



Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Untuk Catudaya Pompa Air Pada Sistem Hidroponik Nft (Nutrient Film Technique) Berbasis IoT

Moch. Fajrud Dluha, ^{a,1,*}, Lusiarakhmawati, ^{a,2}, Farid Baskoro, ^{a,3}, Subuh Isnur Haryudo, ^{a,4}

^a Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya, Jl Ketintang, Gedung A5 Surabaya 60231, Jawa Timur, Indonesia

¹ mochdluha.21040@mhs.unesa.ac.id; ² Lusiarakhmawati@unesa.ac.id; ³ faridbaskoro@unesa.ac.id;

⁴ subuhisnur@unesa.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO	ABSTRAK
Article History Submission : 25-07-2025 Revision : 08-08-2025 Accepted : 20-08-2025 Kata Kunci: Solar Tracker Dual Axis, Hidroponik NFT , Panel Surya , Internet of Things , Monitoring	Penelitian ini merancang dan menguji sistem <i>solar tracker dual axis</i> berbasis IoT untuk sistem hidroponik <i>Nutrient Film Technique</i> (NFT) , bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional. Sistem ini secara otomatis mengikuti pergerakan matahari menggunakan sensor LDR, untuk memaksimalkan penyerapan cahaya. Sensor INA219 memantau tegangan, arus, dan daya panel surya serta kapasitas aki secara <i>real-time</i>, data dikirim ke platform Blynk untuk pemantauan jarak jauh, Mekanisme <i>cutoff</i> pengisian aki otomatis pada 13,3 Volt mencegah <i>overcharging</i>. Pemantauan IoT menunjukkan akurasi tinggi dengan presentase error 0,40 %. Untuk data. Kinerja pengujian panel surya solar tracker dual axis selama 3 hari menghasilkan rata rata tegangan hubung terbuka (Voc) sebesar 17,89 Volt ,rata rata arus hubung singkat sebesar 0,87 Ampere , serta hasil rata rata nilai tegangan berbeban (Vm) Sebesar 13,35 Volt dan rata rata arus berbeban (Im) sebesar 0,64 Ampere , pengambilan data selama 3 hari dengan durasi pengujian selama 11 jam , pada pukul 06:00 – 17:00 ,dengan kondisi semua cuaca cerah, solar tracker dual axis mendapatkan efisiensi sebesar 5,31 % . sedangkan tanpa tracker mendapatkan efisiensi sebesar 3,16 % . This is an open access article under license CC-BY-SA. 

1. Pendahuluan

Salah satu teknik yang umum digunakan dalam hidroponik adalah NFT (*Nutrient Film Technique*), yang memungkinkan larutan nutrisi dan oksigen mengalir tipis secara terus menerus pada akar tanaman di dalam pipa [1]. Dalam budidaya hidroponik, aliran air yang terus-menerus sangat penting untuk mengalirkan nutrisi ke akar tanaman. Ketergantungan

pada PLN menjadi kendala ketika terjadi pemadaman listrik, baik karena gangguan teknis maupun kelalaian, yang dapat mengakibatkan terhentinya pasokan nutrisi ke tanaman.

Panel surya adalah suatu alat yang dapat mengubah energi surya (foton) menjadi listrik arus searah [2]. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya, tetapi aspek yang paling berpengaruh pada pengoptimalan efisiensi kinerja panel surya adalah penempatan permukaan panel surya terhadap datangnya radiasi matahari [3]. Panel surya konvensional yang dipasang secara statis memiliki keterbatasan dalam menangkap sinar matahari secara optimal karena posisinya tidak berubah mengikuti pergerakan matahari. Hal ini menyebabkan efisiensi penyerapan energi menjadi kurang maksimal sepanjang hari [4].

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam dunia pertanian telah menjadi solusi modern untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pengelolaan sistem budidaya [5]. IoT memungkinkan perangkat-perangkat sensor untuk saling terhubung dan mengirimkan data secara otomatis dan real-time ke sistem pemantauan. Manfaat menggunakan IoT pada penelitian ini untuk melihat kinerja penyimpanan energi panel surya terhadap baterai, dan mengetahui kerja monitoring penyimpanan baterai dengan menggunakan IoT [6].

Maka dengan itu, perlu adanya metode untuk mendeteksi posisi matahari dan mengarahkan permukaan panel surya searah dengan datangnya sinar matahari dengan konsep solar tracker. Faktor kunci yang mempengaruhi kinerja panel surya, yaitu penempatan prototipe terhadap sumber energi utama yaitu matahari. Konsep solar tracker menjadi solusi yang efektif untuk memastikan bahwa panel surya selalu dalam posisi optimal untuk menangkap sinar matahari sepanjang hari [7]. Selain itu, peneliti juga menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk menghubungkan sistem ini ke internet, memungkinkan peneliti memantau data penyimpanan energi dari panel surya ke baterai secara real-time. Dengan demikian, peneliti dapat mengawasi dan menganalisis kinerja sistem dengan lebih mudah dan efektif.

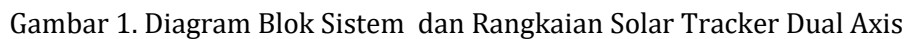
Fitur *cut off* dan *connect* otomatis pada rangkaian baterai menjadi salah satu fitur yang akan memastikan keamanan penggunaan baterai dan mencegah kerusakan akibat pengisian daya berlebihan atau penggunaan yang tidak semestinya [8]. Dengan adanya fitur ini, baterai dapat bekerja dengan lebih optimal dan memiliki umur pakai yang lebih panjang.

Dari permasalahan dan penelitian terdahulu yang relevan, peneliti mengusulkan sistem dengan menerapkan *Solar Tracker Dual Axis*, *Solar Tracker Dual Axis* dinilai lebih efisien dalam memaksimalkan penangkapan cahaya matahari, karena dapat mengikuti arah matahari sehingga dapat mengatur posisi perangkat tanpa perlu memperhatikan letak matahari. Dengan demikian, peneliti dapat mengawasi dan menganalisis kinerja sistem dengan mudah dan efektif.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D) [9], yaitu pendekatan yang digunakan untuk menciptakan suatu produk tertentu serta mengevaluasi efektivitas dari produk tersebut. Fokus penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan alat solar panel dual axis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk catu daya hidroponik metode NFT (*Nutrient Film Technique*). Pendekatan eksperimental dipilih karena penelitian ini melibatkan pembuatan dan penerapan prototipe teknologi solar tracker yang mampu mengikuti pergerakan matahari [10].

2.1 Perencanaan Hardware

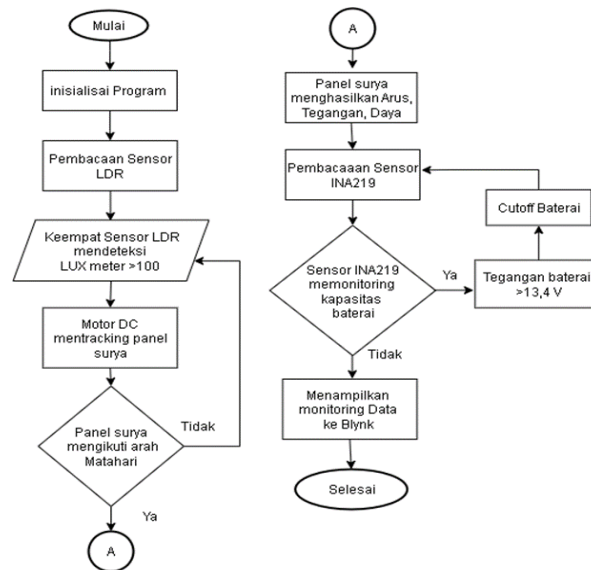


2.2 Perancangan Software

[illegible]

Gambar 2. Pembuatan Program

Diagram alir dari perancangan software dapat dilihat dari gambar diagram alir pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Solar Tracker Dual Axis

Cara kerja sistem dimulai saat mikrokontroler ESP32 membaca intensitas cahaya dari empat sensor LDR untuk menentukan posisi matahari. Berdasarkan perbandingan nilai tersebut, sistem akan menggerakkan motor DC untuk mengarahkan panel surya ke sumber cahaya terkuat. Setelah panel terarah secara optimal, sensor INA219 akan mengukur arus, tegangan, dan daya listrik yang dihasilkan, sekaligus memonitor tegangan baterai. Sistem ini juga dilengkapi logika proteksi untuk mencegah pengisian berlebih (*overcharging*) dengan memutus jalur pengisian secara otomatis ketika tegangan baterai mencapai 13,3 V. Seluruh data monitoring dari proses ini kemudian ditampilkan secara *real-time* melalui platform IoT Blynk.

2.3 Analisis Data

Data yang akan diambil dari pengujian alat adalah keakuratan pembacaan sensor arus dan tegangan, dan kinerja dari solar tracker. Pengujian sensor dan komponen yang dipakai bertujuan memastikan bahwa seluruh komponen dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Sementara itu, perhitungan untuk menentukan persentase kesalahan pada pengujian perangkat yang dirancang menggunakan rumus persamaan APE dan MAPE di bawah ini:

$$APE = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Multimeter}}{\text{Nilai Multimeter}} \times 100 \% \quad (1)$$

Hasil nilai monitoring akan dihitung nilai error menggunakan rumus APE (Absolute Percentage Error) dengan persamaan (1), selanjutnya dapat digunakan untuk mencari nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) yang dituliskan pada persamaan (2). Nilai persamaan (2) digunakan sebagai nilai rata rata error yang diperoleh dari jumlah data APE dibandingkan dengan jumlah data yang ada.

$$MAPE = \frac{\sum APE}{\text{total data}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 1: Range Nilai MAPE

Range MAPE	Keterangan
<10%	Sangat Baik
10 – 20 %	Baik
20-50 %	Layak
>50 %	Buruk

Kinerja akurasi sensor dievaluasi berdasarkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Menurut standar pada Tabel 3.3, akurasi dinilai "Sangat Baik" jika MAPE di bawah 10%, "Baik" untuk rentang 10-20%, "Layak" untuk 20-50%, dan "Buruk" jika melebihi 50%.

Untuk menentukan luas pada panel surya menggunakan rumus persamaan sebagai berikut (3) [13]:

$$\text{Luas} = p \times l \quad (3)$$

Radiasi berdasarkan STC (Standard Test Condition) pada nameplate panel surya sebesar 1000 W/m² (intensitas sinar global saat radiasi maksimum), panel menghasilkan daya maksimum sebesar 20 wp.. Untuk perhitungan faktor pengisian (FF) dapat ditentukan persamaan sebagai berikut (4)

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4)$$

Untuk menentukan rumus daya output menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{rata\ rata} \times I_{rata\ rata} \times FF \quad (5)$$

Keterangan: Pout : daya keluaran (watt)

Vrata rata : tegangan sel surya (Volt)

Irata rata : arus sel surya (ampere)

Untuk menentukan rumus daya input menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (6)$$

Keterangan:

Pin : Daya input (watt)

Ir : Intensitas irradiansi matahari (W/m²)

A : Luas area modul surya (m²)

Dengan mengetahui Pin dan Pout panel surya dengan persamaan (5&6) efisiensi panel surya dapat diketahui yaitu (7):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai otak sistem. ESP32 menerima data dari sensor arus INA219 berbasis digital (I2C) yang kemudian dimonitoring menggunakan Blynk [14]. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur pelacakan matahari (sun tracking), di mana ESP32 mengontrol dua buah motor DC melalui dua buah driver motor. Data dari empat buah sensor cahaya (LDR) yang dipasang menghadap empat arah digunakan untuk menentukan posisi sudut optimal panel surya terhadap arah datangnya cahaya matahari yang mampu meningkatkan penyerapan energi surya melalui penyesuaian posisi panel. Dengan menggunakan panel surya mendukung catu daya pompa air yang menjadi bagian utama dari sistem irigasi hidroponik untuk mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional dan mengurangi biaya listrik serta memanfaatkan energi baru terbarukan [15].

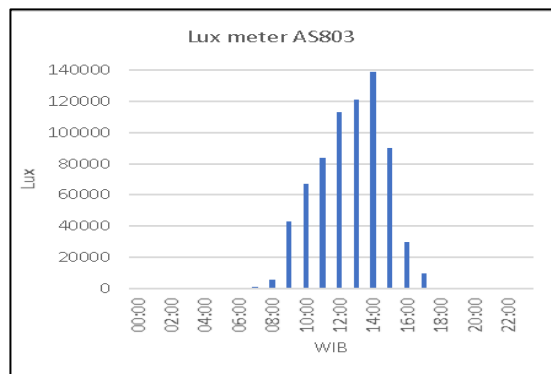


Gambar 4. Prototype Solar Tracker Dual Axis

A. Pengujian Alat

Pengujian dilakukan melalui serangkaian skenario uji yang mencakup evaluasi terhadap kinerja sensor serta panel surya. Proses verifikasi fungsional sistem mencakup beberapa aspek berikut ini.

3.1 Pengujian Sensor LDR Terhadap Variasi Intensitas Cahaya Harian



Gambar 5. Variasi Intensitas Cahaya Selama 24 jam

Distribusi Intensitas cahaya mulai meningkat secara gradual pada pukul 07:00 WIB dan mengalami peningkatan tajam setelah pukul 08:00 WIB. Puncak intensitas tercapai antara pukul 11:00 hingga 14:00 WIB, dengan nilai maksimum tercatat sebesar 139.000 lux pada pukul 14:00 WIB. Setelah mencapai puncaknya, Intensitas cahaya menurun secara bertahap hingga mendekati nol pada pukul 18:00 WIB, menandakan akhir dari paparan cahaya matahari. Data siklus pencahayaan harian ini menjadi acuan fundamental dalam perancangan sistem pelacak surya. Pemahaman terhadap waktu dan besaran intensitas puncak memungkinkan optimasi posisi panel surya untuk memaksimalkan penyerapan energi.

Tabel 2 : Respon Sensor LDR terhadap Variasi Intensitas Cahaya

Waktu	Lux meter AS803	LDR Utara	LDR Selatan	LDR Barat	LDR Timur
00:00	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0
03:00	1	0	0	0	0
04:00	5	0	0	0	0
05:00	50	0	0	0	1
06:00	100	0	0	0	1
07:00	1000	0	0	0	1
08:00	5642	0	0	0	1
09:00	43000	0	1	0	1
10:00	67000	1	1	0	1
11:00	84000	1	1	0	1
12:00	113000	1	1	1	1
13:00	121000	1	1	1	0
14:00	139000	1	1	1	0
15:00	90000	1	0	1	0
16:00	30000	0	0	1	0
17:00	10000	0	0	1	0
18:00	20	0	0	0	0
19:00	10	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0

Hasil pengukuran menunjukkan korelasi langsung antara intensitas cahaya (lux) dengan respon logika dari empat sensor LDR (utara, selatan, barat, timur) selama 24 jam. Pada kondisi minim cahaya (00:00-04:00), seluruh LDR tidak aktif (logika 0). Saat matahari terbit (mulai pukul 05:00), LDR timur menjadi aktif pertama kali, menandakan arah datangnya cahaya. Menjelang tengah hari (10:00-12:00), intensitas cahaya mencapai puncaknya pada 113.000 lux, dan keempat LDR menunjukkan logika 1 secara bersamaan. Fenomena ini mengindikasikan posisi matahari berada tepat di atas panel surya, memberikan pencahayaan yang merata. Setelah pukul 12:00, terjadi transisi respon, di mana LDR timur nonaktif dan LDR barat mulai aktif, diikuti oleh dominasi LDR barat dan utara pada sore hari (13:00-15:00). Setelah pukul 16:00, hanya LDR barat yang aktif sesaat sebelum semua sensor kembali ke logika 0 pada malam hari. Pola aktivasi sensor ini secara efektif memetakan pergerakan harian matahari dari timur ke barat.

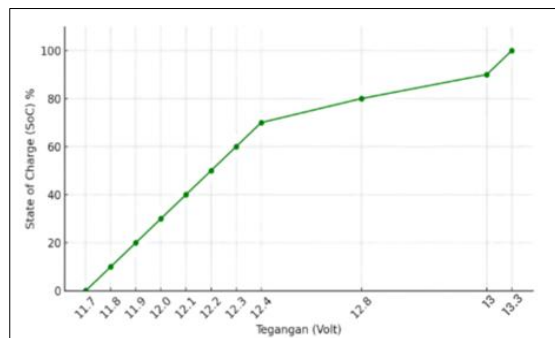
3.2 Pengujian Sensor INA219

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3.2 kemudian dihitung presentase error menggunakan rumus APE & MAPE, dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, sensor INA219 memiliki rata-rata nilai error tegangan senilai 0,40%. dengan hasil ini sensor INA219 sangat baik untuk digunakan.

Tabel 3: Pengujian Sensor INA219

Ya	Voltase	Sensor INA219	Multimeter	Kesalahan
1	4 Volt	4.30 Volt	4.70 Volt	0,14 %
2	6 Volt	6.40 Volt	6.80 Volt	0,79 %
3	8 Volt	8.60 Volt	8.01 Volt	0,57 %
4	10 Volt	10, 50 Volt	10,01 Volt	0,55 %
5	13 Volt	13, 50 Volt	13.01 Volt	0,42 %
Rata-rata				0,40 %

3.3 Pengujian Kapasitas



Gambar 6. Grafik SoC terhadap Tegangan

Pada kondisi ideal dan tanpa beban, tegangan terminal aki yang berkisar antara 13 hingga 13,3 volt menunjukkan bahwa aki berada pada kondisi penuh atau 100% SoC. , Tegangan sebesar 13 volt menunjukkan kapasitas sekitar 90%, yang masih tergolong sangat baik dan umumnya tidak membutuhkan pengisian ulang segera, Pada tegangan 12,8 volt, aki masih menyimpan sekitar 80% kapasitasnya, yang secara praktis menunjukkan bahwa aki masih mampu memberikan daya untuk beban dengan efisiensi yang cukup tinggi.

3.4 CutOff Baterai

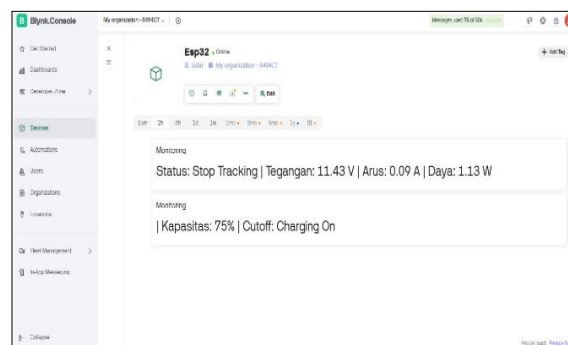
Tabel 4: Evaluasi Cutoff Pengisian Aki

No	Tegangan Baterai (V)	Arus Pengisian (A)	Status Panel
1	11,8	1,4	Aktif
2	11,9	1,3	Aktif
3	12	1,2	Aktif

No	Tegangan Baterai (V)	Arus Pengisian (A)	Status Panel
4	12,2	1,1	Aktif
5	12,4	1	Aktif
6	12,6	0,85	Aktif
7	12,9	0,7	Aktif
8	13,	0,55	Aktif
9	13,1	0,4	Aktif
10	13,2	0,3	Aktif
11	13,3	0	Terputus
12	13,21	0	Terputus
13	13,	0	Terputus
14	12,9	0	Terputus
15	12,8	0,1	Aktif
16	12,9	0,25	Aktif

Sistem berhasil mengimplementasikan fungsi *cutoff* dengan memutus panel surya saat tegangan baterai mencapai ambang batas atas 13,3 V, yang ditandai oleh arus pengisian menjadi nol. Setelah pemutusan, panel tetap nonaktif meskipun tegangan baterai turun hingga 12,9 V, menunjukkan adanya mekanisme histeresis untuk mencegah siklus pengisian yang terlalu cepat (*rapid cycling*). Proses pengisian kembali (*reconnect*) secara otomatis diaktifkan ketika tegangan turun ke ambang batas bawah 12,8 V. Secara keseluruhan, data ini mengonfirmasi bahwa logika kontrol *cutoff* dan reaktivasi panel surya beroperasi secara konsisten dan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

3.5 Tampilan Monitoring IoT Blynk



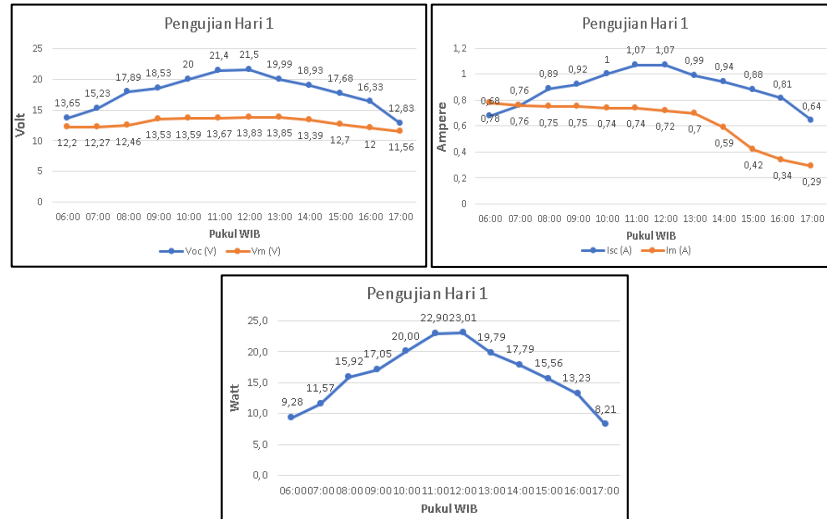
Gambar 7. Tampilan Antarmuka Monitoring Menggunakan Blynk

Pengujian sistem monitoring *Internet of Things* (IoT) memvalidasi keberhasilan integrasi mikrokontroler ESP32 dengan platform Blynk Server melalui jaringan Wi-Fi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan menampilkan data secara *real-time* dengan stabil. Parameter kunci yang berhasil dipantau pada antarmuka web meliputi status operasional (*Stop Tracking*), data solar tracker dual axis (tegangan 11,43 V, arus 0,09 A, daya 1,13 W), serta status baterai (kapasitas 75% dengan kondisi *Charging On*).

B. Pengambilan Data

3.6 Pengujian Tanpa Tracker

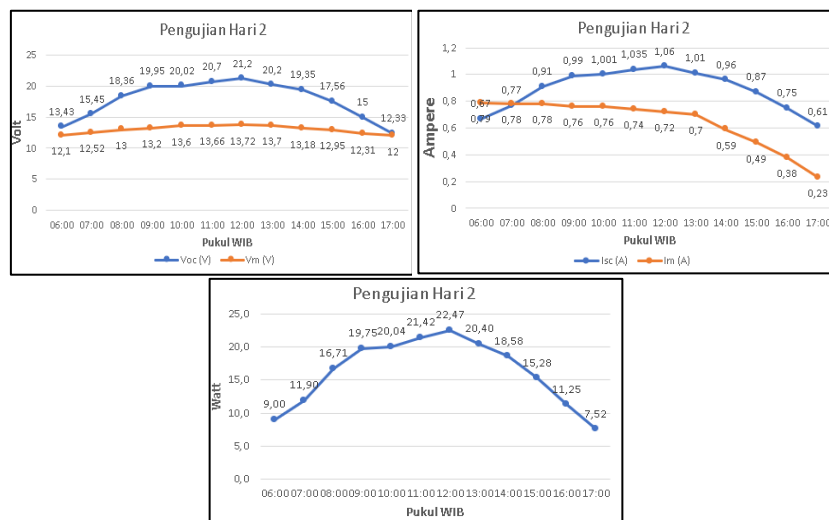
1. Pengujian Voc , Isc , Vm dan Im tanpa Tracker hari pertama



Gambar 8. Pengujian hari pertama tanpa Tracker

Hasil pengujian hari pertama dilakukan pada tanggal 24 Juni 2025, dengan kondisi cuaca cerah, dengan durasi 11 jam yaitu pada pukul 06:00-17:00, pada panel surya dengan sistem tanpa tracker didapatkan total tegangan (Voc) panel surya sebesar 213,96 Volt dengan tegangan rata-rata 17,83 Volt. Sedangkan total nilai arus hubung singkat (Isc) yang didapat sebesar 10,65 Ampere dengan rata-rata 0,89 Ampere. Dan rata-rata Tegangan (Vm) sebesar 12,92 Volt, rata-rata arus (Im) sebesar 0,63 Ampere.

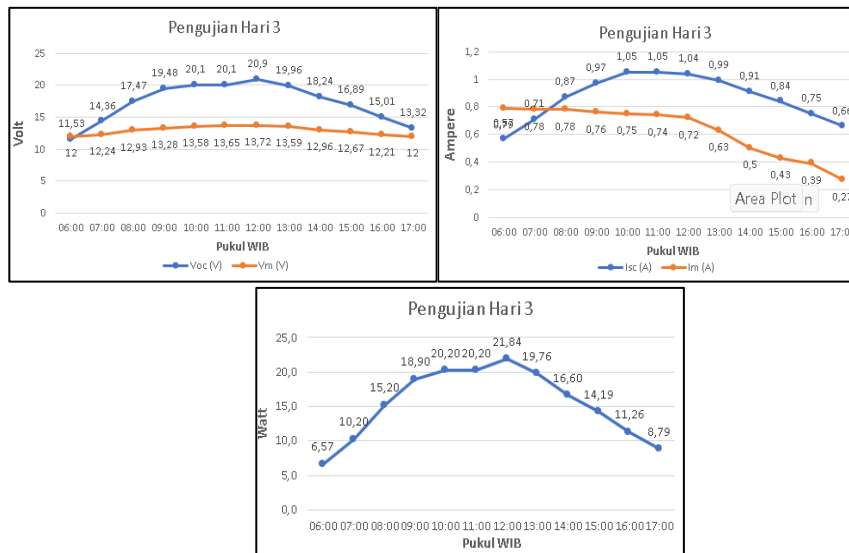
2. Pengujian Voc , Isc , Vm dan Im tanpa Tracker hari kedua



Gambar 9. Pengujian hari kedua tanpa Tracker

Hasil pengujian hari kedua dilakukan pada tanggal 25 Juni 2025 , dengan kondisi cuaca cerah , dengan durasi 11 jam yaitu pada pukul 06:00-17:00, pada panel surya dengan sistem tanpa tracker didapatkan total tegangan panel surya sebesar 213,55 Volt dengan tegangan rata rata 17,8 Volt. Sedangkan total nilai arus hubung singkat (Isc) yang didapat sebesar 10,64 Ampere dengan rata rata 0,89 Ampere. Dan rata-rata Tegangan (Vm) sebesar 13 Volt , rata rata arus (Im) sebesar 0,64 Ampere.

3. Pengujian Voc , Isc , Vm dan Im tanpa Tracker hari ketiga



Gambar 10. Pengujian hari ketiga tanpa Tracker

Hasil pengujian hari ketiga dilakukan pada tanggal 25 Juni 2025 , dengan kondisi cuaca cerah , dengan durasi 11 jam yaitu pada pukul 06:00-17:00, pada panel surya dengan sistem tanpa tracker didapatkan total tegangan panel surya sebesar 207,36 Volt dengan tegangan rata rata 17,28 Volt. Sedangkan total nilai arus hubung singkat (Isc) yang didapat sebesar 10,41 Ampere dengan rata rata 0,87 Ampere. Dan rata-rata Tegangan (Vm) sebesar 12,9 Volt , rata rata arus (Im) sebesar 0,63 Ampere.

Berdasarkan data pengujian, hasil pengujian kemudian dihitung efisiensi panel surya menggunakan persamaan (3) (4) (7). (Pin) modul surya dan faktor pengisian (FF), untuk perhitungan total daya foton (Pin) sebagai berikut:

Untuk menentukan luas panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} &= p \times l \\
 &= 0,42 \text{ m} \times 0,35 \text{ m} \\
 &= 0,157 \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Rata rata hasil pengujian Vm , Im , Voc dan Isc tanpa Tracker selama 3 hari sebagai berikut :

Vmp	Imp	Voc	Isc
12,94	0,63	17,64	0,88

Untuk perhitungan faktor pengisian (FF) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4)$$

$$FF = \frac{12,94 \cdot 0,63}{17,64 \cdot 0,88}$$

$$FF = 0,32$$

Dengan mengetahui luas panel surya dan faktor pengisian maka dengan persamaan (3) efisiensi panel surya statis dapat diketahui yaitu :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

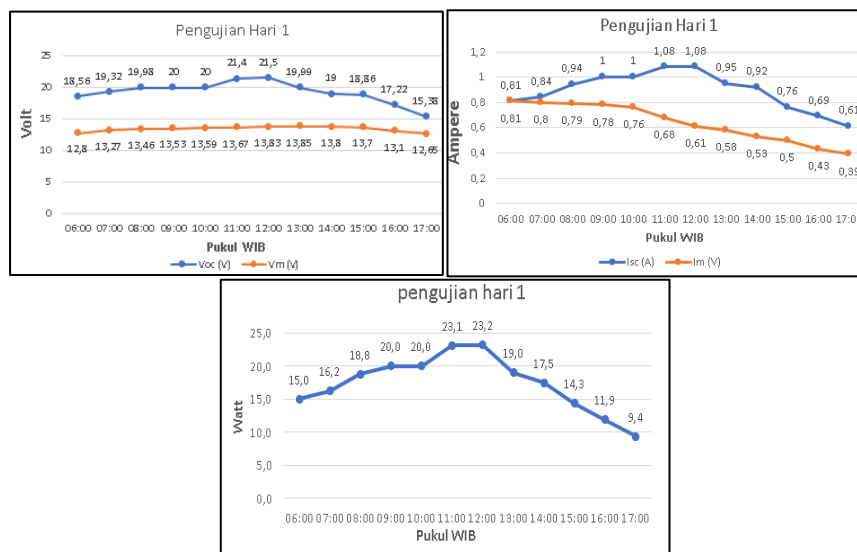
$$= \frac{17,64 \times 0,88 \times 0,32}{1000 \times 0,157} \times 100\%$$

$$= 3,16 \%$$

Sehingga didapatkan hasil efisiensi dari pengujian panel surya tanpa Tracker selama 3 hari adalah sebesar 3,16 %.

3.7 Pengujian Solar Tracker Dual Axis

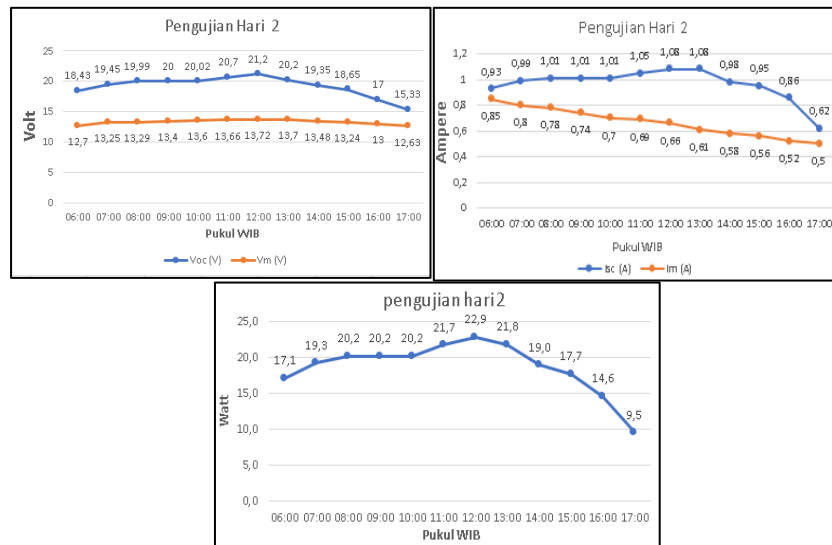
1. Pengujian Voc, Isc, Vm dan Im dengan Tracker hari pertama



Gambar 11. Pengujian hari pertama

pada hari pertama dilakukan pada tanggal 24 Juni 2025 , dengan kondisi cuaca cerah , dengan durasi 11 jam yaitu pada pukul 06:00-17:00, pada panel surya dengan sistem sistem solar tracker dual axis memperoleh tegangan maksimum (Voc) sebesar 21,5 Volt , dan arus tertinggi (Isc) sebesar 1,08 Ampere , daya puncak tercatat 23,22 Watt. Dan rata-rata Tegangan (Vm) sebesar 13,44 Volt , rata rata arus (Im) sebesar 0,64 Ampere.

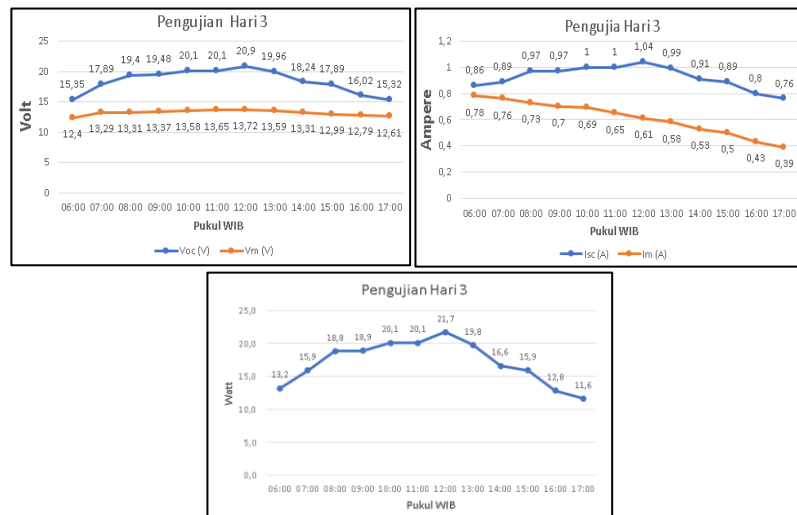
2. Pengujian Voc , Isc , Vm dan Im dengan Tracker hari kedua



Gambar 12. Pengujian hari kedua

Pada hari kedua dilakukan pada tanggal 25 Juni 2025 , dengan kondisi cuaca cerah , dengan durasi 11 jam yaitu pada pukul 06:00-17:00, pada panel surya dengan sistem sistem solar tracker dual axis memperoleh tegangan maksimum (Voc) sebesar 21,2 Volt , dan arus tertinggi (Isc) sebesar 1,08 Ampere , daya puncak tercatat 22,89 Watt. Dan rata-rata Tegangan (Vm) sebesar 13,31 Volt , rata rata arus (Im) sebesar 0,67 Ampere.

3. Pengujian Voc , Isc , Vm dan Im dengan Tracker hari ketiga



Gambar 13. Pengujian hari ketiga

Pada hari ketiga dilakukan pada tanggal 26 Juni 2025 , dengan kondisi cuaca cerah , dengan durasi 11 jam yaitu pada pukul 06:00-17:00, pada panel surya dengan sistem solar tracker dual axis memperoleh tegangan maksimum (Voc) sebesar 20,9 Volt , dan arus tertinggi (Isc)

sebesar 1,04 Ampere , daya puncak tercatat 21,7 Watt. Dan rata-rata Tegangan (V_m) sebesar 13,22 Volt , rata rata arus (I_m) sebesar 0,61 Ampere.

Berdasarkan data pengujian, hasil pengujian kemudian dihitung efisiensi panel surya menggunakan persamaan (3) (4) (7). (Pin) modul surya dan faktor pengisian (FF), untuk perhitungan total daya foton (Pin) sebagai berikut:

Untuk menentukan luas panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= p \times l \\ &= 0,42 \text{ m} \times 0,35 \text{ m} \\ &= 0,157 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Rata rata hasil pengujian V_m , I_m , V_{oc} dan I_{sc} tanpa Tracker selama 3 hari sebagai berikut :

V_{mp}	I_{mp}	V_{oc}	I_{sc}
13,35	0,64	19	0,94

Untuk perhitungan faktor pengisian (FF) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4)$$

$$FF = \frac{13,35 \cdot 0,64}{19 \cdot 0,94}$$

$$FF = 0,47$$

Dengan mengetahui luas panel surya dan faktor pengisian maka dengan persamaan (3) efisiensi panel surya statis dapat diketahui yaitu :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

$$= \frac{19 \times 0,94 \times 0,47}{1000 \times 0,157} \times 100\%$$

$$= 5,34\%$$

Sehingga didapatkan hasil efisiensi dari pengujian Solar Tracker Dual Axis selama 3 hari adalah sebesar 5,34 %.

Selama pengambilan data 3 hari, panel surya tanpa tracker mendapatkan efisiensi sebesar 3,16% , sedangkan penggunaan solar tracker dual axis mendapatkan efisiensi lebih tinggi sebesar 5,34% Dengan total selisih sebesar 2,18%.

Dari data perhitungan dan perbandingan yang disajikan, terbukti bahwa sistem panel surya yang dilengkapi dengan *dual-axis tracker* memiliki keunggulan performa yang jelas. Teknologi pelacak dua sumbu ini memungkinkan panel untuk secara dinamis menjaga orientasi tegak lurus terhadap sinar matahari dari terbit hingga terbenam. Hal ini memaksimalkan penyerapan radiasi surya dan secara langsung meningkatkan efisiensi konversi energi secara keseluruhan, jauh melampaui efisiensi yang dapat dicapai oleh panel surya dengan pemasangan tetap (*fixed*) yang hanya optimal pada jam-jam tertentu.

4. Kesimpulan

Penelitian ini merancang dan menguji sistem catu daya untuk hidroponik metode NFT menggunakan panel surya yang dilengkapi solar tracker dual axis. Sistem yang dikontrol oleh ESP32 ini secara otomatis mengikuti pergerakan matahari berdasarkan intensitas cahaya dari sensor LDR untuk memaksimalkan daya pada panel surya untuk catu daya pada pompa nutrisi hidroponik NFT (Nutrient Film Technique). Hasil pengujian selama 3 hari menunjukkan kinerja yang bervariasi, dengan puncak daya tertinggi mencapai 23,32 Watt. Secara keseluruhan, sistem ini menghasilkan rata-rata tegangan berbeban (V_m) sebesar 13,35 V dan arus berbeban (I_m) sebesar 0,64 A, Tegangan terbuka (V_{oc}) sebesar 19V dan Arus hubung singkat sebesar 0,94 A, serta mencapai efisiensi sistem solar tracker dual axis sebesar 5,31%. Sedangkan sistem tanpa tracker mencapai efisiensi sebesar 3,16%, dengan total selisih sebesar 2,18%.

Implementasi sistem ini secara langsung menjawab tantangan ketergantungan pada listrik konvensional untuk sistem hidroponik. Dengan memanfaatkan energi terbarukan melalui panel surya yang posisinya dioptimalkan, sistem ini tidak hanya mengurangi biaya operasional listrik, tetapi juga mendukung pemanfaatan energi bersih. Integrasi antara subsistem daya dan kontrol otomatis menunjukkan bahwa solusi catu daya mandiri ini sangat layak dan efektif untuk diterapkan pada sistem irigasi modern.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AL MESELMANI, Moaed Ali. Nutrient solution for hydroponics. In: *Recent research and advances in soilless culture*. IntechOpen, 2022.
- [2] S. Samsurizal, M. T. Aji, and K. T. M, "Pemanfaatan Tenaga Surya Pada Photovoltaic Jenis Polycrystalline Untuk Catu Daya Tanaman Hidroponik," *Energi & Kelistrikan*, vol. 13, no. 1, pp. 58–66, 2021, doi: 10.33322/energi.v13i1.984.
- [3] D. Suryana and M. M. Ali, "The Effect Of Temperature On Voltage Produced By Monocrystalline Solar Panel (Case Study: Baristand Industri Surabaya)," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 49–52, 2016.
- [4] D. Desmira, "Aplikasi Sensor Ldr (Light Dependent Resistor) Untuk Efisiensi Energi Pada Lampu Penerangan Jalan Umum," *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 21–29, 2022, doi: 10.30656/prosisko.v9i1.4465.
- [5] T. M. Kawinda *et al.*, "Penerapan Teknologi Internet Of Things Pada Hidroponik Cabai Rawit Dengan Sistem Dutch Bucket Menggunakan ESP32 Dan Blynk Application Of Internet Of Things Technology On Hydroponic Of Chillies With Dutch Bucket System Using ESP32 And Blynk," vol. 8, no. 6, pp. 3377–3385, 2022.
- [6] I. Novianty and W. Sholihah, "Implementasi Alat Pencacah Daun Bambu Kering sebagai Media Tanam dengan Arduino Uno," *Multinetics*, vol. 8, no. 2, pp. 105–114, 2022, doi: 10.32722/multinetics.v8i2.4714.
- [7] L. S. Setiawan, David, Hamzah Eteruddin, "Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Tanaman Hidroponik," *Teknik*, vol. 14, no. 2, pp. 208–215, 2020.

- [8] I. W. Nursatriya, S. Hariyadi, L. D. Kusumayati, and P. P. Surabaya, "Rancangan Monitoring Arus Dan Tegangan Lampu Penerangan Jalan Umum Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU Via Aplikasi Blynk," *Pros. SNITP*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [9] Muliadi, A. Imran, and M. Rasul, "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, pp. 2721–9100, 2020, [Online]. Available: <https://ojs.unm.ac.id/mediaelektrik/article/view/14193>
- [10] Wibowo, Andika Dwi, et al. "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Dengan Pendeteksi Hujan Pada Instalasi Hidroponik NFT Tanpa Atap Berbasis Telegram BOT." *JURNAL TEKNIK ELEKTRO* 11.3 (2022): 471-480.
- [11] H. Wicaksono, D. Djuniadi, and E. Apriaskar, "Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis Internet of Things," *J. Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 2, p. 118, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i2.010.
- [12] Puspita, Tiya, Yus Rama Denny, and Ilham Akbar Darmawan. "Pres (Photovoltaic Renewable Energy Resources): Rancang Bangun Esp Berbasis Modul Surya 50 WP Pada Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique)." *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman* 2.2 (2023): 01-14.
- [13] A. E. Jeecae, A. Nugraha, M. Bin Ardin, and S. Hidayat, "Rancang Bangun Alat Perotasi Panel Surya Dua Sumbu Berbasis Arduino," *JEECAE J. Electr. Electron. Control Automot. Eng.*, vol. 08, no. 02, pp. 2–7, 2023.
- [14] E. Winambo, "Kinerja Charger Controller dan Akumulator di Kampus III Universitas PGRI Semarang," *J. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–30, 2022.
- [15] de Castro Silva, Marina Galdez, et al. "AA global overview of hydroponics: nutrient film technique." *Revista Engenharia na Agricultura-REVENG* 29.Contínua (2021): 138-145.