



RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER SINGLE AXIS DENGAN 4 REFLEKTOR CAHAYA

Wahyu Kartiko Adjie*¹, Aditya Chandra Hermawan ²

Program Studi D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri
Surabaya ^{1,2}

Email: wahyu.22038@mhs.unesa.ac.id¹, adityahermawan@unesa.ac.id²

ABSTRACT

The efficiency of Solar Power Plants (PLTS) in tropical regions like Indonesia is heavily influenced by how optimally solar panels capture solar radiation. Static solar panels experience a significant drop in output, especially in the morning and evening, due to the oblique angle of sunlight and low irradiation intensity. Meanwhile, conventional solar trackers are quite effective at keeping panels perpendicular to the sun, but their output remains low when ambient solar irradiation is inherently low. This study designs and tests a single-axis solar tracker equipped with four light reflectors, aiming to reflect additional light onto the panel surface during the morning and evening. These reflectors feature an automatic mechanism that opens to reflect light and closes when the panel temperature exceeds a threshold, preventing performance degradation caused by overheating. The system utilizes two GUVA-S12SD UV sensors oriented toward the east and west to detect the sun's direction, a DC motor with an L298N H-Bridge driver as the actuator, and an ESP32 as the microcontroller. Testing was conducted over four days with reflector angle variations of 45°, 50°, 55°, and 60°. Validation shows that the UV sensors read radiation well and function precisely for solar tracking, although the values are not yet equivalent to the global UV Index due to conversion parameter differences. The test results indicate an increase in daily energy of the PV solar tracker ranging from 12.2% to 19.4%, with the best performance achieved using a 60° reflector angle. The increase occurred during periods of low solar irradiation (approximately 06:00–08:00 and 15:00–18:00), whereas during midday (11:00–13:00), the output of both the PV solar tracker and static PV was relatively similar because the sun was at Peak Sun Hours (PSH) or its zenith, making the angle of incidence nearly perpendicular to the solar panels in both methods. It was also found that the solar panel output voltage tends to saturate around 13–14 V during midday due to panel temperature increases, despite continuously rising irradiation. This study proves that the combination of tracking and light reflectors – equipped with temperature safeguards to prevent overheating by rotating reflectors based on temperature sensor readings – is not entirely worthwhile in Indonesia, particularly in hot regions like Sidoarjo. This is

because, despite an increase in solar panel output, the minimal irradiation levels during morning and evening still fail to drive a substantial surge in overall solar panel output.

Keywords : *Solar Tracker, Light Reflector, Solar Panel, Energy Efficiency, UV Sensor.*

ABSTRAK

Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah tropis seperti Indonesia sangat dipengaruhi oleh seberapa optimal panel surya menangkap radiasi matahari. Panel surya statis mengalami penurunan output yang signifikan terutama pada pagi dan sore hari akibat sudut datang cahaya matahari yang miring dan intensitas iradiasi yang rendah. Sementara itu, solar tracker konvensional sudah cukup baik menjaga panel tetap tegak lurus terhadap matahari, namun outputnya tetap rendah ketika iradiasi matahari di waktu tersebut memang rendah. Penelitian ini merancang dan menguji solar tracker single axis yang dilengkapi empat reflektor cahaya, dengan harapan dapat memantulkan cahaya tambahan ke permukaan panel saat pagi dan sore hari. Reflektor ini dilengkapi mekanisme otomatis yang membuka untuk memantulkan cahaya dan menutup ketika suhu panel melebihi ambang batas, guna mencegah penurunan performa akibat panas berlebih. Sistem menggunakan dua sensor UV GUVA-S12SD yang diarahkan ke arah timur dan barat sebagai pendeteksi arah matahari, motor DC dengan driver H-Bridge L298N sebagai aktuator, dan ESP32 sebagai mikrokontroler. Pengujian dilakukan selama empat hari dengan variasi sudut reflektor 45°, 50°, 55°, dan 60°. Validasi menunjukkan sensor UV mampu membaca radiasi dengan baik dan berfungsi presisi untuk pelacakan matahari, meski nilainya belum setara UV Index global akibat perbedaan parameter konversi. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan energi harian p_v solar tracker berkisar 12,2% hingga 19,4%, dengan hasil terbaik didapatkan dari pengujian dengan sudut reflektor 60°. Peningkatan terjadi pada waktu dengan iradiasi matahari rendah yaitu sekitar pukul (06.00-08.00 dan 15.00-18.00), sementara pada siang hari (11.00-13.00) hasil output dari p_v solar tracker dan p_v statis relatif sama karena matahari berada di PSH (Peak Sun Hour) atau di titik puncaknya sehingga sudut datang cahaya hampir tegak lurus dengan panel surya di kedua metode. Ditemukan juga dari hasil penelitian bahwa tegangan keluaran panel surya cenderung jenuh pada kisaran 13-14 V saat siang hari akibat efek dari kenaikan suhu panel, walaupun irradiansinya terus meningkat. Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi tracking dan reflektor cahaya yang dilengkapi dengan penjagaan suhu agar tidak terlalu panas dengan memutar reflektor berdasarkan hasil sensor suhu tidak terlalu worth it di Indonesia khususnya di daerah panas seperti Sidoarjo karena meskipun ada peningkatan hasil output panel surya, di waktu pagi dan sore posisi iradiasi yang minim tetap saja tidak dapat menunjang output panel surya menjadi jauh lebih besar.

Kata Kunci : *Solar Tracker, Reflektor Cahaya, Panel Surya, Efisiensi Energi, Sensor UV*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik masyarakat Indonesia yang terus meningkat mendorong berbagai upaya efisiensi dan pemanfaatan energi terbarukan. Tenaga surya menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling sesuai untuk diterapkan di Indonesia, mengingat rata-rata radiasi harian matahari di wilayah ini mencapai sekitar 1000 W/m² (Muttaqin & Arifin, 2018). Namun demikian, efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang berhasil diterima oleh panel surya (Syafrialdi & Wildian, 2020), yang pada praktiknya sangat bergantung pada seberapa tegak lurus permukaan panel terhadap arah datang sinar matahari yang terus berubah sepanjang hari.

Sebagian besar instalasi PLTS skala kecil di Indonesia masih menggunakan panel surya statis, yang tidak dapat menyesuaikan orientasinya terhadap pergerakan matahari. Sistem solar tracker telah terbukti mampu meningkatkan daya keluaran panel surya rata-rata 6,79% dibandingkan panel statis (Fathoni dkk., 2020). Sebagai pengembangan lebih lanjut, beberapa peneliti mencoba menambahkan reflektor cahaya untuk memantulkan sinar matahari di sekitar panel ke permukaan panel surya (Rachedi dkk., 2023; Sembiring dkk., 2021). Namun, penambahan reflektor turut meningkatkan suhu permukaan panel, yang justru dapat menurunkan efisiensi sel surya sekitar 0,4-0,5% setiap kenaikan 1°C di atas suhu standar operasi 25°C (Buyukbicakci, 2025) – sebuah trade-off yang belum banyak diselesaikan secara otomatis pada penelitian-penelitian terdahulu.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem solar tracker single axis yang dilengkapi dengan empat reflektor cahaya bermekanisme kemiringan otomatis berbasis suhu – reflektor akan menutup (tidak memantulkan cahaya) secara otomatis apabila suhu panel melampaui ambang batas yang ditentukan, sehingga manfaat reflektor dapat diperoleh tanpa risiko overheating pada panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui pengaruh reflektor cahaya terhadap keluaran panel surya pada solar tracker, (2) merancang sistem solar tracking dengan reflektor dan sensor UV, serta (3) menguji fungsionalitas sensor UV dalam mengikuti posisi matahari.

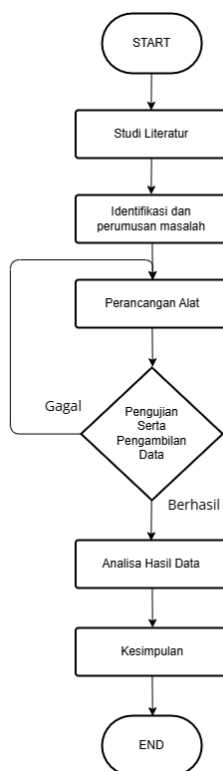
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang bertujuan merancang dan membangun sistem solar tracker pada PLTS untuk menjaga posisi panel surya tetap menghadap matahari secara optimal. Sistem dilengkapi empat reflektor cahaya yang berfungsi menangkap iradiasi matahari di luar area panel dan memantulkannya ke permukaan panel surya.

Penelitian dilaksanakan di Perumahan Griya Bhayangkara, Desa Masangan

Kulon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, pada semester genap 2025/2026. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, identifikasi dan perumusan masalah, perencanaan serta perancangan alat, pengujian dan revisi, pengambilan data, hingga analisis dan penyusunan laporan.

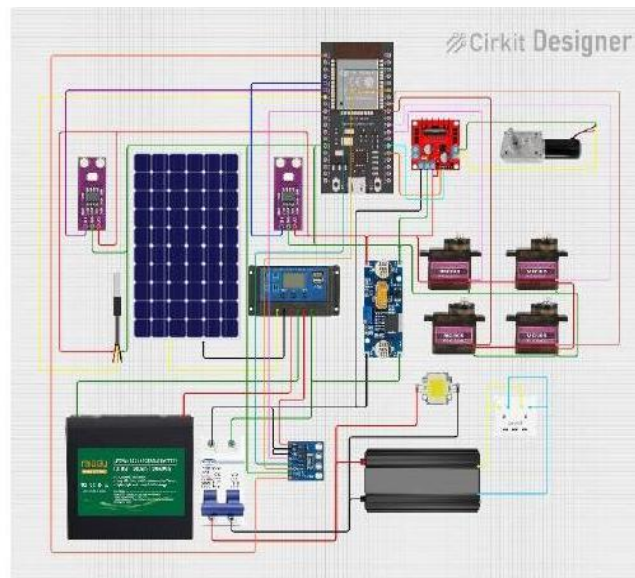
Penelitian ini dimulai dengan studi literatur menganalisa project atau penelitian sebelumnya lalu penulis menemukan ide untuk pengembangan. Lalu penulis melakukan identifikasi dan perumusan masalah. Setelah melakukan identifikasi dan perumusan masalah penulis melanjutkan perencanaan alat meliputi design konsep alat, perancangan alat dengan komponennya, lalu dilanjutkan dengan pengujian alat, apabila terjadi kesalahan proses tracking maka dilakukan proses refisi atau perbaikan hingga proses tracking benar, setelah itu dilanjutkan dengan pengukuran dan analisa, setelah analisa maka didapatkan hasil uji dan pembahasan. Lalu yang terakhir adalah kesimpulan. Dapat dilihat flow chart langkah penelitian pada gambar 1.



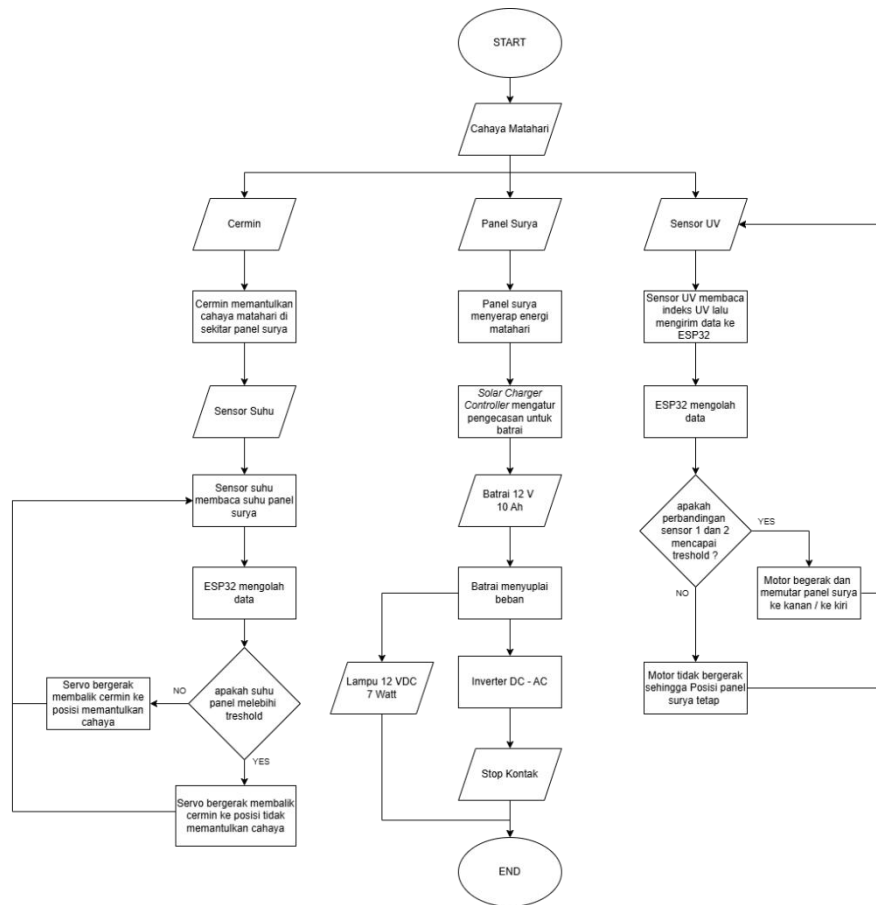
Gambar 1. Flow Chart Langkah Penelitian

Sistem menggunakan ESP 32 Wroom yang terhubung dengan sensor UV dan H Bridge L298N driver motor. Kabel sinyal pada sensor UV 1 di hubungkan pada pin GPIO 35 pada ESP32 dan kabel sinyal pada sensor UV 2 di hubungkan pada pin GPIO 34 pada ESP32 untuk kabel VCC dan GND di jumper dan di hubungkan ke stepdown 12 V DC to 5 V DC. Untuk H Bridge L298N driver motor, kabel IN 1 di hubungkan ke pin GPIO 2 dan IN 2 di hubungkan pada pin GPIO 0 pada ESP32 lalu OUT nya di

hubungkan pada motor untuk mengendalikan motor. Untuk kabel VCC dihubungkan pada 5 V DC sebagai sumber untuk L298N sedangkan VSS dihubungkan pada 12 V DC sebagai sumber untuk motor dan GND di hubungkan negative dari stepdown 12 V DC to 5 V DC. Untuk mekanisme pengendalian suhu, sensor suhu DS18B20 dan servo sumber 5 V DC dan GND di hubungkan ke modul stepdown. Kabel sinyal sensor suhu di hubungkan ke pin GPIO 32 pada ESP32. Untuk sinyal pada servo di hubungkan pada pin GPIO 16, 17, 18, dan 19 pada ESP32. Untuk sensor arus dan tegangan menggunakan sensor INA226 yang dimana port VCC di hubungkan ke 3.3 V pada ESP32, GND di hubungkan ke GND pada ESP32, IN + di hubungkan ke jalur positif load pada SCC, IN - di hubungkan ke jalur positif MCB dan input stepdown. VBS di jumper dengan IN - dan port ALERT di hubungkan ke pin GPIO 25. Sedangkan port SDA dan SCL di hubungkan ke pin GPIO 21 dan 22 pada ESP32. Lalu untuk output panel surya di hubungkan ke input SCC untuk mengkontrol tegangan pengecasan pada baterai. Lalu baterai di hubungkan ke SCC untuk pengecasan, dan output SCC di hubungkan ke beban DC melalui MCB DC dan ke beban AC melalui inverter DC to AC. Dapat dilihat pada wiring diagram pada gambar 2 dan alur kerja alat bisa dilihat pada gambar 3.



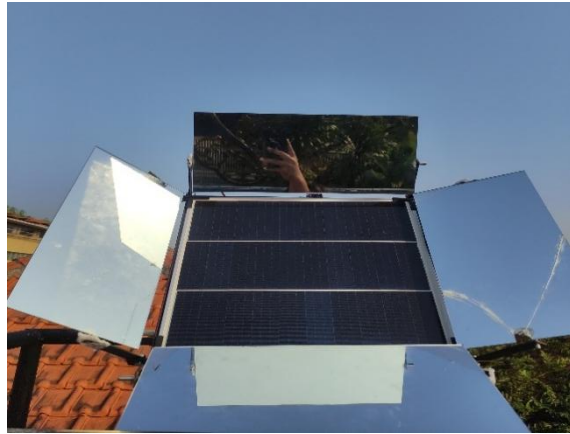
Gambar 2 Wiring Diagram Alat



Gambar 3. Alur Kerja Alat



Gambar 4. Prototipe Tampak Atas



Gambar 5 Prototipe Tampak Atas Serong Saat Di Pasang



Gambar 6. Prototipe Tampak Serong Saat Di Pasang



Gambar 7. Prototipe Tampak Samping Saat Di Pasang

Pengujian dilakukan selama empat hari, masing-masing dengan variasi sudut kemiringan reflektor 45°, 50°, 55°, dan 60°. Pada tiap hari pengujian, data Tegangan, Arus, Daya, Suhu, dan Iradiansi diambil setiap jam dari pukul 06.00 hingga 18.00 dengan beban resistif tetap yaitu 18 Ω , secara bersamaan pada panel dengan solar tracker + reflektor dan panel statis sebagai pembandingan pada kondisi cuaca yang sama.

Daya listrik pada tiap jam pengukuran dihitung menggunakan rumus:

$$P = V \times I$$

dengan P adalah Daya (Watt), V adalah Tegangan (Volt), dan I adalah Arus (Ampere). Energi harian yang dihasilkan dihitung dengan mengintegrasikan Daya terhadap waktu menggunakan metode integrasi trapesium, karena data yang tersedia berupa titik-titik diskrit per jam:

$$E = \sum [(P_i + P_{i+1}) / 2 \times \Delta t]$$

dengan E adalah Energi (Wh), P_i dan P_{i+1} adalah Daya pada dua jam yang berurutan, dan Δt adalah selisih waktu antar pengukuran (1 jam). Persentase peningkatan energi solar tracker terhadap panel statis dihitung dengan rumus:

$$\text{Peningkatan (\%)} = [(E_{\text{tracker}} - E_{\text{statis}}) / E_{\text{statis}}] \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi dan Fungsionalitas Sensor UV

Validasi sensor UV GUVA-S12SD dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor di dalam ruangan (tanpa cahaya matahari) dan di luar ruangan, serta mencocokkannya dengan data UV Index online untuk wilayah Sidoarjo. Sensor menunjukkan nilai 0 saat di dalam ruangan dan mampu membaca nilai hingga 2900 (satuan ADC ESP32) saat berada di luar ruangan, membuktikan sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi radiasi UV. Namun ditemukan selisih antara nilai yang terbaca sensor dan UV Index online, yang disebabkan oleh perbedaan rentang panjang gelombang yang dideteksi sensor (240-370 nm, mencakup UV-A, UV-B, dan sedikit UV-C) dengan definisi UV Index resmi yang menggunakan bobot spektral eritema (CIE Erythral Action Spectrum). Meski demikian, fungsi utama sensor sebagai referensi arah matahari untuk sistem tracking terbukti bekerja presisi: sistem mampu menentukan arah putaran motor berdasarkan selisih pembacaan dua sensor UV, dengan ambang selisih 300 mV dan durasi gerak motor dibatasi 300 ms per eksekusi.

Hasil Pengujian

Hasil Panel Surya dengan Metode Solar Tracker dengan Reflektor Cahaya 45° di banding dengan Panel Surya Statis

Tabel 1. Data Solar Tracker Dengan Sudut Reflektor 45°

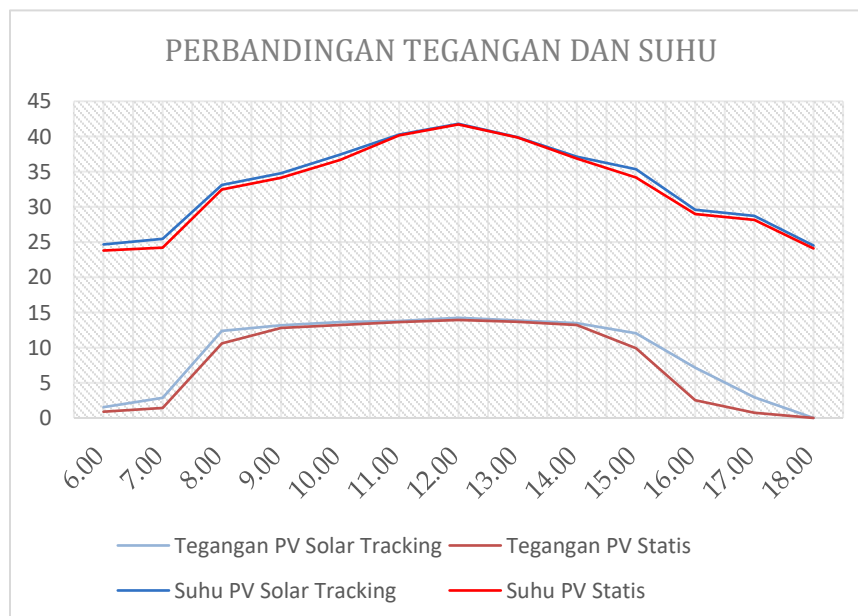
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Iradiansi W/m^2
1	6:00	18	1.52	0.08	0.129	24.67	64.1
2	7:00	18	2.87	0.16	0.459	25.47	121
3	8:00	18	12.37	0.69	8.520	33.1	632.8
4	9:00	18	13.18	0.73	9.672	34.77	751.4
5	10:00	18	13.64	0.76	10.359	37.43	861.7
6	11:00	18	13.78	0.77	10.573	40.26	904.1
7	12:00	18	14.23	0.79	11.275	41.8	953.3
8	13:00	18	13,86	0.74	10.256	39.91	879.4
9	14:00	18	13.48	0.75	10.118	37.11	741.8
10	15:00	18	12.05	0.67	8.085	35.34	608.9
11	16:00	18	7.14	0.40	2.839	29.58	303.9
12	17:00	18	2.93	0.16	0.478	28.72	123.4
13	18:00	18	0	0.00	0.000	24.5	0.1

Tabel 2. Data Panel Surya Statis Hari Ke - 1

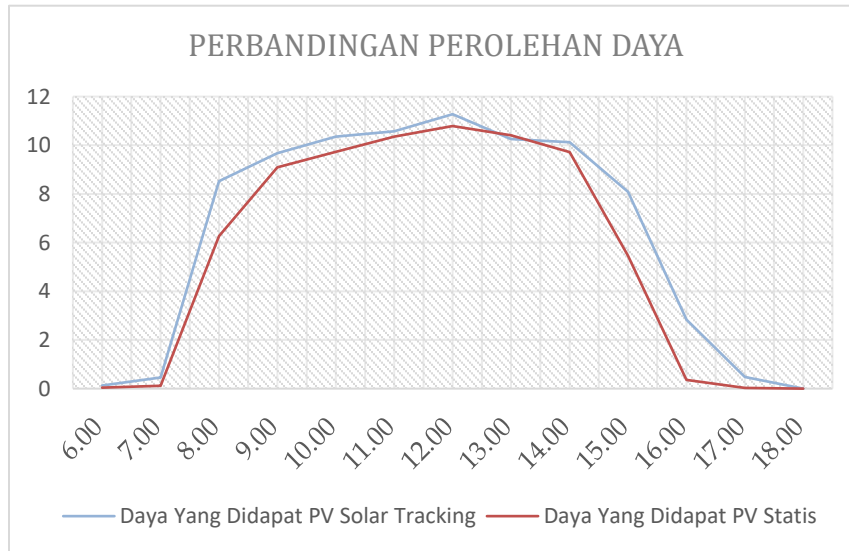
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Iradiansi W/m^2
1	6:00	18	0.89	0.05	0.044	23.79	37.3
2	7:00	18	1.42	0.08	0.112	24.19	59.7
3	8:00	18	10.61	0.59	6.268	32.48	483.6
4	9:00	18	12.78	0.71	9.094	34.14	688
5	10:00	18	13.22	0.74	9.731	36.68	773.4
6	11:00	18	13.64	0.76	10.359	40.17	895.7
7	12:00	18	13.92	0.78	10.789	41.71	951.2
8	13:00	18	13.67	0.76	10.405	39.86	809
9	14:00	18	13.21	0.74	9.716	36.87	445.8
10	15:00	18	9.9	0.55	5.457	34.18	295
11	16:00	18	2.53	0.14	0.356	28.98	106.3
12	17:00	18	0.74	0.04	0.030	28.14	31.2
13	18:00	18	0	0.00	0.000	24.1	0

Pada pengujian yang dilakukan hari pertama adalah kondisi cuaca yang cerah karena iradiansi yang terukur pada pukul 08.00 – 15.00 tidak ada penurunan drastis

dan puncaknya berada di pukul 12.00 mendapatkan iradiansi sebesar 951 W/m^2 . Berdasarkan data pada Tabel 4.3 dan 4.4 di dapatkan data perbandingan antara *solar tracker single axis* yang dipasang reflektor 45° dengan panel surya yang di pasang secara statis. Pada data tersebut terlihat ada peningkatan pada pagi dan sore hari meski peningkatannya tidak terlalu drastis. Di sudut 45° ini, reflektor ternyata belum bisa memantulkan cahaya secara pas merata ke permukaan panel. Sehingga, yang lebih berfungsi pada pengujian ini adalah *solar tracker* nya seperti cara kerja *solar tracker single axis* biasa. Nilai iradiasi dan tegangannya memang lebih tinggi dari panel statis, tetapi itu di karenakan panelnya bergerak mengikuti arah matahari, bukan karena adanya efek pantulan dari cermin 45° . Energi harian yang dapat dihasilkan *solar tracker* dengan reflektor 45° mencapai 82.70 Wh , sedangkan panel surya statis pada hari yang sama dapat menghasilkan daya harian sebesar 72.34 Wh , dari sini dapat dilihat terjadi peningkatan energi sebesar 14.3% . Daya puncak (P_{max}) kedua panel relatif hampir sama karena pada saat itu matahari berada tepat di posisi atas pada sekitar pukul 12.00, sudut datang cahaya ke kedua panel hampir sama sehingga reflektor maupun *tracking* tidak banyak berpengaruh. Perbandingan hasil output antara panel surya statis dan *solar tracking* dapat dilihat pada grafik pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Panel Surya Dengan Sudut Reflektor 45°



Gambar 9. Grafik Perolehan Daya PV Solar Tracking Reflektor 45° dengan PV Statis

Hasil Panel Surya dengan Metode Solar Tracker dengan Reflektor Cahaya 50° di banding dengan Panel Surya Statis

Tabel 3. Data Solar Tracker Dengan Sudut Reflektor 50°

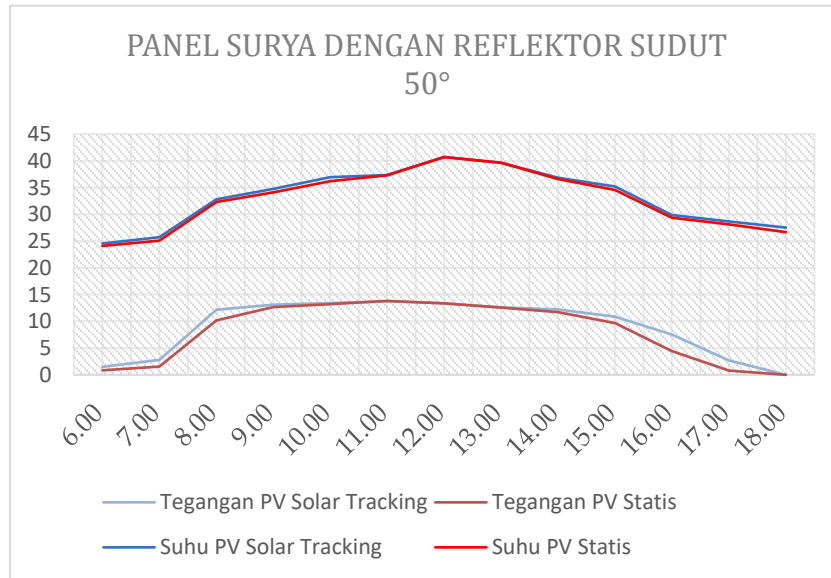
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Iradiansi W/m ²
1	6:00	18	1.49	0.08	0.124	24.55	62.9
2	7:00	18	2.78	0.15	0.430	25.71	117.2
3	8:00	18	12.14	0.68	8.206	32.81	607.5
4	9:00	18	13.12	0.73	9.584	34.75	740.5
5	10:00	18	13.42	0.75	10.028	36.94	812.9
6	11:00	18	13.78	0.77	10.573	37.32	897.3
7	12:00	18	13.37	0.74	9.953	40.73	842.8
8	13:00	18	12.61	0.70	8.854	39.63	701.2
9	14:00	18	12.22	0.68	8.314	36.83	634.7
10	15:00	18	10.89	0.61	6.603	35.22	508.1
11	16:00	18	7.52	0.42	3.149	29.87	321
12	17:00	18	2.67	0.15	0.397	28.69	112.5
13	18:00	18	0.00	0.00	0.000	27.5	0.1

Tabel 4. Data Panel Surya Statis Hari Ke - 2

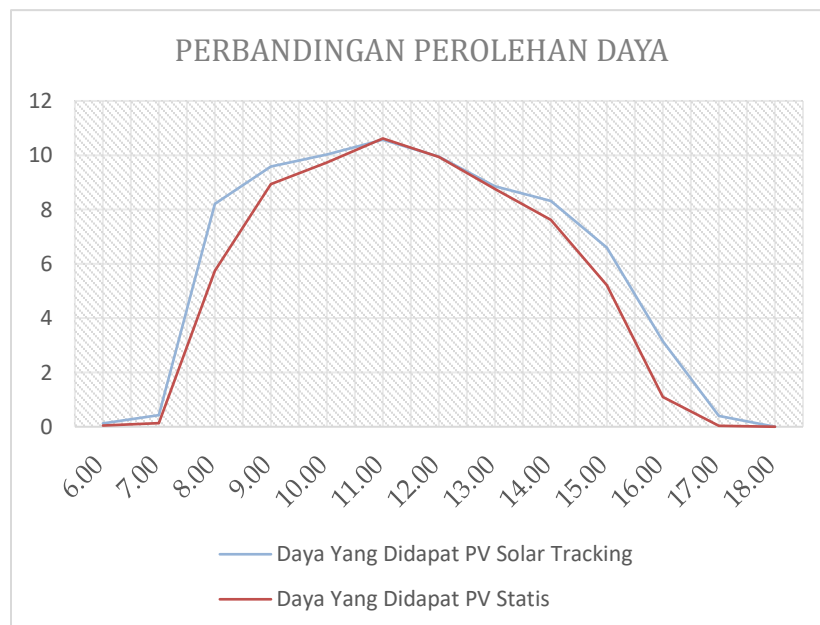
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Iradiansi W/m ²
1	6:00	18	0.86	0.04	0.041	24.1	36.4
2	7:00	18	1.55	0.09	0.134	25.1	66.4

No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}C$)	Iradiansi W/m^2
3	8:00	18	10.16	1.04	5.748	32.29	455.3
4	9:00	18	12.67	0.71	8.938	34.12	674.1
5	10:00	18	13.22	2.04	9.731	36.19	769.2
6	11:00	18	13.81	0.77	10.619	37.28	891.9
7	12:00	18	13.36	3.04	9.938	40.69	841.1
8	13:00	18	12.54	0.70	8.756	39.62	691.6
9	14:00	18	11.70	4.04	7.622	36.59	433.7
10	15:00	18	9.68	0.54	5.217	34.56	284.2
11	16:00	18	4.43	5.04	1.093	29.37	187
12	17:00	18	0.78	0.04	0.034	28.11	32.9
13	18:00	18	0.00	6.04	0.000	26.65	0

Pada pengujian di hari kedua ini terpantau cuaca juga cerah mulai pukul 08.00 – 15.00 hasil ukur iradiasi tidak ada penurunan drastis dan puncaknya berada di pukul 11.00 dengan iradiasi sebesar $897.3 W/m^2$. Pada pengujian ke - 2 *solar tracker* dipasang menggunakan reflektor dengan sudut 50° . Berdasarkan data pada Tabel 4.5 dan 4.6 di dapatkan data perbandingan antara *solar tracker single axis* yang dipasang reflektor 50° dengan panel surya yang di pasang secara statis. Pada data tersebut terlihat ada peningkatan pada pagi dan sore hari juga. Namun pantulan cahaya dari cermin masih banyak yang terbuang dan tidak tepat sasaran ke area panel surya. Pada pengujian di sudut 50° ini fungsinya juga masih sama seperti *solar tracker* biasa. Energi harian pada pengujian sudut *solar tracker dengan* reflektor 50° dapat menghasilkan energi sebesar 76.15 Wh dan pada panel surya yang dipasang secara statis di hari yang sama dapat menghasilkan energi harian sebesar 67.85 Wh. Pada pengujian kali ini peningkatan hasil output dari panel surya tidak sebaik pengujian sebelumnya. Peningkatan energi yang didapat hanya sebesar 12.2% nilai ini sedikit lebih rendah dibanding pengujain dengan sudut 45° . Hal ini di karenakan pada pukul beberapa waktu di siang hari nilai iradiasi lebih rendah dari pengujian sebelumnya. Di lihat dari hasilnya, Hal ini memperkuat asumsi bahwa pada sudut reflektor 45° dan 50° pantulan cermin tidak tepat sasaran ke permukaan panel. Sehingga peningkatan daya yang teramati sebagian besar berasal dari mekanisme *solar tracking single axis* bukan dari efek pemantulan reflektor. Perbandingan hasil output antara panel surya statis dan *solar tracking* dapat dilihat pada grafik pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Panel Surya dengan sudut 50°



Gambar 11. Grafik Perolehan Daya PV Solar Tracking Reflektor 50° dengan PV Statis

Hasil Panel Surya dengan Metode Solar Tracker dengan Reflektor Cahaya 55° di banding dengan Panel Surya Statis

Tabel 5. Data Solar Tracker Dengan Sudut Reflektor 55°

No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Iradiansi W/m^2
1	6:00	18	1.29	0.07	0.093	23.81	54.4
2	7:00	18	1.97	0.11	0.216	24.26	82.9

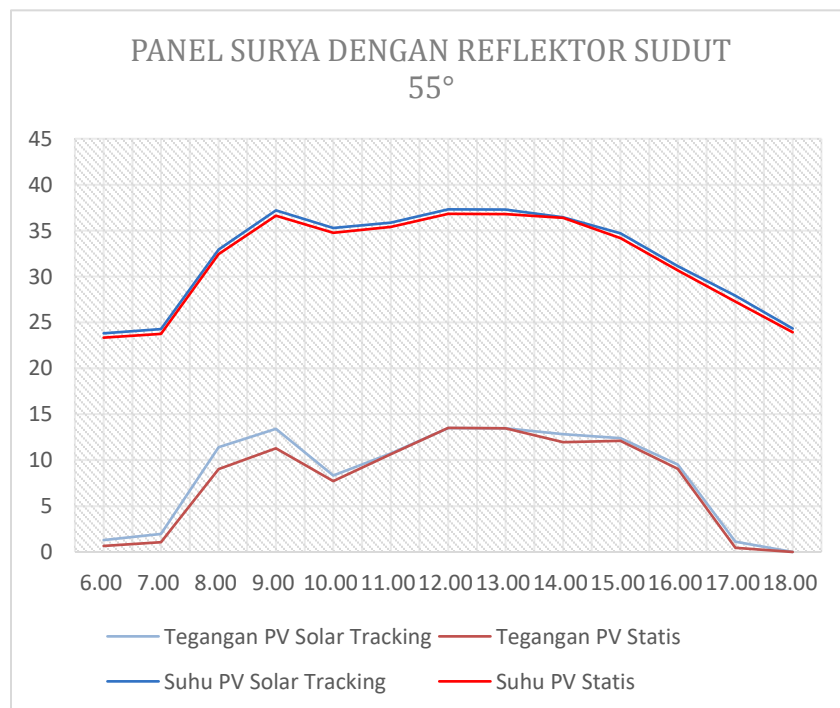
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}C$)	Iradiansi W/m^2
3	8:00	18	11.41	0.64	7.249	32.94	542.3
4	9:00	18	13.42	0.75	10.028	37.19	815.1
5	10:00	18	8.32	0.46	3.854	35.28	233.5
6	11:00	18	10.74	0.60	6.422	35.85	498.9
7	12:00	18	13.49	0.75	10.133	37.31	830.9
8	13:00	18	13.46	0.75	10.088	37.3	825
9	14:00	18	12.84	0.71	9.180	36.45	711.5
10	15:00	18	12.38	0.69	8.534	34.69	641.2
11	16:00	18	9.53	0.53	5.057	31.12	321.7
12	17:00	18	1.12	0.06	0.070	27.89	47.3
13	18:00	18	0	0.00	0.000	24.32	0.1

Tabel 6. Data Panel Surya Statis Hari Ke - 3

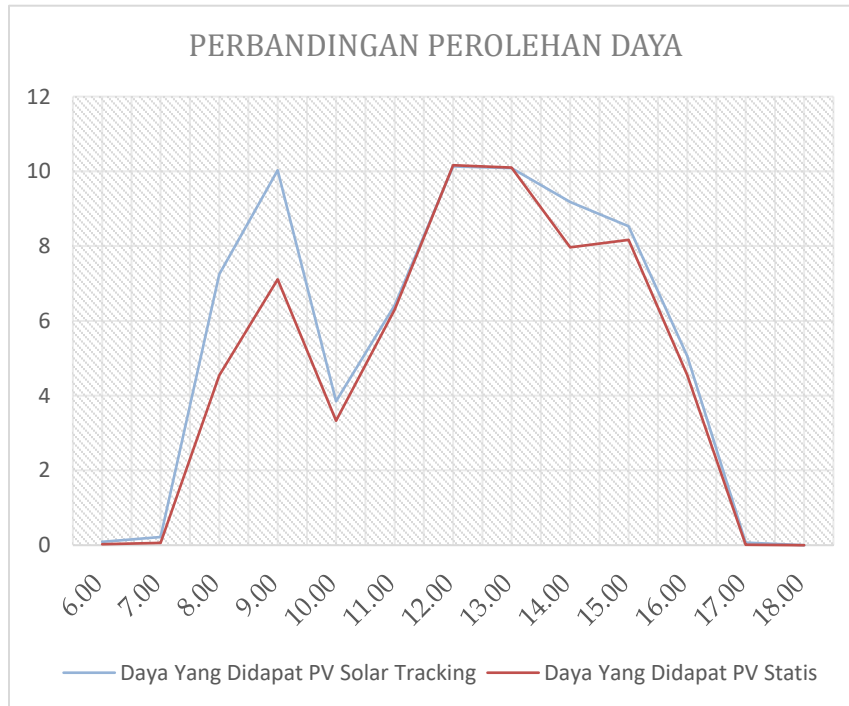
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}C$)	Iradiansi W/m^2
1	6:00	18	0.66	0.04	0.024	23.34	28
2	7:00	18	1.05	0.06	0.061	23.75	44.3
3	8:00	18	9.03	0.50	4.540	32.44	393.5
4	9:00	18	11.3	0.63	7.110	36.63	543.7
5	10:00	18	7.73	0.43	3.327	34.75	157.1
6	11:00	18	10.64	0.59	6.303	35.41	490.9
7	12:00	18	13.51	0.75	10.163	36.82	828.5
8	13:00	18	13.47	0.75	10.103	36.78	820.6
9	14:00	18	11.96	0.67	7.964	36.38	603.8
10	15:00	18	12.11	0.67	8.165	34.18	610
11	16:00	18	9.04	0.50	4.550	30.67	255.7
12	17:00	18	0.46	0.03	0.012	27.26	19.3
13	18:00	18	0	0.00	0.000	23.91	0

Pada pengujian di hari ketiga dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 solar tracking dipasang reflektor dengan sudut 55° . Pada pengujian kali ini pantulan cermin sedikit mengenai permukaan panel surya. Pada waktu pagi pukul 06.00-08.00 dan sore hari pukul 15.00-18.00, tegangan sedikit meningkat di karenakan pantulan cahaya yang mengarah ke panel. Namun pada pukul 10.00 terjadi penurunan hasil output panel surya yang sangat drastis di karenakan kondisi cuaca berawan menutupi matahari dan membuat iradiasi matahari menurun. Sehingga membuat hasil output dari panelsurya juga menurun entah yang menggunakan sistem *solar tracking* maupun

statis. Namun, Posisi reflektor berhasil memantulkan cahaya matahari yang ada di sekitaran panel surya ke arah panel surya meskipun hanya terkena permukaan panel surya sedikit. Energi harian yang dapat di hasilkan oleh pv dengan *solar tracker* pada pengujian kali ini adalah 70.88 Wh. Sedangkan energi harian yang dapat di hasilkan dari pv statis adalah 62.31 Wh. Pada pengujian kali ini ada peningkatan 13.7%. Namun peningkatan ini lebih kecil dari pengujian sebelumnya di karenakan turunnya iradiasi matahari yang drastis karena kondisi cuaca yang berawan. Grafik pada Gambar 4.15 memperlihatkan sedikit kenaikan daya di jam 06.00-08.00 dan 15.00-17.00 pada pv *solar tracker* dibanding pv statis, dapat dikatakan bahwa pantulan reflektor pada sudut ini sudah mulai sedikit mengenai permukaan panel, meski efeknya masih terbilang kecil dibanding efek dari pergerakan *solar tracking* itu sendiri. Perbandingan pv solar tracker dengan reflektor 55° dan pv statis dapat dilihat pada grafik Gambar 12 dan perbandingan perolehan datanya dapat dilihat pada grafik Gambar 13.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Panel Surya dengan sudut 55°



Gambar 13. Grafik Perolehan Daya PV Solar Tracking Reflektor 55° dengan PV Statis

Hasil Panel Surya dengan Metode Solar Tracker dengan Reflektor Cahaya 60° di banding dengan Panel Surya Statis

Tabel 7. Data Solar Tracker Dengan Sudut Reflektor 60°

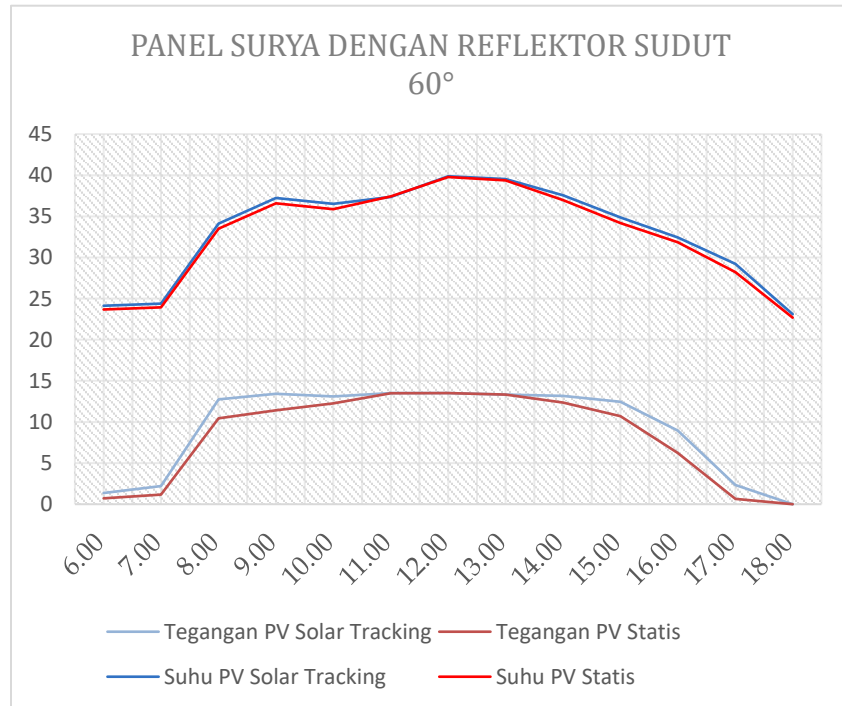
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}C$)	Iradiansi W/m^2
1	6:00	18	1.35	0.08	0.101	24.12	56.9
2	7:00	18	2.22	0.12	0.274	24.39	93.5
3	8:00	18	12.75	0.71	9.051	34.13	684.2
4	9:00	18	13.44	0.75	10.058	37.23	820
5	10:00	18	13.10	0.73	9.555	36.52	752.3
6	11:00	18	13.51	0.75	10.163	37.35	834
7	12:00	18	13.51	0.75	10.163	39.87	862.2
8	13:00	18	13.34	0.74	9.908	39.54	823.9
9	14:00	18	13.17	0.73	9.658	37.57	773.5
10	15:00	18	12.46	0.69	8.644	34.86	652.1
11	16:00	18	8.95	0.50	4.460	32.43	343.5
12	17:00	18	2.34	0.13	0.305	29.21	98.4
13	18:00	18	0.00	0.00	0.000	23.1	0.2

Tabel 8. Data Panel Surya Statis Hari Ke - 4

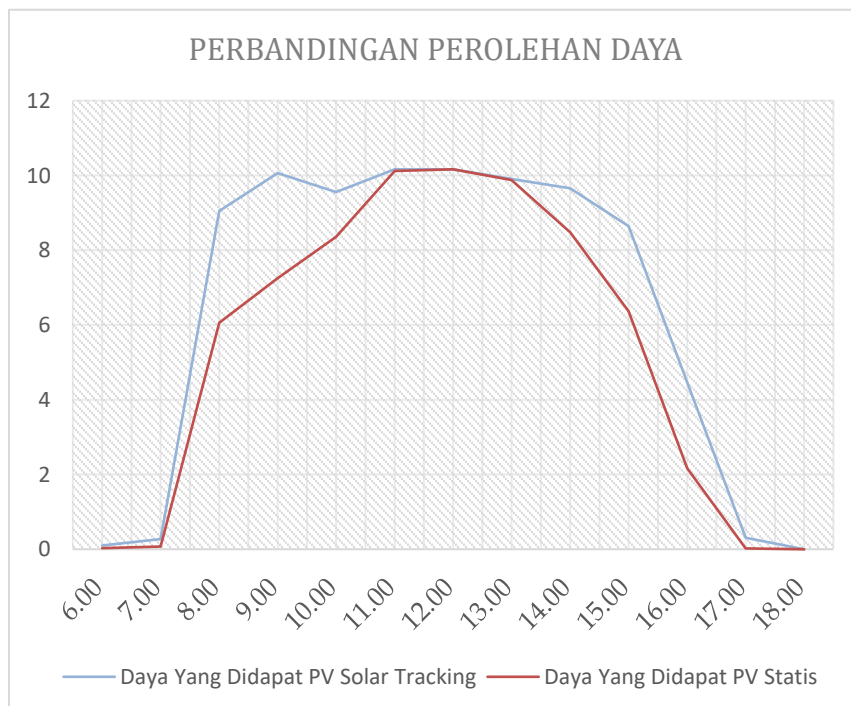
No.	Jam	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Iradiansi W/m^2
1	6:00	18	0.70	0.04	0.027	23.66	29.7
2	7:00	18	1.16	0.06	0.075	23.94	48.8
3	8:00	18	10.43	0.58	6.057	33.49	473.4
4	9:00	18	11.41	0.64	7.249	36.58	552.7
5	10:00	18	12.25	0.68	8.355	35.86	633.4
6	11:00	18	13.48	0.75	10.118	37.41	828.9
7	12:00	18	13.51	0.75	10.163	39.78	861.1
8	13:00	18	13.32	0.74	9.879	39.36	818.6
9	14:00	18	12.34	0.69	8.479	36.97	648.7
10	15:00	18	10.69	0.60	6.363	34.17	492
11	16:00	18	6.23	0.35	2.161	31.84	264.3
12	17:00	18	0.64	0.04	0.023	28.21	27
13	18:00	18	0.00	0.00	0.000	22.68	0

Pada Tabel 7 dan 8 bisa dilihat dengan jelas kalau pengujian kali ini dengan panel surya yang di pasang reflektor dengan sudut 60° juga mampu memantulkan cahaya ke area panel meskipun juga tidak banyak . Di sudut ini, reflektor juga tidak memantulkan cahaya seluas area panel surya . Namun, pada pengujian ini merupakan yang paling bagus di antara pengujian dengan reflektor sudut 45, 50, dan 55. Peningkatannya terasa pada pukul 08.00 pagi di mana sistem ini bisa mendapat iradiasi $684.2 \text{ W}/\text{m}^2$ dengan tegangan 12.75 V, beda lumayan tinggi dibanding dari panel statis yang cuma dapat $473.4 \text{ W}/\text{m}^2$ dengan tegangan 10.43 V. Hal yang sama juga terjadi di sore hari saat matahari mulai tenggelam.

Dari semua pengujian yang dilakukan , hasil dari penambahan reflektor dengan sudut 60° pada *pv solar tracker* dapat menghasilkan energi yang lebih efisien di antara keempat variasi sudut yang diuji, dengan energi harian mencapai 82.29 Wh dibanding *pv statis* yang hanya sebesar 68.94 Wh dan mengalami peningkatan hasil output panel surya sebesar 19.4%. Ini bisa di katakan menjadi yang paling efisien pada pengujian ini. Perbandingan *pv solar tracker* dengan reflektor 60° dan *pv statis* dapat dilihat pada grafik Gambar 14 dan perbandingan perolehan datanya dapat dilihat pada grafik Gambar 15.



Gambar 14. Grafik Perolehan Daya PV Solar Tracking Reflektor 60° dengan PV Statis



Gambar 15. Grafik Perbandingan Panel Surya dengan sudut 60°

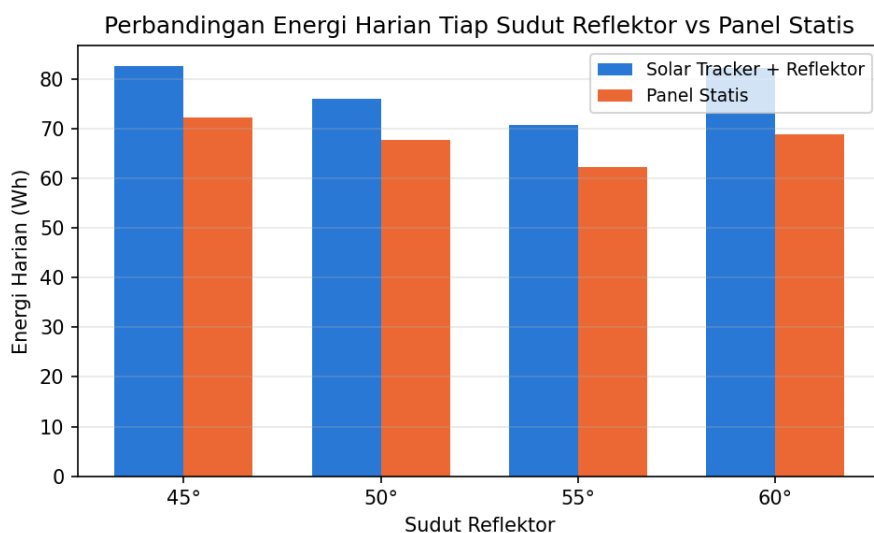
Perbandingan Daya Keluaran Tracker dengan Reflektor terhadap Panel Statis

Tabel 9 merangkum energi harian yang dihasilkan solar tracker dengan reflektor pada tiap sudut pengujian dibandingkan dengan panel statis pada hari yang sama.

Tabel 9. Perbandingan Energi Harian Solar Tracker dengan Reflektor terhadap Panel Statis

Sudut Reflektor	Energi Tracker (Wh)	Energi Statis (Wh)	Peningkatan (%)
45°	82.70	72.34	14.3%
50°	76.15	67.85	12.2%
55°	70.88	62.31	13.7%
60°	82.29	68.94	19.4%

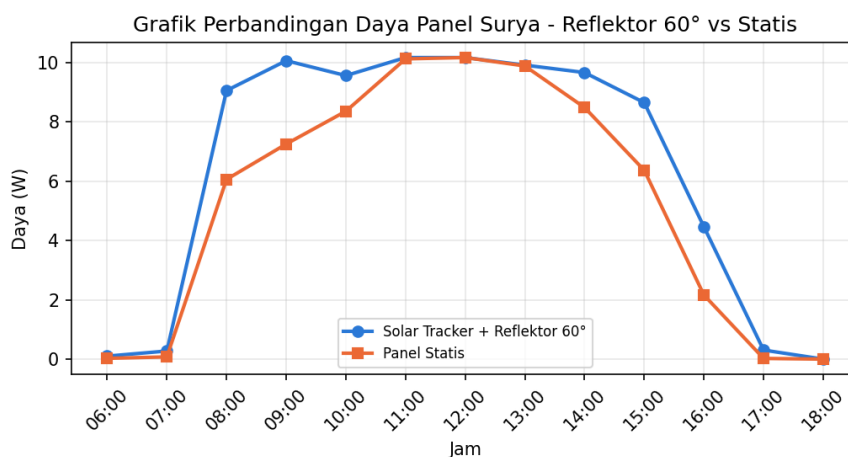
Dari Tabel 9 terlihat bahwa keempat sudut reflektor yang diuji menghasilkan peningkatan energi harian antara 12,2% hingga 19,4% dibanding panel statis. Sudut reflektor 60° memberikan peningkatan energi tertinggi, diikuti sudut 45°, 55°, dan 50°. Pada sudut 45° dan 50°, pantulan cahaya dari reflektor belum tepat mengarah ke permukaan panel, sehingga peningkatan daya yang terjadi lebih banyak berasal dari mekanisme tracking single axis itu sendiri. Pada sudut 55° dan terutama 60°, reflektor mulai berhasil memantulkan sebagian cahaya tambahan ke permukaan panel, terutama pada jam-jam pagi (06.00-08.00) dan sore (15.00-18.00) ketika posisi matahari masih rendah.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Energi Harian Tiap Sudut Reflektor terhadap Panel Statis

Daya puncak (P_{max}) kedua metode relatif hampir sama pada tiap hari pengujian, karena pada saat matahari tepat di atas kepala (sekitar pukul 12.00), sudut datang cahaya terhadap kedua panel sudah hampir sejajar meski salah satunya statis. Hal ini membuktikan bahwa manfaat utama sistem solar tracker pada penelitian ini

terletak pada perpanjangan durasi panel menerima cahaya optimal sepanjang hari, bukan pada peningkatan daya puncak sesaat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 17 untuk pengujian sudut 60° yang menghasilkan output paling baik dalam pengujian ini.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Daya Solar Tracker Reflektor 60° dengan Panel Statis

Pengaruh Suhu terhadap Tegangan Keluaran Panel

Dari seluruh data pengujian, teramati pola konsisten bahwa tegangan keluaran panel cenderung mencapai titik jenuh di kisaran 13-14 V pada jam-jam puncak siang hari (pukul 11.00-13.00), meskipun nilai irradiansi terus meningkat hingga di atas $800\text{--}950\text{ W/m}^2$. Fenomena ini terjadi karena efek gabungan: kenaikan irradiansi seharusnya meningkatkan tegangan keluaran, namun suhu permukaan panel yang ikut naik signifikan pada siang hari (tercatat mencapai $37\text{--}42^\circ\text{C}$, jauh di atas kondisi standar STC 25°C) menurunkan tegangan open-circuit (V_{oc}) panel, ditambah rugi resistansi seri pada kabel dan sambungan sistem. Kombinasi kedua efek ini menjelaskan mengapa performa aktual panel di lapangan selalu berada di bawah nilai Maximum Power (P_{max}) yang tertera pada spesifikasi pabrikan, karena kondisi STC sangat jarang tercapai secara bersamaan (irradiansi tinggi namun suhu sel tetap 25°C) pada kondisi operasional riil di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir rancang bangun solar tracker single axis dengan 4 reflektor cahaya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Validasi sensor uv guva s12sd dilakukan dengan metode perbandingan kondisi, yaitu membaca nilai sensor di dalam ruangan yang dimana kondisi tanpa cahaya matahari dan di luar ruangan, serta mencocokkannya dengan data cuaca *UV Index* secara *online* di wilayah Sidoarjo. Hasil pengujian membuktikan ada nya selisih nilai *UV Index* antara pembacaan sensor dan data global online dari website di

sidoarjo. Ini di karenakan hasil pembacaan sensor uv guva s12sd tidak menghasilkan output *UV Index* namun membaca sebagian besar UV A, seluruh UV B, dan sedikit UV C. Sehingga konversi ke *UV Index* di butuhkan penyesuaian lagi. Namun, sensor guva s12sd mampu melakukan pembacaan radiasi UV dengan baik. Dalam data sensor menunjukkan nilai 0 saat di dalam ruangan dan saat sensor di letakan di luar ruangan sensor dapat membaca nilai hingga diatas 2900 yang di baca oleh ESP32.

2. Fungsionalitas sensor uv guva s12sd dalam Mengikuti Pergerakan Matahari terbukti dapat berfungsi dan diandalkan untuk sistem *solar tracking* mengikuti arah matahari. Sistem mampu mengeksekusi kemana arah putaran motor atara ke timur atau ke barat secara presisi dengan membandingkan antara Sensor UV 1 dan Sensor UV 2 dan edngan syarat selisih nilai sensor harus terpenuhi. Apabila selisih pembacaan melebihi *threshold* yang ditetapkan yaitu 300mV, maka sistem akan mengeksekusi dan memerintahkan driver motor untuk bergerak ke arah sensor dengan nilai yang lebih tinggi, dan motor akan otomatis berhenti *self-locking* ketika nilai kedua sensor sudah di bawah *threshold* atau di hentikan paksa dengan waktu pergerakan motor yang hanya dibatasi selama 300ms.
3. Peningkatan iradiasi dan output keluaran panel surya pada penggunaan metode *solar tracker* dengan reflektor dibandingkan dengan panel surya statis mengalami peningkatan yang cukup signifikan selaras dengan pergerakan matahari, terutama saat menggunakan sudut cermin 60°. Pantulan cahaya cukup membantu menaikkan tangkapan iradiasi matahari pada waktu matahari berada di posisi miring, yakni pada pagi hari (pukul 06.00–08.00) dan sore hari (pukul 15.00–18.00). Pada sudut 45° dan 50°, reflektor kurang optimal dan hanya berfungsi layaknya *solar tracker* biasa. Sementara itu, pada rentang pukul 09.00 hingga 14.00, hasil keluaran panel surya dengan cermin semua variasi sudut cenderung sama dengan panel statis karena matahari berada di titik performanya dan juga karena menghindari panas berlebih pada permukaan panel surya maka cermin di putar agar tidak memantulkan cahaya ke permukaan panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhyar, Y., Away, Y., Yunidar, M., Melinda, A. A., & Fathurrahman. (2022). *Desain Data Logger Sinar Ultraviolet Berbasis Internet of Thing (IoT)*. KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro, 7(1), 15–22.
<https://jurnal.usk.ac.id/kitektro/article/download/26174/16292>
- Akhisshop Electronics. (2026). Permanent Magnet Worm Gear Motor DC 4058GW31ZY 12V 40RPM.
<https://id.shp.ee/MczDyc4>
- Alfayid, A., Jayanti Kartika Sari, R. D., Gumilang, Y. S. A., & Wiyanto, S. (2025). *Prototype Kontrol Penggerak Single Axis Solar Tracker Pada Panel Surya Berbasis Arduino Uno Dan Sensor LDR*. JUTEKNIN: Telecommunication, Electronic,

- Automation, Robotics, Mechatronics, Information System, 1(1), 18–25.
<https://ejurnal.uibu.ac.id/index.php/JUTEKNIN/article/view/2106>
- Ali, H. M., et al. (2022). Design And Implementation Of Arduino Based Robotic Arm. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (IJECE)*, 12(2).
<https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/25874/15486>
- Alia, N., Perdana, F. A., Widjanarko, W., Weddakarti, E., & Gunawan, C. (2025). Performance Analysis Of Lifepo4 Batteries As A Replacement For Motorcycle Accumulators. *Journal of Evrimata: Engineering and Physics*, 3(1), 163–169.
<https://evrimata.id/index.php/EEP/article/view/70>
- ArduTech. (2020). Mengenal ESP32 Development Kit untuk IoT (Internet of Things).
<https://www.ardutech.com/mengenal-esp32-development-kit-untuk-iot-internet-of-things/>
- Buyukbicakci, E. (2025). Geographic and thermal impact on the performance of hybrid PV-TE energy systems. *Scientific Reports*.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-23850-x>
- Dalimunthe, M. E., Lubis, Z., Sutejo, E., & Permata Sari, D. (2023). Analisis Solar Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif Pada Gedung I Universitas Pembangunan Panca Budi. *Scenario (Seminar of Social Sciences Engineering & Humaniora)*, 89–99.
<https://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/scenario/article/view/4506>
- Digikey. (2026). GUV- S12SD. MM.Digikey.
<https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/6128/GUVA-S12SD%20%282%29.pdf>
- Fathoni, M., Haryudo, S. I., Kartini, U. T., & Agung, A. I. (2020). Optimasi Penangkapan UV Pada Solar Tracking Single Axis Menggunakan Metode Backpropagation Neural Network. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(3), 803–813.
<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/39172>
- Harahap, P., Evalina, N., Pasaribu, F. I., Rimbawati, R., & Oktrialdi, B. (2024). Power Conversion From Solar Panels Using A 3000-Watt Inverter. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 2(4), 260–272.
<https://doi.org/10.37934/arfmts.124.2.260272>
- IoT Zone. (2025). DS18B20 temperature sensor: Features, pinout, working, and applications explained. IoT Zone. <https://www.iotzone.in/blog/ds18b20-temperature-sensor-features-pinout-working-and-applications-explained/>
- Irsad, M. F. (2023).** Rancang bangun alat pengukuran radiasi sinar ultraviolet dan radiasi matahari berbasis Internet of Things (IoT). (Tugas Akhir/Diploma). Institut Teknologi Nasional Malang.
<https://eprints.itn.ac.id/13402/1/Laporan%20TA%20M.%20Fani%20Irsad.pdf>
- Junaldy, M., Sompie, S. R. U. A., & Patras, L. S. (2019). Rancang Bangun Alat Pemantau Arus Dan Tegangan Di Sistem Panel Surya Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(1), 9–14.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/view/23647>
- Kenika. (2026). Kenika PSWD 1000-12 Power Inverter 12DC To 220V AC 1000W Pure Sine Wave.
https://kenika.com/index.php?route=product/product&product_id=1274

- Latifah, L., Irman, I., & Ruskardi, R. (2021). *Penentuan Tipe Miniature Circuit Breaker 4A Untuk Instalasi Rumah Tinggal Melalui Pengujian Kinerjanya*. *ELIT Journal: Electrotechnics and Information Technology*, **2**(1), 43–51. <https://ejurnal.polnep.ac.id/index.php/ELIT/article/view/215>
- Lesmana, K., & Sukarno, S. A. (2025). *Prototipe Penggunaan Motor Servo Untuk Dispenser Otomatis Berbasis Arduino Dan Sensor HC-SR04*. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, **13**(2). <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/6063>
- Micro Robotics. (2026). *INA226 Current & Voltage Sensor 0-36V – I2C*. Robotics. <https://www.robotics.org.za/INA226MOD>
- Mustiadi, I., & Utari, E. L. (2023). *Efektifitas Pengisian Baterai Menggunakan Solar Panel 50 WP (Watt Peak) Dengan Metode PWM (Pulse Width Modulation)*. *Jurnal Teknologi*, **16**(1), 55–61. <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/jurtek/article/view/4186>
- Muttaqin, J. A., & Arifin, J. (2018). *Optimasi Sudut Penempatan Solar Cell Pada Pemasangan Lampu Lapangan Parkir UNISKA*. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management*, **1**(2). <https://media.neliti.com/media/publications/347431-optimasi-sudut-penempatan-solar-cell-pa-5fb93dfe.pdf>
- Nahar, M., Sarkar, M., Uddin, M., Hossain, M., Rana, M., & Tanshen, M. (2021). *Single Axis Solar Tracker for Maximizing Power Production and Sunlight Overlapping Removal on the Sensors of Tracker*. *International Journal of Robotics and Control Systems*, **1**(2), 186–197. <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v1i2.333>
- Nayusrizal, N., Koerniawan, T., & Hasanah, A. W. (2025). *Pengaruh Efektivitas Panel Surya 20 WP Terhadap Polutan Dengan Monitoring Iot*. *Journal of Authentic Research*, **4**(Special Issue), 1081–1102. <https://journal-center.litpam.com/index.php/jar/article/view/3474>
- NHP. (2026). *NHP DIN-T Miniature Circuit Breaker DC 6kA 1Pole 25A C Curve (Item No. DTCBDC125C) – Product specifications*. <https://www.nhp.com.au/Product/DTCBDC125C>
- Nizam, M. N., Yuana, H., & Wulansari, Z. (2022). *Mikrokontroler ESP32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web*. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, **6**(2), 767–772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>
- Prastyo, E. A. (2020). *Sensor Suhu DS18B20*. *Edukasi Elektronika*. <https://www.edukasielektronika.com/2020/09/sensor-suhu-ds18b20.html>
- Rachedi, M. Y., Bechki, D., & Bouguettaia, H. (2023). *Photovoltaic Module Augmented By Commercial Reflectors In Southern Algeria: Comparison Between Different Reflective Materials*. *ACTA IMEKO*, **12**(4). <https://doi.org/10.21014/actaimeko.v12i4.1608>
- Rizki Affandi, A. C. (2025). *Rancang Bangun Sistem Smart KWH Meter Dengan Monitoring Dan Perhitungan Biaya Beban Secara Jarak Jauh Pada Instalasi Listrik Rumah Tangga*. *Jurnal Multidisiplin Saintek*, **10**(1). <https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi/article/view/5922>

- Sankelux. (2026.). *LiFePO4 round cell battery 3,2 V – 6 A* (Halaman produk).
<https://www.sankelux.co.id/product?id=1007>
- Sayudi, P. M. (2022). *Analisis Kebutuhan Daya Dan Komponen Untuk Stasiun Pengisian Baterai Kendaraan Listrik Dengan Sumber Energi PLTS Di Politeknik Negeri Samarinda*. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, **20**(2).
<https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/Sinergi/article/view/3449>
- Sembiring, M. A. R., Yusni, S. Z., & Sinaga, D. H. (2021). *Pengaruh Sudut Kemiringan Reflektor Terhadap Solar Panel Polikristal*. *Jurnal Insinyur Profesional*, **2**(1).
<https://doi.org/10.24114/jip.v2i1.30414>
- Simamora, C., Manurung, F., Napitupulu, J., Sinaga, J., & Jumari. (2023). *Studi Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Kecil Rumah Tangga*. *Jurnal Teknologi Energi UDA: Jurnal Teknik Elektro*, **12**(2), 95–104.
<https://jurnal.universitasdarmaagung.ac.id/teknologienergi/article/view/3659>
- SunFounder. (2025). 1. Move (bagian dari SunFounder 3in1 Kit documentation).
https://docs.sunfounder.com/projects/3in1-kit/en/latest/car_project/car_move.html
- Syafrialdi, R., & Wildian. (2020). *Rancang Bangun Solar Tracker Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Dengan Sensor LDR Dan Penampil LCD*. *Jurnal Fisika Unand*, **4**(2).
<https://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/135/116>
- Syairullah, M. F. (2024). *Rancang Bangun Monitoring Banjir Pada Pintu Air Berbasis IoT. (Skripsi sarjana, Universitas Satya Negara Indonesia)*.
<https://repository.usni.ac.id/repository/f93700201ea843b7b6209a0922860816.pdf>
- Time and Date. (2026). *Climate & weather averages for Surabaya, East Java, Indonesia*.
<https://www.timeanddate.com/weather/indonesia/surabaya/climate>
- Tiyas, P. K., & Widyartono, M. (2020). *Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya*. *Jurnal Teknik Elektro*, **9**(1), 871–876.
<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/30233/27703>