

ANALISIS PENGARUH SOLAR TRACKER SINGLE-AXIS TERHADAP DAYA KELUARAN DAN EFISIENSI PANEL SURYA PADA SISTEM PENERANGAN JALAN UMUM

Ansgarius Yudiyanto Rabu, Nursalim*, Wellem F. Galla

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Indonesia

Email: rabuyudi@gmail.com, nursalim@staf.undana.ac.id, wellemgalla@staf.undana.ac.id

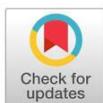
Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima Sep 01, 2025

Direvisi Sep 20, 2025

Disetujui Okt 27, 2025



ABSTRACT

Indonesia has significant solar energy potential, making the utilization of solar-based street lighting systems highly promising. However, static solar panels are unable to optimally absorb solar energy due to changes in the angle of solar incidence throughout the day. This study aims to analyze the effect of using a single-axis solar tracker on the output power of solar panels in street lighting systems. The research employed an experimental method by comparing the performance of static solar panels installed at tilt angles of 45°, 90°, and 135° with that of a dynamic solar panel equipped with an Arduino Uno-based single-axis solar tracking system. The analyzed parameters included voltage, current, output power, and energy absorption percentage, with measurements conducted from 06:00 to 17:00 at 30-minute intervals. The results indicate that the solar panel with the tracking system produces higher output power than static panels, with the total output power of the dynamic panel reaching 64.84 W, while the static panels generated output power ranging from 31.25 W to 40.06 W. Furthermore, the energy absorption efficiency of the dynamic solar panel reached 87.51%, which is higher than that of the static solar panels, whose efficiencies ranged from 42.18% to 54.06%. These findings demonstrate that the implementation of a single-axis solar tracker is effective in improving the output power and energy efficiency of solar panels in street lighting applications.

Keywords: single-axis solar tracker, solar panel, output power, street lighting, energy efficiency

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar sehingga pemanfaatannya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis tenaga surya sangat prospektif, namun panel surya dengan posisi statis belum mampu menyerap energi secara optimal akibat perubahan sudut datang sinar matahari sepanjang hari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan solar tracker single-axis terhadap daya keluaran panel surya pada sistem PJU. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan membandingkan kinerja panel surya statis pada sudut 45°, 90°, dan 135° dengan panel surya dinamis yang dilengkapi sistem solar tracker single-axis berbasis Arduino Uno. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan, arus, daya keluaran, dan persentase penyerapan energi, dengan pengujian dilakukan dari pukul 06.00 hingga 17.00 pada interval 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem pelacak menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan panel statis, dengan total daya keluaran panel dinamis mencapai 64,84 W, sedangkan panel statis menghasilkan daya antara 31,25 W hingga 40,06 W. Selain itu, tingkat penyerapan energi panel surya dinamis mencapai 87,51%, lebih tinggi dibandingkan panel surya statis yang berada pada kisaran 42,18%–54,06%. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan solar tracker single-axis efektif dalam meningkatkan daya keluaran dan efisiensi energi panel surya pada sistem PJU.

Kata Kunci: solar tracker single-axis, panel surya, daya keluaran, penerangan jalan umum, efisiensi energi

Penulis Korespondensi:

Nursalim,

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik,

Universitas Nusa Cendana,

Jl. Adisucipto Penfui.

nursalim@staf.undana.ac.id



1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan terus meningkat sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan dampak lingkungan yang ditimbulkan [1]. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi surya [2, 3]. Indonesia, sebagai negara beriklim tropis dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun, memiliki peluang besar dalam pemanfaatan energi surya, khususnya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis tenaga surya yang mampu beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional.

Meskipun demikian, kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh posisi dan orientasinya terhadap arah datang sinar matahari [4]. Panel surya yang dipasang secara statis dengan sudut kemiringan tertentu tidak selalu mampu menangkap radiasi matahari secara optimal sepanjang hari, sehingga daya keluaran yang dihasilkan belum mencapai nilai maksimum [5-7]. Perubahan sudut datang cahaya matahari dari pagi hingga sore menyebabkan penurunan intensitas radiasi yang diterima panel statis, yang berdampak langsung pada penurunan daya keluaran dan efisiensi energi sistem PJU [8, 9].

Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan solar tracker (Pelacak Surya) [10], yaitu sistem pelacak yang memungkinkan panel surya mengikuti pergerakan matahari sehingga posisi panel selalu berada pada sudut yang lebih optimal [11, 12]. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan sistem pelacak surya mampu meningkatkan penyerapan energi dan kinerja sistem PJU berbasis tenaga surya. Penelitian oleh [13] menunjukkan bahwa sistem PJU cerdas berbasis Arduino Uno dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi melalui pengaturan otomatis intensitas lampu jalan [14]. Sementara itu, penelitian lain oleh [8] melaporkan bahwa PJU tenaga surya dengan mekanisme pelacak surya menghasilkan konversi energi harian yang lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa pelacak [8].

Meskipun demikian, sebagian besar implementasi panel surya pada sistem PJU masih menggunakan konfigurasi statis, sehingga potensi peningkatan daya keluaran panel surya belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh penggunaan solar tracker single-axis terhadap daya keluaran panel surya pada sistem PJU masih terbatas [15, 16]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja panel surya dengan membandingkan sistem panel statis dan panel dinamis yang dilengkapi solar

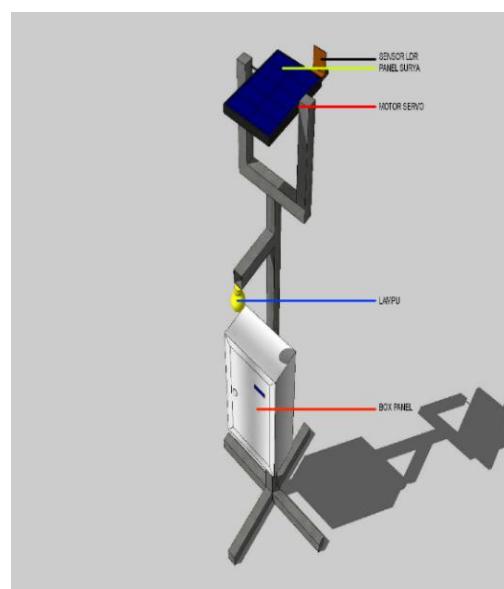
tracker single-axis berbasis Arduino Uno. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai peningkatan daya keluaran dan efisiensi energi panel surya, serta menjadi dasar pengembangan sistem PJU tenaga surya yang lebih optimal dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan solar tracker single-axis terhadap daya keluaran panel surya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU). Metode ini dilakukan dengan mengamati secara langsung perubahan variabel keluaran sistem melalui pengujian terkontrol pada panel surya dengan dan tanpa sistem pelacak. Pendekatan eksperimental dipilih karena sesuai untuk mengevaluasi kinerja sistem teknik berdasarkan parameter terukur, seperti tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya.

2.1 Instrumen dan Desain Sistem

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi panel surya monokristalin berkapasitas 10 Wp sebagai sumber energi, Arduino Uno sebagai pengendali utama sistem solar tracker, sensor Light Dependent Resistor (LDR) sebagai pendekripsi intensitas cahaya matahari, motor servo sebagai aktuator penggerak panel, modul penurun tegangan LM2596, relay, Solar Charge Controller (SCC) tipe Pulse Width Modulation (PWM), baterai 12 V 8 Ah sebagai media penyimpanan energi, serta lampu DC 12 V 3 Watt sebagai beban. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler dan Microsoft Excel untuk pengolahan serta analisis data hasil pengujian.



Gambar 1. Rancangan Miniatur PJU

Sistem dirancang dalam bentuk miniatur PJU dengan struktur penyangga panel surya setinggi 150 cm dan lebar dudukan panel 22 cm. Kotak kontrol sistem memiliki dimensi tinggi 40 cm, panjang 30 cm, dan lebar 18 cm sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama yang disalurkan ke SCC untuk mengatur proses pengisian baterai. Arduino Uno yang terhubung dengan dua sensor LDR digunakan untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya matahari dan mengendalikan pergerakan motor servo sehingga panel surya selalu mengarah ke posisi matahari yang optimal. Selain itu, Arduino mengontrol relay yang berfungsi sebagai sakelar untuk menghubungkan dan memutus daya pada motor servo serta lampu penerangan.

2.2. Tahapan Penelitian dan Analisis Data

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, analisis data, dan penarikan kesimpulan. Pengujian dilakukan pada dua kondisi sistem, yaitu panel surya statis (tanpa solar tracker) dan panel surya dinamis (menggunakan solar tracker single-axis). Pada pengujian panel statis, panel diposisikan pada tiga sudut kemiringan, yaitu 45°, 90°, dan 135°, sedangkan pada pengujian panel dinamis panel secara otomatis mengikuti pergerakan matahari dari pagi hingga sore hari.

Pengambilan data dilakukan pada rentang waktu pukul 06.00 hingga 17.00 dengan interval pengukuran setiap 30 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Data hasil pengukuran selanjutnya diolah untuk membandingkan kinerja panel statis dan panel dinamis, serta untuk menganalisis pengaruh penggunaan solar tracker single-axis terhadap peningkatan daya keluaran dan efisiensi energi panel surya pada sistem PJU.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui hasil dari sistem yang dirancang, pengujian dilakukan pada miniatur dengan beberapa pengujian sebagai berikut:

3.1 Pengujian Panel Surya Sistem Statis

Pengujian panel surya sistem statis dilakukan untuk memperoleh karakteristik daya keluaran panel surya tanpa menggunakan solar tracker sebagai pembanding terhadap sistem panel surya dinamis. Pada pengujian ini, panel surya dipasang pada posisi tetap dengan sudut kemiringan tertentu sehingga tidak mengikuti pergerakan matahari. Pengujian panel statis bertujuan untuk menganalisis pengaruh

sudut kemiringan panel terhadap daya keluaran yang dihasilkan sepanjang waktu pengujian. Panel surya diuji pada tiga variasi sudut kemiringan, yaitu 45°, 90°, dan 135°. Sudut 45° merepresentasikan posisi panel yang menghadap ke arah matahari pada pagi hingga menjelang siang hari, sudut 90° merepresentasikan posisi panel yang tegak lurus terhadap permukaan tanah dan optimal pada saat matahari berada di posisi puncak, sedangkan sudut 135° merepresentasikan posisi panel yang menghadap ke arah matahari pada siang hingga sore hari. Pengujian dilakukan dari pukul 06.00 hingga 17.00 dengan interval pengambilan data setiap 30 menit.

Parameter yang diukur pada pengujian panel surya sistem statis meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Berdasarkan hasil pengukuran, total daya keluaran yang dihasilkan panel surya statis pada sudut 45° adalah 31,47 W, pada sudut 90° sebesar 40,06 W, dan pada sudut 135° sebesar 31,25 W. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut kemiringan panel surya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya daya keluaran yang dihasilkan.

Nilai daya keluaran tertinggi pada panel statis sudut 45° terjadi pada pukul 11.00, sedangkan pada sudut 90° daya tertinggi terjadi pada pukul 12.00, dan pada sudut 135° daya tertinggi terjadi pada pukul 14.00. Perbedaan waktu terjadinya daya maksimum tersebut menunjukkan bahwa panel surya statis hanya mampu bekerja secara optimal pada rentang waktu tertentu sesuai dengan arah datang sinar matahari. Di luar rentang waktu optimal tersebut, daya keluaran panel cenderung menurun akibat sudut datang cahaya matahari yang tidak tegak lurus terhadap permukaan panel.

Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa penggunaan panel surya statis memiliki keterbatasan dalam mempertahankan daya keluaran yang optimal sepanjang hari, sehingga diperlukan sistem yang mampu menyesuaikan posisi panel terhadap pergerakan matahari untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi energi panel surya.

3.2 Pengujian Panel Surya Sistem Dinamis (Pelacak Matahari)

Pengujian panel surya sistem dinamis dilakukan untuk menganalisis kinerja daya keluaran panel surya yang dilengkapi dengan sistem solar tracker single-axis dan membandingkannya dengan panel surya sistem statis. Pada sistem ini, panel surya tidak dipasang pada posisi tetap, tetapi secara otomatis mengikuti pergerakan matahari dari arah timur ke barat menggunakan mekanisme pelacak berbasis Arduino Uno.

Sistem solar tracker single-axis bekerja dengan memanfaatkan dua sensor LDR yang mendeteksi perbedaan intensitas cahaya matahari. Data dari sensor LDR diproses oleh Arduino Uno untuk mengendalikan pergerakan motor servo sehingga panel surya selalu berada pada posisi yang mendekati sudut optimal terhadap arah datang sinar matahari. Dengan mekanisme ini, panel surya diharapkan mampu mempertahankan daya keluaran yang lebih stabil dan lebih tinggi sepanjang waktu pengujian.

Pengujian panel surya sistem dinamis dilakukan pada rentang waktu yang sama dengan pengujian panel statis, yaitu dari pukul 06.00 hingga 17.00, dengan interval pengambilan data setiap 30 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Berdasarkan hasil pengukuran, total daya keluaran panel surya sistem dinamis yang menggunakan solar tracker single-axis mencapai 64,84 W, nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan total daya keluaran panel surya sistem statis pada seluruh variasi sudut kemiringan.

Nilai daya keluaran tertinggi pada panel surya sistem dinamis tercatat pada pukul 12.00, dengan tegangan sebesar 13,32 V, arus 0,32 A, dan daya 4,26 W. Sementara itu, daya keluaran terendah tercatat pada pukul 17.00, dengan tegangan 12,80 V, arus 0,10 A, dan daya 1,28 W. Meskipun terjadi penurunan intensitas cahaya matahari pada sore hari, panel surya sistem dinamis masih mampu menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan panel surya sistem statis pada kondisi yang sama.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa penerapan solar tracker single-axis memungkinkan panel surya untuk mempertahankan orientasi yang lebih optimal terhadap arah datang sinar matahari sepanjang hari, sehingga meningkatkan daya keluaran secara keseluruhan. Temuan ini menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai perbandingan kinerja dan peningkatan efisiensi energi antara panel surya sistem statis dan sistem dinamis pada sistem Penerangan Jalan Umum. Hasil pengujian panel surya statis dan dinamis dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Solar Tracker Pada berbagai Sudut

Waktu	STATUS SUDUT 45° Tegangan	STATIS SUDUT 90° Tegangan			SUDUT SUDUT 135° Tegangan			TRACKER Tegang	Arus	Daya	Lux	
		Arus	Daya	Lux	Arus	Daya	Lux					
06:00	11.08	0	0.00	3100	10.2	0	0.00	2510	10.00	0	0.00	2210
07:00	12.3	0.11	1.35	4551	10.93	0	0.00	3290	10.13	0	0.00	3110
08:00	12.65	0.18	2.28	53990	11.25	0.07	0.79	38610	10.27	0	0.00	7282
09:00	13.00	0.21	2.73	133700	12.05	0.13	1.57	52000	11.12	0	0.00	11420
10:00	13.10	0.24	3.14	161600	12.27	0.20	2.45	142500	12.05	0.05	0.60	153800
11:00	13.26	0.28	3.71	167000	12.95	0.24	3.11	167800	12.24	0.13	1.59	82060
12:00	13.00	0.19	2.47	162300	13.27	0.30	3.98	172100	12.86	0.19	2.44	138500
13:00	12.93	0.00	0.00	147200	13.26	0.27	3.58	170500	13.11	0.22	2.88	148500
14:00	12.84	0.00	0.00	135300	13.20	0.22	2.90	162900	13.22	0.25	3.31	169500
15:00	12.93	0.00	0.00	8434	12.95	0.10	1.30	102800	13.16	0.20	2.63	163800
16:00	12.86	0.00	0.00	5896	12.78	0.00	0.00	9826	12.80	0.13	1.66	53590
17:00	12.60	0.00	0.00	3425	12.70	0.00	0.00	5340	12.75	0.06	0.77	45210

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 1, terlihat perbedaan yang signifikan antara kinerja panel surya sistem statis dan sistem dinamis (solar tracker single-axis) terhadap daya keluaran yang dihasilkan sepanjang waktu pengujian. Pengujian dilakukan dari pukul 06.00 hingga 17.00 dengan interval pengambilan data setiap 30 menit, di mana parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, dan intensitas cahaya (lux).

Pada sistem panel surya statis sudut 45°, daya keluaran mulai meningkat pada pagi hari dan mencapai nilai maksimum sebesar 3,71 W pada pukul 11.00, ketika intensitas cahaya mencapai 167.000 lux. Setelah waktu tersebut, daya keluaran mengalami penurunan yang signifikan, bahkan

bernilai 0 W pada rentang waktu pukul 13.00–17.00, meskipun intensitas cahaya masih cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa panel statis sudut 45° hanya optimal pada pagi hingga menjelang siang hari.

Panel surya statis sudut 90° menunjukkan karakteristik yang berbeda, dengan daya keluaran tertinggi sebesar 3,98 W pada pukul 12.00, saat intensitas cahaya mencapai 172.100 lux. Panel pada sudut ini memiliki rentang waktu kerja optimal yang lebih panjang dibandingkan sudut 45°, yaitu dari siang hingga sore hari, namun tetap mengalami penurunan daya keluaran yang signifikan setelah pukul 16.00. Sementara itu, panel surya statis sudut 135° menunjukkan daya keluaran yang relatif

rendah pada pagi hari dan mulai meningkat pada siang hingga sore hari. Daya maksimum pada sudut ini tercatat sebesar 3,31 W pada pukul 14.00 dengan intensitas cahaya 169.500 lux. Meskipun masih mampu menghasilkan daya hingga sore hari, nilai daya yang dihasilkan relatif lebih kecil dibandingkan panel statis sudut 90°.

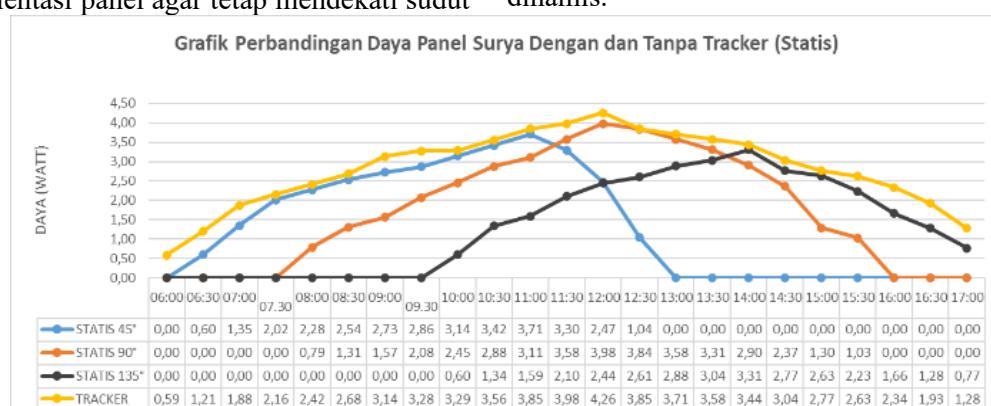
Berbeda dengan sistem statis, panel surya sistem dinamis dengan solar tracker single-axis mampu menghasilkan daya keluaran yang lebih stabil dan lebih tinggi sepanjang waktu pengujian. Daya maksimum tercatat sebesar 4,26 W pada pukul 12.00 dengan intensitas cahaya 175.800 lux, dan panel masih mampu menghasilkan daya sebesar 1,28 W pada pukul 17.00, ketika panel statis pada sudut 45° dan 90° sudah tidak menghasilkan daya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pelacak mampu menjaga orientasi panel agar tetap mendekati sudut

optimal terhadap arah datang sinar matahari sepanjang hari.

Secara keseluruhan, hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem panel surya dinamis menghasilkan daya total yang lebih besar dibandingkan panel surya statis pada seluruh variasi sudut kemiringan. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan solar tracker single-axis memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan daya keluaran panel surya, sehingga lebih efektif diterapkan pada sistem Penerangan Jalan Umum berbasis tenaga surya.

3.3 Analisis Grafik Perbandingan Daya Panel Surya dengan dan tanpa Solar Tracker

Berikut adalah grafik dan diagram yang membandingkan daya panel surya statis dan dinamis.



Gambar 2. Grafik perbandingan daya panel surya dengan dan tanpa pelacak.

Berdasarkan grafik perbandingan daya panel surya dengan dan tanpa solar tracker (Gambar 2) terlihat secara jelas perbedaan pola daya keluaran antara panel surya statis pada sudut 45°, 90°, dan 135° dengan panel surya dinamis yang menggunakan solar tracker single-axis. Grafik menunjukkan bahwa panel surya statis hanya menghasilkan daya optimal pada rentang waktu tertentu sesuai dengan sudut kemiringannya, sedangkan panel surya dengan solar tracker mampu mempertahankan daya keluaran yang relatif tinggi dan stabil sepanjang hari.

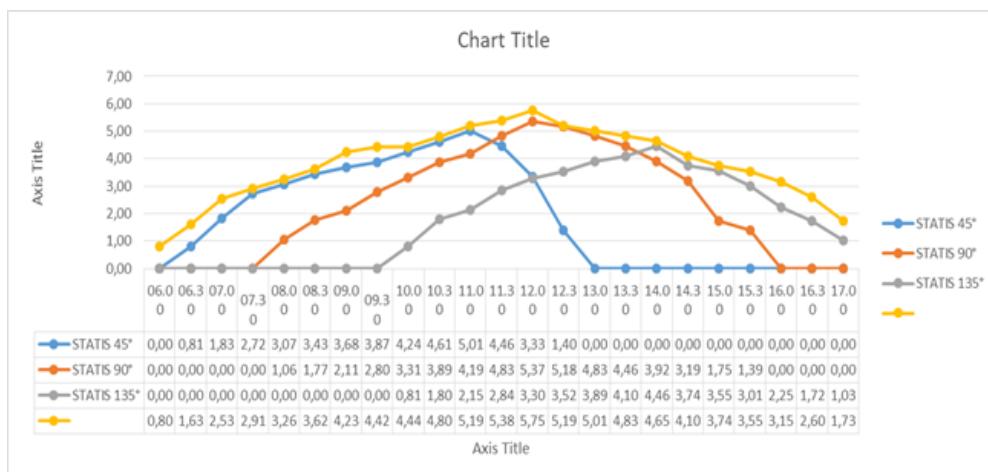
Panel surya statis pada sudut 45° menghasilkan daya yang meningkat pada pagi hari dan mencapai puncak sekitar pukul 11.00, kemudian mengalami penurunan tajam hingga tidak menghasilkan daya pada sore hari. Hal ini terjadi karena sudut panel hanya optimal saat matahari berada pada posisi timur hingga mendekati zenit. Panel statis sudut 90° menunjukkan daya maksimum pada sekitar pukul 12.00, ketika posisi matahari berada hampir tegak lurus terhadap panel, namun daya menurun setelah matahari bergerak ke arah barat. Sementara itu, panel statis sudut 135° menghasilkan daya yang

lebih rendah pada pagi hari dan baru mencapai nilai optimal pada siang hingga sore hari.

Berbeda dengan panel statis, panel surya yang menggunakan solar tracker single-axis menunjukkan peningkatan daya yang lebih merata dari pagi hingga sore hari. Daya keluaran panel dinamis terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada pukul 12.00, kemudian menurun secara bertahap tanpa mengalami penurunan drastis seperti pada panel statis. Bahkan pada sore hari, ketika sebagian besar panel statis tidak lagi menghasilkan daya, panel dengan solar tracker masih mampu menghasilkan daya yang signifikan. Pola ini menunjukkan bahwa sistem solar tracker single-axis mampu menjaga orientasi panel agar tetap mendekati sudut optimal terhadap arah datang sinar matahari sepanjang hari.

3.4 Hasil Perbandingan Peningkatan Efisiensi Energi Panel Surya

Gambar 3 berikut memperlihatkan hasil perbandingan peningkatan efisiensi energi antara panel surya statis dan panel surya dinamis yang menggunakan pelacak surya.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Peningkatan Efisiensi Panel Surya Dengan dan Tanpa Pelacak

Hasil perbandingan peningkatan efisiensi energi panel surya statis dan panel surya dinamis dapat dilihat pada Gambar 3, yang menunjukkan perubahan efisiensi energi panel surya setiap jam selama periode pengujian. Efisiensi energi pada penelitian ini diperoleh dari perbandingan daya keluaran panel surya statis dan dinamis terhadap daya keluaran maksimum sistem panel surya dengan solar tracker single-axis.

Berdasarkan Gambar 3, panel surya statis pada sudut 45° menunjukkan peningkatan efisiensi pada pagi hari dan mencapai nilai tertinggi menjelang siang, kemudian mengalami penurunan yang sangat signifikan setelah pukul 12.00 hingga tidak lagi menghasilkan energi pada sore hari. Pola ini menunjukkan bahwa panel statis sudut 45° hanya efektif pada rentang waktu terbatas, yaitu ketika posisi matahari berada pada arah timur hingga mendekati titik puncak.

Panel surya statis pada sudut 90° memiliki karakteristik efisiensi yang lebih baik dibandingkan sudut 45° , dengan peningkatan efisiensi yang relatif stabil pada siang hari dan mencapai nilai maksimum sekitar pukul 12.00–13.00. Namun, efisiensi panel statis sudut 90° juga mengalami penurunan yang cukup tajam pada sore hari seiring dengan pergeseran posisi matahari ke arah barat.

Sementara itu, panel surya statis pada sudut 135° menunjukkan efisiensi yang rendah pada pagi hari dan mulai meningkat pada siang hingga sore hari. Meskipun masih mampu menghasilkan energi hingga sore hari, nilai efisiensi total yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan konfigurasi panel statis lainnya karena sudut panel hanya optimal pada waktu tertentu.

Berbeda dengan panel statis, panel surya dinamis yang menggunakan solar tracker single-axis menunjukkan peningkatan efisiensi energi yang lebih merata dan stabil sepanjang hari. Efisiensi panel dinamis meningkat sejak pagi hari, mencapai

nilai maksimum pada siang hari, dan menurun secara bertahap tanpa mengalami penurunan drastis pada sore hari. Pola ini menunjukkan bahwa sistem pelacak mampu menjaga posisi panel agar selalu mendekati sudut optimal terhadap arah datang sinar matahari.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem solar tracker single-axis memiliki tingkat penyerapan energi tertinggi, yaitu 87,51%, sedangkan panel surya statis pada sudut 45° , 90° , dan 135° masing-masing memiliki tingkat penyerapan energi sebesar 42,47%, 54,06%, dan 42,18%. Hasil ini menegaskan bahwa penerapan solar tracker single-axis secara signifikan meningkatkan efisiensi energi panel surya dibandingkan sistem panel statis pada aplikasi Penerangan Jalan Umum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan solar tracker single-axis berbasis Arduino Uno secara signifikan meningkatkan daya keluaran dan efisiensi energi panel surya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU). Panel surya dengan sistem pelacak mampu menghasilkan daya yang lebih tinggi dan stabil sepanjang hari dibandingkan panel surya statis pada sudut 45° , 90° , dan 135° , yang hanya optimal pada rentang waktu tertentu. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa panel surya dinamis memiliki tingkat penyerapan energi tertinggi sebesar 87,51%, sedangkan panel surya statis pada sudut 45° , 90° , dan 135° masing-masing hanya mencapai 42,47%, 54,06%, dan 42,18%. Perbedaan ini terjadi karena sistem pelacak mampu menjaga posisi panel agar selalu mendekati sudut optimal terhadap arah datang sinar matahari. Dengan demikian, penggunaan solar tracker single-axis terbukti efektif dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya dan layak diterapkan

pada sistem PJU berbasis tenaga surya untuk meningkatkan kinerja sistem serta efisiensi energi secara keseluruhan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Dwisari, S. Sudarti, and Y. Yushardi, "Pemanfaatan energi matahari: masa depan energi terbarukan," *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 7, no. 2, pp. 376-384, 2023.
- [2] F. Mayasari et al., "Pengenalan panel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk pembelajaran di SMA Negeri 1 Takalar," *JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat*, vol. 5, no. 2, pp. 147-159, 2022.
- [3] F. Ferdyson and J. Windarta, "Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 1-6, 2023.
- [4] P. Harahap, "Pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap daya yang dihasilkan dari berbagai jenis sel surya," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73-80, 2020.
- [5] A. Alfayid and Y. S. A. Gumilang, "Prototype Kontrol Penggerak Single Axis Solar Tracker pada Panel Surya Berbasis Arduino Uno dan Sensor LDR," *JUTEKNIN (Jurnal Teknik Elektro dan Industri)*, vol. 1, no. 01, 2025.
- [6] M. A. F. A.-A. Soedjangi, "Perancangan Solar Tracker Dual Axis Dengan Monitoring Intensitas Cahaya, Arus, Tegangan, Daya, dan Sudut Kemiringan Panel Surya Berbasis IOT," *Infomatek*, vol. 27, no. 1, pp. 59-70, 2025.
- [7] W. R. P. PAKPAHAN, "Uji Eksperimen Kinerja Panel Surya Jenis Monocrystalline 100 Wp Dengan Sudut 30 Ditambah Kaca Reflektor," 2024.
- [8] O. A. Saputra, "Studi Pemanfaatan Pju Menggunakan Panel Surya Terhadap Nilai Ekonomi Bagi Masyarakat Desa Karangmojo Di Kabupaten Sukoharjo," *Universitas Islam Sultan Agung Semarang*, 2024.
- [9] R. Ramades, "Perencanaan Penerangan Jalan Umum (Pju) Berbasis Tenaga Surya Yang Tersebar Di Area Kampus Pinang Masak Universitas Jambi," *Universitas Jambi*, 2024.
- [10] P. Lubis, A. Faisal, and R. Juliannga, "Perancangan solar tracker sistem otomatis secara real-time pada panel surya," *Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi*, vol. 4, no. 2, pp. 112-124, 2025.
- [11] S. Supriyanto and N. D. Setiawan, "Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Arduino-IMU untuk Mitigasi Vibrasi dan Koreksi Sudut Panel," *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, vol. 2, no. 3, pp. 609-616, 2025.
- [12] F. Sitepu, M. E. Dalimunthe, and S. Anisah, "Optimalisasi Daya Luaran Panel Surya Dengan Sistem Pencarian Intensitas Matahari Optimal Dengan Kontrol Fuzzy," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, 2024.
- [13] T. Saputra and U. Surapati, "Analisis efektivitas sistem kendali otomatis PJU berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan metode regresi linier," *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 3, pp. 2582-2595, 2024.
- [14] U. Wibawa, H. Purnomo, and A. Z. Ramadhani, "Aplikasi Solar Tracker System Berbasis Arduino Uno untuk Sistem Photovoltaic Pada Penerangan Jalan Umum," *Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)*, vol. 15, no. 2, pp. 43-48, 2021.
- [15] C. J. C. SIMALANGO, "Desain Prototipe Single Axis Solar Tracker Untuk Peningkatan Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaic 100 Wp," 2021.
- [16] A. Haimam, "Prototype Solar Tracker Single Axis Pada Lampu Penerangan Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang," *Politeknik Penerbangan Palembang*, 2025.