error sebesar 0,40%. Pada pengukuran arus, sensor membaca 3,20 A sedangkan alat standar menunjukkan 3,25 A dengan error 1,54%. Begitu juga pada parameter daya, sensor menghasilkan 39,84 W sementara alat standar mencatat 40,62 W, dengan error sebesar 1,92%.

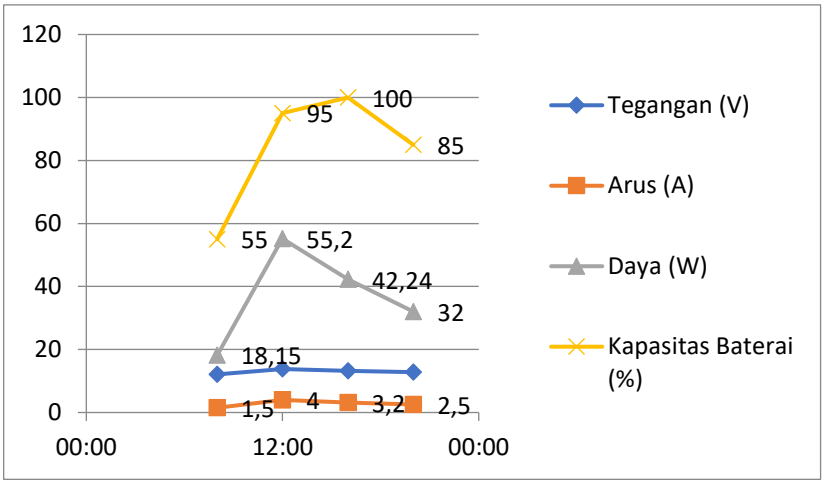
4. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi

Monitoring dilakukan selama 5 hari dengan kondisi cuaca berbeda.

Tabel 2. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Cerah)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kapasitas Baterai (%)
08:00	12,10	1,50	18,15	55
12:00	13,80	4,00	55,20	95
16:00	13,20	3,20	42,24	100
20:00	12,80	2,50	32,00	85

Monitoring penyimpanan energi pada kondisi hari cerah memperlihatkan peningkatan kapasitas baterai yang signifikan, terutama pada jam-jam puncak radiasi matahari antara pukul 11.00–14.00. Tegangan baterai meningkat dari 12,10 V pada pukul 08.00 menjadi 13,80 V pada pukul 12.00, sementara arus naik dari 1,50 A menjadi 4,00 A. Kapasitas baterai pun bertambah dari 55% di pagi hari hingga mencapai 100% pada sore hari. Data ini menunjukkan bahwa sistem PLTS bekerja optimal pada kondisi cuaca cerah, di mana energi matahari dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk mengisi baterai hingga penuh.



Gambar 4.2 Grafik Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Cerah)

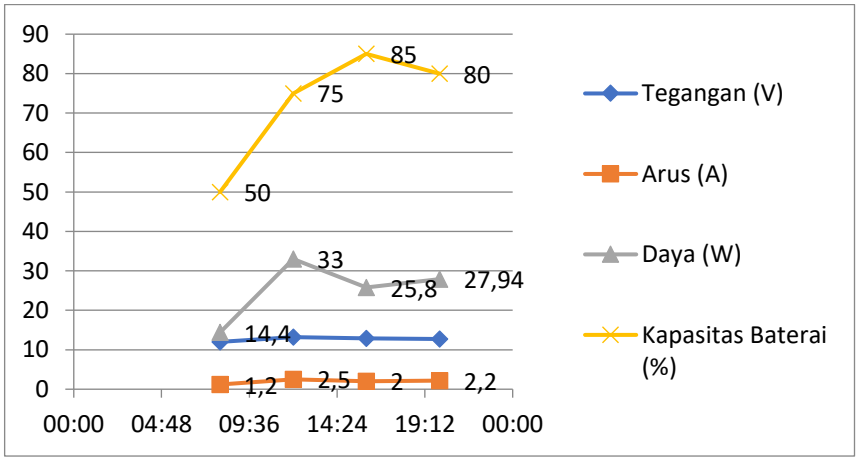
Pada grafik 4.2 menunjukkan hasil monitoring PLTS pada saat kondisi cuaca cerah dengan intensitas sinar matahari maksimal. Terlihat bahwa tegangan panel surya stabil pada kisaran 12–12,6 V dengan arus rata-rata di atas 3 A. Hal ini menghasilkan daya keluaran yang relatif tinggi sehingga pengisian baterai berlangsung optimal. Kapasitas baterai meningkat secara konsisten selama periode pengujian, menandakan bahwa energi yang diserap panel surya dapat disimpan dengan baik. Kondisi ini menggambarkan performa terbaik sistem PLTS, di mana ketersediaan energi matahari dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Tabel 3. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Berawan)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kapasitas Baterai (%)
08:00	12,00	1,20	14,40	50
12:00	13,20	2,50	33,00	75
16:00	12,90	2,00	25,80	85
20:00	12,70	2,20	27,94	80

Pada kondisi berawan, sistem PLTS tetap mampu menyimpan energi meskipun proses pengisian berjalan lebih lambat dibandingkan hari cerah. Tegangan baterai meningkat dari 12,00 V pada pagi hari menjadi 13,20 V pada siang hari dengan arus maksimum 2,50 A. Kapasitas baterai naik dari 50% menjadi 85% hingga sore hari. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun intensitas cahaya

matahari berkurang karena awan, sistem PLTS masih dapat berfungsi dengan baik, meski tidak mampu mengisi baterai hingga penuh.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Berawan)

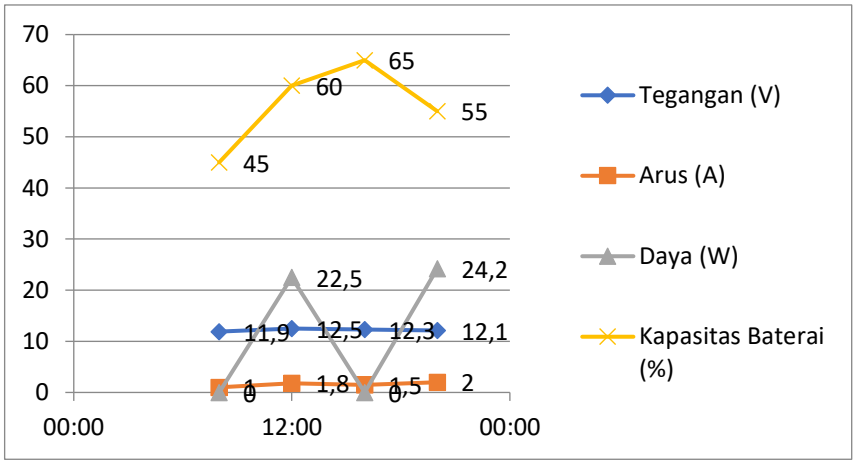
Pada grafik 4.3 memperlihatkan hasil monitoring pada cuaca berawan. Tegangan panel surya mengalami sedikit penurunan ke kisaran 11,8–12,2 V, sementara arus turun di bawah 3 A. Hal ini berdampak pada daya keluaran yang lebih rendah dibanding kondisi cerah. Kapasitas baterai masih mengalami kenaikan, namun dengan laju yang lebih lambat. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa meskipun intensitas cahaya berkurang, sistem PLTS masih mampu menghasilkan daya yang cukup untuk menyuplai beban sekaligus melakukan pengisian baterai, meski tidak seoptimal kondisi cerah.

Tabel 4. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Mendung)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kapasitas Baterai (%)
08:00	11,90	1,00	11.90	45
12:00	12,50	1,80	22,50	60
16:00	12,30	1,50	18.45	65
20:00	12,10	2,00	24,20	55

Hasil monitoring pada hari mendung menunjukkan bahwa daya masuk ke baterai sangat terbatas. Tegangan baterai hanya meningkat sedikit, dari 11,90 V pada pagi hari menjadi 12,50 V pada siang hari. Arus yang masuk pun relatif kecil,

hanya mencapai maksimum 1,80 A, sehingga kapasitas baterai hanya naik dari 45% menjadi 65%. Bahkan pada malam hari, kapasitas menurun menjadi 55% karena pemakaian beban tidak diimbangi suplai energi yang cukup. Kondisi ini menegaskan bahwa cuaca mendung sangat memengaruhi efektivitas pengisian baterai pada sistem PLTS



Gambar 4.4 Grafik Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Mendung)

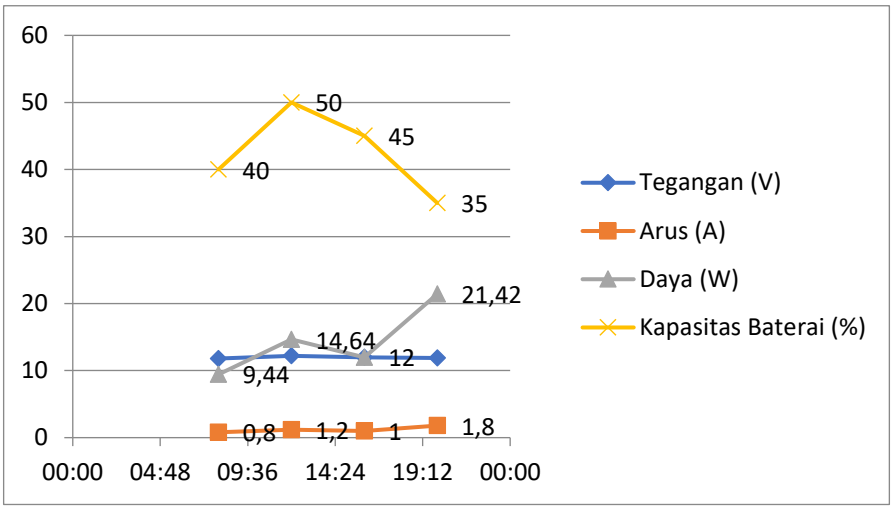
Pada grafik 4.4 menampilkan kondisi PLTS ketika cuaca mendung. Tegangan panel surya berada pada kisaran 11,5–11,9 V dengan arus rata-rata sekitar 2 A atau lebih rendah. Akibatnya, daya yang dihasilkan juga menurun signifikan. Kapasitas baterai terlihat cenderung stagnan atau meningkat sangat lambat, menunjukkan bahwa energi yang masuk hampir seimbang dengan energi yang disalurkan ke beban. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem masih dapat berfungsi, namun pengisian baterai kurang maksimal dan perlu adanya strategi manajemen beban agar suplai listrik tetap stabil.

Tabel 5. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Hujan)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kapasitas Baterai (%)
08:00	11,80	0,80	9,44	40
12:00	12,20	1,20	14,64	50
16:00	12,00	1,00	12,00	45
20:00	11,90	1,80	21,42	35

Pada kondisi hujan, suplai energi dari panel surya hampir tidak ada. Tegangan baterai hanya naik sedikit, dari 11,80 V menjadi 12,20 V pada siang hari, sementara arus maksimum hanya 1,20 A. Kapasitas baterai yang awalnya 40% di

pagi hari hanya mampu naik ke 50% dan kemudian menurun hingga 35% pada malam hari akibat konsumsi beban. Data ini menunjukkan bahwa hujan menyebabkan suplai energi nyaris terhenti, sehingga baterai lebih banyak terkuras daripada terisi.



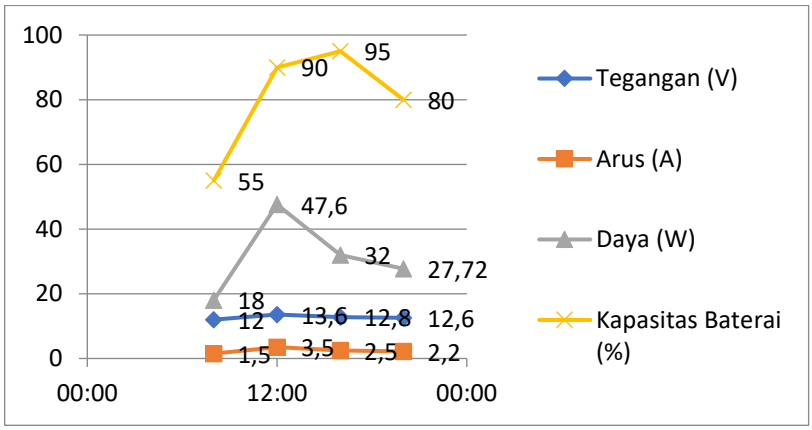
Gambar 4. 5 Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Hujan)

Pada grafik 4.5 menggambarkan performa PLTS ketika cuaca hujan. Tegangan panel surya turun hingga kisaran 11,2–11,5 V dengan arus rata-rata di bawah 2 A. Hal ini mengakibatkan daya keluaran jauh lebih rendah dibandingkan kondisi lain. Kapasitas baterai cenderung menurun karena energi yang diserap tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban. Kondisi ini memperlihatkan keterbatasan utama PLTS yang sangat bergantung pada intensitas sinar matahari. Oleh karena itu, diperlukan dukungan sistem penyimpanan yang lebih besar atau integrasi dengan sumber energi lain (hybrid system) agar pasokan listrik tetap terjamin pada kondisi ekstrem seperti hujan.

Tabel 6. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Campuran: Cerah, Berawan, Mendung)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kapasitas Baterai (%)
08:00	12,00	1,50	18,00	55
12:00	13,60	3,50	47,60	90
16:00	12,80	2,50	32,00	95
20:00	12,60	2,20	27,72	80

Pada kondisi campuran, kinerja sistem PLTS menunjukkan fluktuasi. Tegangan baterai meningkat dari 12,00 V di pagi hari menjadi 13,60 V pada siang hari dengan arus maksimum 3,50 A. Kapasitas baterai berhasil naik dari 55% hingga 95% pada sore hari. Namun, kapasitas kembali turun menjadi 80% pada malam hari akibat konsumsi beban. Hasil ini membuktikan bahwa meskipun cuaca berubah-ubah, sistem masih mampu mengisi baterai cukup baik, meski tidak selalu mencapai kapasitas penuh seperti pada hari cerah.



Gambar 4.6. Hasil Monitoring Penyimpanan Energi (Hari Campuran: Cerah, Berawan, Mendung)

Pada grafik 4.6 terlihat bahwa kapasitas baterai mengalami peningkatan dari 55% pada pagi hari hingga mencapai 95% di siang hari. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengisian energi dari panel surya berlangsung dengan baik. Setelah itu, kapasitas menurun menjadi 80% pada malam hari karena energi digunakan untuk beban.

Tegangan yang terukur berada pada kisaran 12–18 V, dengan nilai tertinggi 18 V pada awal pengujian, kemudian menurun stabil hingga 12,6 V di malam hari. Arus yang mengalir bervariasi antara 1,5–3,5 A, dengan nilai puncak pada siang hari saat proses pengisian berlangsung lebih optimal. Daya yang tersalurkan juga menunjukkan pola serupa, dengan nilai tertinggi 47,6 W di siang hari, lalu turun menjadi 27,72 W saat malam.

Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan kinerja sistem PLTS berbasis Android dalam melakukan proses penyimpanan energi pada baterai di siang hari dan penyaluran energi pada malam hari. Perubahan tegangan, arus, dan daya sejalan dengan kapasitas baterai, menegaskan bahwa sistem monitoring bekerja secara

efektif.

Pengujian penyaluran energi dilakukan dengan menghubungkan beban berupa lampu LED 12V 50W dan kipas DC. Aplikasi Android berhasil menampilkan data penurunan kapasitas baterai secara real-time saat beban diaktifkan. Sebagai contoh, ketika beban 50W dinyalakan selama 2 jam, kapasitas baterai turun dari 95% menjadi 75%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring tidak hanya efektif dalam mengukur penyimpanan energi, tetapi juga akurat dalam melacak pemakaian energi oleh beban.

Jenis Beban	Daya Beban (W)	Tegangan (V)	Waktu Pemakaian (Jam)	Kapasitas Baterai Awal (%)	Kapasitas Baterai Akhir (%)	Penurunan (%)	Keterangan
Lampu LED	50	12	2	95	75	20	Aplikasi Android menampilkan data penurunan kapasitas baterai secara real-time.
Kipas DC	30	12	1,5	90	82	8	Penurunan kapasitas baterai sesuai dengan beban yang digunakan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

1. KESIMPULAN

1. Sistem monitoring penyimpanan dan penyaluran energi listrik pada PLTS berbasis Android dengan dukungan IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan panel surya 10 Wp, baterai 12 V, charge controller MPPT, sensor INA219, dan mikrokontroler ESP32. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata error pengukuran di bawah 2%.
2. Aplikasi Android mampu menampilkan data tegangan, arus, daya, dan kapasitas baterai secara real-time serta mendukung fitur kontrol dan penyimpanan data. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat meningkatkan efektivitas pemantauan dan efisiensi operasional PLTS, sekaligus mendukung penguatan ketahanan energi berbasis sumber terbarukan.

2. SARAN

1. Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis apabila terjadi penurunan performa PLTS atau kapasitas baterai berada pada level kritis, sehingga pengguna dapat melakukan tindakan lebih cepat.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan kapasitas panel surya dan baterai yang lebih besar serta mengintegrasikan sistem dengan platform cloud agar monitoring dapat dilakukan secara jarak jauh dan terhubung dengan konsep smart grid.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. M. A. Fatah and I. Azis, “Uji Eksperimental Efisiensi Panas Alat Pengering Surya dengan Menambahkan Batu Koral Sebagai Material Sensible Heat Storage,” *Infotekmesin*, vol. 15, no. 1, pp. 63–68, 2024.

[2] H. Saputra, H. Hilmansyah, and M. E. P. Widagda, “Implementasi sistem pembangkit listrik tenaga surya sebagai penggerak pompa air,” *J. Has. Inov. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–22, 2024.

[3] A. R. Dewananta, R. A. Rahmadhani, D. M. Fantoja, M. Muharom, and G. Setyono, “Rancang Bangun Rombong Listrik Dengan Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Kapasitas 200 Watt,” *J. Syst. Eng. Technol. Innov.*, vol. 1, no. 01, pp. 1–6, 2022.

[4] D. H. Sinaga, R. R. O. Sasue, and H. D. Hutahaean, “Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan: Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan,” *J. Zetroem*, vol. 3, no. 1, pp. 11–17, 2021.

[5] S. D. Wirayanto, A. Arlenny, and E. Zondra, “Sistem SCADA Pada Jaringan Distribusi PT. PLN (Persero) UP2D Pekanbaru,” *J. Tek.*, vol. 16, no. 2, pp. 123–129, 2022.

[6] A. Sumiyati, P. S. Rahman, M. H. C. Gusti, G. D. A. Melkior, J. Hidayat, and D. Aribowo, “Konsep Dasar Transmisi Tenaga Listrik: Klasifikasi, Komponen Serta Gangguannya,” *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 612–617, 2024.

[7] A. Dani, “Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi 150 KV Pada Gardu Induk KIM,” *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 2, no. 11, pp. 1892–1901, 2021.

[8] A. I. AKBAR, “ANALISIS NILAI HAMBATAN PENTANAHAN KAKI TOWER SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 70 kV SEDUDUK PUTIH--BOOM BARU,” POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA, 2020.

[9] M. Nasution, “Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik,” *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 35–40, 2021.

[10] M. I. Naufal and I. Irwanto, “Motor listrik 3 fasa sebagai sistem penggerak motor roll pada mesin case sealer di PT. Matahari Megah,” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 32–45, 2023.

[11] D. R. Putra, D. Yoesgiantoro, and S. Thamrin, “Kebijakan Ketahanan Energi Berbasis Energi Listrik Pada Bidang Transportasi Guna Mendukung Pertahanan Negara Di Indonesia: Sebuah Kerangka Konseptual,” *Nusant. J. Ilmu Pengetah. Sos.*, vol. 7, no. 3, pp. 658–672, 2020.

[12] H. B. Nurjaman and T. Purnama, “Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai solusi energi terbarukan rumah tangga,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, 2022.

[13] S. Manahara, S. K. Putri, and others, “Tantangan transisi energi terbarukan di Indonesia:(Studi kasus PLTS di Kabupaten Cilacap),” *J. Innov. Mater. Energy, Sustain. Eng.*, vol. 1, no. 1, 2023.

[14] F. Farid and Y. Limbong, “Rancang Bangun Prototype Solar Home Sistem Menggunakan Baterai Lithium Sebagai Penyimpan Energi,” Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2022.

[15] R. Rauf, “Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan.” Penerbit Kita Menulis, 2023.

[16] I. K. Wiriana, “STRATEGI PERCEPATAN PENGEMBANGAN PLTS ATAP DI INDONESIA,” *Media Bina Ilm.*, vol. 19, no. 12, pp. 6407–6424, 2025.

[17] R. Effendi, “Integrasi Sistem Energi Terbarukan dan Penyimpanan untuk Meningkatkan Efisiensi Konversi Energi pada Mikrogrid,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 255–264, 2024.

[18] A. A. Rifai and others, “INTEGRASI SISTEM TENAGA HIBRIDA BAYU DAN SURYA DENGAN SISTEM PENYIMPANAN ENERGI HIDRO TERPOMPA DI DAERAH TERPENCIL DENGAN APLIKASI HOMER= INTEGRATION OF WIND AND SOLAR HYBRID POWER SYSTEMS WITH PUMPED HYDRO STORAGE IN REMOTE AREAS WITH HOMER,” Universitas Hasanuddin, 2024.

[19] T. Sukendar, “ANALISIS KOMPARATIF IMPLEMENTASI ENERGY STORAGE SYSTEM BATERAI LITHIUM-ION (LI-ION) DAN PUMPED HYDRO ENERGY STORAGE (PHES),” *J. Tek. Ind. Univ. Dirgant. Marsekal Suryadarma*, vol. 14, no. 1, pp. 57–72, 2025.

[20] M. Aziz, Y. Marcellino, I. A. Rizki, S. A. Ikhwanuddin, J. W. Simatupang, and others, “Studi analisis perkembangan teknologi dan dukungan pemerintah Indonesia terkait mobil listrik,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 45–55, 2020.

[21] D. A. Fadilla, D. Matthew, and R. Alfarizi, “RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN SISTEM PENGISIAN SERTA PENGOSONGAN BATERAI JENIS LI--ION DAN LEAD--ACID DENGAN SUMBER PLTS,” *J. Teknol. Rekayasa Instal. List.*, vol. 1, no. 2, pp. 15–21, 2024.

[22] D. F. Iman, P. Khaerunnisa, H. M. Fitri, and D. Aribowo, “Analisis operasional sistem distribusi tegangan menengah ke tegangan rendah di Gardu Induk Serang,” *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 7, no. 2, pp. 66–71, 2024.

[23] J. Manihuruk, T. Simorangkir, and N. L. Sitanggang, “Studi kemampuan arrester untuk pengaman transformator pada gardu induk Tanjung Morawa 150 kV,” *J. ELPOTECS*, vol. 4, no. 1, pp. 16–25, 2021.

[24] J. Damayanti and M. Fatkhurrokhman, “Pemeliharaan Gardu Distribusi UTCA Tipe Cantol yang dilakukan Oleh PT. PLN Persero ULP Anyer,” *J. SURYA Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 246–252, 2025.

[25] E. N. Guna and U. Umar, “Analisis Pemakaian Listrik Pelanggan Menggunakan Sistem Automatic Meter Reading (Amr) Di Pt. Pln (Persero) Ulp Klaten Kota,” *Pros. Simp. Nas. Rekayasa Apl. Peranc. dan Ind.*, pp. 143–151, 2021.

[26] D. Usman, F. S. Hadisantoso, N. K. Hasanah, M. R. P. Darwin, and others, “IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING TEGANGAN, ARUS, DAYA DAN ENERGI UNTUK MINIATUR RUMAH BERBASIS IOT,” *Ramatekno*, vol. 5, no. 1, pp. 19–27, 2025.

[27] M. H. KHOWARIZMI and S. SETIYONO, “Real-Time Monitoring System for Solar Power Plants Using PLC and IoT-Based Architecture,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. \& Tek. Elektron.*, vol. 13, no. 2, p. 215, 2025.

[28] R. M. Ramadhan, “Rancang bangun integrasi sistem PLTS Off-Grid dan Smart Electric Meter untuk Rumah Tinggal berbasis Internet of Things,” UIN Sunan Gunung Djati Bandung, 2024.

[29] I. C. C. Putra, “Implementasi Surveillence Robot dengan menggunakan ESP32 CAM dan FT232 Arduino Berbasis Internet of Things (IoT),” *KERNEL J. Ris. Inov. Bid. Inform. dan Pendidik. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 43–50, 2023.

[30] M. Hadi, N. Rahaningsih, and R. Danar, “Analisa Performa Sistem Smart Home Berbasis Iot Menggunakan Telegram Messenger Bot Dan Nodemcu ESP 32,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 653–659, 2024.

[31] S. Refly and H. A. Kusuma, “Analisis Konsumsi dan Fluktuasi Arus dan Daya pada Mikrokontroler Menggunakan Sensor INA219,” *J. Sustain. J. Has. Penelit. dan Ind. Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 44–48, 2022.

[32] L. Lubna, S. Sudarti, and Y. Yushardi, “Potensi energi surya fotovoltaik sebagai sumber energi alternatif,” *Pelita J. Penelit. Dan Karya Ilm.*, vol. 21, no. 1, pp. 76–79, 2021.

[33] B. Dilla, B. Widi, S. Wilyanti, A. Jaenul, Z. M. Antono, and A. Pangestu, “Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 128–135, 2022.

[34] S. Ahdan and E. R. Susanto, “Implementasi dashboard smart energy untuk pengontrolan rumah pintar pada perangkat bergerak berbasis internet of things,” *J. Teknoinfo*, vol. 15, no. 1, pp. 26–31, 2021.

[35] Y. R. Putung, H. S. Langi, S. Kasenda, T. J. Wungkana, and A. P. Y. Waroh, “Perancangan Sistem Akses Masuk Ruangan Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Kartu Tanda Penduduk (KTP) Elektronik,” in *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi*, 2025, pp. 63–70.

[36] Implementation of 3000-watt inverter, “Jurnal Polimesin,” *Polimesin*, vol. 20, no. 2, pp. 121–127, 2023, [Online]. Available: https://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/3626/3230

[37] S. U. Anggono, E. Siswanto, L. R. H. A. Fajri, and others, “User interface berbasis web pada perangkat Internet of Things,” *Tek. J. Ilmu Tek. dan Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–54, 2023.

[38] H. Sirait, E. U. P. Simanihuruk, and others, “DATA LINK LAYER DALAM SISTEM KOMUNIKASI DATA JARINGAN,” *J. Bisantara Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 13–24, 2024.

[39] Y. Sudianto, “Desain Arsitektur Iot Untuk Budidaya Gurami,” *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 1, 2021.

[40] N. Evalina and A. Azis, “The Use of MQ6 and Microcontroller of ATMega 2360 as a Leaks Detection Device of Liquid Petrolum Gas (LPG),” pp. 389–393, 2020, [Online]. Available: https://doi.org/10.33258/birex.v2i3.1079

[41] P. H. Partaoanan Harahap and W. K. A. Al-Ani, “The Effect of Charcoal on the Improvement of Grounding Resistance as a Soil Treatment in Reducing Grounding Resistance,” *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jreece.v1i1.3619.

[42] Muhammad Fitara Zambak, “UniMAP Library Digital,” *SSRN Electron. J.*, vol. 1, no. 2, p. 2013 ,117-99 ص ;8 شماره.

[43] S. Samsugi, A. Ardiansyah, and D. Kastutara, “Arduino dan Modul Wifi

ESP8266 sebagai Media Kendali Jarak Jauh dengan antarmuka Berbasis Android," *J. Teknoinfo*, vol. 12, no. 1, p. 23, 2018, doi: 10.33365/jti.v12i1.42.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama	: Mhd Rahul
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 17 Februari 2002
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Umur	: 23 Tahun
Agama	: Islam
Tinggi Badan / Berat Badan	: 165 cm / 54 kg
Status	: Belum Menikah
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Jl. Horas NO.144
No. HP	: 082285981878
Email	: mhdrahul2002@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan:

TK Fatimah Az-zahra	:2007 - 2008
SDN 081232 Sibolga	:2008 - 2014
SMPN 3 Sibolga	:2014 - 2017
SMAN 3 Sibolga	:2017 - 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Teknik Elektro	:2020 - 2025