Jurnal: Elektrika Borneo (JEB)
Vol. 12, No. 2, Oktober 2026, hlm. 134-139 p-ISSN 2443-0986
e-ISSN 2685-001X

RANCANG BANGUN *SISTEM SOLAR TRACKER SINGLE AXIS* PADA PLTS BERBASIS IOT DENGAN METODE *REAL TIME CLOCK* UNTUK *REMOTE AREA*

Fitriani Said[1], Abil Huda[2], Ade Ikwan Abdillah[3], Muhammad Zainul F[4]

[1,2,3]*Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia*

[1]fitriani@borneo.ac.id;fitrianiubt22@gmail.com
[2]abilhuda@gmail.com

Abstract*—The performance of photovoltaic systems is strongly affected by the fixed position of solar panels, causing variations in solar radiation reception due to changes in the sun's position throughout the day. This study aims to design and implement a single-axis solar tracker system based on ESP32 and Real Time Clock (RTC) to improve the output power of photovoltaic modules. The proposed system uses an RTC DS3231SN as a time reference for controlling the panel orientation, an ESP32 microcontroller as the main control unit, a servo motor as an actuator, and an INA219 sensor for monitoring electrical parameters integrated with the Blynk Internet of Things platform. The performance evaluation was conducted by comparing a solar tracker module with a fixed-angle solar panel system based on voltage, current, and power measurements. Experimental testing was carried out for 14 days to analyze the energy improvement produced by the tracking system. The results show that the implementation of the single-axis solar tracker increased the output energy compared to the static system, with an improvement range of 5.1% to 10.8% and an average increase of 7.0%. These results indicate that the proposed RTC-based solar tracker system can improve photovoltaic performance while providing real-time monitoring capability through IoT implementation.

***Keywords*—Solar Tracker; ESP32; Real Time Clock; Internet of Things; Photovoltaic System**

I*ntisari*—Kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya dipengaruhi oleh posisi tetap panel surya yang menyebabkan penerimaan radiasi matahari tidak selalu optimal akibat perubahan posisi matahari sepanjang hari. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem solar tracker single axis berbasis ESP32 dan Real Time Clock (RTC) untuk meningkatkan output daya modul surya. Sistem yang dikembangkan menggunakan RTC DS3231SN sebagai pengatur posisi panel berdasarkan waktu, ESP32 sebagai pengendali utama, motor servo sebagai penggerak mekanik, serta sensor INA219 untuk memantau parameter listrik yang terintegrasi dengan platform Internet of Things (IoT) Blynk. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja modul surya menggunakan solar tracker dengan modul surya statis berdasarkan parameter tegangan, arus, dan daya keluaran. Pengambilan data dilakukan selama 14 hari untuk mengetahui peningkatan energi yang dihasilkan oleh sistem tracking. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem solar tracker single axis mampu meningkatkan output energi dibandingkan sistem statis dengan peningkatan sebesar 5,1% hingga 10,8% dan rata-rata peningkatan sebesar 7,0%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem solar tracker berbasis RTC dan IoT mampu meningkatkan performa modul surya serta menyediakan kemampuan monitoring parameter listrik secara real time.

***Kata Kunci*—Solar Tracker; ESP32; Real Time Clock; Internet of Things; Panel Surya**

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas masyarakat dan perkembangan sektor industri. Peningkatan kebutuhan energi serta keterbatasan sumber energi fosil mendorong pengembangan sumber energi terbarukan, salah satunya energi surya. Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar karena memperoleh intensitas radiasi matahari sepanjang tahun, sehingga pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjadi salah satu teknologi yang banyak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi berkelanjutan [1].

Sistem PLTS memanfaatkan modul fotovoltaik untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Namun, performa modul fotovoltaik sangat dipengaruhi oleh sudut datang cahaya matahari terhadap permukaan panel. Pada sistem pemasangan konvensional, panel surya umumnya dipasang pada sudut kemiringan tetap sehingga posisi panel tidak selalu berada pada kondisi optimal ketika matahari mengalami perubahan posisi sepanjang hari. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan penerimaan radiasi matahari dan berpengaruh terhadap daya keluaran yang dihasilkan.

Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan penerimaan energi matahari adalah penerapan sistem solar tracker. Sistem ini memungkinkan panel surya bergerak mengikuti perubahan posisi matahari sehingga sudut penerimaan cahaya dapat dipertahankan lebih optimal. Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem solar tracker berbasis mikrokontroler dan Internet of Things (IoT). Alfita dkk. merancang solar tracker four axis berbasis IoT untuk meningkatkan kemampuan pelacakan posisi matahari [2]. Syahab dkk. juga mengembangkan sistem solar tracker otomatis berbasis IoT untuk mendukung proses pengisian energi panel surya [3].

Selain itu, penelitian mengenai peningkatan performa panel menggunakan sistem tracking telah menunjukkan adanya peningkatan efisiensi dibandingkan sistem statis. Fauzi dkk. mengembangkan sistem solar tracking menggunakan Arduino Uno dan menunjukkan adanya peningkatan efisiensi panel surya setelah menggunakan mekanisme pelacakan [4]. Namun, beberapa penelitian sebelumnya masih banyak menggunakan pendekatan berbasis sensor intensitas cahaya atau konfigurasi tracking

yang lebih kompleks, sehingga diperlukan alternatif sistem yang lebih sederhana dengan mekanisme pengendalian yang stabil dan mudah diterapkan.

Penelitian ini mengembangkan sistem solar tracker single axis berbasis ESP32 dengan metode pengaturan posisi menggunakan Real Time Clock (RTC) DS3231SN. Berbeda dengan sistem berbasis sensor cahaya, metode yang digunakan menentukan perubahan sudut panel berdasarkan waktu pergerakan matahari yang telah diprogram. Sistem juga dilengkapi sensor INA219 dan platform Blynk sebagai media monitoring parameter listrik secara real time. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan sistem tracking yang sederhana, efisien, dan mampu meningkatkan performa modul surya dibandingkan sistem statis.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem solar tracker single axis berbasis ESP32 dan RTC serta menganalisis peningkatan output daya modul surya melalui perbandingan antara sistem tracker dan sistem panel surya statis.

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan modul fotovoltaik untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Besarnya daya listrik yang dihasilkan modul surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti intensitas radiasi matahari, temperatur modul, karakteristik panel, serta sudut datang cahaya terhadap permukaan panel. Pada sistem PLTS konvensional, modul surya umumnya dipasang pada posisi tetap dengan sudut kemiringan tertentu. Konfigurasi tersebut menyebabkan penerimaan radiasi matahari tidak selalu optimal karena posisi matahari mengalami perubahan sepanjang hari [1].

B. Solar Tracker Single Axis

Solar tracker merupakan sistem mekanik dan kontrol yang digunakan untuk mengubah orientasi modul surya agar mengikuti posisi matahari. Berdasarkan jumlah arah pergerakannya, solar tracker dapat dibedakan menjadi single axis dan dual axis. Solar tracker single axis memungkinkan panel bergerak pada satu sumbu rotasi untuk menyesuaikan perubahan posisi matahari dari arah timur ke barat. Sistem ini memiliki konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dual axis sehingga lebih mudah diterapkan pada sistem PLTS skala kecil. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan solar tracker mampu meningkatkan penerimaan energi dibandingkan sistem panel tetap karena posisi panel dapat dipertahankan lebih optimal terhadap arah datang cahaya matahari [2,3,4].

C. ESP32 dan Real Time Clock (RTC) sebagai Sistem Kendali

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam aplikasi Internet of Things karena memiliki kemampuan pemrosesan data dan fitur komunikasi nirkabel melalui koneksi Wi-Fi. Pada penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pusat pengolahan data dan pengendalian pergerakan motor servo berdasarkan informasi waktu.

Real Time Clock (RTC) DS3231SN digunakan sebagai referensi waktu untuk menentukan posisi sudut panel surya. Berbeda dengan metode berbasis sensor cahaya yang membaca kondisi lingkungan secara langsung, metode berbasis RTC mengatur pergerakan panel berdasarkan jadwal waktu matahari yang telah diprogram sebelumnya. Kombinasi ESP32 dan RTC memungkinkan sistem tracking memiliki kontrol posisi yang stabil serta mendukung integrasi monitoring berbasis IoT.

D. Internet of Things (IoT) pada Sistem Monitoring Energi

Internet of Things (IoT) merupakan konsep integrasi perangkat elektronik dengan jaringan komunikasi untuk melakukan pengumpulan, pengiriman, dan pemantauan data secara real time. Dalam sistem solar tracker ini, IoT digunakan untuk memonitor parameter kelistrikan panel surya melalui platform Blynk. Data yang diperoleh dari sensor INA219 berupa nilai tegangan dan arus dapat ditampilkan secara langsung sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan performa sistem tanpa melakukan pengukuran manual [3,10].

E. Parameter Performa Modul Surya

Kinerja modul surya dalam penelitian ini dievaluasi berdasarkan parameter tegangan, arus, dan daya keluaran. Daya listrik yang dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \tag{1}$$

Keterangan:
P = Daya keluraran (W);
V = Tegangan (V);
I = Arus (A);

Perbandingan performa antara sistem tracker dan sistem statis dilakukan dengan menghitung peningkatan daya menggunakan persamaan:

$$Gain(\%) = \frac{P_{tracker} \times P_{statis}}{P_{statis}} \times 100\% \tag{2}$$

Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui efektivitas penerapan solar tracker terhadap peningkatan output daya modul surya.

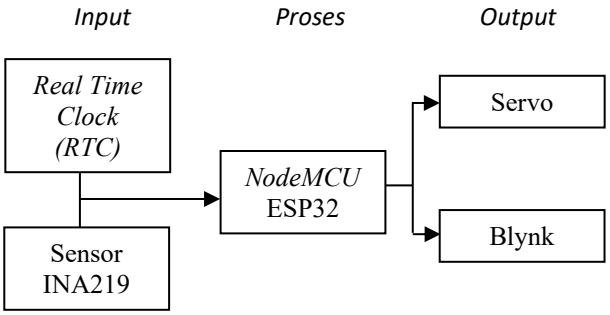
III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem Solar Tracker

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan merancang dan menguji sistem solar tracker single axis berbasis ESP32 dan Real Time Clock (RTC). Sistem yang dirancang bertujuan untuk mengatur perubahan posisi panel surya berdasarkan referensi waktu matahari serta membandingkan performanya terhadap sistem panel surya statis.

Perancangan sistem terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sistem input, sistem proses, dan sistem output. Bagian input terdiri dari RTC DS3231SN sebagai sumber informasi waktu serta sensor INA219 sebagai pembaca parameter listrik panel surya. Data input diproses oleh ESP32 sebagai unit kontrol utama untuk menghasilkan perintah pergerakan motor servo. Bagian output berupa perubahan posisi panel surya melalui mekanisme single

axis tracker dan sistem monitoring parameter listrik menggunakan platform Blynk.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian terdiri dari modul fotovoltaik, sistem kontrol, aktuator mekanik, sensor pengukuran, dan perangkat monitoring.

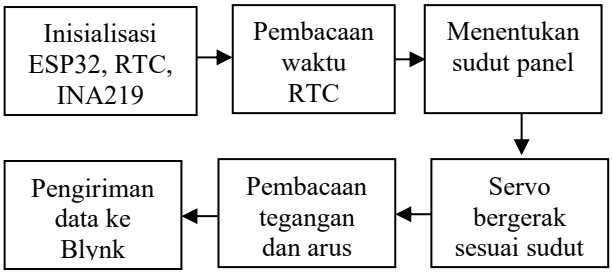
Tabel I
Spesifikasi komponen system

Komponen	Fungsi
Modul surya 50 WP	Menghasilkan energi listrik dari radiasi matahari
ESP32	Pengendali utama sistem
RTC DS3231SN	Memberikan referensi waktu pergerakan panel
Motor Servo RDS5160	Menggerakkan posisi panel surya
Sensor INA219	Mengukur tegangan dan arus keluaran
SCC PWM	Mengatur pengisian baterai
Baterai	Penyimpanan energi listrik
Blynk	Monitoring parameter sistem melalui IoT

Pada sistem mekanik, modul surya dipasang pada rangka yang memungkinkan pergerakan satu arah rotasi. Motor servo digunakan sebagai aktuator untuk mengubah sudut panel berdasarkan instruksi yang diberikan oleh ESP32.

C. Perancangan Sistem Kendali dan Monitoring IoT

Sistem kendali menggunakan metode pengaturan posisi berbasis waktu dengan RTC DS3231SN. RTC memberikan informasi waktu kepada ESP32 yang kemudian menentukan sudut pergerakan panel sesuai dengan program yang telah dibuat. Berbeda dengan sistem tracking berbasis sensor cahaya yang menentukan posisi berdasarkan intensitas radiasi secara langsung, metode RTC menentukan posisi panel berdasarkan perubahan waktu matahari. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan sistem kontrol yang sederhana dan stabil.



Gambar 2. Diagram balok kerja system

Sensor INA219 digunakan untuk membaca nilai tegangan dan arus keluaran modul surya. Data tersebut dikirim melalui ESP32 dan ditampilkan pada aplikasi Blynk sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara real time.

D. Metode Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan dengan membandingkan performa dua konfigurasi sistem, yaitu:

1. Modul surya menggunakan solar tracker single axis.
2. Modul surya statis dengan sudut kemiringan tetap 10°.

Pengambilan data dilakukan selama 14 hari dengan parameter pengukuran:

1. tegangan keluaran (V),
2. arus keluaran (A),
3. daya keluaran (W),
4. sudut posisi panel.

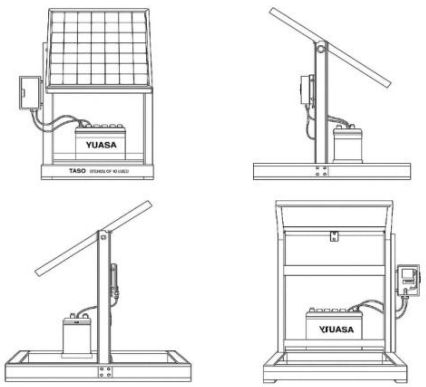
Nilai daya keluaran dihitung menggunakan persamaan (1) dengan perbandingan peningkatan performa sistem tracker terhadap sistem statis dihitung menggunakan persamaan (2). Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh penerapan sistem solar tracker terhadap peningkatan output daya modul surya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem Solar Tracker

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototype solar tracker single axis berbasis ESP32 dan Real Time Clock (RTC) DS3231SN yang berfungsi untuk mengatur perubahan posisi modul surya berdasarkan waktu yang telah diprogram. Sistem terdiri dari bagian mekanik berupa rangka penyangga dan mekanisme rotasi satu sumbu, serta bagian elektronik yang terdiri dari ESP32, RTC DS3231SN, motor servo RDS5160, sensor INA219, solar charge controller, baterai, dan modul komunikasi IoT.

Prototype dirancang agar modul surya dapat mengalami perubahan sudut orientasi mengikuti perubahan posisi matahari dari arah timur menuju barat. Pergerakan panel dikendalikan oleh ESP32 berdasarkan data waktu yang diperoleh dari RTC. Berbeda dengan sistem tracker berbasis sensor cahaya yang menentukan posisi berdasarkan perubahan intensitas radiasi secara langsung, sistem yang dikembangkan menggunakan pendekatan berbasis waktu sehingga perubahan sudut panel dilakukan berdasarkan jadwal pergerakan matahari yang telah ditentukan.



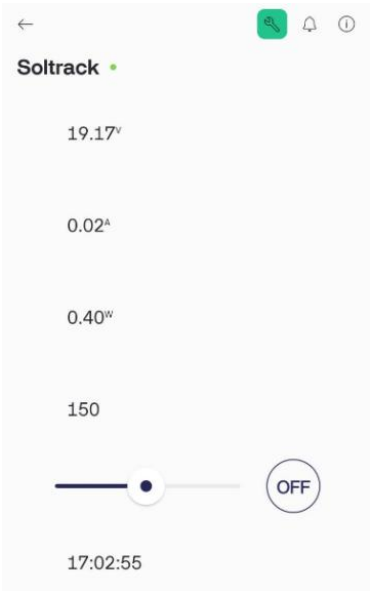
Gambar 3. Design prototype sistem solar tracker single axis berbasis ESP32 dan RTC

Berdasarkan hasil implementasi, seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik. ESP32 mampu menjalankan proses pengolahan data waktu dari RTC serta memberikan sinyal kendali kepada motor servo untuk mengubah posisi panel. Sistem monitoring juga berhasil diintegrasikan menggunakan sensor INA219 dan platform Blynk sehingga parameter listrik panel dapat dipantau secara real time.

B. Pengujian Sistem Kendali dan Monitoring IoT

Sebelum dilakukan pengujian performa energi, sistem terlebih dahulu diuji untuk memastikan fungsi setiap bagian berjalan sesuai rancangan. Pengujian meliputi respon RTC dalam memberikan informasi waktu, respon motor servo terhadap perintah ESP32, pembacaan sensor INA219, serta pengiriman data menuju aplikasi Blynk.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa RTC DS3231SN mampu memberikan referensi waktu yang digunakan sebagai dasar perubahan posisi panel. Motor servo dapat bergerak mengikuti sudut yang telah diprogram pada mikrokontroler. Sensor INA219 juga mampu membaca parameter tegangan dan arus keluaran panel surya yang kemudian dikirimkan melalui ESP32 menuju aplikasi monitoring.



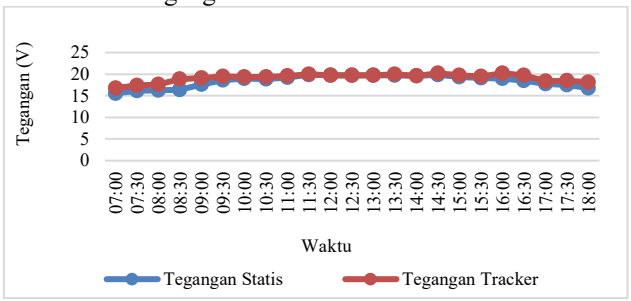
Gambar 4. Tampilan Monitoring Parameter Listrik pada Platform Blynk

Kemampuan monitoring berbasis IoT memberikan kemudahan dalam proses pengamatan performa sistem karena data kelistrikan dapat dipantau tanpa melakukan pengukuran secara langsung pada perangkat.

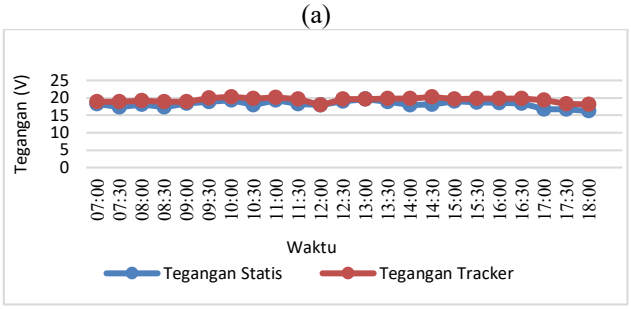
C. Pengujian Perbandingan Panel Tracker dan Panel Statis

Pengujian utama dilakukan dengan membandingkan dua konfigurasi modul surya, yaitu modul surya menggunakan solar tracker single axis dan modul surya statis dengan sudut kemiringan tetap sebesar 10°. Pengujian dilakukan selama 14 hari dengan pengambilan data berdasarkan parameter tegangan, arus, daya keluaran, dan sudut posisi panel. Data hasil pengukuran digunakan untuk mengetahui pengaruh sistem tracking terhadap peningkatan performa modul surya.

1. Analisis Tegangan



(a)

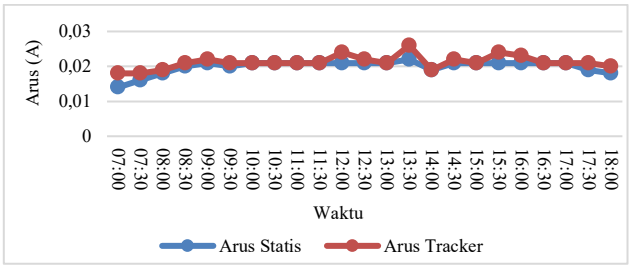


(b)

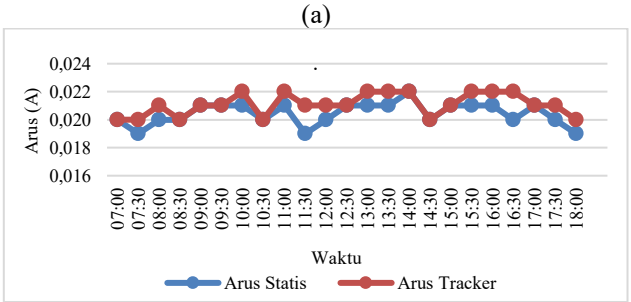
Gambar 5. (a) Grafik perbandingan tegangan 11/06/26, (b) Grafik perbandingan tegangan 12/06/26

Berdasarkan hasil pengukuran, sistem solar tracker menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan sistem statis pada sebagian besar waktu pengujian. Perbedaan tegangan paling terlihat pada pagi dan sore hari ketika posisi matahari belum tegak terhadap permukaan panel statis. Peningkatan tegangan terjadi karena sistem tracker mampu mengubah orientasi panel sehingga sudut datang radiasi matahari terhadap permukaan modul menjadi lebih optimal.

2. Analisis arus



(a)



(b)

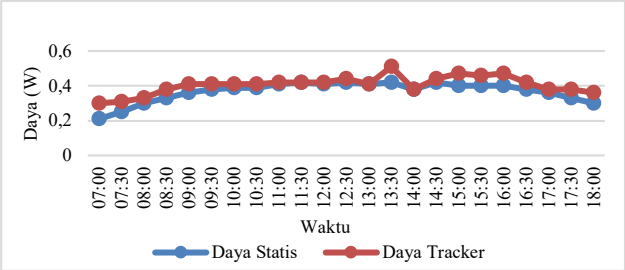
Gambar 6. (a) Grafik perbandingan arus 11/06/26, (b) Grafik perbandingan arus 12/06/26

Parameter arus menunjukkan kecenderungan yang sama dengan tegangan. Sistem tracker menghasilkan nilai arus yang lebih tinggi karena panel mampu menerima radiasi matahari dengan orientasi yang lebih sesuai.

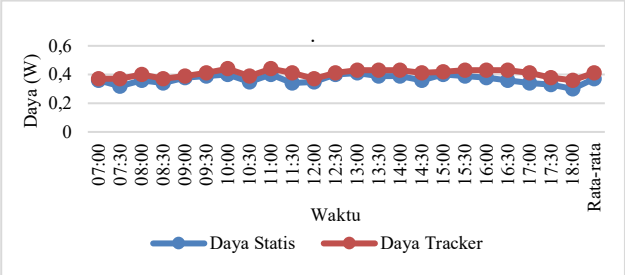
Perubahan arus sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima permukaan panel. Ketika posisi panel tidak sesuai dengan arah matahari, energi yang diterima modul akan berkurang sehingga arus keluaran mengalami penurunan.

D. Analisis Daya Keluaran Sistem

Daya keluaran menjadi parameter utama untuk mengevaluasi keberhasilan sistem solar tracker. Nilai daya dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan persamaan (1).



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Grafik perbandingan daya 11/06/26, (b) Grafik perbandingan daya 12/06/26

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa panel menggunakan sistem tracker menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan panel statis. Perbedaan performa paling terlihat pada kondisi pagi dan sore hari karena panel statis mengalami penurunan penerimaan cahaya akibat perubahan sudut matahari.

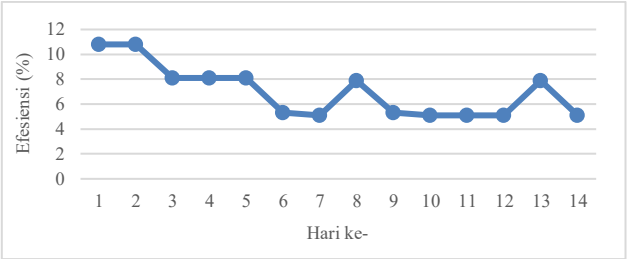
E. Analisis Peningkatan Daya Sistem Tracker

Untuk mengetahui efektivitas sistem yang dikembangkan, dilakukan perhitungan peningkatan daya menggunakan persamaan (2).

Hasil pengujian selama 14 hari menunjukkan bahwa sistem solar tracker mampu menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan sistem panel statis.

Tabel II
Parameter Utama Rancangan Interkoneksi

Hari Pengujian	Gain Peningkatan Daya (%)
1	10,8
2	10,8
3	8,1
4	8,1
5	8,1
6	5,3
7	5,1
8	7,9
9	5,3
10	5,1
11	5,1
12	5,1
13	7,9
14	5,1



Gambar 8. Grafik peningkatan daya sistem tracker

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem tracker memberikan peningkatan daya dengan rentang 5,1% hingga 10,8%, dengan rata-rata peningkatan sebesar 7,0%. Variasi nilai peningkatan dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan selama pengujian, seperti intensitas radiasi matahari, kondisi awan, serta temperatur permukaan panel.

F. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan solar tracker single axis berbasis RTC mampu meningkatkan performa modul surya dibandingkan sistem statis. Peningkatan rata-rata sebesar 7,0% menunjukkan bahwa metode pengaturan posisi berbasis waktu dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan penerimaan energi matahari. Hasil ini sejalan dengan penelitian Fauzi dkk. yang menunjukkan bahwa sistem tracking mampu meningkatkan efisiensi panel surya dibandingkan sistem tetap [4]. Selain itu, penelitian Alfita dkk. menunjukkan bahwa implementasi solar tracker berbasis IoT dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam melakukan pengaturan posisi panel [2]. Berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan sensor intensitas cahaya sebagai metode pelacakan, penelitian ini menggunakan RTC sebagai referensi waktu sehingga sistem memiliki rancangan yang lebih sederhana dengan tetap mampu meningkatkan output daya panel surya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem solar tracker single axis berbasis ESP32 dan Real Time Clock (RTC) DS3231SN berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mengatur perubahan posisi modul surya berdasarkan referensi waktu. Integrasi antara ESP32, RTC, motor servo, sensor INA219, dan platform Blynk mampu bekerja sesuai rancangan, sehingga sistem dapat melakukan pengendalian posisi panel serta monitoring parameter listrik secara real time.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan sistem solar tracker mampu meningkatkan performa modul surya dibandingkan dengan sistem panel statis pada sudut kemiringan tetap 10°. Berdasarkan pengujian selama 14 hari, peningkatan daya yang diperoleh berada pada rentang 5,1% hingga 10,8% dengan rata-rata peningkatan sebesar 7,0%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa mekanisme tracking satu sumbu mampu mempertahankan posisi panel lebih optimal terhadap perubahan posisi

matahari sehingga menghasilkan output daya yang lebih tinggi.

Sistem solar tracker berbasis RTC yang dikembangkan dapat menjadi alternatif metode pengendalian posisi panel surya dengan rancangan yang sederhana dan terintegrasi IoT. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan meningkatkan akurasi pergerakan panel, menambahkan parameter lingkungan seperti intensitas cahaya dan temperatur, serta melakukan pengujian pada kondisi geografis dan kapasitas panel yang berbeda

REFERENSI

[1] S. Rahmawati, A. Supriyadi, and B. Y. Hadi, "Optimasi jaringan distribusi untuk menjamin stabilitas sistem tenaga listrik," *Jurnal Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 45–52, Mar. 2019.

[2] Afif, F., & Martin, A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(1), 43–52.

[3] Alfita, R., Ibadillah, A. F., Rahmawati, D., Kusuma, M. K. H., Kurniawan, A., Nahari, R. V., & Pramudia, M. (2020). Perancangan Solar Tracker Four Axis Berbasis Internet of Things (IoT). *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(2), 404. https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i2.404

[4] Syahab, A. S., Romadhon, H. C., & Hakim, M. L. (2019). Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis Pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(2), 21–29. https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.120

[5] Fauzi, K. W., Arfianto, T., & Taryana, N. (2018). Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno. *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 4(1), 63–74. https://doi.org/10.15575/telka.v4n1.63-74

[6] Samsurizal, Awaluddin, M., Azzahra, S., Pasra, N., & Makkulau, A. (2024). Article Text-1685-1-10-20240903., 18(03).

[7] Nurdiansyah, M., Sinurat, E. C., Bakri, M., Ahmad, I., & Prasetyo, A. B. (2020). Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino Uno. *JTIKOM*, 1(2).

[8] Sitorus, B., Tumaliang, H., & Patras, L. S. (2020). Perancangan Panel Surya Pelacak Arah Matahari Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 5(3), 1–12.

[9] Simatupang, S., Susilo, B., Hermanto, B., & Korespondensi, P. (2013). Rancang Bangun dan Uji Coba Solar Tracker pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler ATMega16. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(1), 55–59.

[10] Hilal, A., & Manan, S. (2015). Pemanfaatan Motor Servo Sebagai Penggerak CCTV untuk Melihat Alat-Alat Monitor dan Kondisi Pasien di Ruang ICU. *Gema Teknologi*, 17(2), 95–99. https://doi.org/10.14710/gt.v17i2.8924

[11] Wikantama, P. T., & Puspitasari, R. (2023). Perancangan Perangkat Pengukur Ketinggian Banjir dengan ESP32 dan Telegram Berbasis IoT. *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, 13(02), 107–114. https://doi.org/10.47709/elektriese.v13i02.3108

[12] Yasmini, L. P. B., Valentina, D. N., & Risha, N. (2025). Effectiveness of Monocrystalline Solar Panel Tilt Angle to Output Power and Efficiency: Case Study for Singaraja-Bali. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 14(1), 168–177. https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v14i1.94203

[13] Aprilianti, K. P., Baghta, N. A., Aryani, D. R., Jufri, F. H., & Utomo, A. R. (2020). Potential Assessment of Solar Power Plant: A Case Study of a Small Island in Eastern Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 599(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012026