

Perancangan Solar Tracker Dual Axis Berbasis Internet of Things (IoT)

Prawiro Harjono^{1,*}, Iswidodo², Aditya Arif Wicaksono³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bung Karno, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 30 April 2026
Direvisi: 31 Mei 2026
Diterima: 4 Agustus 2026

Kata kunci:

Internet of Things
Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Solar Tracker Dual Axis

Keywords:

Internet of Things
Solar Power Plant
Solar Tracker Dual Axis

Penulis Korespondensi:

Prawiro Harjono
Email:
Prawiroharjono@ubk.ac.id

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara tropis, memiliki potensi besar untuk energi surya sebagai sumber energi terbarukan alternatif. Sebagai negara kepulauan, banyak desa terpencil masih kekurangan pasokan listrik yang andal, sehingga diperlukan pengembangan dan pemanfaatan sumber energi alternatif alami, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Saat ini, sebagian besar instalasi PLTS bersifat statis, dengan permukaan menghadap langit pada sudut tetap, mencapai efisiensi rata-rata hingga 15%. Salah satu metode efektif untuk meningkatkan efisiensi PLTS adalah dengan menerapkan pelacak surya sumbu ganda, yang memungkinkan panel untuk secara dinamis mengikuti sinar matahari langsung untuk input cahaya maksimum dan peningkatan output daya hingga 32% dibandingkan dengan sistem statis. Inovasi ini memastikan panel tetap tegak lurus terhadap matahari secara terus menerus, menstabilkan penyerapan sinar matahari, sementara integrasi IoT melalui aplikasi Blynk memfasilitasi pemantauan jarak jauh secara real-time.

Indonesia, as a tropical country, possesses enormous potential for solar energy as a renewable alternative source. As an archipelagic nation, many remote villages still lack reliable electricity supply, necessitating the development and utilization of natural alternative energy sources, particularly Solar Power Plants. Currently, the majority of PLTS installations are static, with surfaces facing the sky at fixed angles, achieving an average efficiency of up to 15%. One effective method to boost PLTS efficiency is implementing dual-axis solar trackers, enabling panels to dynamically follow direct sunlight for maximum light input and up to 32% power output gains compared to static systems. This innovation ensures panels remain perpendicular to the sun continuously, stabilizing sunlight absorption, while IoT integration via the Blynk application facilitates real-time remote monitoring.

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara beriklim tropis, memiliki potensi yang sangat melimpah untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi alternatif terbarukan [1]. Karakteristik kepulauannya menyebabkan masih banyak wilayah terpencil yang belum memiliki akses pasokan listrik, sehingga pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya menjadi solusi strategis yang esensial. Meskipun bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan, efisiensi energi surya relatif rendah karena mayoritas sistem PLTS dipasang secara statis dengan sudut kemiringan tetap, yang hanya menghasilkan efisiensi rata-rata sekitar 15% [1], [2]. Efisiensi tersebut dapat ditingkatkan secara signifikan melalui implementasi solar tracker, yang memungkinkan panel surya mengikuti lintasan pergerakan matahari untuk menangkap intensitas iradiasi cahaya secara optimal [3].

Sistem solar tracker satu sumbu dapat meningkatkan efisiensi PLTS hingga 20% dibandingkan sistem statis [1], sedangkan versi dua sumbu mencapai peningkatan hingga 32% [1], sehingga memungkinkan penyerapan cahaya matahari yang lebih optimal. Selain itu, teknologi Internet of Things (IoT) berbasis ESP32 dan aplikasi Blynk memungkinkan pemantauan jarak jauh terhadap kinerja PLTS secara real-time dengan kehandalan komunikasi yang baik (sampling >1 menit, latency rata-rata 2 detik) [1], [2]. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem dual-axis solar tracker berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan aplikasi Blynk untuk meningkatkan efisiensi PLTS sekaligus mempermudah proses monitoring [1].

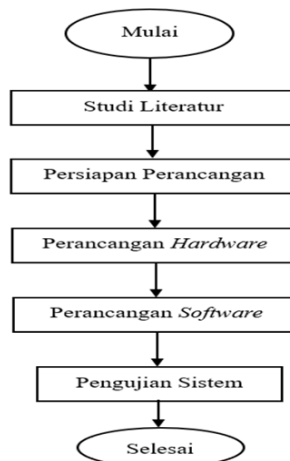
Dalam rancangan ini, teknologi dual-axis memungkinkan panel surya untuk secara otomatis menyesuaikan orientasinya terhadap posisi matahari sepanjang hari menggunakan sensor LDR dan servo motor [3], sehingga dapat meningkatkan dan memaksimalkan penangkapan energi surya [4]. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem pelacak surya dual-axis yang tidak hanya mengoptimalkan konversi energi surya menjadi listrik, tetapi juga menyediakan kemampuan pemantauan jarak jauh melalui integrasi IoT [5], [6].

Implementasi sistem pelacak surya otomatis berbasis IoT ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan energi panel surya, memastikan posisi optimal panel sepanjang hari, dan memungkinkan pemantauan serta kontrol jarak jauh yang efektif [7]. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan solusi energi terbarukan yang lebih efisien dan mudah dikelola, khususnya untuk daerah dengan keterbatasan akses infrastruktur listrik [8]. Penggunaan mikrokontroler seperti Arduino dan NodeMCU ESP8266 dalam sistem pelacakan matahari telah menunjukkan peningkatan tegangan dan arus yang signifikan dibandingkan dengan panel surya tetap [9]. Data ini selanjutnya akan diolah menggunakan algoritma kontrol untuk menentukan pergerakan motor servo yang paling optimal [10], [11]. Selain itu, integrasi dengan platform IoT seperti Blynk memungkinkan visualisasi data secara real-time dan kontrol jarak jauh terhadap sistem. Penelitian ini mengadopsi metode rekayasa eksperimental dengan pendekatan desain sistem berbasis IoT yang terintegrasi dengan aplikasi Android [12].

II. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

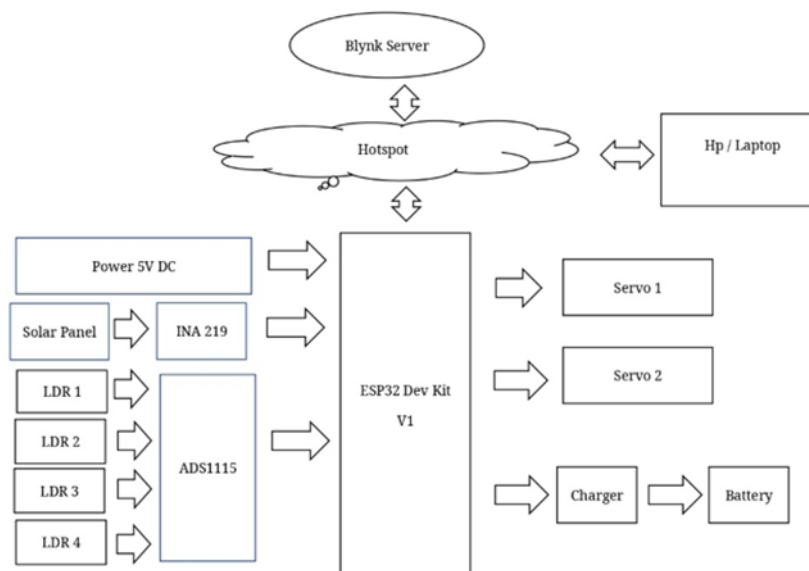
Metode perancangan merupakan tahapan sistematis yang dilakukan untuk memfasilitasi pengembangan sistem secara efisien dan terstruktur. Pada perancangan alat solar tracker dual axis berbasis IoT ini, metode dibagi menjadi dua bagian utama yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak, mengikuti pendekatan standar dalam pengembangan prototipe solar tracker serupa [2], [3], [6]. Sistem perangkat keras dapat beroperasi sesuai perintah yang telah diprogram pada perangkat lunak, mencakup proses input-proses-output dari sensor hingga aktuator. Diagram alur perancangan alat secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah berikut. Diagram alir ini secara komprehensif mengilustrasikan urutan operasional dari akuisisi data sensor LDR hingga eksekusi perintah aktuator servo motor, yang bertujuan untuk mengoptimalkan orientasi panel surya terhadap radiasi matahari.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem

2.2 Diagram Blok Sistem

Perancangan diagram blok ini menjelaskan sistem dual-axis solar tracker yang menggunakan sensor Light Dependent Resistor (LDR) untuk mendeteksi posisi matahari dan servo motor untuk menggerakkan panel surya agar selalu tegak lurus terhadap sinar matahari secara optimal [2], [6]. Blok diagram mengilustrasikan alur kerja sistematis dari input (sensor LDR yang mendeteksi radiasi matahari), proses (mikrokontroler ESP32 yang membandingkan data dan menghasilkan perintah), hingga output (servo motor horizontal dan vertikal untuk penyesuaian posisi panel) [1]. Rancangan mekanik menggunakan dua sumbu putar dengan servo sebagai penggerak utama, sehingga sel surya dapat mengikuti gerak semu harian (azimuth) dan gerak semu tahunan (elevasi) matahari [2], [6] yang dijelaskan pada Gambar 2 berikut.

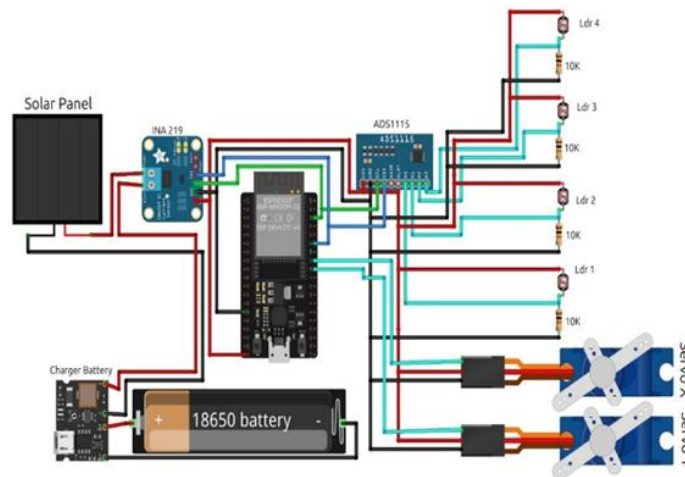


Gambar 2. Blok Diagram Perancangan Solar Tracker Dual Axis

2.3 Wiring Diagram

Pada rangkaian keseluruhan yang ditunjukkan di bawah ini, panel surya berfungsi untuk menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik DC. Modul INA219 berfungsi untuk memonitor arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya secara presisi. Agar panel surya dapat bergerak mengikuti arah sinar matahari secara optimal, dibutuhkan sensor LDR yang mendeteksi perbedaan intensitas cahaya pada sumbu azimuth dan elevasi. Servo motor bekerja atas perintah dari mikrokontroler ESP32 yang mengendalikan seluruh sensor dan aktuator pada sistem solar tracker dual axis [1], [2]. Sistem pelacakan ini juga mengintegrasikan unit WiFi untuk memantau proses secara real-

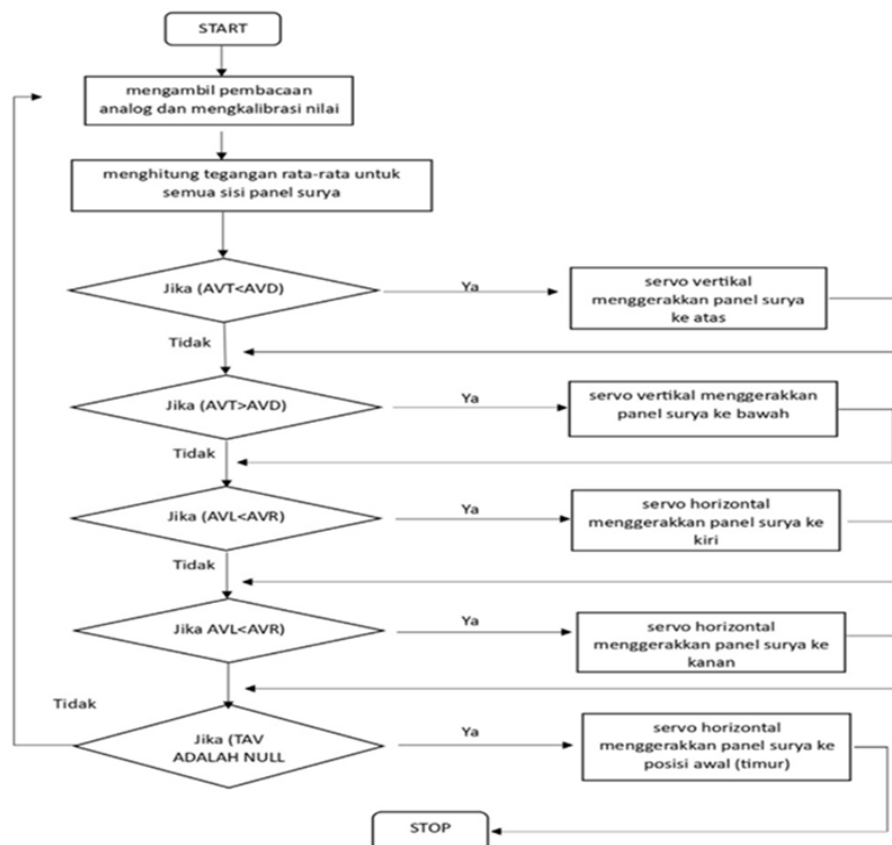
time dan menghubungkan kinerja sistem ke platform cloud IoT untuk pemrosesan, manipulasi, dan pengembangan lebih lanjut.



Gambar 3. Wiring Diagram Solar Tracker Dual Axis

2.4 Diagram Alir Sistem

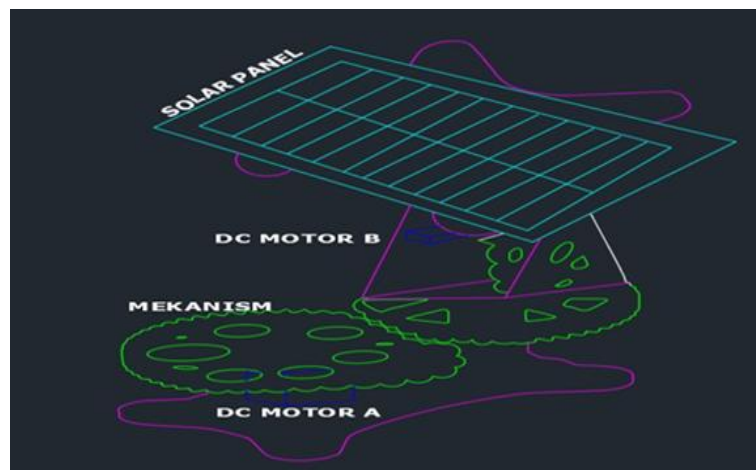
Secara keseluruhan, diagram alir kerja sistem solar tracker dual-axis yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 melalui aplikasi Blynk IoT diperlihatkan pada Gambar 4 berikut. Diagram ini mengilustrasikan proses secara komprehensif, dimulai dari inisialisasi port, pemberian sampel cahaya pada sensor LDR, pemrosesan sinyal oleh mikrokontroler untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya, kemudian perintah eksekusi motor servo agar berputar secara vertikal (elevasi) dan horizontal (azimuth) guna menjaga panel surya tegak lurus terhadap matahari [1], [2]. Selain itu, data kinerja sistem seperti tegangan, arus, dan posisi dikirimkan secara real-time melalui modul WiFi ke Blynk Cloud untuk monitoring dan kontrol jarak jauh yang efektif [2], [6].



Gambar 4. Diagram Alir Sistem Kerja Alat

2.5 Desain Prototype Alat

Pada tahap pembuatan prototype alat solar tracker dual-axis berbasis IoT, prototype diperlukan sebagai representasi fisik awal yang akan diuji dan diimplementasikan secara menyeluruh, mengikuti pendekatan pembuatan sistem mekanikal, elektrik, serta program [2], [3]. Desain prototype ini menekankan peletakan komponen yang presisi untuk memastikan kestabilan struktural, rentang gerak optimal pada sumbu azimuth dan elevasi, serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan luar ruang [6], [10]. Sensor LDR ditempatkan secara strategis pada empat kuadran untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya matahari secara akurat, sehingga memungkinkan penyesuaian posisi panel surya secara real-time. Mikrokontroler ESP32, modul INA219, servo motor, serta elemen mekanik seperti bracket motor dan enclosure (misalnya black project box) diatur untuk meminimalkan interferensi dan memaksimalkan efisiensi. Untuk prototype secara keseluruhan dirancang ergonomis dengan pandangan isometrik dan depan seperti pada desain serupa [6], sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5 berikut, di mana letak sensor disesuaikan agar dapat mendeteksi sinar matahari dengan optimal beserta peletakan komponen lainnya.



Gambar 5. Desain Prototype Solar Tracker Dual Axis

2.6 Aplikasi Blynk

Aplikasi Blynk merupakan sebuah platform yang dirancang untuk pengembangan dan pengelolaan proyek IoT, terdiri dari tiga komponen utama: aplikasi seluler, server, dan libraries. Aplikasi Blynk berfungsi sebagai antarmuka pengguna yang dapat diakses melalui perangkat pintar (iOS atau Android) untuk memvisualisasikan data dan melakukan kontrol. Server Blynk, yang beroperasi sebagai Blynk Cloud, bertugas menangani seluruh komunikasi data secara real-time antara perangkat keras dan aplikasi smartphone, memungkinkan pengiriman sinyal serta pemantauan dari jarak jauh [2], [13]. Meskipun Blynk tidak terikat pada satu jenis mikrokontroler spesifik, sistem ini memerlukan dukungan perangkat keras yang mampu terkoneksi internet. Dalam konteks ini, modul NodeMCU atau mikrokontroler ESP32 sering digunakan karena kemampuan Wi-Fi terintegrasinya, yang memungkinkan perangkat untuk mengirimkan data ke Blynk Cloud dan menerima perintah melalui jaringan internet. Dengan demikian, Blynk siap diintegrasikan dalam berbagai aplikasi IoT untuk monitoring dan kontrol jarak jauh yang efektif [1], [13]. Fungsi utama Blynk dalam penelitian ini adalah untuk menyediakan sarana bagi pengguna agar dapat memantau kondisi sensor, menginput parameter ambang batas, serta menerima notifikasi alarm melalui antarmuka aplikasi seluler.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian dan Analisa Sistem

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem serta kelayakan setiap komponen pada alat, dengan menguji masing-masing bagian agar dapat memastikan alat berfungsi sesuai yang diharapkan.

3.1.1 Pengujian Tegangan Pada Setiap Komponen

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tegangan yang ada di setiap komponen sesuai dengan tegangan yang di butuhkan pada setiap komponen. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengujian Tegangan Pada Setiap Komponen

No	Pengujian	Hasil	Keterangan	Foto
1	Tegangan Solar Panel	11,19 V	Baik	
2	Tegangan Baterai	3,8 V	Baik	
3	Tegangan ADS 1115	4,9 V	Baik	
4	Tegangan INA 219	4,9 V	Baik	
5	Tegangan SCC	4,2 V	Baik	
6	Tegangan ESP32	4,9 V	Baik	

3.1.2 Pengujian Panel Surya Kondisi Cerah

Pengujian ini dilakukan pada panel surya yang memiliki fungsi untuk menyerap energi cahaya matahari kemudian dirubah menjadi tegangan listrik yang akan diteruskan oleh modul SCC untuk memberikan tegangan yang sesuai ke baterai. Pada pengujian panel surya dalam kondisi cerah dibagi 3

sesi. Pembagian sesi ini bertujuan untuk menganalisis variasi kinerja panel surya sepanjang hari, mengingat perubahan intensitas cahaya matahari dari pagi hingga sore. Pengujian pada sesi pertama dilakukan pada jam 08:00 sampai 10:00 pagi, sesi kedua dilakukan pada jam 12:00 sampai jam 14:00, dan sesi ketiga dilakukan pada jam 16:00 sampai jam 18:00.

Tabel 2. Pengujian Panel Surya Kondisi Cerah

Waktu (Jam)	Tegangan	Arus	Daya
08:00 ~ 10:00	11 V	50 mA	0,58 Watt
12:00 ~ 14:00	12 V	75 mA	0,85 Watt
16:00 ~ 18:00	10 V	45 mA	0,45 Watt
Rata-rata	11 V	56 mA	0,63 Watt

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 2, panel surya menunjukkan kinerja terbaik pada rentang waktu 12:00–14:00, dengan tegangan 12 V, arus 75 mA, dan daya 0.85 W. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan sesi pagi dan sore, yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari pada siang hari memberikan kontribusi terbesar terhadap peningkatan keluaran panel. Secara umum, tegangan panel relatif stabil pada kisaran 10–12 V, sedangkan arus dan daya lebih sensitif terhadap perubahan intensitas cahaya. Rata-rata hasil pengukuran pada kondisi cerah adalah 11 V, 56 mA, dan 0.63 W. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya prototipe yang digunakan mampu bekerja optimal pada saat intensitas penyinaran tinggi, terutama ketika sistem solar tracker mengarahkan panel lebih tegak lurus terhadap datangnya cahaya matahari.

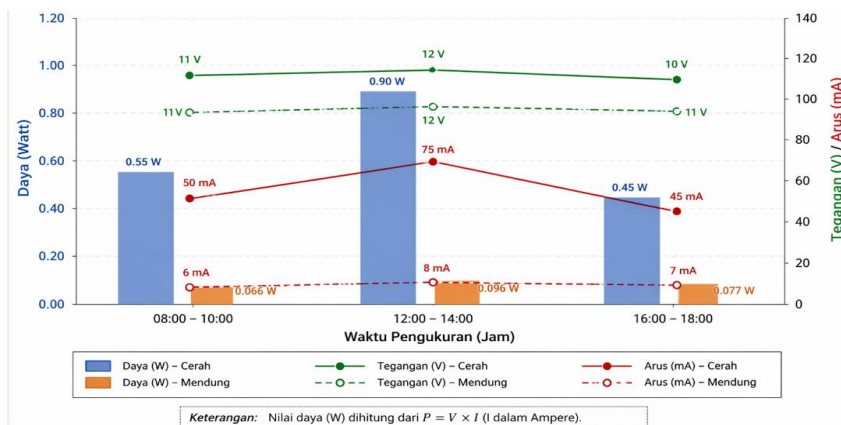
3.1.3 Pengujian Panel Surya Kondisi Mendung

Pada pengujian panel surya dalam kondisi mendung dibagi 3 sesi. Pembagian sesi ini bertujuan untuk menganalisis variasi kinerja panel surya sepanjang hari dalam kondisi mendung, mengingat fluktuasi intensitas cahaya matahari yang rendah dari pagi hingga sore. Pengujian pada sesi pertama dilakukan pada jam 08:00 sampai 10:00 pagi, sesi kedua dilakukan pada jam 12:00 sampai jam 14:00, dan sesi ketiga dilakukan pada jam 16:00 sampai jam 18:00.

Tabel 3. Pengujian Panel Surya Kondisi Mendung

Waktu (Jam)	Tegangan	Arus	Daya
08:00 ~ 10:00	11 V	6 mA	0.07 Watt
12:00 ~ 14:00	12 V	8 mA	0,10 Watt
16:00 ~ 18:00	11 V	7 mA	0,08 Watt
Rata-rata	11 V	7 mA	0,08 Watt

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 3, keluaran panel surya pada kondisi mendung menurun cukup signifikan dibandingkan kondisi cerah. Meskipun tegangan masih berada pada kisaran 11–12 V, arus hanya berada pada rentang 6–8 mA sehingga daya yang dihasilkan juga rendah, yaitu antara 0.07 W hingga 0.10 W. Nilai tertinggi tetap terjadi pada rentang waktu 12:00–14:00, yang menunjukkan bahwa meskipun cuaca mendung, intensitas cahaya siang hari masih lebih baik dibandingkan pagi dan sore. Rata-rata hasil pengukuran pada kondisi mendung adalah 11 V, 7 mA, dan 0.08 W. Data ini menegaskan bahwa arus dan daya keluaran panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, sedangkan tegangan cenderung lebih stabil.



Gambar 6 Perbandingan Hasil Pengukuran Kondisi Cerah vs Mendung

Berdasarkan Gambar 6, grafik gabungan hasil pengukuran panel surya pada kondisi cerah dan mendung, terlihat bahwa intensitas cahaya matahari sangat memengaruhi kinerja keluaran panel, terutama pada parameter arus dan daya. Pada kondisi cerah, performa tertinggi terjadi pada rentang waktu 12:00–14:00 dengan tegangan 12 V, arus 75 mA, dan daya 0,90 W, sedangkan pada pagi dan sore hari nilainya menurun seiring berkurangnya intensitas penyinaran. Sebaliknya, pada kondisi mendung, tegangan panel masih relatif stabil pada kisaran 11–12 V, namun arus turun signifikan menjadi 6–8 mA sehingga daya yang dihasilkan hanya berkisar 0,066–0,096 W. Grafik ini menunjukkan bahwa tegangan cenderung konstan, sementara arus dan daya merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan cuaca dan tingkat irradiansi matahari. Dengan demikian, sistem solar tracker yang digunakan mampu membantu panel memperoleh posisi penyinaran optimal, namun keluaran daya tetap sangat bergantung pada kondisi atmosfer dan ketersediaan cahaya matahari.

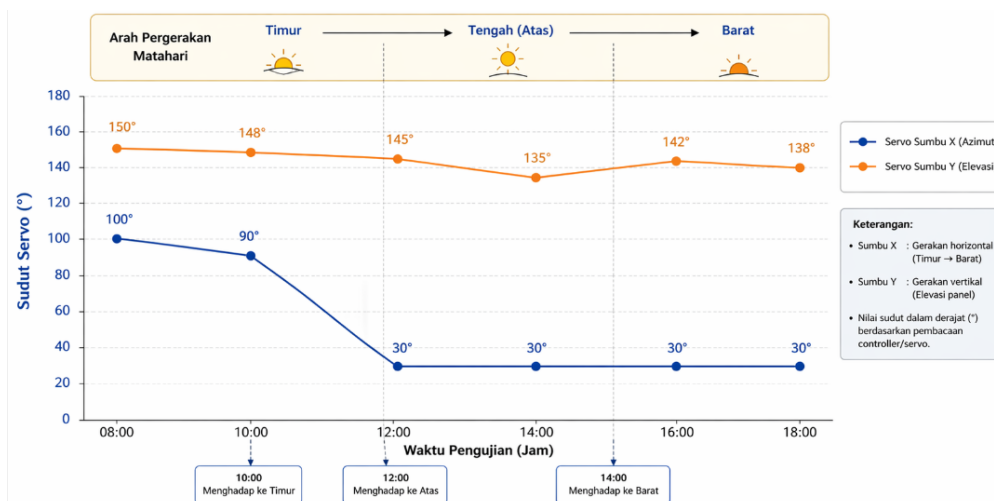
3.1.4 Pengujian Motor Servo

Tujuan dari pengujian motor servo adalah untuk mengetahui posisi solar tracker pada setiap waktu pengujian sesuai dengan pergerakan matahari, sehingga dapat diverifikasi bahwa motor servo berfungsi dengan baik dalam menyesuaikan arah panel surya secara otomatis.

Tabel 4. Hasil Pengujian Posisi Motor Servo Solar Tracker

No	Waktu (Jam)	Posisi Matahari	Servo X (°)	Servo Y (°)	Arah Panel	Foto
1	10:00	Timur	90	148	Menghadap Timur	
2	12:00	Tengah / Zenith Relatif	30	145	Menghadap Atas	
3	14:00	Barat	30	135	Menghadap Barat	

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, motor servo menunjukkan respons yang sesuai terhadap perubahan posisi matahari sepanjang waktu pengamatan. Pada pukul 10:00 panel diarahkan ke timur dengan sudut Servo X sebesar 90° dan Servo Y 148°, menandakan panel masih mengikuti posisi matahari pagi. Pada pukul 12:00, sudut Servo X berubah menjadi 30° dengan posisi panel menghadap atas, menunjukkan penyesuaian menuju sudut penyinaran maksimum saat matahari berada di titik tertinggi. Selanjutnya pada pukul 14:00, panel bergerak menghadap barat dengan Servo Y turun menjadi 135°, menandakan sistem tetap mengikuti perpindahan matahari ke arah barat. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme solar tracker dual-axis bekerja adaptif, stabil, dan responsif dalam mengoptimalkan orientasi panel surya.



Gambar 7. Grafik Perubahan Sudut Servo Sumbu X dan Y terhadap Waktu Pengujian

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada Gambar 7, servo sumbu X mengalami perubahan signifikan dari pagi hingga siang, yang menunjukkan gerakan azimut panel mengikuti perpindahan matahari dari timur menuju barat. Nilai servo sumbu X turun dari sekitar 100° menjadi 30° dan kemudian stabil hingga sore hari. Sementara itu, servo sumbu Y relatif stabil pada rentang 135°–150°, yang menunjukkan penyesuaian elevasi panel terhadap tinggi matahari berlangsung lebih kecil. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem dual-axis tracker bekerja adaptif dan mampu mempertahankan orientasi panel mendekati arah datang cahaya matahari sepanjang hari.

3.1.5 Pengujian dan Analisa Sensor LDR

Pengujian sensor LDR bertujuan untuk mengukur nilai data intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sensor dalam satuan lux, yang menjadi dasar pengambilan keputusan pergerakan solar tracker. Nilai data bersifat proporsional langsung dengan intensitas cahaya: semakin terang cahaya matahari yang diterima sensor LDR, semakin besar nilai lux; sebaliknya, semakin gelap, semakin kecil nilainya, sehingga memungkinkan deteksi perbedaan cahaya antar sensor untuk penyesuaian posisi panel secara otomatis. Hasil data pengujian dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Analog LDR

Waktu (Jam)	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4
08:00	1.010 Lux	994 Lux	994 Lux	1.011 Lux
12:00	1.004 Lux	1.004 Lux	1.004 Lux	1.008 Lux
18:00	867 Lux	865 Lux	865 Lux	871 Lux

Pada Tabel 5 di atas menunjukkan hasil pengukuran intensitas cahaya menggunakan 4 buah sensor LDR yang dirangkai secara kuadran (LDR1: kiri atas/LT, LDR2: kanan atas/RT, LDR3: kiri bawah/LD, LDR4: kanan bawah/RD) dan dihalangi oleh dinding pemisah untuk mencegah tumpang tindih cahaya antar sensor, sehingga memungkinkan deteksi perbedaan intensitas secara akurat (Jumaat et al., 2020). Cara kerja sensor LDR mengandalkan rangkaian pembagi tegangan (voltage divider) yang menghasilkan sinyal analog proporsional dengan intensitas cahaya, yang kemudian dibaca dan diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan perintah gerak solar tracker. Data pada Tabel 5 mengonfirmasi efektivitas pengaturan ini: pada pukul 08:00 (pagi), LDR1 dan LDR4 menunjukkan nilai lebih tinggi (1.010–1.011 Lux) dibandingkan LDR2 dan LDR3 (994 Lux), mencerminkan posisi matahari di timur; pada pukul 12:00 (siang), nilai relatif merata (~1.004–1.008 Lux) menandakan panel menghadap tegak lurus; serta pada pukul 18:00 (sore), nilai menurun secara keseluruhan (~865–871 Lux) dengan perbedaan minimal, sesuai penurunan intensitas matahari.

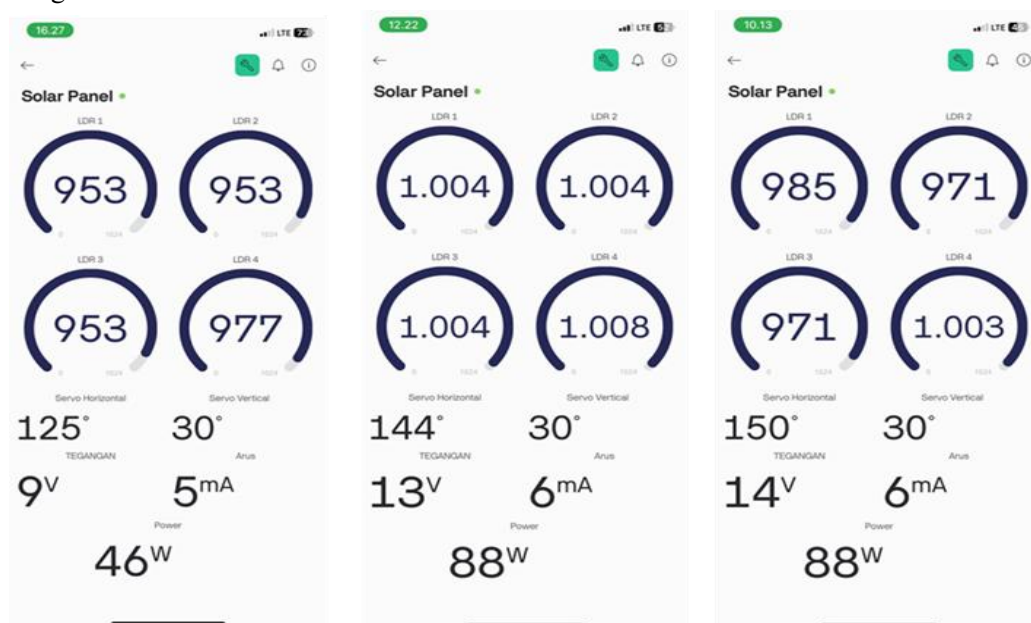
Tabel 6 Pengujian Sensor LDR

No	Pengujian	Hasil	Foto
1	Menutup sensor LDR dengan tangan	Motor servo bergerak mencari cahaya	
2	Sensor LDR tidak ditutup dengan tangan	Motor servo bergerak mengikuti cahaya	

Pada Tabel 6 di atas menunjukkan hasil pengujian sensor LDR yang efektif, di mana ketika sensor LDR ditutup oleh tangan (sebagai simulasi penghalang cahaya), sensor mengirimkan data rendah ke mikrokontroler ESP32, sehingga ESP32 memberikan perintah kepada motor servo untuk bergerak secara otomatis mencari sumber cahaya matahari yang maksimal (Jumaat et al., 2020). Sebaliknya, pada pengujian ketika sensor LDR tidak terhalang objek, sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya normal dan mengirimkan data proporsional ke ESP32, yang selanjutnya memerintahkan motor servo untuk terus mengikuti pergerakan sumber cahaya secara presisi. Hasil pengujian ini mengonfirmasi bahwa sistem sensor LDR berfungsi optimal dalam mendeteksi perbedaan intensitas cahaya dan menggerakkan solar tracker secara adaptif, sehingga meningkatkan efisiensi penangkapan energi matahari sepanjang hari.

3.1.6 Pengujian Aplikasi Blynk

Pengujian aplikasi Blynk bertujuan untuk memverifikasi kemampuan monitoring secara real-time terhadap parameter utama sistem solar tracker melalui platform IoT berbasis cloud, yang memungkinkan pemantauan jarak jauh dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Tampilan aplikasi Blynk menampilkan nilai-nilai kunci secara akurat dan terkini, meliputi intensitas cahaya dari sensor LDR (dalam satuan lux setelah konversi ADC), sudut koordinat motor servo (sumbu horizontal dan vertikal), serta output listrik berupa tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan panel surya, sehingga mendukung analisis.


Gambar 9. Tampilan Pengukuran Kordinat Motor Servo X dan Y

Pada Gambar 8. di atas menunjukkan tampilan dari aplikasi Blynk untuk memonitoring secara real time.yang terdiri dari beberapa pengukuran sebagai berikut:

1. Tampilan intensitas cahaya LDR untuk memonitoring atau memberikan informasi tentang nilai data analog pada sensor LDR yang sudah dirubah oleh modul ADC1115 menjadi sebuah nilai angka. Semakin tinggi intensitas cahaya (semakin cerah) yang diterima oleh sensor LDR, maka nilai data analog pada tampilan LDR akan semakin besar. Begitu pula sebaliknya, apabila intensitas cahaya yang diterima oleh sensor LDR semakin gelap, maka nilai data analog pada tampilan LDR akan semakin kecil.
2. Tampilan sumbu horizontal (X) dan vertical (Y) untuk memonitoring sudut koordinat pada motor servo. Pada setiap pergerakan motor servo akan di ketahui sudut koordinatnya, Motor servo akan bergerak sesuai arah pergerakan matahari dengan besarnya intensitas cahaya yang di terima dari sensor LDR, di tampilkan di aplikasi secara real time.
3. Tampilan tegangan untuk memonitoring nilai tegangan yang dihasilkan oleh solar tracker berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima, ditampilkan di aplikasi secara real time.
4. Tampilan arus untuk memonitoring nilai arus yang dihasilkan oleh solar tracker berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima, ditampilkan di aplikasi secara real time.
5. Tampilan daya untuk memonitoring nilai daya yang dihasilkan oleh solar tracker berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima, ditampilkan di aplikasi secara real time.

3.1.7 Pengujian Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan merupakan tahap verifikasi integratif yang krusial untuk memastikan semua fungsi sistem kontrol solar tracker dual axis, termasuk deteksi cahaya LDR, penggerakan motor servo, konversi energi, dan monitoring IoT via Blynk, beroperasi secara sinkron dan optimal dalam kondisi nyata, sebagaimana dibuktikan melalui pengujian prototipe luar ruangan yang menghasilkan penyesuaian otomatis terhadap pergerakan matahari. Pengujian ini dilakukan secara menyeluruh, mencakup pengukuran intensitas cahaya, respons sensor terhadap penghalang, tampilan real-time Blynk, serta simulasi operasional penuh, sehingga mengonfirmasi efektivitas sistem dalam meningkatkan efisiensi penangkapan energi matahari sepanjang hari. Tahap yang paling awal yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Letakkan sistem rancang bangun solar tracker dual axis di luar ruangan di bawah sinar matahari langsung, kemudian hubungkan power supply untuk menyalakan mikrokontroler ESP32.
2. Saat power supply menyediakan tegangan yang cukup, sistem akan menyala secara otomatis dan terhubung ke jaringan WiFi, memungkinkan integrasi dengan platform IoT Blynk untuk monitoring real-time.
3. Masuk ke aplikasi Blynk untuk memantau pembacaan nilai intensitas cahaya dari sensor LDR, sudut koordinat motor servo X dan Y, serta parameter output listrik seperti tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan panel surya secara akurat dan terkini.
4. Sistem akan mendeteksi perubahan arah pergerakan matahari (misalnya dari timur ke barat) melalui perbedaan intensitas cahaya pada sensor LDR yang dirangkai kuadran, sehingga solar tracker dual axis mengikuti posisi matahari secara otomatis dengan presisi, sebagaimana dibuktikan pada pengujian Tabel 5 dan Tabel 6.
5. Pergerakan solar tracker dapat dimonitoring secara berkala melalui aplikasi Blynk, memungkinkan analisis nilai real-time saat perubahan posisi matahari serta performa output tegangan, arus, dan daya, yang mengonfirmasi peningkatan efisiensi penangkapan energi matahari sepanjang hari.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap Prototype Monitoring Solar Tracker Dual Axis berbasis ESP32 dengan sensor LDR, dapat disimpulkan bahwa sistem mampu bekerja secara efektif dalam mengikuti pergerakan matahari secara otomatis dan melakukan pemantauan secara real-time melalui aplikasi Blynk. Sensor LDR berfungsi optimal sebagai pendeteksi intensitas cahaya matahari melalui

rangkaian pembagi tegangan yang menghasilkan sinyal analog proporsional ke ESP32; ketika sensor terhalang, data rendah memicu motor servo bergerak mencari cahaya maksimal, sedangkan tanpa penghalang, sistem mengikuti pergerakan cahaya secara presisi. Ketika keempat LDR mendeteksi intensitas cahaya yang sama, sistem berhenti bergerak, menandakan posisi panel tegak lurus terhadap sinar matahari, sebagaimana dikonfirmasi pada pengujian luar ruangan dengan penyesuaian dinamis dari timur (pagi), vertikal (siang), hingga barat (sore) pukul 10:00-18:00, serta monitoring real-time tegangan, arus, daya, dan sudut servo via Blynk.

Selain itu, daya yang dihasilkan oleh panel surya berhasil disimpan dalam baterai dan digunakan untuk menyalakan beban seperti lampu, sebagaimana dibuktikan dalam proses pengisian baterai oleh panel fotovoltaik yang mengumpulkan energi matahari, menunjukkan bahwa sistem konversi dan penyimpanan energi berfungsi secara optimal. Berdasarkan pengujian dari pukul 10:00 hingga 18:00, pergerakan solar tracker menyesuaikan posisi matahari secara dinamis, menghadap timur pada pagi hari, tegak lurus ke atas pada siang hari, dan menghadap barat pada sore hari, dengan sudut koordinat servo X dan Y yang terpantau secara real-time melalui aplikasi Blynk. Hasil ini mengonfirmasi bahwa sistem dual-axis solar tracker yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari secara signifikan serta mendukung pemantauan digital yang komprehensif dan efisien.

Untuk meningkatkan performa sistem solar tracker dual axis berbasis ESP32 dengan monitoring IoT, pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada integrasi sensor tambahan seperti PZEM-004T V3.0 dan LM35 untuk monitoring tegangan, arus, temperatur, serta pengendalian relay secara otomatis, sebagaimana diterapkan pada sistem serupa yang memproses sinyal input dari Blynk Cloud untuk output optimal. Selain itu, eksplorasi penggunaan Arduino sebagai mikrokontroler alternatif dapat dilakukan untuk membandingkan efisiensi pemrosesan data sensor LDR dan perintah servo motor 180 derajat, di mana Arduino memproses informasi cahaya matahari untuk menggerakkan panel surya menuju posisi optimal sambil mengisi baterai dan mengirim data ke platform IoT setiap 3 detik. Pengembangan ini akan meningkatkan akurasi tracking, efisiensi konversi energi, dan ketahanan sistem terhadap variasi lingkungan, sehingga mendukung aplikasi PLTS skala besar dengan monitoring real-time yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiana H, Bening Kusumaningtyas A, Maulana R. Rancang Bangun PLTS Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Menggunakan ESP32. *Pros SENIATI* 2023;7:177–82. <https://doi.org/10.36040/seniati.v7i2.7944>.
- [2] Berdi G, Larasati DC, Amelia3 A. Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Untuk PLTS Dengan Sistem Monitoring Dan Switching Berbasis IoT. *Konf Nas Soc Dan Eng Politek Negeri Medan* 2024;650–62.
- [3] Hakim TD, Sukma M. Rancang Bangun Dual-Axis Solar Tracker Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *J Elektro, Univ Kristen Dwipayana* 2022;10.
- [4] Manahampi F, Charles J, Maukar D, Zuldesmi. Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Berbasis Arduino Uno untuk meningkatkan Daya Keluaran pada Panel Surya Monocrystallin 50Wp. *J Mesin Nusantara* 2024;7:197–209. <https://doi.org/10.29407/jmn.v7i2.22607>.
- [5] Prasetyo EE, Marausna G, Nugroho DW. 200 WP Solar Panel Power Plant Optimization Using Dual Axis Solar Tracker System. *J Nas Tek Elektro Dan Teknol Inf* | 2022;11:215–21.
- [6] Mohd Said MNA, Jumaat SA, Jawa CRA. Dual axis solar tracker with iot monitoring system using arduino. *Int J Power Electron Drive Syst* 2020;11:451–8. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i1.pp451-458>.
- [7] Firmando Saragih, Realita Buaton, Magdalena Simanjuntak. Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT). *Router J Tek Inform Dan Terap* 2024;2:239–52. <https://doi.org/10.62951/router.v2i3.220>.
- [8] Pranata H, Soetedjo A, Ashari MI. Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Panel Surya Berbasis Arduino. *Pros SENIATI* 2022;6:9–16. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i1.4833>.
- [9] Tamari AH, Amirullah A. Kombinasi Sistem Solar Tracker Dua Sumbu dan Automatic Transfer Switch (ATS) untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Pembangkit Photovoltaic (PV) Menggunakan Sensor Photodiode dan Arduino Nano. *Rekayasa* 2022;15:164–74. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.14444>.

- [10] Aji Saputra B, Ma'Arif A. Prototipe Solar Tracking Berbasis Arduino dan Sensor Light Dependent Resistor (LDR). *Bul Ilm Sarj Tek Elektro* 2022;4:30–40. <https://doi.org/10.12928/biste.v4i1.5547>.
- [11] Hidayah A, Irawan D. Implementasi Fuzzy Logic Pada Kontrol Solar Tracker Dual Axis Berbasis Haiwel Clouds Scada. *TechnoCom* 2024;23:400–10. <https://doi.org/10.62411/tc.v23i2.10356>.
- [12] A M, Prayogi S. Perancangan Sistem Monitoring Android-IoT yang Efisien untuk Solar Charge Controller MPPT Epever berbasis Modbus RTU. *TechnoCom* 2025;24:824–33. <https://doi.org/10.62411/tc.v24i3.13438>.
- [13] Lasera AB, Wahyudi IH. Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System. *J Sist Inf* 2020;6:45–52.