

Monitoring Solar Tracker Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32

Sarah Ika Puspita Arum^{1*}, Wahyu Agung Adi Nugroho², Muhammad Iqbal Afnan³

¹Teknik Informatika Fakultas Ilmu
Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

^{1*}220103106@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika Fakultas Ilmu
Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

²220103109@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika Fakultas Ilmu
Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

³220103099@mhs.udb.ac.id

Abstrak— Penggunaan energi surya semakin krusial sebagai solusi ramah lingkungan dalam memenuhi kebutuhan listrik. Namun, efisiensi panel surya konvensional terbatas karena posisinya yang statis dan tidak mengikuti pergerakan matahari. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe solar tracker otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Nano yang dapat mengoptimalkan penyerapan energi matahari secara real-time melalui website. Sistem ini menggunakan sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya, yang kemudian diproses oleh Arduino Nano untuk menggerakkan servo motor FS5106R agar panel selalu menghadap matahari. Untuk pemantauan kinerja, modul WiFi ESP32 mengirimkan data arus, tegangan, dan daya ke website. Dari hasil pengujian selama 7 hari, sistem berhasil menunjukkan kemampuan pelacakan otomatis dengan daya rata-rata 0.86 Watt dan daya maksimum 1.29 Watt, menghasilkan efektivitas sekitar 66.73%. Performa ini menunjukkan peningkatan potensi penyerapan energi dibandingkan sistem statis, mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang lebih efisien.

Kata kunci— Arduino Nano, Smart Solar Tracker, LDR, ESP32, Panel Surya

Abstract— The use of solar energy is increasingly crucial as an environmentally friendly solution to meet electricity demands. However, conventional solar panel efficiency is limited due to their static position, failing to track the sun's movement. This study aims to design and implement an automatic solar tracker prototype based on the Arduino Nano microcontroller to optimize solar energy absorption in real-time via a website. The system employs LDR sensors to detect light intensity, processed by the Arduino Nano to actuate FS5106R servo motors, ensuring the panel continuously faces the sun. For performance monitoring, an ESP32 WiFi module transmits current, voltage, and power data to a website. Over a 7-day testing period, the system successfully demonstrated automatic tracking capability with an average power of 0.86 Watts and a maximum power of 1.29 Watts, achieving an effectiveness of approximately 66.73%. This performance indicates enhanced energy absorption potential compared to static systems, supporting more efficient renewable energy utilization.

Keywords— Arduino Nano, Smart Solar Tracker, LDR, ESP32, Solar Panel.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi telah mendorong eksplorasi terhadap sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu sumber energi tersebut adalah energi surya, yang sangat melimpah dan dapat dimanfaatkan secara langsung melalui teknologi panel surya (photovoltaic) untuk menghasilkan energi listrik[1].

Namun, sistem panel surya konvensional yang bersifat statis memiliki keterbatasan dalam menyerap radiasi matahari secara maksimal karena tidak mampu mengikuti pergerakan harian maupun musiman dari matahari. Hal ini menyebabkan konversi energi yang diperoleh menjadi tidak optimal. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkanlah sistem solar tracker yang memungkinkan panel surya bergerak secara otomatis mengikuti arah datangnya sinar matahari

guna menjaga sudut insiden tetap tegak lurus terhadap permukaan panel[2].

Solar tracker dua sumbu (dual-axis) secara khusus dapat melacak posisi matahari baik secara horizontal (azimuth) maupun vertikal (altitude), sehingga mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari hingga lebih dari 30% dibandingkan dengan sistem statis[3]. Dalam sistem ini, sensor seperti photodiode atau LDR (Light Dependent Resistor) digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya, sedangkan mikrokontroler seperti Arduino mengatur pergerakan motor penggerak panel surya berdasarkan input dari sensor[4].

Tidak hanya aspek pergerakan panel, monitoring kinerja sistem secara real-time juga menjadi hal yang penting. Dengan integrasi teknologi Internet of Things (IoT), data terkait arus, tegangan, dan energi yang dihasilkan dapat dipantau dan ditampilkan melalui platform website maupun langsung pada tampilan LCD, sehingga pengguna

dapat memperoleh informasi yang akurat dan terkini secara jarak jauh[5][2].

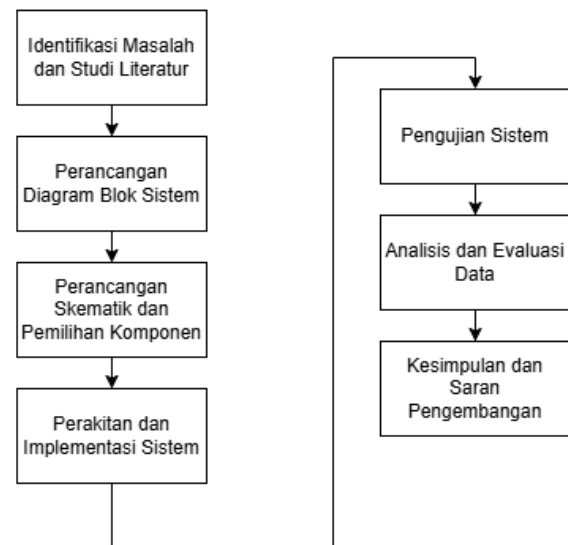
Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan keterjangkauan sistem solar tracker ini. Nurdiansyah et al. (2020) mengembangkan sistem kendali rotasi matahari berbasis Arduino Uno untuk mendukung dua arah gerak panel surya dan menunjukkan hasil peningkatan daya listrik yang signifikan[4]. Penelitian oleh Muthukumar et al. (2023) menambahkan teknologi IoT untuk memantau performa sistem secara daring dan memberikan bukti bahwa dual-axis tracker dapat meningkatkan output daya dan efisiensi[3]. Selain itu, Shang dan Shen (2023) menunjukkan bahwa desain sistem dua sumbu dapat meningkatkan efisiensi hingga 24,6% dibandingkan dengan sistem statis[6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, prototipe sistem kendali otomatis panel surya tracker ini dikembangkan dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik, menyediakan sistem pelacakan matahari dua sumbu secara otomatis, serta memfasilitasi pemantauan data arus, tegangan, dan energi melalui antarmuka website dan tampilan LCD secara real-time. Pengembangan ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam pemanfaatan energi surya, khususnya dalam skala kecil dan menengah, serta mendukung agenda energi berkelanjutan dan pemanfaatan teknologi digital berbasis IoT.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kendali otomatis panel surya tracker berbasis mikrokontroler Arduino Nano yang mampu mengikuti arah matahari secara otomatis dan memantau data kinerja secara real-time melalui website dan LCD. Data utama yang dimonitor antara lain tegangan, arus, dan energi yang dihasilkan panel surya. Sistem ini memanfaatkan sensor LDR, motor servo dua sumbu, dan komunikasi nirkabel menggunakan modul ESP32, serta sensor orientasi MPU-6050 untuk mendeteksi sudut kemiringan panel. Tahapan penelitian ini

mengacu pada alur kerja yang sistematis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Alur Tahapan Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

a. Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Pengamatan dilakukan terhadap efisiensi panel surya konvensional dan keterbatasannya. Studi literatur dilakukan terhadap teknologi solar tracker otomatis, sistem kendali mikrokontroler, dan sistem pemantauan berbasis IoT yang telah diteliti sebelumnya. Pada tahap awal, dilakukan pengamatan terhadap efisiensi panel surya konvensional serta studi literatur terkait solar tracker otomatis, sistem kendali berbasis mikrokontroler, dan pemantauan IoT berbasis web[7][4].

b. Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan diagram blok dilakukan untuk memetakan hubungan fungsional antar komponen, seperti sensor, mikrokontroler, motor servo, panel surya, dan modul komunikasi data.

c. Perancangan Skematik dan Pemilihan Komponen

Skematik dirancang untuk menghubungkan Arduino Nano dengan komponen-komponen utama. Pemilihan komponen mempertimbangkan efisiensi, kompatibilitas, dan kemudahan integrasi.

d. Perakitan dan Implementasi Sistem

Semua komponen dirakit sesuai skema rangkaian. Program dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk mengatur fungsi pelacakan otomatis, komunikasi data, dan pemantauan sistem.

e. Pengujian Sistem

Sistem diuji pada area terbuka dengan kondisi sinar matahari langsung untuk menilai akurasi pelacakan serta keandalan pengiriman data.

f. Analisis dan Evaluasi Data

Data hasil pemantauan berupa tegangan, arus, dan sudut rotasi servo dianalisis untuk menilai efektivitas sistem. Evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi kekurangan dan memberikan saran pengembangan.

2.1 Sistem Kendali

Sistem kendali adalah kumpulan komponen yang saling terhubung untuk mencapai tujuan tertentu, yakni mengatur atau mengendalikan suatu proses agar beroperasi sesuai parameter yang diinginkan[8]. Secara umum, sistem kendali dibagi menjadi dua jenis: loop terbuka, di mana aksi kontrol tidak bergantung pada keluaran sistem, dan loop tertutup, di mana keluaran diukur dan digunakan sebagai umpan balik untuk penyesuaian kendali.

Pada penelitian ini, sistem kendali dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino Nano sebagai otak utama yang menerima data intensitas cahaya dari sensor LDR dan mengatur sudut motor servo FS5106R untuk memposisikan panel surya terhadap matahari[9]. Selain itu, modul Wi-Fi ESP32 diintegrasikan untuk mengirimkan data arus, tegangan, dan posisi sudut panel ke server web secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau kinerja sistem dari jarak jauh melalui antarmuka web[10].

Sistem kendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikrokontroler Arduino Nano, yang bertanggung jawab untuk menerima input dari sensor cahaya (LDR) dan mengendalikan motor servo FS5106R untuk mengubah posisi panel surya. Sistem ini akan bergerak secara otomatis mengikuti perubahan posisi matahari, sehingga panel surya selalu berada pada posisi yang optimal untuk penyerapan energi. Selain itu, modul Wi-Fi ESP32

digunakan untuk menghubungkan sistem ke jaringan internet, memungkinkan pemantauan real-time dari kinerja sistem melalui website monitoring. Modul Wi-Fi ini berfungsi untuk mengirimkan data sistem secara terus-menerus ke website, sehingga pengguna dapat memantau posisi panel surya dan status kinerja sistem dari jarak jauh[1].

2.2 Panel Surya

Panel surya adalah perangkat fotovoltaik yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini digunakan panel surya 5V sebagai sumber utama untuk mengisi daya sistem. Panel ini akan dipasang padaudukan yang dapat bergerak mengikuti pergerakan matahari, dikendalikan oleh motor servo melalui perintah dari Arduino Nano. Dengan sistem ini, diharapkan energi yang diserap menjadi lebih optimal[4]. Sammang et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan sistem pelacakan pada panel surya dapat meningkatkan tegangan output rata-rata sebesar 0,895% dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara tetap[2].



Gambar 2 Solar Panel

Prototype yang akan dibuat adalah sistem solar tracker berbasis Arduino Nano yang akan memanfaatkan panel surya untuk menggerakkan sistem secara otomatis. Panel surya ini akan dipasang pada sistem yang dapat bergerak mengikuti pergerakan matahari dengan bantuan motor servo FS5106R yang dikendalikan oleh Arduino. Sistem ini juga dilengkapi dengan sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari dan modul Wi-Fi ESP32 untuk memungkinkan pemantauan real-time melalui website. Tujuan dari prototype ini adalah untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari dengan cara otomatis

mengikuti pergerakan matahari dan memantau kinerja sistem secara jarak jauh.

2.3 MPU

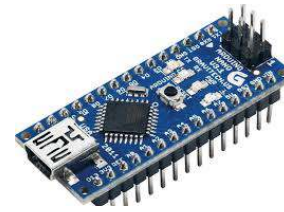
MPU-6050 merupakan modul sensor gerakan enam sumbu (6 DoF) yang menggabungkan sensor percepatan (accelerometer) dan sensor kecepatan sudut (gyroscope) dalam satu chip. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi pergerakan pada sumbu X, Y, dan Z secara simultan, serta mampu memberikan hasil pengukuran yang presisi berkat konverter analog-ke-digital (ADC) 16-bit di setiap kanalnya. Selain itu, modul ini menggunakan komunikasi I2C sehingga mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. MPU-6050 sering digunakan dalam sistem navigasi berbasis IMU untuk mengukur orientasi dan pergerakan benda dalam ruang tiga dimensi [2].



Gambar 3 MPU

2.4 Arduino Nano

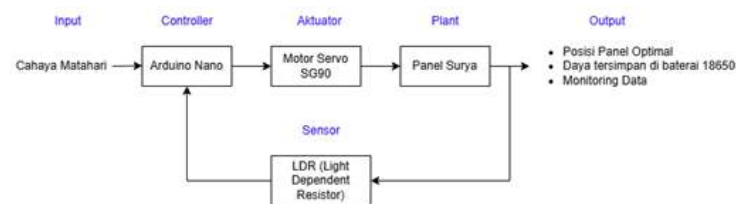
Arduino Nano berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Mikrokontroler ini bertugas membaca input dari sensor LDR dan MPU-6050, memproses data, dan mengatur pergerakan motor servo untuk mengubah posisi panel surya. Selain itu, Arduino Nano juga mengatur komunikasi dengan modul ESP32 sehingga dapat dimonitoring secara real-time melalui website dan LCD. Penggunaan mikrokontroler Arduino dalam sistem pelacakan panel surya telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari. Dalam penelitian oleh Sammam et al. (2022), sistem pelacakan berbasis Arduino mampu meningkatkan intensitas cahaya yang diterima hingga 29,123% dibandingkan dengan panel surya statis[2].



Gambar 4 Arduino Nano

2.5 Perancangan Diagram Blok

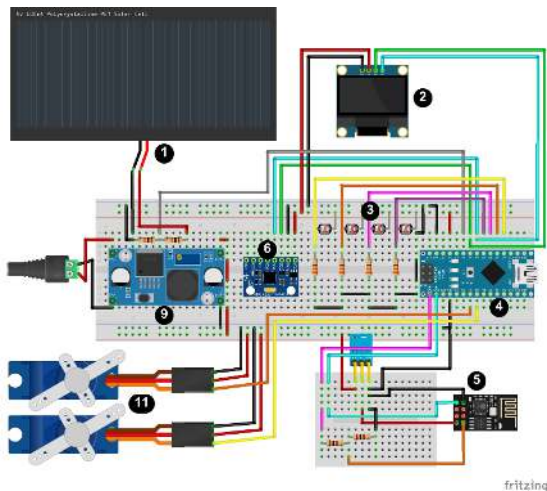
Perancangan diagram blok bertujuan untuk menggambarkan alur kerja sistem mulai dari deteksi cahaya hingga pengiriman data. Sistem ini melibatkan sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya, Arduino Nano sebagai mikrokontroler, motor servo SG90 sebagai aktuator, serta panel surya sebagai plant. Output sistem meliputi posisi panel yang optimal, penyimpanan daya ke baterai, dan monitoring data secara real-time melalui LCD dan website.



Gambar 5 Diagram Blok Sistem

2.6 Perancangan Skema dan Komponen Alat

Penyusunan rangkaian sekema alat elektronik serta koneksi antara mikrokontroler Arduino Nano, sensor LDR, motor servo FS5106R, modul WiFi ESP32, dan komponen pendukung lainnya. Penelitian ini menggunakan beberapa komponen alat sebagai berikut :



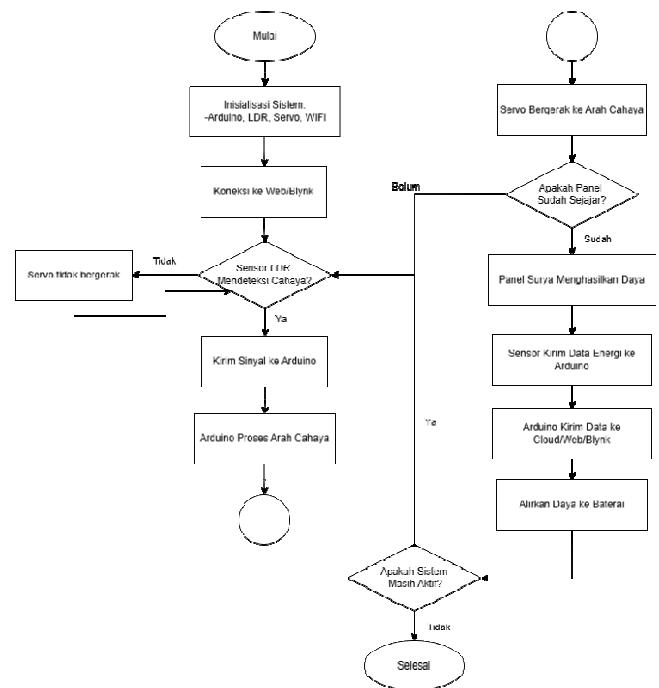
Gambar 6 Rangkaian Skema Alat

- Panel Surya 5V : Mengubah sinar matahari menjadi energi listrik DC.
- OLED Display (I2C) : Menampilkan data tegangan, arus, atau status sistem secara real-time.
- Sensor LDR (4 buah) : Mendeteksi intensitas cahaya dari empat arah (atas, bawah, kiri, kanan).
- Arduino Nano : Mikrokontroler utama yang mengendalikan semua proses dan logika.
- ESP32 : Modul WiFi untuk mengirimkan data ke website monitoring.
- MPU-6050 : Sensor akselerometer dan gyroscope untuk deteksi orientasi panel.
- TP4056 : Modul charger baterai 18650 dengan proteksi pengisian.
- Baterai 18650 : Menyimpan daya dari panel surya sebagai sumber cadangan energi.
- MT3608 (Boost Converter) : Menaikkan tegangan baterai ke 5V untuk kebutuhan sistem.
- Motor Servo 2 : Menggerakkan panel surya secara vertikal dan horizontal.

2.7 Alur Kerja Sistem

Gambar 7 di bawah ini merupakan flowchart yang menggambarkan alur kerja dari sistem solar tracker otomatis yang dirancang. Flowchart ini memperlihatkan langkah-langkah operasional mulai

dari inialisasi sistem hingga pemantauan data dan pengisian daya ke baterai secara otomatis.



Gambar 7 Flowchart Alur Kerja Sistem

Pertama, sistem akan melakukan proses inialisasi, yaitu mengaktifkan komponen-komponen seperti Arduino Nano, sensor LDR, motor servo, serta modul WiFi ESP32. Setelah itu, sistem akan secara otomatis menghubungkan diri ke jaringan internet melalui platform monitoring melalui web server yang telah ditentukan.

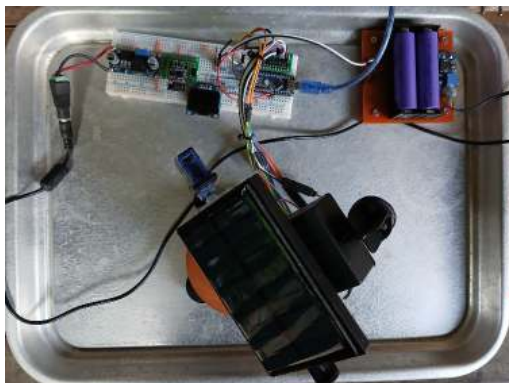
Jika sensor LDR mendeteksi keberadaan cahaya matahari, maka sinyal dari sensor akan dikirim ke Arduino. Arduino akan memproses arah datangnya cahaya tersebut untuk menentukan apakah posisi panel sudah sejajar dengan sumber cahaya. Jika belum, Arduino akan memberikan perintah kepada motor servo agar bergerak mengarahkan panel surya ke posisi optimal. Proses ini akan berlangsung hingga panel sejajar dengan arah datang cahaya.

Saat panel surya telah berada pada posisi yang optimal, maka panel akan mulai menghasilkan daya. Sensor arus dan tegangan akan membaca energi yang dihasilkan dan mengirimkannya ke Arduino. Data ini kemudian diteruskan ke cloud atau platform web untuk dipantau secara real-time oleh

pengguna. Sementara itu, energi yang dihasilkan dialirkan ke baterai 18650 untuk disimpan dan digunakan saat diperlukan. Selama sistem masih aktif dan menerima sinyal input dari cahaya, proses ini akan terus berlangsung. Jika sistem dimatikan, maka siklus kerja sistem pun akan berakhir.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem solar tracker berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem mampu mendeteksi arah cahaya matahari secara otomatis dan menggerakkan panel surya mengikuti arah datangnya sinar untuk memaksimalkan penyerapan energi. Data intensitas cahaya dan status posisi panel dapat dikirim secara real-time ke website monitoring melalui koneksi internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat merespons perubahan cahaya dengan cepat dan stabil, serta memberikan data pemantauan yang akurat pada website. Pada bagian ini disajikan hasil pengujian prototipe sistem solar tracker otomatis dan analisis data yang diperoleh selama periode pengujian.



Gambar 8 Prototipe Alat Solar Tracker Otomatis

3.1 Parameter yang Dipantau

Selama pengujian sistem solar tracker, beberapa parameter kunci dipantau secara real-time dan dicatat untuk mengevaluasi kinerja alat. Parameter-parameter tersebut meliputi Tanggal dan Jam Pengambilan Data, Voltage (V), Current (A), Power (Watt), Kondisi Cuaca, serta axisX dan axisY yang merepresentasikan orientasi panel. Data lengkap hasil pengujian direkam setiap 30 menit dari pukul 09:00 hingga 12:00 WIB selama 7 hari.

3.2 Analisis Daya Harian dan Keseluruhan

Untuk mendapatkan gambaran komprehensif tentang kinerja harian sistem, Tabel 1 menyajikan rata-rata serta total dari Voltage, Current, Power, AxisX, dan AxisY harian yang terakumulasi dari seluruh pembacaan per 30 menit pada jam 09:00 hingga 12:00 WIB setiap harinya.

Tabel 1 Ringkasan Hasil Pengujian Harian (09:00-12:00 WIB)

Tanggal	Rata-rata V	Total V	Rata-rata A	Total A	Rata-rata W	Total W	Axis X	Axis Y
06-06-2025	4.21	29.37	0.21	1.47	0.89	6.2	2.94	18.23
07-06-2025	4.09	28.60	0.20	1.43	0.86	5.99	3.09	15.88
08-06-2025	3.66	25.61	0.18	1.28	0.68	4.79	3.08	17.48
09-06-2025	4.05	28.32	0.20	1.42	0.83	5.80	2.99	18.39
10-06-2025	3.94	27.79	0.20	1.38	0.81	5.65	3.96	59.29
11-06-2025	4.28	30.06	0.21	1.50	0.93	6.53	4.66	49.66
12-06-2025	4.33	31.71	0.22	1.59	1.03	7.22	4.19	58.98

- Penghitungan Rata-rata Total Daya Harian :

Rata-rata total daya harian dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai 'Total Daya (09:00-12:00)' dari Tabel 1, kemudian membaginya dengan jumlah hari pengujian.

$$\text{Rata - rata Total Daya Harian} = \frac{E(\text{Total Daya Harian per Hari})}{\text{Jumlah Hari Pengujian}}$$

$$\text{Rata - rata Total Daya Harian} = \frac{42.18}{7} = 6.03 \text{ Watt}$$

- Penghitungan Rata-rata Daya per Pembacaan Secara Keseluruhan :

Rata-rata daya per pembacaan secara keseluruhan mencerminkan rata-rata daya dari semua data individual yang terkumpul selama periode pengujian (09:00-12:00 WIB). Ini dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai daya dari setiap pembacaan yang direkam dan membaginya dengan total jumlah pembacaan.

$$\text{Rata - rata Daya per Pembacaan Keseluruhan} = \frac{E(\text{Daya setiap Pembacaan})}{\text{Total Jumlah Pembacaan}}$$

Dari data pengujian, terdapat 7 pembacaan per hari selama 7 hari, sehingga total pembacaan

adalah $7 \times 7 = 49$ pembacaan. Jumlah total daya dari semua pembacaan adalah 42.18 Watt.

$$\text{Rata-rata Daya per Pembacaan Keseluruhan} = \frac{42.18}{49} = 0.8608 \text{ Watt}$$

Nilai rata-rata daya per pembacaan secara keseluruhan ini, yang dibulatkan menjadi 0.86 Watt, akan digunakan sebagai 'rata-rata daya aktual' dalam perhitungan efektivitas sistem.

3.3 Efektivitas Panel Tracker

Efektivitas alat solar panel tracker dihitung dengan rumus :

$$\text{Efektivitas} = \left(\frac{\text{rata-rata daya aktual}}{\text{daya maksimum}} \right) \times 100\%$$

Dengan rata-rata daya aktual keseluruhan (0.86 Watt) dan daya maksimum (1.29 Watt), efektivitas alat ini adalah :

$$\text{Efektivitas} = \left(\frac{0.86}{1.29} \right) \times 100\% = 66.73\%$$

Nilai efektivitas sebesar 66.73% menunjukkan bahwa sistem solar tracker ini mampu menghasilkan daya rata-rata sekitar dua pertiga dari kapasitas daya puncaknya. Angka ini lebih tinggi dibandingkan sistem statis konvensional yang memiliki keterbatasan dalam menyerap radiasi matahari secara maksimal.

3.4 Stabilitas dan Respons Tracker

Berdasarkan data axisX dan axisY, tracker menunjukkan pergerakan yang bervariasi untuk menyesuaikan diri dengan posisi matahari. Nilai axisX berkisar dari -5.52 hingga 5.73, sementara axisY berkisar dari 10.88 hingga 67.3. Pergerakan ini menunjukkan respons tracker dalam menjaga orientasi panel terhadap sumber cahaya matahari.

3.5 Pengaruh Cuaca

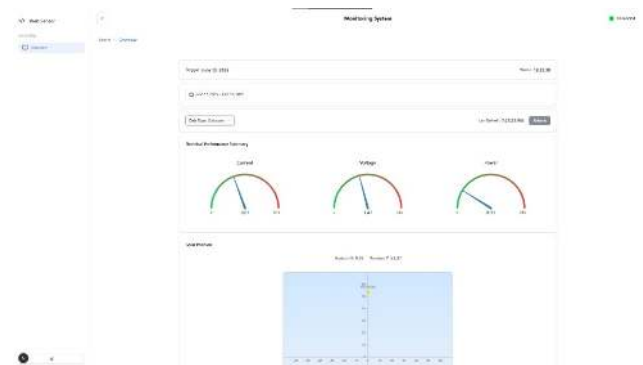
Kondisi cuaca memiliki pengaruh yang jelas terhadap daya yang dihasilkan:

- Rata-rata daya saat kondisi Cerah adalah sekitar 0.91 Watt.

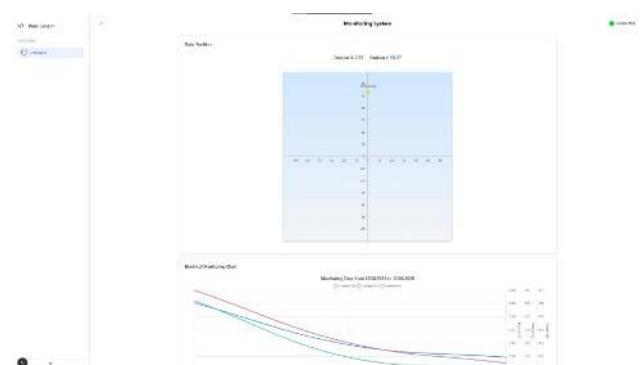
- Rata-rata daya saat kondisi Terang menunjukkan variasi, dengan nilai rata-rata sekitar 1.01 Watt pada beberapa observasi dan 0.68 Watt pada observasi lainnya. Pengaruh cuaca ini konsisten dengan prinsip dasar panel surya di mana intensitas cahaya matahari langsung akan menghasilkan daya yang lebih optimal.

3.6 Performa Alat

Alat solar panel tracker menunjukkan performa yang bervariasi selama periode pengujian 7 hari. Daya keluaran (Power) rata-rata keseluruhan adalah sekitar 0.86 Watt. Data pemantauan ini berhasil dikirim secara real-time ke website monitoring melalui koneksi internet, memungkinkan pengguna untuk memantau kinerja sistem dari jarak jauh.



Gambar 9 Tampilan Monitoring Data pada Website



Gambar 10 Tampilan Monitoring Data pada Website



Gambar 11 Tampilan Monitoring Data pada Website

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem solar tracker otomatis berbasis Arduino Nano yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem ini berhasil dirancang dan diimplementasikan. Pengujian dilakukan selama 7 hari, dari tanggal 06 hingga 12 Juni 2025, dengan pengambilan data setiap 30 menit antara pukul 09:00 hingga 12:00 WIB setiap harinya. Sistem mampu mendeteksi arah cahaya matahari secara otomatis dan menggerakkan panel surya untuk memaksimalkan penyerapan energi, serta data pemantauan kinerja panel surya (tegangan, arus, dan daya) berhasil dikirimkan secara real-time ke website monitoring melalui modul WiFi ESP32, memungkinkan pemantauan jarak jauh. Selama 7 hari pengujian, sistem mampu menghasilkan daya rata-rata sebesar 0.86 Watt dan mencapai daya maksimum 1.29 Watt pada tanggal 10 Juni 2025, dengan efektivitas sekitar 66.73% dari daya maksimum yang pernah dicapai. Pergerakan tracker yang diatur oleh axisX dan axisY menunjukkan respons yang stabil dalam menjaga orientasi panel terhadap sumber cahaya matahari, meskipun analisis stabilitas dan respons yang lebih mendalam memerlukan data interval waktu yang lebih kecil dan pemahaman yang lebih rinci tentang algoritma pergerakan. Kondisi cuaca sangat memengaruhi daya yang dihasilkan, di mana

kondisi cerah atau terang menghasilkan daya yang lebih tinggi, namun pengaruh cuaca masih dominan, menunjukkan adanya potensi optimasi lebih lanjut dalam kondisi cahaya tidak ideal. Sistem ini memiliki kelebihan dalam kemampuan pelacakan otomatis yang meningkatkan efisiensi penyerapan energi dibandingkan panel statis, fitur pemantauan real-time melalui website yang memudahkan pengguna, dan penggunaan komponen terjangkau (Arduino Nano, LDR, ESP32) menjadikannya solusi hemat biaya untuk skala kecil dan menengah, serta memiliki potensi besar dalam penerapannya di lingkungan rumah tangga atau area pertanian dan mendukung agenda energi berkelanjutan berbasis IoT.

REFERENSI

- [1] Z. Syahtuta and M. Haryanti, "Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Berbasis IOT (Internet Of Thing)," *J. Univ. Suryadarma*, 2023.
- [2] M. Sammang, F. Mahmuddin, and H. Rivai, "Sistem Monitoring Energi Surya Jarak Jauh," *J. Penelit. Enj.*, vol. 26, no. 2, pp. 67–75, 2022, doi: 10.25042/jpe.112022.02.
- [3] P. Muthukumar, S. Manikandan, R. Muniraj, T. Jarin, and A. Sebi, "Energy efficient dual axis solar tracking system using IOT," *Meas. Sensors*, vol. 28, no. May, 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100825.
- [4] M. Nurdiansyah, E. C. Sinurat, M. Bakri, I. Ahmad, and A. B. Prasetyo, "Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino UNO," *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 40–45, 2020, doi: 10.33365/jtikom.v1i2.14.
- [5] I. Zachepa, V. Kuzmenko, N. Zachepa, M. Antonov, M. Antonova, and O. Khrebtova, "Modeling and Research of Automatic Sun Tracking System On the Bases of Arduino," *Proc. 5th Int. Conf. Mod. Electr. Energy Syst. MEES 2023*, 2023, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402538.
- [6] C. Sheng *et al.*, "Design and Implementation of Vehicle-Mounted Dual-Axis Solar Tracking System," *2023 IEEE 5th Int. Conf. Power, Intell. Comput. Syst. ICPICS 2023*, pp. 534–540, 2023, doi: 10.1109/ICPICS58376.2023.10235525.
- [7] A. H. Tamari and A. Amirullah, "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*, vol. 15, no. 2, pp. 164–174, 2022, doi: 10.21107/rekayasa.v15i2.14444.
- [8] T. Susanto, S. D. Riskiono, R. Rikendry, and A. Nurkholis, "Implementasi Kendali Lqr Untuk Pengendalian Sikap Longitudinal Pesawat Flying Wing," *Electro Luceat*, vol. 6, no. 2, pp. 245–254, 2020, doi: 10.32531/jelekn.v6i2.257.
- [9] S. Samsugi, Z. Mardiyansyah, and A. Nurkholis, "Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 1, no. 1, p. 17, 2020, doi: 10.33365/jtst.v1i1.719.
- [10] A. Pangestu, A. Ziky Iftikhor, Damayanti, M. Bakri, and M. Alfarizi, "Sistem Rumah Cerdas Berbasis Iot Dengan Mikrokontroler Nodemcu Dan Aplikasi Telegram," *Jtikom*, vol. 1, no. 1, pp. 8–14, 2020.