

# Optimasi Kinerja Panel Surya Menggunakan Sistem Dual Axis untuk Efisiensi Energi Maksimal

Muhammad A'an Auliq<sup>1</sup>, Andi Syaiful Amal<sup>2</sup>

Universitas Muhammadiyah Jember, Jl. Karimata No. 49 Jember

<sup>2</sup> Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Muhammad A'an Auliq

Jl. Karimata No. 49 Jember

E-mail: aan.auliq@unmuhjember.ac.id

## Abstrak

Peningkatan pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi matahari, menjadi penting seiring dengan kebutuhan energi yang terus berkembang. Panel surya sebagai teknologi utama dalam konversi energi matahari memerlukan optimasi untuk meningkatkan efisiensinya. Salah satu pendekatan yang banyak dipelajari adalah penggunaan sistem pelacakan (tracking system) pada panel surya, khususnya sistem dual axis yang dapat mengubah posisi panel mengikuti pergerakan matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja panel surya menggunakan sistem pelacakan dual axis untuk mencapai efisiensi energi maksimal. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen lapangan, dengan perbandingan antara panel surya yang dilengkapi sistem dual axis dan panel surya statis. Variabel yang diamati meliputi daya keluaran, efisiensi konversi energi, dan intensitas cahaya matahari pada berbagai waktu dan kondisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem dual axis dapat menghasilkan daya lebih tinggi hingga 33,6% dibandingkan dengan panel statis, dengan peningkatan efisiensi konversi energi yang signifikan pada siang hari. Penerapan sistem ini terbukti efektif dalam meningkatkan performa panel surya, terutama pada lokasi dengan variasi sudut matahari yang besar. Dengan demikian, sistem pelacakan dual axis dapat menjadi solusi optimal untuk meningkatkan efisiensi dan performa panel surya dalam pemanfaatan energi matahari.

**Kata kunci:** Panel Surya, Sistem Dual Axis, Efisiensi Energi, Optimasi Kinerja, Tracking System

## 1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan di era modern ini. Dengan potensi yang sangat besar, Indonesia sebagai negara tropis memiliki akses yang luas terhadap radiasi matahari sepanjang tahun. Menurut data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), rata-rata radiasi matahari di Indonesia mencapai 4,5 hingga 5,5 kWh/m<sup>2</sup> per hari. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan panel surya di Indonesia dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap penyediaan energi listrik nasional. Panel surya berbasis silikon, yang merupakan jenis yang paling umum digunakan, memiliki umur yang panjang dan efisiensi tinggi, dengan estimasi dapat menghasilkan listrik hingga 80% dari kapasitas awalnya selama 25 tahun [1].

Teknologi panel surya telah berkembang dari generasi pertama yang menggunakan sel fotovoltaik (PV) berbasis silikon, menuju generasi yang lebih canggih dengan efisiensi yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah. Proses konversi energi matahari menjadi listrik terjadi melalui interaksi antara sinar matahari dan sel silikon. Ketika foton dari sinar matahari mengenai sel, energi tersebut akan membebaskan elektron dalam bahan semikonduktor, yang kemudian menghasilkan arus listrik. Dengan kemajuan teknologi, efisiensi sel fotovoltaik kini telah mencapai angka di atas 20%, yang mendorong peningkatan penggunaan panel surya di berbagai aplikasi, baik skala kecil maupun besar [2].

Namun, tantangan utama dalam pemanfaatan energi surya adalah ketergantungan pada posisi matahari. Panel surya statis hanya dapat menangkap radiasi matahari dalam satu sudut tertentu, yang dapat mengurangi efisiensi energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, sistem pelacakan matahari (solar tracking system) menjadi solusi yang efektif. Dengan menggunakan sistem dual axis, panel surya dapat bergerak mengikuti pergerakan matahari secara horizontal dan vertikal, sehingga memaksimalkan penyerapan cahaya matahari sepanjang hari [3].

Sistem dual axis ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan, tetapi juga memungkinkan penggunaan lahan yang lebih optimal. Dalam studi yang dilakukan oleh [4][5], sistem pelacakan dual axis menunjukkan peningkatan produksi energi hingga 40% dibandingkan dengan sistem

statis. Hal ini menunjukkan bahwa investasi dalam teknologi pelacakan dapat memberikan hasil yang signifikan dalam jangka panjang, baik dari segi penghematan biaya energi maupun pengurangan emisi karbon.

Sistem dual axis bekerja dengan dua sumbu pergerakan, yaitu sumbu azimuth (horizontal) dan sumbu elevasi (vertikal). Dengan konfigurasi ini, panel surya dapat beradaptasi dengan posisi matahari yang berubah sepanjang hari dan sepanjang tahun. Prinsip kerja dari sistem ini didasarkan pada pengukuran sudut elevasi dan azimuth matahari, yang dapat dilakukan dengan menggunakan sensor cahaya atau algoritma perhitungan matematis [6].

Sensor cahaya, seperti Light Dependent Resistor (LDR), digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dari arah yang berbeda [2]. Saat panel surya bergerak, sensor ini akan mengirimkan sinyal ke kontroler untuk mengubah posisi panel agar selalu menghadap ke arah sinar matahari. Dengan teknologi ini, sistem dapat secara otomatis menyesuaikan sudut panel untuk memaksimalkan penyerapan energi sepanjang hari, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi konversi energi [7].

Dalam implementasinya, sistem dual axis juga dilengkapi dengan kontroler berbasis Arduino yang mengatur pergerakan motor servo. Motor ini bertanggung jawab untuk mengubah posisi panel surya sesuai dengan sinyal yang diterima dari sensor. Dengan pemrograman yang tepat, sistem dapat diatur untuk mengikuti pergerakan matahari dengan akurasi tinggi, sehingga mengurangi kemungkinan kehilangan energi akibat sudut yang tidak optimal [8].

Pentingnya sistem dual axis juga terlihat dalam analisis performa yang dilakukan di berbagai lokasi. Sebuah studi di Malaysia menunjukkan bahwa sistem dual axis dapat meningkatkan produksi energi hingga 30% dibandingkan dengan sistem panel surya statis. Hal ini menunjukkan bahwa dengan teknologi pelacakan yang tepat, efisiensi energi dapat ditingkatkan secara signifikan, yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat [9].

Sistem dual axis menawarkan sejumlah keuntungan dibandingkan dengan sistem panel surya statis. Salah satu keuntungan utama adalah peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan. Dengan kemampuan untuk mengikuti pergerakan matahari, panel surya dapat menangkap lebih banyak radiasi matahari sepanjang hari. Sebuah penelitian oleh [2] menunjukkan bahwa sistem dual axis dapat meningkatkan efisiensi hingga 40% dalam kondisi tertentu, menjadikannya pilihan yang lebih menarik bagi investor dan pengguna. Keuntungan lainnya adalah fleksibilitas dalam penggunaan lahan.

Sistem dual axis memungkinkan pemasangan panel surya dalam konfigurasi yang lebih beragam, sehingga dapat diintegrasikan dengan baik ke dalam desain bangunan atau infrastruktur yang ada. Hal ini sangat penting di daerah dengan keterbatasan ruang, di mana penggunaan lahan yang efisien menjadi kunci dalam pengembangan proyek energi terbarukan [10].

Studi kasus implementasi sistem dual axis di berbagai belahan dunia menunjukkan hasil yang menjanjikan. Di India, sebuah proyek yang menerapkan sistem pelacakan dual axis berhasil meningkatkan produksi energi hingga 35% dibandingkan dengan sistem statis. Proyek ini melibatkan penggunaan panel surya di atap gedung perkantoran, yang tidak hanya menyediakan energi untuk kebutuhan internal tetapi juga menjual kelebihan energi ke jaringan listrik nasional [1].

Di Malaysia, penelitian yang dilakukan oleh [9] menunjukkan bahwa sistem dual axis tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang. Dengan memanfaatkan teknologi pelacakan, pengguna dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan meningkatkan kemandirian energi masyarakat. Hal ini sangat penting di negara-negara yang menghadapi tantangan dalam penyediaan energi yang handal.

Selain itu, di Eropa, banyak negara telah mengadopsi sistem pelacakan dual axis dalam proyek energi terbarukan mereka. Dengan dukungan kebijakan yang kuat dan investasi dalam teknologi, negara-negara ini berhasil meningkatkan kapasitas energi terbarukan mereka secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa dengan adanya komitmen politik dan investasi yang tepat, sistem dual axis dapat menjadi bagian integral dari strategi energi nasional [1].

Optimasi panel surya melalui sistem dual axis merupakan tujuan dalam penelitian untuk meningkatkan efisiensi energi terbarukan. Dengan kemampuan untuk mengikuti pergerakan matahari, sistem ini tidak hanya meningkatkan produksi energi tetapi juga memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dalam menghadapi tantangan energi global. Meskipun ada tantangan dalam hal biaya dan pemeliharaan, manfaat jangka panjang dari sistem ini jauh lebih besar.

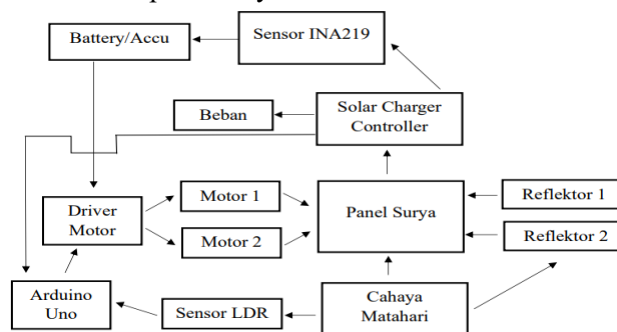
## 2. METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan sistem panel surya dengan menggunakan teknologi pelacakan dual axis. Penelitian ini akan dilakukan di lokasi yang memiliki potensi sinar matahari yang tinggi, dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi dari panel surya. Metodologi yang digunakan adalah pendekatan eksperimental dan analitis, di mana data akan diambil dari sistem pelacakan dual axis yang telah dipasang. Penelitian ini juga akan membandingkan hasil antara sistem pelacakan dual axis dengan sistem statis untuk mengevaluasi peningkatan efisiensi yang dihasilkan. Dalam hal ini, parameter yang akan diukur meliputi daya keluaran, sudut pelacakan, dan intensitas cahaya matahari.

Dalam penelitian ini, beberapa variabel yang akan dianalisis meliputi kondisi cuaca, posisi geografis, dan waktu pengukuran. Penelitian ini juga akan melibatkan penggunaan perangkat Arduino, yang telah terbukti efektif dalam pengembangan sistem pelacakan surya [11]. Dengan rancangan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai efektivitas sistem pelacakan dual axis dalam meningkatkan produktivitas panel surya.

Sampel penelitian akan diambil lokasi area perkotaan untuk mendapatkan data yang representatif. Dalam pengambilan sampel, akan dipilih panel surya yang dilengkapi dengan sistem pelacakan dual axis serta panel yang menggunakan sistem statis sebagai pembanding. Sampel akan yaitu panel surya dengan sistem pelacakan dual axis. Pemilihan lokasi yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa hasil penelitian dapat digeneralisasikan untuk kondisi yang lebih luas. Selain itu, penelitian ini juga akan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ketersediaan lahan, aksesibilitas, dan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran [6].

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini akan dilakukan melalui pengukuran langsung pada sistem panel surya. Data yang akan dikumpulkan meliputi daya keluaran, sudut pelacakan, dan intensitas cahaya matahari. Untuk pengukuran daya keluaran, akan digunakan alat pengukur daya (power meter) yang dapat memberikan data secara real-time. Sedangkan untuk pengukuran sudut pelacakan, akan digunakan sensor sudut yang terintegrasi dengan sistem pelacakan. Untuk system Pada Gambar 2.1 terdapat 4 bagian sistem yaitu mikronkontroler, sensor, motor, reflector. Pada bagian mikrokontroler berfungsi sebagai otak untuk menggerakkan sistem tracking dan pembacaan arus, tegangan, daya yang dihasilkan oleh panel surya



Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Panel Surya

Pengembangan instrumen penelitian juga akan melibatkan penggunaan sistem mikronkontroler untuk mengontrol sistem pelacakan. Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) juga akan diimplementasikan untuk memantau kinerja panel surya secara jarak jauh [12]. Dengan instrumen yang tepat, diharapkan data yang diperoleh dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai kinerja sistem pelacakan dual axis.

Analisis data dalam penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan metode statistik deskriptif. Data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk menentukan rata-rata, deviasi standar, dan koefisien variasi dari daya keluaran panel surya dengan sistem pelacakan dual axis dan sistem statis. Selain itu, analisis regresi akan digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara sudut pelacakan dan daya keluaran, serta untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem.

Hasil analisis akan dibandingkan antara kedua sistem untuk menentukan peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh sistem pelacakan dual axis. Selain itu, analisis sensitivitas juga akan dilakukan untuk menilai dampak perubahan variabel lingkungan, seperti intensitas cahaya dan suhu, terhadap kinerja panel surya [11]. Dengan pendekatan analisis yang komprehensif, diharapkan penelitian ini dapat

memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya dalam bidang panel surya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap sistem elektronik dan mekanik untuk memastikan apakah sistem berfungsi dengan baik dan dapat mengikuti arah pergerakan sinar matahari. Pengujian dilakukan dengan memberikan suplai tegangan sebesar 5 volt pada Arduino dan 12 volt pada Driver Motor DC. Langkah selanjutnya dilakukan kalibrasi modul sensor LDR untuk menyesuaikan sensitivitas sensor LDR saat penerima sinar radiasi matahari agar bisa mendeteksi gelap dan terang. Sistem tracking sinar matahari ini bekerja dengan memanfaatkan empat sensor LDR (Light Dependent Resistor) yang diposisikan pada empat titik yang berbeda untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya. Setiap sensor LDR berfungsi untuk mengukur kecerahan cahaya di sekitar posisi sensor tersebut. Jika ada sensor yang mendeteksi cahaya terang, sedangkan sensor lain mendeteksi cahaya yang lebih gelap, maka sistem akan merespon dengan cara menggerakkan aquator linier (atau sistem penggerak) untuk mengubah posisi objek (misalnya panel surya) ke arah yang lebih terang, yaitu ke arah matahari.



Gambar 3.1 Pengujian Sistem Elektronik dan Mekanik

#### Pengujian Sensor INA219

Sensor INA219 adalah sensor arus, tegangan, daya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor membaca arus, tegangan, daya dengan benar. Pengujian dilakukan dengan 2 (dua) alat yaitu, dengan Sensor INA219 dan alat Multimeter yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan dari dua Alat ukur. Untuk hasil pengukuran bisa dilihat pada table dibawah.

Tabel 3. 1 Monitoring Pembacaan Sensor INA219 dan Multimeter

Jam	Sensor	Alat	Selisih		Sensor		Selisih		Error
	Tegangan (V)	Tegangan (V)			Arus (A)	Arus (A)			
07.00	12,18	12,24	0,06	0.004%	0,75	0,81	0,06	0.07%	
07.30	12,35	12,42	0,07	0.005%	0,83	0,86	0,03	0.03%	
08.00	13,38	13,45	0,07	0.005%	0,85	0,78	0,07	0.08%	
08.30	13,25	13,43	0,18	0.01%	0,93	0,87	0,06	0.06%	
09.00	13,49	13,41	0,08	0.005%	0,87	0,95	0,08	0.08%	
09.30	13,43	13,33	0,1	0.007%	0,92	0,94	0,02	0.02%	
10.00	13,35	13,41	0,06	0.004%	0,95	0,94	0,01	0.01%	
11.00	13,45	13,42	0,03	0.002%	1,01	1,11	0,1	0.009%	
Rata Rata	13,11	13,13	0,08	0.005%	0,88	0,9	0,05	0.04%	

Berdasarkan tabel 3.1 bahwa data pengukuran tegangan dan arus listrik yang dilakukan menggunakan sensor dan alat pengukur pada berbagai waktu, mulai dari pukul 07.00 hingga 11.00. Selisih Tegangan antara hasil pengukuran sensor dan alat terlihat berkisar antara 0,03 hingga 0,18 Volt. Error Persentase kesalahan pengukuran tegangan sangat kecil, berkisar antara 0,002% hingga 0,01%. Rata-rata error sebesar 0,005% menunjukkan akurasi pengukuran yang baik. Rata-rata tegangan sebesar 13,11 V, sedangkan alat pengukur mencatat 13,13 V.

Sedangkan hasil pengukuran Arus diukur oleh sensor dan alat pengukur dengan hasil yang hampir serupa pada berbagai waktu. Selisih antara hasil pengukuran sensor dan alat berkisar antara 0,03 hingga 0,06 Ampere. Persentase kesalahan pengukuran arus sangat kecil, berkisar antara 0,009% hingga 0,07%. Rata-rata error sebesar 0,04%. Sensor mencatat rata-rata arus sebesar 0,88 A, sedangkan alat

mencatat 0,9 A. Data menunjukkan bahwa alat dan sensor memiliki hasil pengukuran yang cukup konsisten, dengan selisih dan error pengukuran yang kecil. Rata-rata error untuk tegangan dan arus menunjukkan bahwa kedua metode pengukuran memiliki tingkat akurasi yang baik, dengan error yang tidak signifikan. Hasil ini mengindikasikan bahwa sensor dapat digunakan sebagai alternatif yang andal untuk alat pengukur utama.

### Pengujian Sistem Integrasi Tracking dan Reflektor

Pengujian ini dilakukan selama tiga hari dengan menggunakan Ukuran cermin 40 x 35 CM dengan variasi sudut cermin 80°, 70°, 60°.



Gambar 3.2 Pengujian sistem integrasi tracking dan reflektor ukuran cermin 40x35 CM sudut 80°, 70°, 60°

Pengambilan data dilakukan selama 9 jam perhari. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan sudut berapa pada cermin yang memiliki keluaran output daya yang paling efisien

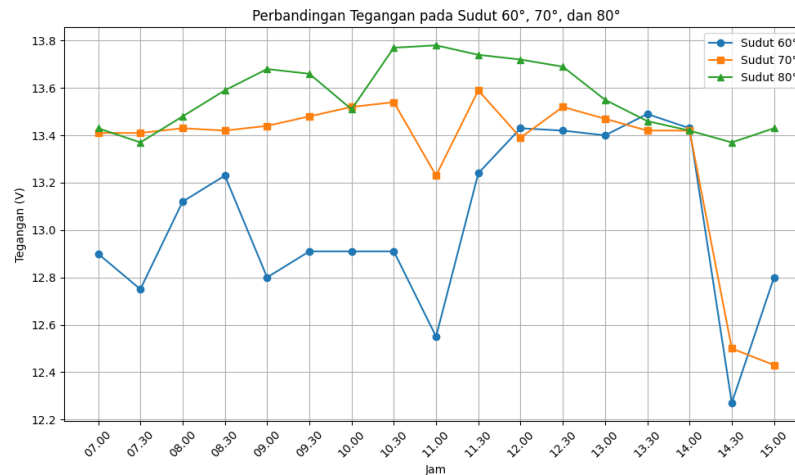
Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Cermin 40x35 CM sudut 60°,70°,80°

Jam	Integrasi Tracking dan Reflector											
	Sudut 60°				Sudut 70°				Sudut 80°			
	V(V)	I(A)	P(W)	Efisiensi (%)	V(V)	I(A)	P(W)	Efisiensi (%)	V(V)	I(A)	P(W)	Efisiensi (%)
07.00	12,9	0,75	9,62	4,22%	13,41	0,4	5,39	2,36%	13,43	0,43	5,8	2,54%
07.30	12,75	0,84	10,71	4,70%	13,41	0,63	8,42	3,70%	13,37	0,64	8,61	3,78%
08.00	13,12	0,7	9,18	4,03%	13,43	0,76	10,25	4,50%	13,48	0,92	12,32	5,41%
08.30	13,23	0,93	12,3	5,40%	13,42	0,85	11,45	5,03%	13,59	1,01	13,7	6,02%
09.00	12,8	0,83	10,62	4,66%	13,44	0,91	12,18	5,35%	13,68	1,11	15,17	6,66%
09.30	12,91	0,87	11,23	4,93%	13,48	0,95	12,82	5,63%	13,66	1,08	14,77	6,49%
10.00	13,25	0,95	12,58	5,52%	13,52	0,97	13,36	5,87%	13,51	1,31	17,54	7,70%
10.30	12,91	0,73	9,42	4,14%	13,54	1,02	13,68	6,01%	13,77	1,31	18,88	8,29%
11.00	12,55	0,98	12,29	5,40%	13,23	1	13,56	5,96%	13,78	1,26	17,25	7,58%
11.30	13,24	1,13	14,93	6,56%	13,59	1,18	16,01	7,03%	13,74	1,18	16,12	7,08%
12.00	13,43	1,14	15,29	6,70%	13,39	1	13,38	5,88%	13,72	1,1	15,1	6,63%
12.30	13,42	0,96	12,88	5,66%	13,52	1,01	13,54	5,95%	13,69	1,18	16,07	7,06%
13.00	13,4	1,01	13,49	5,92%	13,47	1,05	14,12	6,20%	13,55	1,08	14,57	6,40%
13.30	13,49	1,14	15,27	6,71%	13,42	0,92	12,27	5,39%	13,46	1,03	13,78	6,05%
14.00	13,43	0,92	12,33	5,41%	13,42	0,71	9,48	4,48%	13,42	0,86	11,57	5,08%
14.30	12,27	0,54	6,62	2,90%	12,5	0,45	5,62	2,47%	13,37	0,71	9,89	4,34%
15.00	12,8	0,41	5,33	2,34%	12,43	0,38	4,72	2,72%	13,43	0,64	8,56	3,76%
Rata-Rata	13,05	0,87	11,41	5,01%	13,33	0,83	11,19	4,97%	13,56	0,99	13,51	5,93%

Tabel 3.2 merupakan hasil integrasi sistem tracking dengan reflector cermin pada tiga sudut (60°, 70°, dan 80°). Data meliputi tegangan (V), arus (I), daya (P), dan efisiensi (%) yang diukur setiap 30 menit dari pukul 07.00 hingga 15.00. Analisa ini bertujuan untuk menentukan sudut optimal dalam menghasilkan daya dan efisiensi maksimum.

a) Analisa berdasarkan parameter tegangan

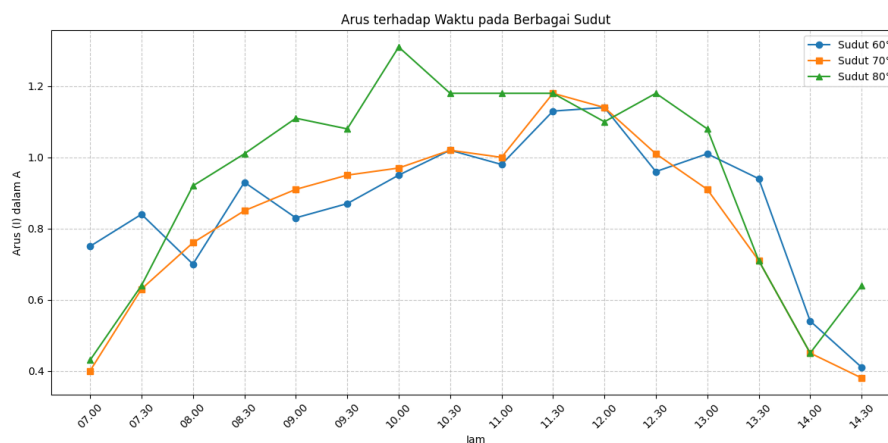
Dari gambar 3.3 dapat diketahui bahwa Pengukuran tegangan rata-rata untuk sudut  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ , dan  $80^\circ$  masing-masing adalah 13,05 V, 13,33 V, dan 13,56 V. Tegangan tertinggi ditemukan pada sudut  $80^\circ$ , mengindikasikan bahwa reflektor pada sudut ini menangkap lebih banyak intensitas cahaya matahari. Tegangan cenderung lebih stabil pada siang hari (pukul 09.00–13.00) di semua sudut, dengan sedikit fluktuasi di pagi dan sore hari akibat perubahan intensitas cahaya.



Gambar 3.3. Perbandingan tegangan

b) Perbandingan Arus (A)

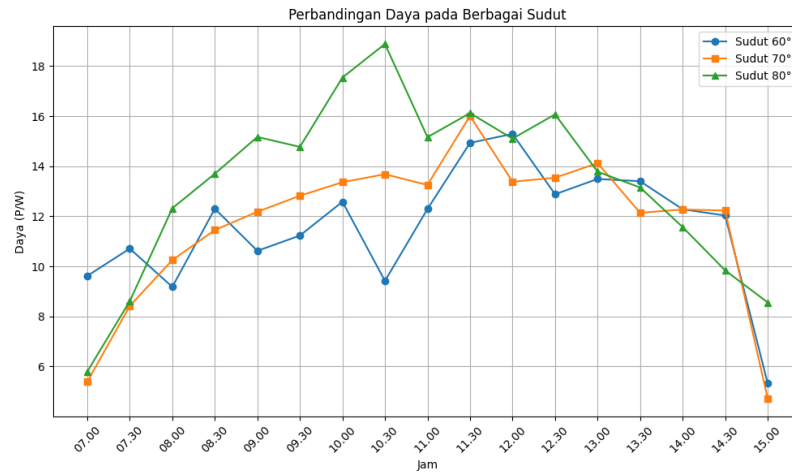
Dari gambar 3.4 dapat diketahui bahwa Arus rata-rata yang tercatat adalah untuk sudut  $60^\circ$  sebesar 0,87 A, Sudut  $70^\circ$ : 0,83 Sudut  $80^\circ$ : 0,99 A. Sudut  $80^\circ$  menghasilkan arus terbesar, menunjukkan bahwa posisi reflektor ini lebih efektif dalam mengonversi energi cahaya menjadi listrik. Peningkatan arus terlihat pada rentang waktu 07.00–12.00, dengan puncak arus pada pukul 10.00–12.00 di semua sudut.



Gambar 3.4. Perbandingan Arus (A)

c) Perbandingan Daya (watt)

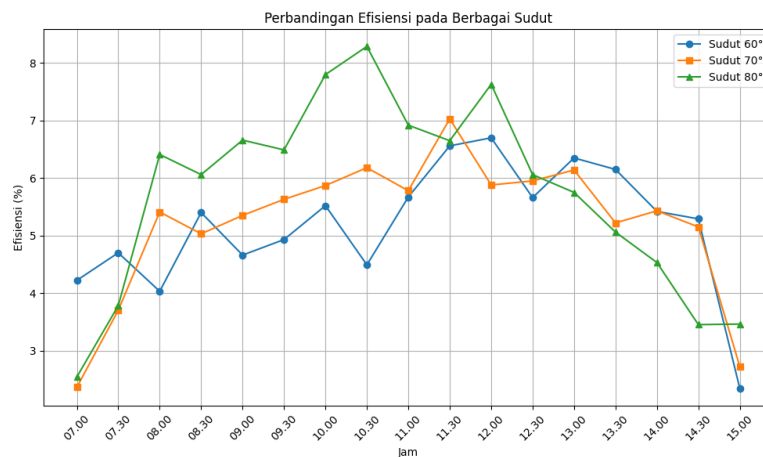
Dari gambar 3.5 dapat diketahui bahwa daya rata-rata untuk masing-masing sudut adalah untuk sudut  $60^\circ$  sebesar 11,41 W, sudut  $70^\circ$  sebesar 11,19 W, Sudut  $80^\circ$  sebesar 13,51 W. Sudut  $80^\circ$  memiliki daya tertinggi, menunjukkan bahwa sudut ini lebih optimal untuk menghasilkan daya listrik. Daya maksimum tercatat pada pukul 10.30–12.30, terutama pada sudut  $80^\circ$ , dengan nilai tertinggi mencapai 18,88 W dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Perbandingan Daya (Watt)

## d) Perbandingan efisiensi (%)

Dari gambar 3.6 dapat diketahui bahwa Efisiensi rata-rata adalah untuk sudut 60° sebesar 5,01%, sudut 70° sebesar 4,97%, sudut 80° sebesar 5,93%. Sudut 80° memiliki efisiensi tertinggi dibandingkan dua sudut lainnya, dengan efisiensi maksimum mencapai 8,29% pada pukul 10.30. Efisiensi cenderung meningkat hingga tengah hari (pukul 12.00), kemudian menurun secara bertahap akibat sudut pencahayaan matahari yang berkurang dan intensitasnya menurun



Gambar 3.6. Perbandingan efisiensi (%)

Analisa berdasarkan waktu bahwa pada pagi hari jam 07.00–09.00, daya dan efisiensi masih rendah di semua sudut akibat intensitas cahaya matahari yang masih lemah. Efisiensi tertinggi pada pagi hari dicapai pada pukul 08.30 di sudut 80° dengan nilai 6,02%. Siang hari jam 09.00–13.00 adalah periode optimal untuk menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi. Puncak daya dan efisiensi ditemukan pada pukul 10.30 untuk sudut 80°, dengan daya sebesar 18,88 W dan efisiensi 8,29%. Pada sore hari jam 13.30–15.00, daya dan efisiensi menurun secara signifikan di semua sudut. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya intensitas cahaya matahari, yang memengaruhi kemampuan reflektor untuk mengarahkan sinar matahari ke panel.

Analisa berdasarkan sudut bahwa, bahwa sudut 60° Meskipun efisiensi cukup baik pada pagi hingga siang hari, sudut ini menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan sudut lainnya. Sudut 70° Memberikan hasil yang lebih baik dari sudut 60°, tetapi masih lebih rendah dibandingkan sudut 80°. Sudut 80° Sudut ini memberikan hasil terbaik dalam hal tegangan, arus, daya, dan efisiensi. Efisiensi tertinggi tercatat pada waktu-waktu ketika intensitas cahaya matahari maksimum.

### Perbandingan Panel Surya Sistem Integrasi Tracking dan Reflektor Dual Axis

Pengujian perbandingan dilakukan untuk masing masing system yaitu sistem panel surya integrasi tracking dan reflektor dilakukan pengujian selama 9 jam dalam sehari. Tujuan dari perbandingan ini dilakukan untuk menentukan sistem mana yang lebih memiliki daya efisien.

Tabel 3.3 Perbandingan Panel Surya Sistem Integrasi Tracking dan Reflektor dengan Dual Axis

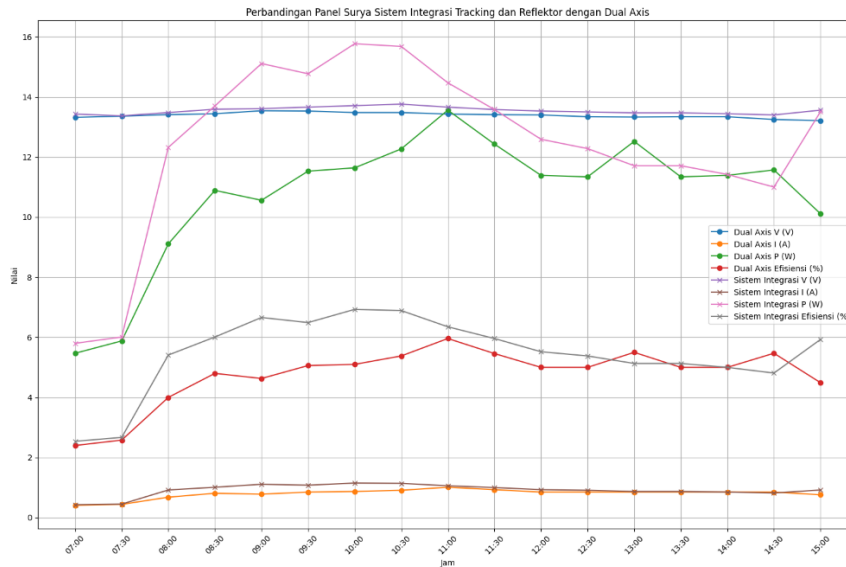
Jam	dual axis			Efisiensi (%)	Sistem Integrasi Sudut 60°			Efisiensi (%)
	V(V)	I(A)	P(W)		V(V)	I(A)	P(W)	
07.00	13,32	0,41	5,47	2,40%	13,43	0,43	5,8	2,54%
07.30	13,36	0,44	5,88	2,58%	13,37	0,64	8,61	3,78%
08.00	13,41	0,68	9,11	4,00%	13,48	0,92	12,32	5,41%
08.30	13,44	0,81	10,93	4,80%	13,59	1,01	13,7	6,02%
09.00	13,54	0,79	10,68	4,69%	13,68	1,11	15,17	6,66%
09.30	13,53	0,85	11,53	5,06%	13,66	1,08	14,77	6,49%
10.00	13,38	0,87	11,64	5,11%	13,51	1,31	17,54	7,70%
10.30	13,41	0,96	12,86	5,65%	13,77	1,31	18,88	8,29%
11.00	13,43	1,01	13,56	5,96%	13,78	1,26	17,25	7,58%
11.30	13,34	0,93	12,43	5,46%	13,74	1,18	16,12	7,08%
12.00	13,36	0,76	10,17	4,47%	13,72	1,1	15,1	6,63%
12.30	13,41	0,85	11,39	5,00%	13,69	1,18	16,07	7,06%
13.00	13,34	0,94	12,52	5,50%	13,55	1,08	14,57	6,40%
13.30	13,31	0,91	12,13	5,33%	13,46	1,03	13,78	6,05%
14.00	12,34	0,85	10,46	5,47%	13,42	0,86	11,57	5,08%
14.30	12,35	0,45	5,57	2,44%	13,37	0,71	9,89	4,34%
15.00	12,32	0,41	5,44	2,39%	13,43	0,64	8,56	3,76%
Rata-Rata	13,21	0,76	10,11	4,49%	13,56	0,99	13,51	5,93%

Berdasarkan Tabel 3.3 dapat diketahui bahwa panel surya dengan sistem integrasi tracking dan reflektor menghasilkan arus, tegangan, serta daya yang lebih efisien, dengan rata-rata daya sebesar 13,51 watt. Sebagai perbandingan, panel surya dengan sistem dual axis hanya menghasilkan rata-rata daya sebesar 10,11 watt. Dalam hal efisiensi, panel surya dengan sistem integrasi mencatat nilai sebesar 5,93%, sementara sistem dual axis mencapai efisiensi sebesar 4,49%. Efisiensi yang lebih tinggi pada sistem integrasi disebabkan oleh pantulan radiasi matahari dari cermin yang diarahkan ke permukaan modul panel surya, sehingga radiasi matahari lebih terfokus pada modul tersebut.

$$\text{Persentase Peningkatan daya} = \frac{\text{Daya Sistem Integrasi} - \text{Daya Sistem Dual Axis}}{\text{Daya Sistem Dual Axis}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Persentasi Peningkatan Daya} &= \frac{13.51-10.11}{10.11} \times 100\% \\ &= 0,336 \times 100 \% \\ &= 33,6 \% \end{aligned}$$

Perbandingan Daya Panel Surya Sistem Integrasi Tracking dan Reflektor dengan Dual Axis dari gambar 3.7 dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan sistem integrasi tracking dan reflektor cenderung lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan sistem dual axis.



Gambar 3.7. Perbandingan Daya Panel Surya Sistem Integrasi Tracking dan Reflektor dengan Dual Axis

Dari gambar 3.7 dapat diketahui bahwa perubahan nilai tegangan (V), arus (I), daya (P), dan efisiensi (%) untuk kedua sistem sepanjang waktu dari pukul 07:00 hingga 15:00. Pada sistem Dual Axis (Warna biru, hijau, oranye dan pink) terlihat bahwa Tegangan (V) stabil sepanjang hari di sekitar 13,2-13,5V. Sedangkan arus (I) meningkat dari pagi sebesar 0,41A hingga siang hari dan menurun Kembali pada sore hari. Besaran daya (P) cenderung meningkat hingga puncak di siang hari (sekitar 13,5W) dan menurun pada sore hari. Efisiensi mencapai puncak sekitar 5,96% pada pukul 10:00 .

Sistem Integrasi yang di tandai (Warna abu-abu, merah, kuning, ungu) menunjukkan bahwa tegangan (V) sedikit lebih tinggi dibanding dual axis sebesar 13,43-13,59V. Sedangkan arus (I) lebih tinggi dibandingkan dual axis, terutama pada pagi hari. Besaran Daya (P) lebih tinggi sepanjang hari, dengan puncak sebesar 15,17W pada pukul 08:30. Efisiensi lebih baik, mencapai 7,58% pada pukul 10:00. Sistem integrasi dengan reflektor memiliki performa lebih baik dibandingkan sistem dual axis dalam hal daya dan efisiensi. Sistem ini memberikan peningkatan signifikan pada pagi hari berkat kontribusi reflektor

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Sudut  $80^\circ$  adalah yang paling optimal untuk menghasilkan daya dan efisiensi tinggi. Waktu Optimal yaitu Periode siang hari, terutama pukul 10.30–12.30, adalah waktu terbaik untuk menghasilkan daya maksimum. Untuk Efisiensi dan Daya Sudut reflektor sangat mempengaruhi efisiensi dan daya yang dihasilkan. Sudut yang lebih besar ( $80^\circ$ ) lebih efektif menangkap intensitas cahaya matahari dan menghasilkan daya yang lebih tinggi. Dengan data ini, implementasi sistem tracking dengan reflektor sudut  $80^\circ$  sangat direkomendasikan untuk memaksimalkan kinerja sistem energi surya

Sistem integrasi dengan reflektor memiliki keunggulan rata-rata efisiensi 5,93%, lebih tinggi daripada dual axis (4,49%). Peningkatan efisiensi ini menunjukkan manfaat reflektor dan optimasi sudut dalam memaksimalkan intensitas sinar matahari. Sistem integrasi dengan reflektor lebih efektif untuk meningkatkan kinerja panel surya dalam hal daya dan efisiensi, terutama di pagi hingga siang hari. Namun, dual-axis tracking memberikan kinerja yang lebih konsisten sepanjang hari

**REFERENSI**

- [1] H. A. E. M. Salama and A. T. Mohamed Taha, "Practical Implementation of Dual Axis Solar Power Tracking System," *2018 20th Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2018 - Proc.*, pp. 446–451, 2018, doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635197.
- [2] Y. M. Manu, S. V. Shashikala, M. K. Hemchandru, P. Rachitha, B. N. Kavya, and D. Hongirana, "Single axis solar tracking system," *2nd IEEE Int. Conf. Adv. Inf. Technol. ICAIT 2024 - Proc.*, vol. 1, no. July, pp. 1–6, 2024, doi: 10.1109/ICAIT61638.2024.10690503.
- [3] K. Ahn, Z. Chu, and D. Lee, "Effects of renewable energy use in the energy mix on social welfare," *Energy Econ.*, vol. 96, p. 105174, 2021, doi: 10.1016/j.eneco.2021.105174.
- [4] A. C. Chhoton and N. R. Chakraborty, "Dual axis solar tracking system-A comprehensive study: Bangladesh context," *4th Int. Conf. Adv. Electr. Eng. ICAEE 2017*, vol. 2018-Janua, no. January, pp. 421–426, 2017, doi: 10.1109/ICAEE.2017.8255393.
- [5] S. Ahmad, A. N. Razali, and M. I. Misrun, "Effective and Low-Cost Arduino based Dual-Axis Solar Tracker," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1878, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1878/1/012049.
- [6] M. Elgeziry and T. Hatem, "Designing a Dual-axis Open-loop solar tracker for CPV applications," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, vol. 2020-June, pp. 1522–1524, 2020, doi: 10.1109/PVSC45281.2020.9300699.
- [7] S. Sahu, "a Standalone PV System," pp. 96–101, 2020.
- [8] N. Tomar, A. Agrawal, V. S. Dhaka, and P. K. Surolia, "Ruthenium complexes based dye sensitized solar cells: Fundamentals and research trends," Sep. 01, 2020, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.solener.2020.06.060.
- [9] J. F. Lee and N. A. Rahim, "Performance comparison of dual-axis solar tracker vs static solar system in Malaysia," *CEAT 2013 - 2013 IEEE Conf. Clean Energy Technol.*, pp. 102–107, 2013, doi: 10.1109/CEAT.2013.6775608.
- [10] S. S. Alam, M. Ahmad, A. S. Othman, Z. B. H. Shaari, and M. Masukujjaman, "Factors affecting photovoltaic solar technology usage intention among households in Malaysia: Model integration and empirical validation," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–20, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13041773.
- [11] S. Swami, R. Kumar, and N. Kumar, "Dual Axis Solar Tracking System Using Arduino," *Prog. Sol. Energy Eng. Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 34–36, 2020, doi: 10.18280/psees.040105.
- [12] S. Forhad *et al.*, "Influence of a Dual Axis IoT- Based Off-Grid Solar Tracking System and Wheatstone Bridge on Efficient Energy Harvesting and Management," *J. Eng. Res. Reports*, vol. 26, no. 3, pp. 125–136, 2024, doi: 10.9734/jerr/2024/v26i31099.