

Perancangan Solar Tracker Dual Axis Berbasis Sistem Otomatis Real-Time dalam Meningkatkan Kinerja Panel Surya

God Friend Pastian Lase^{1*}, Siti Anisah², Zuraidah Tharo³

^{1,2,3}Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia
Email: ¹ariellase180@gmail.com, ²sitianisah@dosen.pancabudi.ac.id, ³zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id

(* Email Corresponding Author: ariellase180@gmail.com)

Received: 28 Juni 2026 | Revision: 1 Juli 2026 | Accepted: 5 Juli 2026

Abstrak

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan sebagai alternatif pengganti energi fosil. Salah satu sumber energi yang potensial di Indonesia adalah energi surya. energi surya merupakan sumber energi yang melimpah dan berpotensi besar untuk dikembangkan melalui PLTS guna mengurangi ketergantungan pada energi fosil. melalui penggunaan panel fotovoltaik. Namun, panel surya statis memiliki keterbatasan karena tidak mampu mengikuti perubahan posisi matahari sepanjang hari, sehingga penyerapan radiasi matahari kurang optimal. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem *solar tracker dual axis berbasis otomatis real-time* untuk meningkatkan kinerja panel surya berkapasitas 5 Wp. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali, sensor Light Dependent Resistor (LDR) sebagai pendeteksi arah cahaya, serta motor servo sebagai penggerak panel pada dua sumbu, yaitu horizontal dan vertikal. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif di laboratorium dengan membandingkan performa panel surya statis dan panel surya yang menggunakan sistem solar tracker dual axis. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran, dengan pengukuran dilakukan setiap satu jam mulai pukul 08.00 hingga 17.00 WIB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem solar tracker dual axis menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan panel statis pada seluruh waktu pengamatan. Daya maksimum sistem tracker tercatat sebesar 4,08 Watt pada pukul 12.00 WIB, sedangkan panel statis sebesar 3,10 Watt. Persentase peningkatan daya rata-rata berada di atas 40%, dengan peningkatan tertinggi mencapai 156,51% pada pukul 17.00 WIB. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan solar tracker dual axis efektif dalam meningkatkan efisiensi dan daya keluaran panel surya skala kecil. Sistem ini berpotensi diterapkan sebagai solusi sederhana dan ekonomis dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga surya, khususnya pada daerah dengan keterbatasan akses energi listrik.

Kata Kunci: Panel Surya, Solar Tracker Dual Axis, Arduino Uno, Energi Terbarukan, Efisiensi Daya.

Abstract

The increasing demand for electrical energy encourages the utilization of renewable energy sources as an alternative to fossil fuels. One of the most potential energy sources in Indonesia is solar energy through the use of photovoltaic panels. However, static solar panels have limitations because they cannot follow the movement of the sun throughout the day, resulting in less optimal absorption of solar radiation. This study aims to design and test a real-time automatic dual-axis solar tracker system to improve the performance of a 5 Wp solar panel. The system was designed using an Arduino Uno microcontroller as the main controller, Light Dependent Resistor (LDR) sensors as light direction detectors, and servo motors to move the panel on two axes, namely horizontal and vertical. The research method used was a quantitative laboratory experiment by comparing the performance of static solar panels and solar panels equipped with a dual-axis solar tracker system. The observed parameters included voltage, current, and output power, with measurements carried out every hour from 08:00 to 17:00 WIB. The test results showed that the solar panel with the dual-axis solar tracker system produced higher power than the static panel at all observation times. The maximum power output of the tracker system was recorded at 4.08 Watts at 12:00 WIB, while the static panel only produced 3.10 Watts. The average percentage increase in power was above 40%, with the highest improvement reaching 156.51% at 17:00 WIB. Based on the results of this study, it can be concluded that the implementation of a dual-axis solar tracker is effective in improving the efficiency and output power of small-scale solar panels. This system has the potential to be applied as a simple and economical solution in the development of solar power plants, especially in areas with limited access to electrical energy.

Keywords: solar panel, dual-axis solar tracker, Arduino Uno, renewable energy, power efficiency.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan kawasan industri, kemajuan teknologi, serta meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap perangkat elektronik. Energi listrik saat ini telah menjadi kebutuhan utama dalam berbagai sektor, seperti rumah tangga, pendidikan, kesehatan, transportasi, dan industri. Namun, sebagian besar kebutuhan energi listrik masih dipenuhi dari sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain cadangan sumber daya yang semakin menipis, harga energi yang tidak stabil, serta meningkatnya pencemaran lingkungan akibat emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemanfaatan sumber energi alternatif yang bersih, ramah lingkungan, dan berkelanjutan [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya.

Letak geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis menyebabkan intensitas penyinaran matahari relatif tinggi sepanjang tahun. Kondisi ini memberikan peluang besar dalam pemanfaatan panel surya sebagai pembangkit listrik tenaga surya. Panel surya atau modul fotovoltaik bekerja dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Teknologi ini memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak menghasilkan polusi, biaya operasional rendah, mudah dipasang, serta cocok diterapkan di daerah perkotaan maupun wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN [3]. penggunaan sistem PLTS dapat menghemat konsumsi energi listrik dan mengurangi biaya penggunaan listrik konvensional. Oleh karena itu, teknologi PLTS layak dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan[4].

Meskipun demikian, penggunaan panel surya konvensional masih memiliki keterbatasan. Pada umumnya panel surya dipasang secara statis dengan sudut kemiringan tertentu dan tidak dapat mengikuti perubahan posisi matahari sepanjang hari. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi solar tracker yang mampu menyesuaikan posisi panel terhadap arah datangnya sinar matahari. Penerapan sistem tracker pada panel surya memungkinkan panel mengikuti pergerakan matahari sehingga energi yang diterima menjadi lebih optimal dibandingkan panel surya statis [5]. Padahal, posisi matahari terus bergerak dari timur ke barat serta mengalami perubahan sudut elevasi dari pagi hingga sore hari. Akibatnya, sinar matahari tidak selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel. Kondisi tersebut menyebabkan intensitas cahaya yang diterima panel berkurang sehingga daya keluaran menjadi tidak maksimal. Penurunan performa panel surya paling terlihat pada pagi dan sore hari ketika sudut datang cahaya cukup rendah [6].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu mengarahkan panel surya secara otomatis agar selalu menghadap sumber cahaya matahari. Penerapan sistem sun tracking otomatis pada PLTS terbukti mampu meningkatkan penyerapan cahaya matahari karena posisi panel dapat menyesuaikan arah datangnya sinar matahari secara otomatis [7]. Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan adalah *solar tracker*. Sistem *solar tracker* merupakan mekanisme penggerak panel surya yang dirancang mengikuti arah pergerakan matahari secara otomatis. Dengan sistem ini, panel surya dapat mempertahankan posisi optimal terhadap cahaya sehingga energi yang diterima menjadi lebih besar. Penggunaan *solar tracker* terbukti mampu meningkatkan efisiensi penyerapan radiasi matahari dibandingkan panel statis [8]. Secara umum, *solar tracker* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *single axis tracker* dan *dual axis tracker*. *Single axis tracker* hanya bergerak pada satu arah, biasanya dari timur ke barat mengikuti pergerakan harian matahari.

Sementara itu, *dual axis tracker* dapat bergerak pada dua sumbu sekaligus, yaitu horizontal dan vertikal. Sistem dua sumbu memungkinkan panel menyesuaikan arah azimuth dan sudut elevasi matahari secara lebih akurat. Dengan kemampuan tersebut, *dual axis tracker* dinilai lebih efektif dalam meningkatkan daya keluaran panel surya, terutama pada perubahan posisi matahari yang dinamis sepanjang hari [9]. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penerapan sistem pelacak matahari. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *single axis tracker* mampu meningkatkan efisiensi panel surya dibanding sistem tetap. Penelitian lain menyatakan bahwa *dual axis tracker* berbasis mikrokontroler memberikan peningkatan daya yang lebih tinggi karena panel dapat menyesuaikan sudut secara dua arah. Selain itu, beberapa studi menggunakan sensor cahaya jenis *Light Dependent Resistor* (LDR) sebagai pendeteksi arah datang cahaya karena biaya murah, mudah diperoleh, dan sederhana dalam pengoperasian. Penelitian lain juga memanfaatkan motor servo sebagai aktuator karena mampu bergerak presisi sesuai sudut yang diperintahkan mikrokontroler [10].

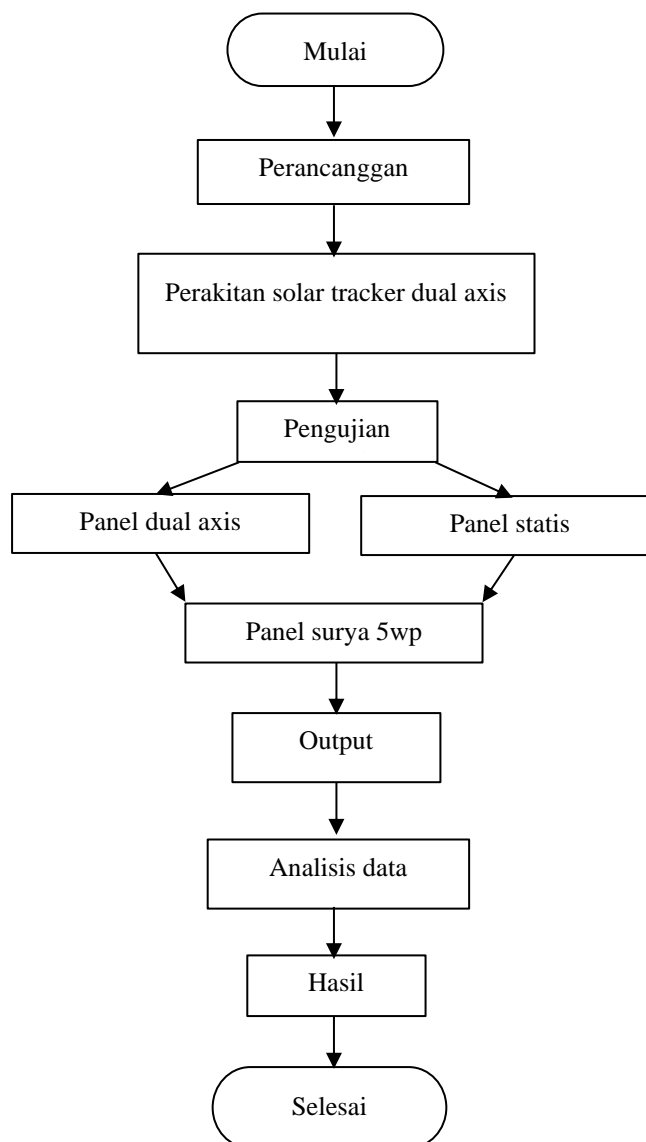
Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, sebagian besar penelitian masih menggunakan panel surya berkapasitas menengah atau besar, serta membutuhkan biaya implementasi yang relatif tinggi. Kajian mengenai penerapan *dual axis tracker* pada panel surya berkapasitas kecil seperti 5 Wp masih terbatas. Padahal, panel surya kapasitas kecil memiliki banyak manfaat, seperti untuk lampu penerangan sederhana, pengisian baterai, sistem portabel, maupun kebutuhan listrik skala rumah tangga kecil. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian yang fokus pada sistem pelacak matahari berbiaya rendah, sederhana, dan mudah diaplikasikan pada panel kecil. Tharo dkk. (2025) menyatakan bahwa penggunaan PLTS dapat mengurangi penggunaan energi konvensional dan mendukung energi yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, peningkatan kinerja panel surya perlu dilakukan agar pemanfaatan energi surya menjadi lebih optimal[11]. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa perancangan sistem *solar tracker dual axis* berbasis Arduino Uno dengan sensor LDR dan motor servo pada panel surya 5 Wp. Arduino Uno digunakan sebagai pusat pengendali yang membaca data sensor kemudian memberikan perintah gerak kepada motor servo agar panel selalu mengarah pada intensitas cahaya tertinggi secara *real-time*.

Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya dibandingkan pemasangan statis. Tujuan penelitian ini adalah merancang, menguji, dan menganalisis performa sistem *solar tracker dual axis* pada panel surya 5 Wp melalui perbandingan langsung dengan panel statis. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan skala kecil yang ekonomis, efisien, dan aplikatif. Selain itu, penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi mahasiswa, peneliti, maupun masyarakat dalam pemanfaatan energi surya secara lebih optimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada studi ini disusun secara sistematis berdasarkan rancangan pada proposal penelitian. Proses penelitian diawali dari tahap persiapan hingga diperoleh hasil analisis data. Tahapan ini bertujuan agar proses perancangan dan pengujian sistem *solar tracker dual axis* berjalan terarah dan sesuai tujuan penelitian. Tahap pertama adalah memulai penelitian dengan melakukan identifikasi masalah dan menentukan kebutuhan alat serta komponen yang digunakan. Pada tahap ini ditentukan bahwa objek penelitian adalah panel surya 5 Wp dengan sistem pelacak matahari dua sumbu berbasis Arduino Uno. Tahap kedua adalah perancangan sistem. Pada tahap ini dilakukan desain mekanik rangka penyangga panel surya serta desain sistem elektronik yang terdiri dari sensor LDR, Arduino Uno, dan motor servo sebagai aktuator penggerak panel. Tahap ketiga adalah perakitan *solar tracker dual axis*. Semua komponen dirangkai menjadi satu sistem utuh sesuai desain yang telah dibuat. Panel surya dipasang pada rangka mekanik yang mampu bergerak secara horizontal dan vertikal. Tahap keempat adalah pengujian panel. Pengujian dilakukan dengan dua metode perbandingan, yaitu panel surya menggunakan sistem *dual axis tracker* dan panel surya statis tanpa pelacak. Tahap kelima adalah pengambilan data output panel surya 5 Wp. Data yang diukur meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran pada masing-masing kondisi pengujian. Tahap keenam adalah analisis data. Data hasil pengujian diolah dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui peningkatan performa panel surya setelah menggunakan sistem pelacak matahari. Tahap terakhir adalah memperoleh hasil dan menarik kesimpulan dari penelitian mengenai efektivitas sistem *solar tracker dual axis* dalam meningkatkan daya keluaran panel surya.



Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian

2.2 Panel Surya (Fotovoltaik)

Panel fotovoltaik adalah alat yang terbuat dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari langsung menjadi energi listrik. Proses ini dipengaruhi secara signifikan oleh jumlah cahaya yang diterima oleh panel. Semakin banyak cahaya yang diterima oleh sel surya, semakin besar pula jumlah listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, posisi panel terhadap arah datangnya cahaya matahari menjadi elemen penting dalam menilai efisiensinya.

2.3 Sensor LDR

LDR (Light Dependent Resistor) adalah sensor cahaya yang resistansinya berubah seiring intensitas cahaya. Perbedaan intensitas yang ditangkap beberapa LDR dapat digunakan untuk menentukan posisi matahari. Konfigurasi empat LDR yang ditempatkan pada kuadran berbeda untuk mendeteksi arah datangnya sinar telah didemonstrasikan [7]. Konsep ini umum digunakan pada solar tracker dual axis karena sederhana dan murah.

2.4 Resistor

Resistor konvensional yang dipasang bersama Light Dependent Resistor (LDR) berfungsi untuk mengatur arus dan menstabilkan rangkaian. Kombinasi ini memungkinkan LDR merespons perubahan cahaya secara lebih akurat, sehingga sangat sesuai diterapkan pada sistem solar tracker yang membutuhkan kepekaan tinggi terhadap intensitas sinar matahari [12].

2.5 Motor Servo

Motor servo adalah aktuator dengan sistem umpan balik tertutup yang dapat bergerak presisi sesuai perintah sinyal PWM. Servo dipilih pada sistem solar tracker karena mampu mengatur posisi panel sesuai sudut matahari. Pentingnya pemilihan aktuator berdasarkan torsi beban panel dan faktor lingkungan (misalnya hembusan angin) telah ditekankan pada penelitian sebelumnya [13], [14].

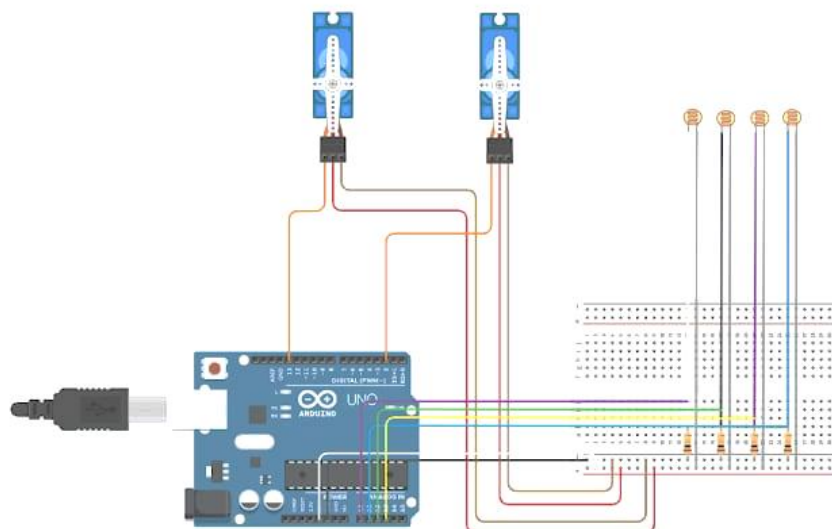
2.6 Mikrokontroler (Arduino)

Arduino Uno adalah sebuah mikrokontroler yang memungkinkan Penggunaan Arduino pada sistem solar tracker bekerja otomatis dan efisien dengan cara Mikrokontroler ini mengumpulkan informasi dari sensor LDR, memproses data tersebut, kemudian memberikan instruksi kepada motor servo untuk menggerakkan panel surya mengikuti posisi matahari. Studi terbaru menunjukkan Arduino dapat menjadi platform utama untuk sistem dual axis berbiaya rendah [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambar wiring diagram

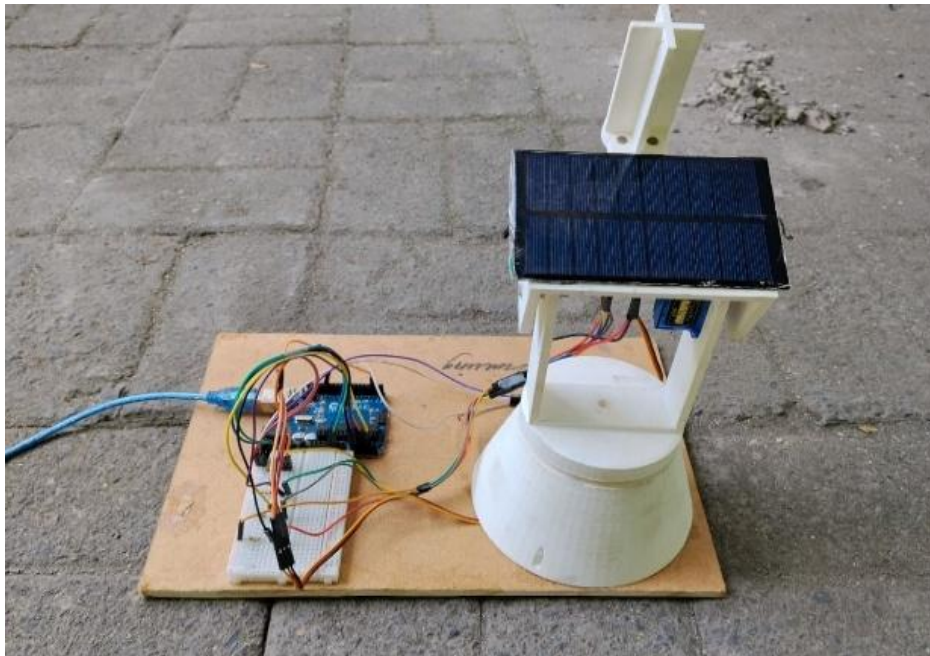
Tahap pertama dalam pembuatan Sistem solar tracker dual-axis yaitu membuat rangkaian wiring diagram yang menunjukkan hubungan fisik antar komponen seperti Arduino Uno, sensor LDR, motor servo, dan breadboard sebagai panduan pemasangan rangkaian sebelum sistem dioperasikan seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. wiring diagram.

3.2 Uji coba Sistem

Uji coba sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja PLTS 5 Wp dengan Dua jenis, yaitu panel surya statis (manual) dan solar tracker dual-axis berbasis Arduino Uno. Sistem solar tracker dual-axis dibuat sesuai dengan Bab III, menggunakan sensor LDR sebagai pendeteksi intensitas cahaya, mikrokontroler sebagai pusat kendali, serta motor servo untuk menggerakkan panel secara horizontal dan vertikal.



Gambar 3. plts solar tracker dual-axis.

Uji coba dilaksanakan pada kondisi cuaca cerah dengan rentang waktu pengamatan dari pukul 08.00 hingga 17.00 WIB. bagian utama yang diamati adalah arus keluaran panel surya (A) sebagai indikator langsung kemampuan panel dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik.

3.3 Hasil

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan sesuai dengan Bab III, diperoleh data pengukuran arus panel surya 5 Wp pada dua kondisi utama, yaitu panel statis (manual) dan panel dengan sistem solar tracker dual axis. Pengukuran dilakukan setiap satu jam mulai pukul 08.00 hingga 17.00 WIB menggunakan multimeter digital. Data hasil pengukuran arus disajikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Panel Surya 5 WP Dengan Solar Tracker Dual Axis.

Jam	Posisi Panel	Vpanel (V)	Vbeban (V)	Arus (A)	Daya (W)
08.00	Timur Laut	16,7	12,1	0,07	0,96
09.00	Timur	17,2	12,3	0,13	1,71
10.00	Timur Atas	17,3	12,6	0,20	2,64
11.00	Tengah Atas	17,7	12,9	0,25	3,34
12.00	Tegak Lurus	18,0	13,2	0,30	4,08
13.00	Barat Atas	17,8	13,0	0,28	3,76
14.00	Barat	17,2	12,7	0,23	3,04
15.00	Barat Daya	16,8	12,4	0,20	2,47
16.00	Barat Rendah	16,4	12,0	0,14	1,80
17.00	Barat Rendah	16,2	11,8	0,10	1,17

Tabel 2. Hasil Pengukuran Panel Surya 5 WP Tanpa Solar Tracker (Manual/Statís).

Jam	Posisi Panel	Vpanel (V)	Vbeban (V)	Arus (A)	Daya (W)
08.00	Tetap	15,8	11,7	0,05	0,58
09.00	Tetap	16,2	12,0	0,09	1,07
10.00	Tetap	16,7	12,3	0,14	1,71
11.00	Tetap	17,1	12,5	0,18	2,38
12.00	Tetap	17,5	12,8	0,23	3,10
13.00	Tetap	17,2	12,6	0,22	2,77
14.00	Tetap	16,8	12,4	0,16	2,11
15.00	Tetap	16,3	12,1	0,13	1,56
16.00	Tetap	16,0	11,8	0,08	0,94
17.00	Tetap	15,7	11,5	0,04	0,44

Data pada tabel diatas menunjukkan bahwa sistem solar tracker dual axis menghasilkan arus dan daya yang lebih besar dibandingkan panel statis pada seluruh rentang waktu pengujian. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh data arus keluaran panel surya untuk masing-masing struktur sistem. Secara umum, panel dengan solar tracker menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan panel statis. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sistem tracking dalam menjaga sudut datang sinar matahari agar mendekati tegak lurus terhadap permukaan panel. Pada sistem manual, arus tertinggi hanya terjadi pada rentang waktu tengah hari (sekitar pukul 11.00–13.00), sedangkan pada pagi dan sore hari arus yang dihasilkan relatif kecil. karena panel dapat mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat. Sistem solar tracker dual-axis menunjukkan kinerja paling optimal. Panel mampu menyesuaikan posisi baik secara horizontal maupun vertikal sehingga intensitas radiasi yang diterima lebih maksimal sepanjang hari. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus keluaran dual-axis lebih stabil dan cenderung tinggi dari pagi hingga sore.

3.4 Analisis

Namun demikian, solar tracker dual-axis memberikan peningkatan yang lebih signifikan. Rata-rata arus harian meningkat hingga lebih dari 40% dibandingkan sistem manual. Keunggulan ini terutama terlihat pada jam-jam sudut matahari rendah, yaitu pagi dan sore hari, di mana panel statis mengalami penurunan kinerja yang cukup besar. walaupun sistem dual-axis membutuhkan konsumsi daya tambahan untuk mikrokontroler dan motor servo, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan arus yang dihasilkan masih lebih besar dibandingkan energi yang digunakan oleh sistem kendali. Dengan demikian, penerapan solar tracker dual-axis dinilai efisien untuk PLTS 5 Wp.

3.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif sesuai dengan tahapan yang telah dijelaskan pada Bab III. Data hasil pengukuran arus dan tegangan diolah untuk memperoleh daya keluaran panel surya menggunakan persamaan:

$$P=V \times I \quad (1)$$

P=daya(Watt)

V=tegangan(Volt)

I = arus (Ampere)

Analisis data dilakukan secara kuantitatif sesuai tahapan yang telah dijelaskan pada Bab III. Data hasil pengukuran arus dan tegangan diolah untuk memperoleh daya keluaran panel surya menggunakan persamaan $P = V \times I$. Dengan P adalah daya (Watt), V adalah tegangan (Volt), dan I adalah arus (Ampere). Perhitungan daya dilakukan pada setiap waktu pengukuran baik pada sistem panel statis maupun sistem solar tracker dual axis. Hasil perhitungan tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel untuk dibandingkan guna mengetahui peningkatan kinerja akibat penggunaan sistem pelacak matahari. Perhitungan daya dilakukan untuk setiap waktu pengukuran baik pada sistem panel statis maupun sistem solar tracker dual axis. Hasil perhitungan daya tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui peningkatan kinerja akibat penggunaan solar tracker.

3.6 Perbandingan Daya Panel Statis dan Solar Tracker Dual Axis

Hasil perhitungan sistem solar tracker dual axis yaitu daya keluaran yang lebih besar dibandingkan panel statis pada hampir seluruh waktu pengukuran. Peningkatan paling signifikan terjadi pada pagi dan sore hari, ketika sudut datang sinar matahari relatif rendah dan panel statis tidak berada pada sudut optimal.

3.7 Perhitungan Persentase Peningkatan Daya

Perhitungan persentase peningkatan daya dilakukan dengan membandingkan daya keluaran panel surya menggunakan solar tracker dual axis terhadap panel statis (tanpa solar tracker) pada waktu pengukuran yang sama. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana peningkatan kinerja sistem akibat penerapan solar tracker.

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Efisiensi(\%) = \frac{P_{tracker} - P_{statis}}{P_{statis}} \times 100 \quad (2)$$

Berdasarkan data hasil pengukuran daya pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2, diperoleh hasil perhitungan persentase peningkatan daya seperti ditunjukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3. Persentase Peningkatan Daya Panel Surya 5 Wp Menggunakan Solar Tracker Dual Axis.

Jam	Daya Statis (W)	Daya Tracker (W)	Peningkatan (%)
08.00	0,58	0,96	64,40
09.00	1,07	1,71	59,25
10.00	1,71	2,64	54,06
11.00	2,38	3,34	40,17
12.00	3,10	4,08	31,93
13.00	2,77	3,76	35,12
14.00	2,11	3,04	44,54
15.00	1,56	2,47	58,27
16.00	0,94	1,80	89,46
17.00	0,44	1,17	156,51

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem solar tracker dual axis mampu meningkatkan daya keluaran panel surya secara signifikan dibandingkan panel statis pada seluruh waktu pengujian. Peningkatan daya terbesar terjadi pada pagi dan sore hari, yaitu ketika sudut datang sinar matahari rendah sehingga panel statis tidak berada pada posisi optimal. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa penerapan solar tracker dual axis efektif dalam meningkatkan kinerja PLTS 5 Wp sesuai dengan tujuan penelitian.

3.8 Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan daya keluaran panel surya pada sistem solar tracker dual axis disebabkan oleh kemampuan sistem dalam menjaga sudut datang sinar matahari agar tetap mendekati tegak lurus terhadap permukaan panel. Hal ini sesuai dengan teori dasar fotovoltaik yang menyatakan bahwa daya keluaran panel sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi dan sudut datang cahaya matahari. Selain itu, penerapan sistem solar tracker memungkinkan panel melakukan penyesuaian posisi secara otomatis dan berkelanjutan, sehingga kinerja sistem menjadi lebih stabil dibandingkan panel statis. Meskipun terdapat konsumsi daya tambahan untuk menggerakkan motor servo dan mikrokontroler, peningkatan daya keluaran panel surya yang dihasilkan masih lebih besar dibandingkan daya yang digunakan oleh sistem kendali.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori dasar fotovoltaik yang menyatakan bahwa daya dan arus keluaran panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi dan sudut datang sinar matahari. Selain itu, hasil ini juga konsisten dengan berbagai penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa penggunaan solar tracker dapat meningkatkan efisiensi dan energi keluaran panel surya. Penerapan sistem solar tracker memberikan keuntungan tambahan berupa monitoring dan kontrol yang lebih presisi. Sistem mampu melakukan penyesuaian posisi panel secara otomatis berdasarkan kondisi cahaya aktual, sehingga mengurangi ketergantungan pada pengaturan manual dan meningkatkan keandalan sistem. Pengujian dilakukan pada kondisi cuaca cerah dan dalam rentang waktu pengamatan yang terbatas, sehingga variasi intensitas radiasi matahari

harian belum sepenuhnya terwakili. Akurasi hasil pengukuran juga dipengaruhi oleh toleransi alat ukur serta karakteristik respon sensor cahaya yang digunakan pada sistem. Oleh karena itu, pengujian lanjutan dengan durasi yang lebih panjang dan penggunaan sistem pencatatan data otomatis sangat disarankan untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

3.9 Prosedur Perancangan Sistem

Pada penelitian ini, proses perancangan alat dilakukan secara bertahap agar sistem solar tracker dual axis dapat bekerja dengan baik dan sesuai tujuan penelitian. Tahap awal dimulai dengan menyiapkan seluruh komponen utama seperti panel surya 5 WP, Arduino Uno, sensor LDR, motor servo, kabel penghubung, rangka penyangga, serta alat ukur. Semua komponen diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan dalam kondisi baik dan siap digunakan. Selanjutnya dilakukan pembuatan rangka mekanik sebagai dukungan panel surya. Rangka dibuat agar panel dapat bergerak ke arah kanan dan kiri pada sumbu horizontal serta bergerak ke atas dan ke bawah pada sumbu vertikal. Dengan adanya dua arah gerak tersebut, panel dapat mengikuti perpindahan posisi matahari secara lebih optimal sepanjang hari. Tahap berikutnya yaitu pemasangan sensor LDR pada beberapa titik yang telah ditentukan. Sensor ini berfungsi membaca intensitas cahaya matahari dari sisi kanan, kiri, atas, dan bawah. Perbedaan nilai cahaya yang diterima sensor akan dikirim ke Arduino Uno sebagai data masukan sistem kendali. Setelah itu dilakukan proses pemrograman Arduino Uno menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Program dirancang agar mikrokontroler dapat membaca nilai sensor LDR, membandingkan selisih cahaya, kemudian mengirim perintah ke motor servo untuk mengubah posisi panel menuju arah cahaya terbesar. Sistem bekerja otomatis secara real-time selama alat dioperasikan.

3.10 Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan performa panel surya statis dan panel surya yang menggunakan solar tracker dual axis. Pengujian dilaksanakan pada siang hari dengan kondisi cuaca cerah agar intensitas cahaya matahari cukup stabil. Langkah pertama yaitu menguji panel surya dalam kondisi statis. Panel dipasang tetap tanpa mengikuti arah matahari. Tegangan dan arus diukur setiap satu jam mulai pukul 08.00 sampai 17.00 WIB. Nilai hasil pengukuran dicatat pada tabel data penelitian. Langkah kedua yaitu menguji panel surya dengan sistem solar tracker dual axis. Pada kondisi ini panel dibiarkan bergerak otomatis mengikuti arah cahaya matahari berdasarkan pembacaan sensor LDR. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan pada waktu yang sama seperti pengujian panel statis. Setelah seluruh data diperoleh, dilakukan perhitungan daya menggunakan rumus $P = V \times I$. Hasil daya dari kedua sistem kemudian dibandingkan untuk mengetahui selisih performa dan persentase peningkatan daya yang dihasilkan.

3.11 Indikator Keberhasilan Penelitian

Penelitian ini dinyatakan berhasil apabila sistem solar tracker dual axis mampu bergerak otomatis mengikuti arah cahaya matahari, seluruh komponen bekerja normal, serta daya keluaran panel surya lebih tinggi dibandingkan panel statis. Selain itu, sistem juga diharapkan bekerja stabil tanpa gangguan selama proses pengujian berlangsung.

3.12 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Agar penelitian berjalan terarah, maka disusun jadwal pelaksanaan kegiatan secara sistematis. Pada minggu pertama dilakukan persiapan alat dan bahan, pengecekan komponen, serta pembuatan desain rangka solar tracker dual axis. Minggu kedua difokuskan pada proses perakitan rangkaian elektronik, pemasangan sensor LDR, motor servo, dan panel surya pada dukungan alat. Minggu ketiga dilakukan pemrograman Arduino Uno serta pengujian awal untuk memastikan seluruh sistem dapat bekerja dengan baik. Minggu keempat dilakukan pengambilan data pengukuran tegangan, arus, dan daya pada panel statis maupun panel tracker. Setelah seluruh data terkumpul, tahap terakhir adalah pengolahan data, analisis hasil, penyusunan pembahasan, serta penarikan kesimpulan penelitian. Dengan adanya jadwal kerja yang jelas, setiap tahapan penelitian dapat terlaksana lebih efektif dan teratur. Tahap akhir adalah integrasi seluruh komponen menjadi satu kesatuan sistem. Setelah rangkaian selesai, alat diuji coba untuk memastikan sensor, servo, dan panel dapat bekerja sesuai fungsi masing-masing.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem solar tracker dual-axis berbasis Arduino Uno mampu meningkatkan kinerja panel surya 5 Wp secara signifikan dibandingkan panel surya statis. Sistem yang memanfaatkan sensor Light Dependent Resistor (LDR) sebagai pendeteksi arah datang cahaya dan motor servo sebagai aktuator berhasil mengarahkan panel secara otomatis mengikuti pergerakan matahari pada sumbu horizontal dan vertikal sehingga penyerapan radiasi matahari menjadi lebih optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya dengan solar tracker lebih tinggi pada seluruh waktu pengamatan, dengan daya maksimum mencapai 4,08 W pada pukul 12.00 WIB dibandingkan 3,10 W pada panel statis, serta peningkatan daya rata-rata lebih dari 40% dan peningkatan tertinggi mencapai 156,51% pada pukul 17.00 WIB. Meskipun sistem memerlukan konsumsi daya tambahan untuk mikrokontroler dan motor servo, energi yang dihasilkan tetap lebih besar sehingga sistem dinilai efisien untuk diterapkan pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) skala kecil. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa solar tracker dual-axis berbasis Arduino Uno merupakan solusi yang sederhana, ekonomis, dan efektif dalam

meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui pengujian pada kapasitas panel yang lebih besar dan berbagai kondisi lingkungan..

REFERENCES

- [1] R. E. Adinagoro, R. A. A. Putra, R. B. Pamungkas, S. Y. P. Risky, dan R. Susanto, "Implementasi Light Dependent Resistor (LDR) pada Simulasi Permainan Gobak Sodor," *URANUS: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 2, no. 3, pp. 27–37, 2024.
- [2] Z. Tharo, V. Arnita, D. P. Barus, dan J. Gultom, "Utilization of Solar Energy to Enhance Energy Independence in Pematang Serai Village, Langkat Regency," *Asian Journal of Environmental Research*, vol. 1, no. 3, pp. 193–200, 2024.
- [3] Z. Tharo, E. Syahputra, dan R. Mulyadi, "Analysis of Saving Electrical Load Costs With a Hybrid Source of PLN-PLTS 500 Wp," *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, vol. 4, no. 1, pp. 235–243, 2022.
- [4] Z. Tharo, M. R. Liano, G. F. P. Lase, dan R. Y. Loi, "Analisis Lingkungan dan Sosial atas Implementasi Penerangan Jalan Umum Berbasis PLTS," *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, vol. 5, no. 3, pp. 386–393, 2025.
- [5] S. Amalia, S. Aryza, A. D. Tarigan, S. Anisah, dan Hamdani, "Rancang Bangun Tracker Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Empat Titik Berbasis Mikrokontroler," *Scenario (Seminar of Social Sciences Engineering and Humaniora)*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [6] D. A. Tanjung, S. B. Purba, A. A. Saputra, S. Aryza, dan S. Anisah, "Peningkatan Sun Tracking Otomatis dan Autofocus untuk Solar Cell Actuator pada PLTS," *Scenario (Seminar of Social Sciences Engineering and Humaniora)*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] A. Febyana, D. Wijayanto, dan R. Saputra, "Analisis Implementasi Dual Axis Solar Tracker pada Sistem Panel Surya Rumah Tangga," *Jurnal Keteknikan Elektro dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 55–63, 2024.
- [8] A. Halim, A. Gun, dan A. Wahab, "Peningkatan Efisiensi Konversi Energi Surya dengan Metode Kontrol Cerdas Fuzzy Logic pada Sistem Dual Axis Solar Tracker," *Jurnal Energi Terbarukan dan Aplikasi*, vol. 12, no. 2, pp. 45–55, 2023.
- [9] H. Asyari dan A. W. Aji, "Analisis Kinerja Panel Surya Statis terhadap Perubahan Posisi Matahari," *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 33–41, 2023.
- [10] S. Jaafar, K. Ahmed, dan M. Ali, "Review on Performance Improvement of Dual Axis Solar Tracking Systems," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 14, no. 1, pp. 112–124, 2024.
- [11] L. Lubna, Sudarti, dan Yushardi, "Potensi Energi Surya di Indonesia sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 17, no. 2, pp. 89–96, 2021.
- [12] P. Manahampi, R. Mandagi, dan D. Wowor, "Perancangan Dual Axis Solar Tracker Berbasis Arduino Uno untuk Panel Monocrystalline 50 WP," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 15–23, 2024.
- [13] J. A. Mohan, P. Reddy, dan V. Kumar, "Design and Development of Dual Axis Solar Tracker Using LDR Sensors," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 15, no. 4, pp. 1553–1562, 2020.
- [14] A. Prihantara, D. Suryawan, dan R. Rachman, "Analisis Kinerja Single Axis Solar Tracker terhadap Panel Surya Statis," *Jurnal Energi dan Sistem Tenaga*, vol. 8, no. 1, pp. 22–30, 2024.
- [15] H. Putra dan Aslimeri, "Peningkatan Efisiensi Daya Panel Surya Menggunakan Single Axis Solar Tracker Berbasis Arduino," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 101–108, 2020.
- [16] M. Saieed, H. Ali, dan A. Omar, "Performance Evaluation of Dual Axis Solar Tracking Systems in Libya," *Renewable Energy Journal*, vol. 68, no. 4, pp. 77–85, 2022.
- [17] K. Veeresh, R. Patil, dan S. Sharma, "Low-Cost Dual Axis Solar Tracker Using Arduino Uno," *International Journal of Advanced Electrical and Electronics Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 65–71, 2024.
- [18] D. Yantidewi, A. Wibowo, dan M. Sari, "Prototipe Dual Axis Solar Tracker Berbasis Arduino dengan Sensor LDR," *Jurnal Energi dan Teknologi Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 118–125, 2022.