

Studi Eksperimental Perbandingan Kinerja Panel Surya *Single Axis Solar Tracker* Berbasis IoT Dengan *Fixed*

Adri Pasua Rahman¹, Alviani Hesthi Permata Ningtyas²

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik

Jl. Sumatera No. 101 GKB Gresik 61121, Jawa Timur, Indonesia

Email: adripasuarahman03@gmail.com, alvianihesthi@umg.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja panel surya *fixed 0°* dan sistem *single axis solar tracker* yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT). Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan sistem pemantauan yang berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memakai ESP32, sensor INA219, BH1750, LDR, dan platform Blynk untuk memantau data secara langsung. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, daya, intensitas cahaya, energi, dan efisiensi dari panel surya. Uji coba telah dilaksanakan selama 8 hari untuk mengevaluasi kinerja kedua sistem. Penelitian menunjukkan bahwa sistem *single axis solar tracker* bekerja lebih baik dibandingkan dengan sistem *fixed 0°*. Sistem ini bisa menghasilkan daya sebesar 10,64 W dengan efisiensi 30,69% dan juga dapat meningkatkan daya serta meningkatkan energi hingga 20,33%. Hasil validasi sensor INA219 dan BH1750 menunjukkan bahwa kesalahan dalam pengukuran sangat sedikit. Ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan yang menggunakan IoT dapat bekerja dengan baik dalam mengumpulkan data secara langsung. Secara umum, sistem *single axis solar tracker* lebih efektif dalam meningkatkan penyerapan energi dari sinar matahari dan memperbaiki performa panel surya dibandingkan dengan sistem *fixed 0°*.

Kata kunci: Panel surya, *single axis solar tracker*, *iot*, daya, efisiensi energi.

ABSTRACT

This study aims to compare the performance of a *fixed 0° solar panel* and a *single axis solar tracker system* utilizing *Internet of Things* (IoT) technology. The method used is an experiment with an *Internet of Things* (IoT) based monitoring system. This system uses ESP32, INA219 sensors, BH1750, LDR, and the Blynk platform to monitor data directly. The parameters measured include voltage, current, power, light intensity, energy, and efficiency of the solar panel. The trial has been carried out for 8 days to evaluate the performance of both systems. The study shows that the *single axis solar tracker system* performs better than the *fixed system*. This system can produce 10.64 W of power with an efficiency of 30.69% and can also increase power and energy by up to 20.33%. The validation results of the INA219 and BH1750 sensors show that errors in measurement are very small. This indicates that the monitoring system using IoT can work well in collecting data directly. In general, *single axis solar tracker systems* are more effective in increasing energy absorption from sunlight and improving solar panel performance compared to *fixed 0° systems*.

Keywords: Solar panels, *single axis solar tracker*, *iot*, power, energy efficiency.

Pendahuluan

Energi matahari adalah salah satu sumber energi yang bisa diperbarui dan berpotensi untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik yang terus bertambah. Menggunakan energi matahari dengan panel surya adalah pilihan yang baik untuk lingkungan dan ramah lingkungan. Namun, kinerja panel sangat dipengaruhi oleh letak panel terhadap arah sinar matahari, seberapa terang cahayanya, dan suhu di sekitarnya [1],[2]. Pada sistem panel surya *fixed*, sudut panelnya tidak bisa disesuaikan, sehingga penyerapan energi matahari tidak selalu optimal sepanjang hari.

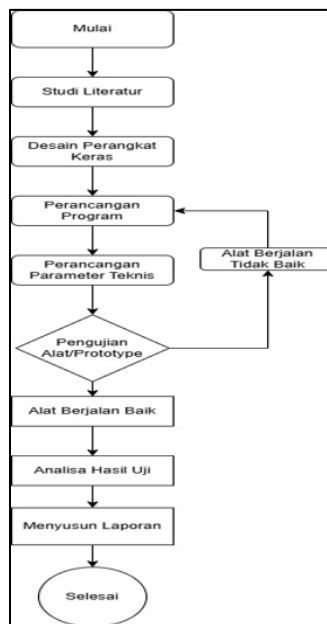
Untuk meningkatkan penyerapan energi matahari, salah satu metode yang biasa digunakan adalah *single axis solar tracker*. Sistem ini memungkinkan panel surya untuk bergerak mengikuti arah cahaya matahari, sehingga sudut sinar yang masuk dapat dipertahankan dengan lebih baik [3],[4]. [1] menjelaskan bahwa sistem *solar tracker* dapat meningkatkan jumlah radiasi matahari yang diterima serta efisiensi energi dibandingkan dengan sistem *fixed*. [5] menunjukkan bahwa mengubah arah panel secara signifikan meningkatkan jumlah energi yang diterima sepanjang hari.

Hasil [6] menunjukkan bahwa sistem *single axis solar tracker* menghasilkan lebih banyak energi dibandingkan dengan sistem panel surya yang *fixed*. Sementara itu, [7] menyimpulkan bahwa sistem dapat meningkatkan produksi energi hingga sekitar 20%, tergantung pada kondisi radiasi setiap hari. [8] juga menyebutkan bahwa penggunaan *solar tracker* dapat meningkatkan kinerja panel surya, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan dan lokasi geografis.

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan kita untuk memantau dan mengatur sistem panel surya secara langsung melalui internet. [9] menyatakan bahwa IoT membuat perangkat yang dilengkapi dengan sensor dan teknologi komunikasi dapat secara otomatis mengumpulkan, mengirim, dan bertukar data. Ini membantu proses memantau dan membuat keputusan dengan cara yang lebih efisien. Menggabungkan teknologi IoT dengan sistem *solar tracker* diharapkan bisa meningkatkan efisiensi dalam pemantauan dan juga memudahkan analisis kinerja panel surya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, banyak penelitian yang fokus pada cara meningkatkan output dengan menggunakan *single axis solar tracker*. Namun, masih perlu dilakukan lebih banyak penelitian untuk membandingkan kinerja antara panel surya *fixed 0°* dan *single axis solar tracker* yang menggunakan IoT dalam kondisi lingkungan yang nyata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan bagaimana kedua sistem bekerja dengan memperhatikan beberapa hal seperti parameter, tingkat radiasi, kekuatan radiasi, efisiensi, dan energi yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai seberapa efektif penggunaan pelacak matahari sumbu tunggal yang berbasis IoT dalam meningkatkan kinerja sistem panel surya.

Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari studi literatur, perancangan sistem, validasi alat, pengujian, pengambilan data, hingga analisis hasil. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk membandingkan kinerja panel surya *fixed 0°* dengan *single axis solar tracker* berbasis IoT. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Gresik (−7.159032, 112.616140) pada periode 30 April - 15 Mei 2026 selama total 8 hari. Sebelum pengujian, sensor INA219 dan BH1750 divalidasi menggunakan alat ukur acuan. Selama pengujian, parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, intensitas cahaya, dan perubahan sudut panel. Sistem terdiri atas ESP32 yang terhubung dengan sensor INA219, BH1750, LDR, dan motor servo, sedangkan intensitas cahaya selama pengujian diukur menggunakan lux meter sebagai alat ukur acuan. Seluruh data dipantau melalui Blynk dan dikumpulkan setiap hari pukul 08.00–16.00 WIB untuk dianalisis dan dibandingkan antara kedua sistem.

Perancangan Sistem

Sistem yang dibuat dalam penelitian ini terdiri dari panel surya *fixed 0°* dan *single axis solar tracker* yang memanfaatkan teknologi IoT. Sistem ini dibuat agar bisa bergerak mengikuti arah matahari secara otomatis dari timur ke barat. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama dan untuk komunikasi data [10],[11]. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan dengan sensor INA219 [12], sementara intensitas cahaya terdeteksi menggunakan sensor LDR dan BH1750 [13],[14]. Waktu pengambilan data dicatat menggunakan modul RTC [15]. Motor servo digunakan untuk menggerakkan panel surya [16] dalam sistem *single axis solar tracker*. Selain itu, modul LM2596 digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran [17], baterai berfungsi menyimpan energi [18], dan pengontrol pengisian solar (SCC) mengatur proses pengisian baterai [19]. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya juga dipakai untuk memberi tenaga pada beban seperti lampu DC. Semua data dari pengukuran dan pemantauan sistem bisa ditampilkan secara langsung melalui platform Blynk.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa komponen elektronik, panel surya, serta alat bantu pengukuran dan pemantauan. Berikut ini adalah rincian lengkap mengenai alat dan bahan tersebut:

Panel Surya

ESP32

Sensor LDR

Sensor INA219

Sensor BH1750

Sensor RTC

Modul LM2596

Baterai

Solar Charge Controller (SCC)

Laptop /Hp

Resistor

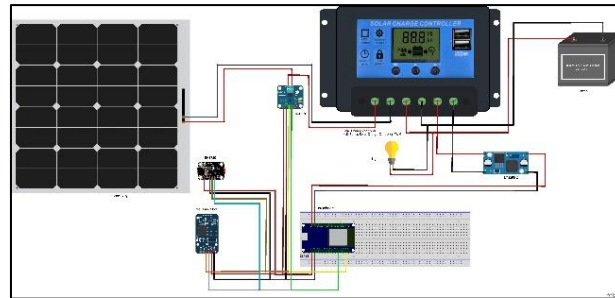
Kabel dan Konektor

Terminal Block

Lampu DC

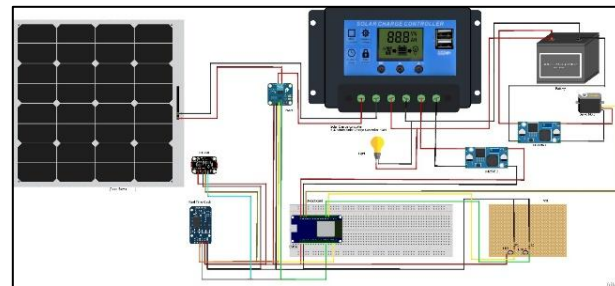
Lux Meter

Multimeter



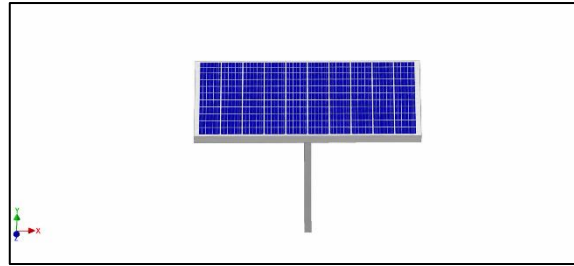
Gambar 2. Wiring panel surya *fixed 0°*

Gambar 2 menampilkan diagram kabel sistem panel *fixed 0°* berbasis IoT yang terdiri dari panel surya, sensor INA219, sensor BH1750, modul RTC DS3231, modul LM2596, ESP32, pengatur pengisian baterai (SCC), baterai, dan lampu DC sebagai beban. Panel surya menghasilkan listrik yang kemudian diatur oleh SCC untuk mengisi baterai serta memenuhi kebutuhan beban. Sensor INA219 digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dan arus listrik, sedangkan sensor BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari. Modul RTC DS3231 digunakan untuk merekam waktu pengambilan data, sedangkan LM2596 berfungsi untuk menyesuaikan tegangan listrik yang diberikan ke ESP32 dan sensor. Semua data hasil pengukuran diproses oleh ESP32 lalu dikirim ke aplikasi Blynk melalui koneksi WiFi, sehingga kita bisa melihat kondisi sistem secara langsung dan terus - menerus.



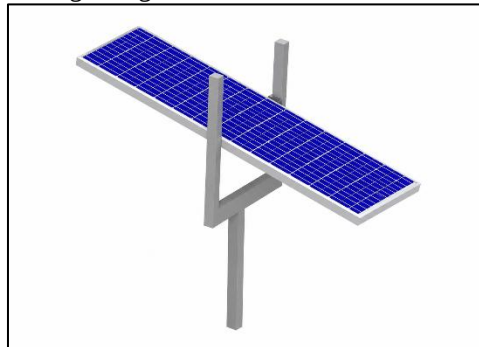
Gambar 3. Wiring panel surya *single axis solar tracker*

Gambar 3 menampilkan diagram kabel sistem *single axis solar tracker* berbasis IoT yang terdiri dari panel surya, sensor INA219, sensor BH1750, dua sensor LDR, modul RTC DS3231, ESP32, kontrol pengisi baterai (SCC), baterai, modul LM2596, rangkaian resistor, serta lampu DC sebagai beban. Panel surya membuat listrik yang diatur oleh SCC untuk mengisi baterai serta memberikan tenaga kepada perangkat yang dibutuhkan. Sensor INA219 digunakan untuk mengukur voltase dan arus dari panel surya, sedangkan sensor BH1750 digunakan untuk mengukur tingkat kecerahan cahaya matahari. Dua sensor LDR digunakan untuk mendeteksi perbedaan kekuatan cahaya, sehingga panel surya dapat bergerak sesuai dengan perubahan intensitas cahaya dalam sistem *single axis solar tracker*. Modul RTC DS3231 digunakan untuk mengatur waktu pengambilan data, sedangkan LM2596 mengatur tegangan listrik yang diberikan ke ESP32 dan sensor. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32 lalu dikirim ke aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi, sehingga parameter sistem bisa diawasi secara langsung dan terus - menerus. Lampu DC digunakan sebagai beban untuk menguji bagaimana sistem bekerja selama penelitian tersebut.



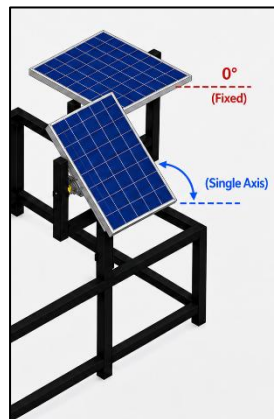
Gambar 4. Desain panel surya *fixed 0°*

Gambar 4 menunjukkan desain mekanik dari sistem panel surya *fixed* yang digunakan dalam penelitian ini. Panel surya *fixed 0°* dan tidak menggunakan alat penggerak, jadi posisi panel tetap dan tidak bergerak selama pengujian. Sistem ini digunakan untuk membandingkan kekuatan dan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya saat posisinya *fixed 0°*, tanpa mengikuti gerakan matahari.



Gambar 5. Desain panel surya *single axis solar tracker*

Gambar 5 memperlihatkan desain mekanik dari sistem *single axis solar tracker* yang berbasis IoT dan digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini dirancang dengan menggunakan mekanisme *single axis solar tracker* yang dapat secara otomatis mengikuti gerakan matahari dari timur ke barat. Mekanisme *single axis solar tracker* diatur menggunakan motor servo dan sensor cahaya, sehingga posisi panel dapat disesuaikan berdasarkan kekuatan cahaya matahari yang diterima. Sistem ini dibuat untuk meningkatkan penyerapan energi dari sinar matahari. Dengan cara ini, daya dan energi listrik yang dihasilkan menjadi lebih baik dibandingkan dengan panel surya yang *fixed 0°*.



Gambar 6. Desain panel surya 3d cad inventor

Gambar 6 menunjukkan desain 3D dari panel surya dan rangka penyangga yang dibuat dengan menggunakan Autodesk Inventor. Desainnya memiliki kerangka utama yang berbentuk kotak, dan terdapat beberapa panel surya yang dipasang di tempat penyangga. Sistem ini terdiri dari panel matahari *fixed 0°* dan panel *single axis solar tracker*. Panel *fixed 0°* berada di tempat yang sama, sedangkan panel *single axis solar tracker* dapat bergerak mengikuti arah cahaya matahari. Desain ini bertujuan untuk membandingkan kinerja panel surya dengan memperhatikan beberapa faktor seperti tegangan, arus, daya, dan efisiensi.



Gambar 7. Panel surya *fixed 0°* dan *single axis solar tracker* berbasis iot yang digunakan pada proses pengambilan data penelitian

Gambar 7 menunjukkan penggunaan panel surya *fixed 0°* dan *single axis solar tracker* yang berbasis IoT yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini terdiri dari panel surya, struktur penyangga, motor servo, sensor, baterai, pengontrol pengisian dari panel surya, dan rangkaian kontrol yang menggunakan ESP32 yang dirakit dengan breadboard. Motor servo dipakai dalam *single axis solar tracker* untuk menggerakkan panel surya secara otomatis agar dapat mengikuti arah sinar matahari. Sementara itu, panel surya *fixed* dipasang pada sudut 0° selama proses pengujian.

Perhitungan dan analisis data

Rumus daya

Daya adalah cara untuk mengukur seberapa cepat energi bisa dibuat atau dipakai dalam suatu sistem [20], dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

Keterangan:

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Energi panel surya

Energi panel surya adalah jumlah listrik yang dihasilkan oleh panel surya dari cahaya matahari yang diterimanya dalam waktu tertentu [21], yang dihitung dengan menggunakan rumus.

$$E = P \times t \quad (2)$$

Keterangan:

E = Energi Listrik (Wh atau kWh)

P = Daya Listrik Panel (W)

t = Waktu Pengukuran (S)

Daya radiasi

Daya radiasi adalah jumlah energi yang berupa cahaya yang diterima atau dipancarkan dalam jangka waktu tertentu [20], menggunakan rumus berikut:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (3)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya Radiasi Efektif (W)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)

A = Luas Panel (m^2)

Efisiensi panel surya

Efisiensi panel adalah cara mengukur berapa besar energi listrik yang dihasilkan dibandingkan dengan energi cahaya yang diterima, yang dihitung dengan menggunakan persamaan efisiensi panel surya seperti yang dijelaskan oleh [22].

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

η = Efisiensi Panel Surya (%)

P_{Out} = Daya Listrik Panel (W)

P_{In} = Daya Radiasi Matahari Diterima (W)

Peningkatan daya

Persentase peningkatan daya digunakan untuk melihat seberapa besar peningkatan daya listrik dari panel surya *single axis solar tracker* jika dibandingkan dengan panel surya *fixed 0°*, dan ini dinyatakan dalam bentuk persentase [23].

$$\text{Peningkatan Daya (\%)} = \frac{P_{\text{tracker}} - P_{\text{fixed } 0^\circ}}{P_{\text{fixed } 0^\circ}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

P_{tracker} = Daya Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya Dengan *Single Axis Solar Tracker* (W)

P_{fixed} = Daya Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya Dengan Posisi *Fixed 0°* (W)

Peningkatan energi

Persentase peningkatan energi digunakan untuk melihat seberapa banyak total energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya *single axis solar tracker* dibandingkan dengan panel surya *fixed 0°*, berdasarkan penjumlahan daya selama waktu tertentu [24].

$$\text{Peningkatan Energi (\%)} = \frac{E_{\text{tracker}} - E_{\text{fixed } 0^\circ}}{E_{\text{fixed } 0^\circ}} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

E_{tracker} = Energi Listrik Total Yang Dihasilkan Panel Surya *Single Axis Solar Tracker* (Wh atau kWh)

E_{fixed} = Energi Listrik Total Yang Dihasilkan Panel Surya *Fixed 0°* (Wh atau kWh)

Persentase error

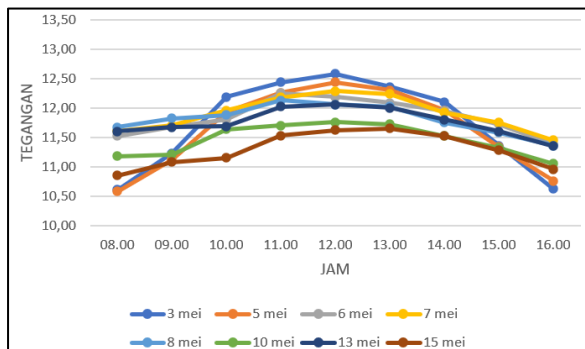
Persentase error adalah angka yang digunakan untuk menunjukkan seberapa besar kesalahan hasil dari sensor dibandingkan dengan nilai yang benar dari alat ukur standar [25].

$$\text{Presentase Error} = \frac{\text{Nilai Alat Ukur} - \text{Nilai Sensor}}{\text{Nilai Alat Ukur}} \times 100\% \quad (7)$$

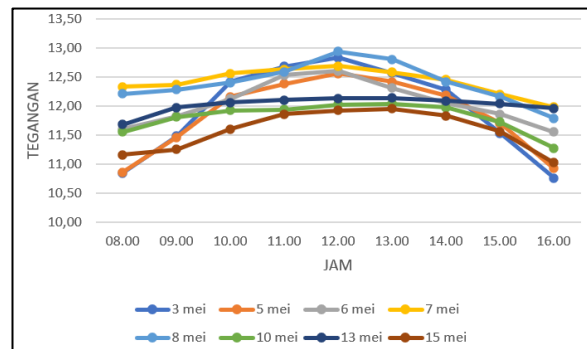
Hasil dan pembahasan

Di tahap ini, panel surya *fixed 0°* derajat dan *single axis solar tracker* diuji. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data mengenai tegangan, arus, daya, intensitas cahaya, energi yang dihasilkan oleh panel surya, intensitas radiasi, daya radiasi, serta efisiensi sistem. Pengambilan data dilakukan selama delapan hari beruntut dengan jarak antar pengukuran yang sudah ditentukan. Hasil uji selama delapan hari ditampilkan dalam bentuk grafik untuk membandingkan kinerja kedua sistem tersebut. Selain itu, hasil data pengujian yang dilakukan pada tanggal 13 Mei 2026 ditampilkan dalam bentuk tabel agar informasi mengenai parameter yang diukur menjadi lebih jelas dan detail.

Grafik perbandingan

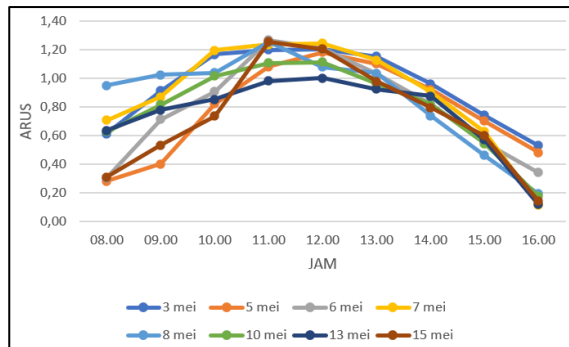


Gambar 8 Grafik tegangan panel surya *fixed 0°*

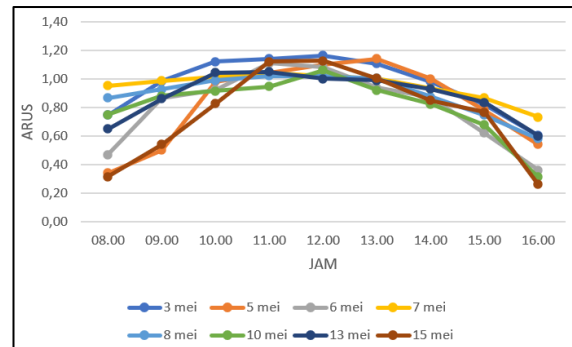


Gambar 9 Grafik tegangan panel surya *single axis solar tracker*

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya naik dari pagi sampai siang, kemudian turun di sore hari, sesuai dengan perubahan intensitas cahaya matahari. Pada panel *fixed 0°*, tegangan berada antara 10,55 hingga 12,60 V, sementara pada *single axis solar tracker*, tegangan berkisar antara 10,70 hingga 12,95 V. Tegangan paling tinggi biasanya terjadi antara jam 11.00 sampai 12.00 WIB saat sinar matahari paling terang. Secara umum, *single axis solar tracker* menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan dengan panel *fixed 0°*. Ini terjadi karena panel *single axis solar tracker* dapat bergerak mengikuti arah matahari, sehingga bisa menangkap cahaya dengan lebih efektif.

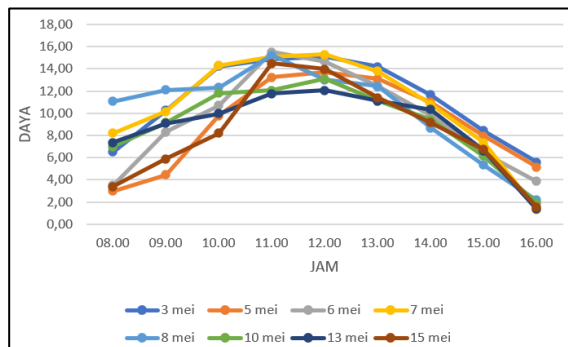


Gambar 10. Grafik arus panel surya *fixed 0°*

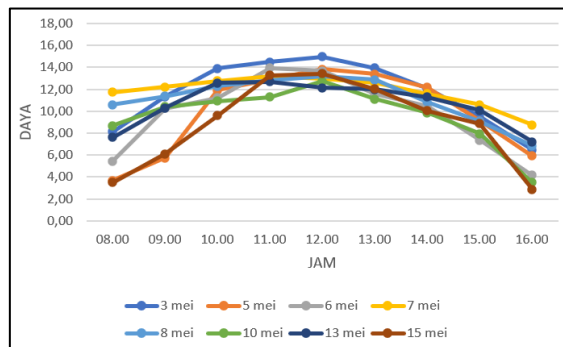


Gambar 11. Grafik arus panel surya *single axis solar tracker*

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11, arus yang dihasilkan oleh panel surya bertambah dari pagi sampai siang, lalu berkurang di sore hari karena perubahan intensitas sinar matahari. Di panel *fixed 0°*, arusnya bervariasi antara 0,12 sampai 1,28 A. Sedangkan di panel yang menggunakan *single axis solar tracker*, arusnya berkisar antara 0,28 hingga 1,16 A. Arus paling tinggi biasanya terjadi antara jam 11.00 sampai 12.00 WIB saat cahaya matahari paling terang. Secara umum, panel *single axis solar tracker* menghasilkan arus yang lebih stabil jika dibandingkan dengan panel *fixed 0°*. Ini karena panel *single axis solar tracker* dapat bergerak mengikuti arah sinar matahari. Ini membuat penerimaan cahaya lebih baik saat pengujian berlangsung.

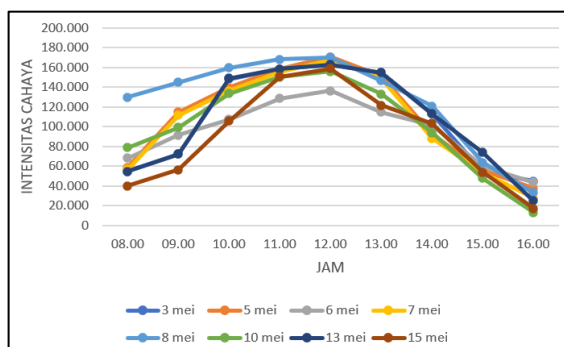


Gambar 12. Grafik daya panel surya *fixed 0°*

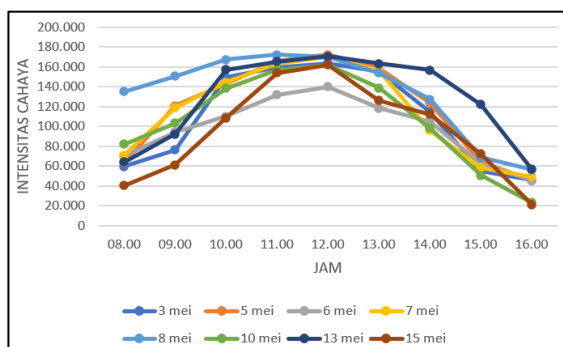


Gambar 13. Grafik daya panel surya *single axis solar tracker*

Dengan melihat Gambar 12 dan Gambar 13, kita dapat melihat bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya bertambah dari pagi hingga siang, lalu menurun di sore hari seiring dengan perubahan intensitas sinar matahari. Di panel *fixed 0°*, jumlah daya yang dihasilkan berkisar antara 1,34 hingga 15,36 W. Sementara itu, pada panel dengan *single axis solar tracker*, daya yang dihasilkan berada di antara 2,90 hingga 15,02 W. Daya puncak biasanya terjadi antara pukul 11.00 dan 12.00 WIB ketika sinar matahari berada pada tingkat tertingginya. Secara umum, panel *single axis solar tracker* menghasilkan daya yang lebih konsisten dibandingkan dengan panel *fixed 0°*. karena panel *single axis solar tracker* dapat mengikuti arah pergerakan matahari, sehingga penyerapan cahaya matahari menjadi lebih baik selama pengujian.



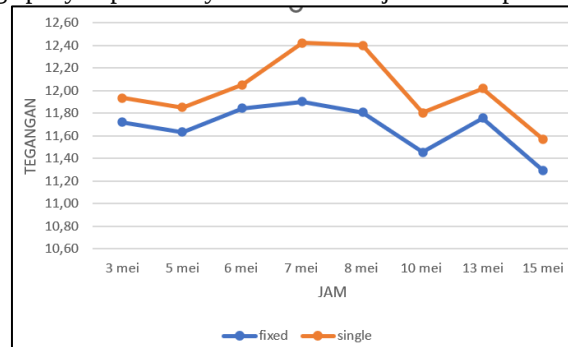
Gambar 14. Grafik intensitas cahaya panel surya *fixed 0°*



Gambar 15. Grafik intensitas cahaya panel surya *single axis solar tracker*

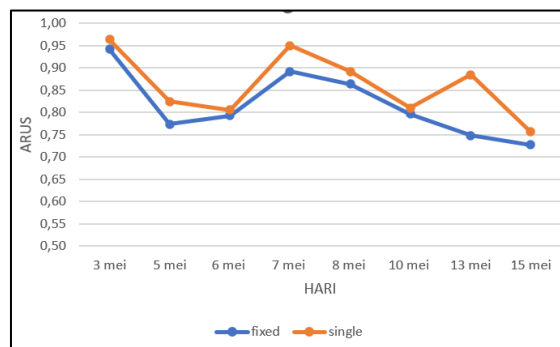
Berdasarkan Gambar 14 dan Gambar 15, intensitas cahaya matahari bertambah dari pagi hingga siang, lalu berkurang di sore hari. Pada panel *fixed 0°*, tingkat cahaya berada di antara 13.000 sampai 168.000 lux,

sedangkan pada panel *single axis solar tracker*, tingkat cahaya berkisar antara 20.000 sampai 172.000 lux. Cahaya yang paling terang biasanya terlihat antara jam 11.00 hingga 12.00 WIB, ketika posisi matahari berada di tempat yang paling baik. Secara umum, panel *single axis solar tracker* mendapatkan lebih banyak cahaya dan lebih stabil dibandingkan dengan panel *fixed 0°*. Ini karena panel *single axis solar tracker* dapat mengikuti arah pergerakan matahari, sehingga penyerapan cahaya matahari menjadi lebih optimal selama pengujian.



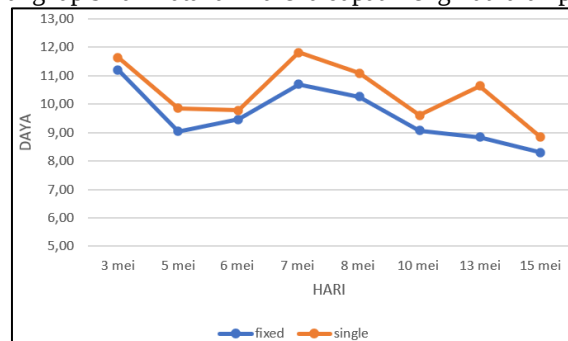
Gambar 16. Grafik perbandingan rata rata tegangan panel *fixed 0°* dan *single axis solar tracker*

Gambar 16 menunjukkan bahwa panel *single axis solar tracker* menghasilkan tegangan rata - rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel *fixed 0°* selama pengujian yang dilakukan dari tanggal 3 hingga 15 Mei. Tegangan tertinggi tercatat pada tanggal 7 Mei, yaitu 12,42 V pada panel *single axis solar tracker* dan 11,90 V pada panel *fixed 0°*. Pada tanggal 15 Mei, panel *single axis solar tracker* menunjukkan tegangan terendah sebesar 11,56 V, sementara panel *fixed 0°* menunjukkan tegangan 11,29 V. Secara umum, panel *single axis solar tracker* menghasilkan tegangan yang lebih stabil karena bisa mengikuti arah pergerakan matahari. Hal ini membuat penerimaan sinar matahari menjadi lebih baik.



Gambar 17. Grafik perbandingan rata rata arus panel *fixed 0°* dan *single axis solar tracker*

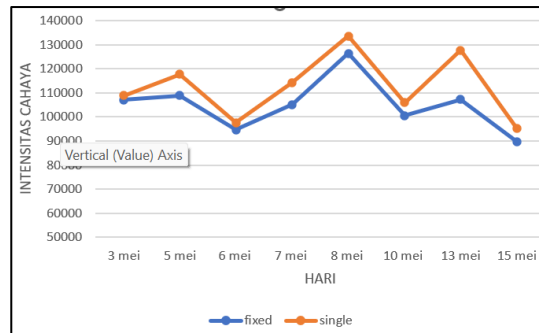
Berdasarkan Gambar 17, rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya berbeda - beda pada setiap tanggal yang diamati. Sistem *single axis solar tracker* umumnya menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan sistem *fixed 0°*. Arus tertinggi terjadi pada 3 Mei, yaitu sekitar 0,96 A untuk *single axis solar tracker* dan 0,94 A untuk yang *fixed*. Sementara itu, arus terendah terjadi pada tanggal 15 Mei, yaitu sekitar 0,75 A untuk *single axis solar tracker* dan 0,73 A untuk yang *fixed*. Ini menunjukkan bahwa sistem *single axis solar tracker* lebih baik dalam menangkap sinar matahari karena dapat mengikuti arah pergerakan matahari.



Gambar 18. Grafik perbandingan rata rata daya panel *fixed* dan *single axis solar tracker*

Berdasarkan Gambar 18, rata - rata daya yang dihasilkan oleh panel surya berbeda setiap tanggal saat pengamatan dilakukan. Sistem *single axis solar tracker* biasanya menghasilkan lebih banyak energi dibandingkan dengan sistem *fixed 0°*. Daya tertinggi dicapai pada tanggal 7 Mei, yaitu sekitar 11,8 W untuk *single axis solar tracker* dan 10,7 W untuk sistem *fixed 0°*. Pada tanggal 15 Mei, daya terendah yang tercatat adalah sekitar 8,8 W untuk sistem *single axis solar tracker* dan 8,3 W untuk sistem *fixed 0°*. Ini menunjukkan

bahwa sistem *single axis solar tracker* lebih efektif dalam meningkatkan keluaran daya panel surya karena bisa mengikuti arah sinar matahari yang masuk.



Gambar 19. Grafik perbandingan rata rata intensitas cahaya panel *fixed* 0° dan *single axis solar tracker*

Menurut Gambar 19, rata-rata tingkat cahaya berbeda pada setiap tanggal pengamatan. Sistem *single axis solar tracker* biasanya menerima cahaya yang lebih banyak dibandingkan dengan sistem *fixed* 0°. Intensitas cahaya tertinggi terjadi pada 8 Mei, yaitu sekitar 133.000 lux untuk sistem *single axis solar tracker* dan 126.000 lux untuk sistem *fixed*. Pada tanggal 15 Mei, tercatat bahwa intensitas cahaya terendah adalah sekitar 95.000 lux untuk *single axis solar tracker* dan 89.000 lux untuk yang *fixed* 0°. Ini menunjukkan bahwa sistem *single axis solar tracker* lebih efektif dalam menangkap sinar matahari karena dapat mengikuti arah pergerakan matahari.

Tabel 1. Hasil perbandingan nilai sensor dengan alat ukur serta persentase error sensor

Parameter	Nilai sensor	Nilai alat ukur	Error (%)
Tegangan	11,49 V	11,44 V	0,41
Arus	0,32 A	0,31 A	2,51
Daya	3,70 W	3,62 W	2,43
Intensitas Cahaya	36.629,20 Lux	36150 Lux	1,59

Berdasarkan Tabel 1, nilai rata - rata hasil yang didapat dari pembacaan sensor hampir mendekati nilai rata - rata yang diperoleh dari pengukuran menggunakan alat ukur standar. Pengujian dilakukan pada tanggal 30 April 2026. Persentase error rata - rata yang didapatkan untuk parameter tegangan adalah 0,41%, arus sebesar 2,51%, daya sebesar 2,43%, dan intensitas cahaya sebesar 1,59%. Nilai rata - rata yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor INA219 dan BH1750 cukup akurat, sehingga bisa digunakan dalam sistem pemantauan panel surya berbasis IoT. Cuaca mendung dipilih karena sensor BH1750 memiliki batas maksimal pengukuran sekitar 65.000 lux, sehingga tingkat cahaya yang diukur masih dalam jangkauan sensor.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan parameter kinerja panel surya *fixed* 0° dan *single axis solar tracker*

Jam	Alat	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Intensitas Cahaya (Lux)	Sudut (°)	Energi Panel Surya (WH)	Intensitas Radiasi (W/m ²)	Daya Radiasi (W/m ²)	Efisiensi Panel Surya (%)
08.00	Fixed 0°	11,60	0,63	7,36	54840	0	58,88	80,29282577	14,8943	49,41%
09.00		11,67	0,78	9,07	72460	0	72,53	106,090776	19,6798	46,07%
10.00		11,69	0,85	9,98	149200	0	79,80	218,4480234	40,5221	24,62%
11.00		12,02	0,98	11,78	158600	0	94,25	232,2108346	43,0751	27,35%
12.00		12,06	1,00	12,06	163100	0	96,47	238,7994143	44,2973	27,22%
13.00		12,00	0,92	11,09	154800	0	88,72	226,6471449	42,0430	26,38%
14.00		11,80	0,88	10,33	113000	0	82,64	165,4465593	30,6903	33,66%
15.00		11,60	0,57	6,61	73950	0	52,91	108,272328	20,0845	32,93%
16.00		11,35	0,12	1,34	24960	0	10,74	36,54465593	6,7790	19,80%
Rata rata		11,75	0,75	8,85	107212		70,77	156,9725069	29,1184	30,38%
08.00	Single Axis Solar Tracker	11,68	0,65	7,59	64230	42	60,73	94,04099561	17,4446	43,52%
09.00		11,97	0,86	10,31	92200	50	82,49	134,9926794	25,0411	41,18%
10.00		12,06	1,04	12,57	157300	61	100,56	230,3074671	42,7220	29,42%
11.00		12,10	1,05	12,68	165600	69	101,46	242,4597365	44,9763	28,20%
12.00		12,09	1,00	12,12	170900	80	96,93	250,2196193	46,4157	26,10%
13.00		12,14	0,99	12,00	163000	87	96,03	239,3850659	44,4059	27,03%
14.00		12,13	0,93	11,28	156000	102	90,20	229,4289898	42,5591	26,49%
15.00		12,04	0,84	10,06	122100	110	80,52	178,7701318	33,1619	30,35%
16.00		11,96	0,60	7,19	56820	115	57,50	83,19180088	15,4321	46,57%

Rata Rata	12,02	0,88	10,64	127706	85,16	186,9773873	34,6843	30,69%
-----------	-------	------	-------	--------	-------	-------------	---------	--------

Tabel 2 menampilkan hasil rata - rata dari pengujian yang dilakukan pada tanggal 13 Mei 2026. *Single axis solar tracker* menghasilkan energi dari panel surya sebesar 85,16 Wh, dengan intensitas cahaya mencapai 127.706 lux, dan daya radiasi sebesar 34,68 W. Angka-angka ini lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya *fixed 0°*, yang menghasilkan energi sebesar 70,77 Wh, intensitas cahaya sebesar 107.212 lux, dan daya radiasi sebesar 29,12 W. Menghitung daya panel surya dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1), sementara energi dari panel surya dihitung dengan Persamaan (2). Daya radiasi bisa dihitung dengan Persamaan (3), dan efisiensi panel surya menggunakan Persamaan (4). Selain itu, *single axis solar tracker* menghasilkan rata - rata tegangan 12,02 V, arus 0,88 A, dan daya 10,64 W. Sementara itu, panel surya *fixed 0°* menghasilkan tegangan 11,75 V, arus 0,75 A, dan daya 8,85 W. Efisiensi kedua sistem hampir sama, yaitu 30,69% untuk *single axis solar tracker* dan 30,38% untuk panel surya *fixed 0°*. Ini menunjukkan bahwa kemampuan *single axis solar tracker* untuk mengikuti gerakan matahari dapat meningkatkan penyerapan sinar matahari, sehingga menghasilkan lebih banyak energi listrik dibandingkan panel surya *fixed 0°*.

Gambar 3. Hasil perhitungan peningkatan daya dan peningkatan energi panel surya

Parameter	Nilai (%)
Peningkatan Daya	20,33
Peningkatan Energi	20,33

Tabel 3 menampilkan hasil perhitungan mengenai peningkatan daya dan Peningkatan Energi berdasarkan Persamaan (5) dan Persamaan (6). Berdasarkan hasil perhitungan, sistem *single axis solar tracker* menunjukkan peningkatan daya dan energi sebesar 20,33% dibandingkan dengan panel surya *fixed 0°*. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem *single axis solar tracker* mampu mengikuti pergerakan matahari, sehingga panel surya menerima cahaya matahari secara lebih optimal. Kondisi ini membuat panel surya menghasilkan daya dan energi yang lebih besar dibandingkan panel surya *fixed 0°* yang tidak berubah selama pengujian.

Simpulan

Setelah melakukan pengujian selama 8 hari, bisa disimpulkan bahwa panel surya yang menggunakan sistem *single axis solar tracker* tunggal menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan panel surya *fixed 0°*. Ini terlihat dari angka daya, energi, dan efisiensi yang lebih tinggi pada *single axis solar tracker* selama periode pengujian. Peningkatan kinerja ini disebabkan oleh adanya *single axis solar tracker* yang bisa mengikuti pergerakan matahari, sehingga sudut penerimaan radiasi menjadi lebih optimal sepanjang hari. Kondisi ini menyebabkan panel menerima lebih banyak energi radiasi dibandingkan dengan panel *fixed 0°* yang berada di lokasi yang sama.

Selain itu, sistem *single axis solar tracker* juga memberikan peningkatan daya sebesar 20,33% dan efisiensi mencapai 30,69%. Ini lebih tinggi dibandingkan dengan panel *fixed 0°* yang hanya memiliki efisiensi sebesar 30,38%. Secara umum, *single axis solar tracker* lebih efektif dalam menangkap energi matahari dan menghasilkan listrik yang lebih stabil serta lebih banyak dibandingkan dengan panel surya *fixed 0°* selama percobaan yang berlangsung selama 8 hari.

Daftar Pustaka

- [1] K. Kumba, P. Upender, P. Buduma, M. Sarkar, And S. P. Simon, "Solar Tracking Systems : Advancements , Challenges , And Future Directions : A Review," *Energy Reports*, Vol. 12, No. June, Pp. 3566–3583, 2024, Doi: 10.1016/J.Egyr.2024.09.038.
- [2] P. Putu *Et Al.*, "Pengaruh Bentuk Rangkaian Panel Surya Terhadap Kuat Arus , Tegangan Dan Daya," Vol. 6, No. 1, Pp. 26–35, 2022.
- [3] N. Yowana *Et Al.*, "Rancang Bangun Solar Tracker Single Axis Berbasis Arduino Uno," Vol. 12, No. 3, Pp. 86–92, 2025.
- [4] N. Rajkumar, A. Kumar, And A. Mahilarasi, "Solar Tracking Methods : A Comprehensive Survey," No. April, 2024.
- [5] J. Atallah, P. Rahme, And J. S. Issa, "Energy Conversion And Management : X Comparative Assessment Of Single Axis Manual Solar Pv Trackers : A Case Study For Agricultural Applications," *Energy Convers. Manag. X*, Vol. 26, No. February, P. 100927, 2025, Doi: 10.1016/J.Ecmx.2025.100927.
- [6] H. Kabir, H. Abu, And S. Chowdhury, "Sciencedirect Analysis Of Solar Panel Power Investigation Using Fixed Axis , Single Axis And Dual Axis Solar Tracker," *Procedia Comput. Sci.*, Vol. 252, Pp.

- 708–714, 2025, Doi: 10.1016/J.Procs.2025.01.031.
- [7] S. C. Nwokolo, A. U. Obiwulu, P. Okonkwo, And R. Orji, “Co,” No. January, 2025, Doi: 10.1016/J.Pce.2025.103881.
 - [8] A. K. Yapie And F. Riski, “Perancangan Solar Tracker Dual Axis Untuk Optimasi Panel Surya Digunakan Untuk Menghasilkan Energi Listrik . Energi Listrik Yang Dihasilkan Oleh Panel Surya Kinerjanya . Dengan Mempelajari Kondisi Lingkungan Dan Posisi Geografis , Diharapkan Dapat,” 2025.
 - [9] V. Kumar, K. Vaibhav, N. Kedam, A. Patel, T. Ram, And U. Rathnayake, “Smart Agricultural Technology A Comprehensive Review On Smart And Sustainable Agriculture Using Iot Technologies,” *Smart Agric. Technol.*, Vol. 8, No. February, P. 100487, 2024, Doi: 10.1016/J.Atech.2024.100487.
 - [10] M. W. Annur And L. Faridah, “Automated Nutrient Control And Monitoring System For Internet Of Things (Iot) -Based,” Vol. 13, No. 3, 2025.
 - [11] M. H. Musajidhin, S. Rosad, M. Taufiqurrochman, And A. A. Zein, “Sistem Monitoring Kecepatan Angin , Suhu , Dan Kelembaban Udara Menggunakan Esp32,” 2025.
 - [12] B. Jiah, G. Ahmad, A. Riyanto, And A. Surtoto, “Design And Build Voltage And Current Monitoring Parameters Device Of Rechargeable Batteries In Real-Time Using The Ina219 Gy-219 Sensor,” Vol. 4, No. 2, 2023.
 - [13] M. A. Annas, A. Widodo, M. C. Aisiyah, I. E. Ningrum, And D. Makrufah, “M A S L I Q,” Vol. 2, Pp. 612–622, 2022.
 - [14] A. Khuriati, “Sistem Pemantau Intensitas Cahaya Ambien Dengan Sensor Bh1750 Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano,” Vol. 25, No. 13, 2022.
 - [15] S. J. Marthin, “Monitoring Perbedaan Ph Tanah Di Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Ganet Kota Tanjungpinang,” Vol. 2, No. 4, Pp. 31–36, 2025.
 - [16] S. Bahri And D. D. Hutagalung, “Sistem Parkir Cerdas Berbasis Internet Of Things,” Vol. 2, No. 11, Pp. 2928–2938, 2023.
 - [17] W. R. Pratama, B. Yulianti, A. Sugiharto, And E. Al., “(3) 1,2,3,” *Teknol. Ind.*, No. 1, Pp. 52–60, 2025.
 - [18] R. A. N. Hamzah, M. Anisah, And I. Lutfi, “Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Pada Panel Surya 600 Wp,” Vol. 17, No. Iii, Pp. 11–17, 2024.
 - [19] R. W. Sikumbang, U. M. Buana, And K. J. Barat, “Analisis Efisiensi Solar Charge Controller Menggunakan Integrasi Numerik Dengan Analysis Of Solar Charge Controller Efficiency Using Numerical Integration,” Vol. 9, No. 2, Pp. 127–134, 2024, Doi: 10.33579/Krvtk.V9i2.5013.
 - [20] M. B. Ulum, I. Widiastuti, D. S. Wijayanto, And E. Al, “Jurnal Pendidikan Teknik Mesin,” *Pendidik. Tek. Mesin*, 2025.
 - [21] B. D. Pangestu, D. Erivianto, And M. E. Dalimunthe, “Analisis Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Suplai Cadangan Energi Pada Mesin Mixer Donat (Studi Kasus Di Cv Youlanda),” Vol. 5, Pp. 562–576, 2025.
 - [22] J. Edi *Et Al.*, “Jurnal Inovator Analisa Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluar Dan Efisiensi Pada Panel Surya,” Vol. 7, No. 2, Pp. 72–77, 2024.
 - [23] N. Agustus *Et Al.*, “Sistem . Pembangkit . Panel Surya Menggunakan Solar Traker Dual Axis Untuk Memaksimalkan Keluaran Daya,” Vol. 2, No. 4, 2024.
 - [24] S. Yatmani, U. Khairiyah, E. Kamal, And A. Setiawan, “Optimalisasi Kinerja Panel Surya Berdasarkan Waktu Tunda Pergerakan Solar Tracker,” Vol. 22, No. 3, Pp. 104–113, 2023.
 - [25] I. Y. Ardhana And H. Asy’ari, “Pengembangan Sistem Solar Tracker Dual-Axis Berbasis Iot Dan Kontrol Beban Jarak Jauh Dengan Relay Untuk Meningkatkan Efektivitas Plts Off-Grid,” *Eprints.Ums.Ac.Id*, 2025.