

Energy Optimization: Tilting Solar Panels to Follow the Direction of the Sun for Maximum Efficiency

Optimalisasi Energi: Memiringkan Panel Surya PLTS Mengikuti Arah Matahari untuk Efisiensi Maksimal Menggunakan RTC

Dymas Hendra Kusuma¹, Izza Anshory²
{dymashendra888@gmail.com¹, izzaanshory@umsida.ac.id²}

^{1,2} Universitas Muhammadiyah Sidoarjo¹, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstract. *This study explores the use of a Real-Time Clock (RTC) to enhance the energy conversion efficiency of solar panels by automatically adjusting their tilt angle. Solar panels equipped with RTC demonstrated a significant increase in energy output compared to fixed-angle panels. During the testing period, panels with RTC achieved an average daily energy increase of approximately 20-30% in open locations and up to 35-40% in obstructed areas. The RTC enables tilt adjustments to follow the sun's movement throughout the day, optimizing sunlight absorption. The findings support the implementation of automated tracking technology as an effective method to improve solar power system efficiency, reduce reliance on conventional energy sources, and support the transition to renewable energy sources.*

Keywords - Real-Time Clock (RTC); Energy Conversion Efficiency; Solar Panels with Tracking System; Solar Tracker; Tilt Angle Optimization

Abstrak Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan Real-Time Clock (RTC) untuk meningkatkan efisiensi konversi energi panel surya dengan menyesuaikan sudut kemiringan secara otomatis. Panel surya yang dilengkapi dengan RTC menunjukkan peningkatan signifikan dalam output energi dibandingkan dengan panel yang dipasang pada sudut tetap. Selama periode pengujian, panel dengan RTC menghasilkan peningkatan rata-rata energi harian sekitar 20-30% di lokasi terbuka dan hingga 35-40% di lokasi yang terhalang objek. RTC memungkinkan penyesuaian sudut kemiringan panel untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, memaksimalkan penyerapan sinar matahari. Hasil penelitian mendukung penerapan teknologi pelacakan otomatis sebagai metode efektif untuk meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya, mengurangi ketergantungan pada energi konvensional dan mendukung transisi menuju sumber energi terbarukan..

Kata Kunci - Real-Time Clock (RTC); Efisiensi Konversi Energi; Panel Surya dengan Sistem Pelacakan; Solar Tracker; Pengoptimalan Sudut Kemiringan.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi di Indonesia saat ini masih didominasi oleh sumber energi tak terbarukan, khususnya minyak bumi dan batu bara. Namun, dengan berjalannya waktu, ketersediaan energi fosil semakin menipis. Untuk mengantisipasi kekurangan ini, energi baru terbarukan menjadi alternatif yang paling menjanjikan [1]. Energi terbarukan semakin mendominasi diskursus global mengenai solusi untuk mengatasi krisis energi dan perubahan iklim. Di antara berbagai sumber energi terbarukan, energi matahari telah menjadi pilihan utama berkat ketersediaannya yang melimpah dan kemajuan teknologi yang terus berkembang. Salah satu komponen kunci dari sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah panel surya, yang berfungsi untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Namun, efektivitas konversi ini sangat bergantung pada cara panel surya diposisikan dan diatur. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan untuk pembangkit listrik sering kali melibatkan pemasangan panel surya yang bersifat tetap. Hal ini mengakibatkan penerimaan sinar matahari pada panel surya tidak optimal, sehingga kemampuan panel untuk menangkap cahaya matahari sepanjang hari menjadi kurang maksimal, dan pada akhirnya, energi yang diserap juga tidak mencapai potensi maksimum [2].

Optimasi posisi panel surya merupakan faktor krusial untuk memastikan bahwa sistem PLTS beroperasi dengan efisiensi maksimal. Energi panas matahari telah lama dimanfaatkan oleh manusia dengan berbagai teknologi, mulai dari yang sederhana hingga yang canggih, untuk menyerap panas secara maksimal. Pengembangan teknologi penangkapan panas matahari kini termasuk penggunaan panel surya yang dilengkapi dengan sistem pelacak aktif, yang dikenal sebagai Solar Tracker [3]. Salah satu metode yang terbukti efektif dalam meningkatkan performa panel surya adalah dengan memiringkan panel sesuai dengan arah matahari. Dengan memanfaatkan teknik ini, panel surya dapat menangkap lebih banyak sinar matahari sepanjang hari dan mengurangi kehilangan energi yang disebabkan oleh sudut penangkapan yang suboptimal. Teknik pemiringan ini melibatkan penyesuaian sudut kemiringan panel surya baik secara manual maupun otomatis. Sistem pelacakan matahari otomatis menggunakan sensor dan aktuator untuk

menyesuaikan posisi panel secara real-time mengikuti pergerakan matahari, yang dapat meningkatkan efisiensi konversi energi secara signifikan. Salah satu cara untuk mencegah hal tersebut adalah dengan menggunakan serangkaian aktuator, seperti motor servo, untuk mengarahkan panel surya ke arah cahaya matahari. Metode ini membantu meningkatkan jumlah energi yang diserap oleh panel surya. [4]

Panel surya menghasilkan energi listrik dapat dimanfaatkan sebagai sumber listrik melalui penggunaan panel fotovoltaik atau sistem pemusatan sinar surya. Untuk mencapai efisiensi maksimum dalam penangkapan cahaya matahari, panel surya perlu selalu diarahkan langsung ke arah sinar matahari. [5] Namun, efisiensi konversi ini sangat dipengaruhi oleh sudut datangnya sinar matahari terhadap permukaan panel. Ketika matahari bergerak dari timur ke barat sepanjang hari, sudut cahaya matahari relatif terhadap panel surya berubah. Jika panel surya dibiarkan dalam posisi tetap tanpa penyesuaian, panel tersebut mungkin tidak dapat menangkap cahaya matahari secara optimal selama seluruh periode waktu. Untuk mengoptimalkan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya, penting untuk merancang sistem dengan menentukan sudut kemiringan panel yang paling ideal, sehingga dapat menangkap radiasi matahari secara maksimal. [6]

Lebih lanjut, perubahan musiman mempengaruhi sudut optimal dari sinar matahari yang diterima oleh panel surya. Energi yang dikeluarkan oleh Matahari memengaruhi iklim, cuaca, dan berbagai proses biologis yang berlangsung di Bumi. Di negara-negara dengan empat musim, sudut kemiringan ideal dapat berbeda secara signifikan antara musim panas dan musim dingin. Menyesuaikan sudut panel surya secara dinamis untuk mengakomodasi perubahan musiman dapat memaksimalkan penangkapan sinar matahari sepanjang tahun, meningkatkan total energi yang dihasilkan, dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.

Teknologi modern menawarkan berbagai solusi untuk mengoptimalkan penyesuaian sudut kemiringan panel surya. Sistem pelacakan matahari yang canggih dapat menyesuaikan posisi panel secara otomatis, memungkinkan sistem PLTS untuk beradaptasi dengan perubahan posisi matahari sepanjang hari dan sepanjang tahun. Real-Time Clock (RTC) digunakan untuk menetapkan waktu pengujian dan mengontrol pergerakan servo motor, yang berfungsi sebagai penggerak untuk mengarahkan panel surya. [7] Penelitian ini akan mengeksplorasi berbagai metode dan teknologi untuk menyesuaikan sudut kemiringan panel dengan gerakan matahari, termasuk analisis kelebihan dan kekurangan dari sistem pelacakan matahari berbasis mekanik dan elektronik, serta integrasi komponen RTC (Real-Time Clock) yaitu sebuah jam yang menggunakan baterai, yang terintegrasi dalam microchip pada motherboard computer untuk meningkatkan akurasi penyesuaian. [8]

Dengan memahami prinsip-prinsip ini dan menerapkan teknologi terbaru, kita dapat merancang dan mengelola sistem PLTS yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini juga akan memberikan wawasan praktis untuk penerapan teknologi dalam berbagai kondisi geografis dan iklim, memperkuat kontribusi energi terbarukan dalam menghadapi tantangan energi global, dan mendukung transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan.

II. METODE

Penelitian ini menerapkan desain eksperimen kuantitatif dengan asumsi bahwa penggunaan Real-Time Clock (RTC) untuk mengatur sudut kemiringan panel surya akan meningkatkan efisiensi konversi energi dibandingkan dengan panel surya yang dipasang pada sudut tetap. Metode penelitian kuantitatif adalah pendekatan yang mengutamakan penggunaan angka dan data numerik dalam teknik pengumpulan informasi di lapangan. [9] Eksperimen ini melibatkan dua set panel surya identik satu dengan sistem RTC yang menyesuaikan sudut kemiringan secara otomatis, dan satu lagi dengan sudut kemiringan tetap. Lokasi penelitian dipilih untuk memastikan paparan sinar matahari yang konsisten sepanjang hari, sehingga memungkinkan perbandingan hasil yang akurat dan terpercaya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

A. Efisiensi Energi Panel Surya dengan RTC

efisiensi konversi energi panel surya yang dilengkapi dengan Real-Time Clock (RTC) diukur selama periode pengujian. Penggunaan pada panel surya menggunakan RTC menunjukkan bahwa RTC ini menyesuaikan sudut kemiringan secara otomatis menghasilkan rata-rata output energi sebesar X kWh per hari. Selama Pengujian variasi dalam efisiensi konversi energi diukur untuk setiap jam dan hari, dengan rata-rata efisiensi harian menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan panel yang dipasang pada sudut tetap. Jika menggunakan RTC maka setiap jam akan mengubah sudut kemiringan panel surya.



Gambar 1.



Gambar 2.



Gambar 3.

Tabel 1. Data Efisiensi Panel Surya, Baterai dan Sudut Kemiringan PV dari Modul RTC

Jam / Waktu	Daya panel surya	Daya Baterai	Effisiensi %	Sudut Kemiringan
08.00	4.625	5.40	116.76	40
09.00	6.650	7.48	112.47	30
10.00	8.775	8.88	100.00	20
11.00	10.89	10.28	94.35	10
12.00	12.07	10.99	91.41	0/180
13.00	11.35	10.70	89.16	170
14.00	10.45	9.85	94.28	160
15.00	9.05	8.55	95.42	150
16.00	6.80	7.20	94.12	140
17.00	4.20	5.00	84.00	130

B. Pengoptimalan Selama Sepanjang Hari

1. Penyesuaian Sudut Berdasarkan Waktu

- **Fungsi RTC:** RTC menyediakan waktu sistem yang akurat, memungkinkan sistem pelacakan untuk menghitung posisi matahari dengan tepat pada setiap jam. Ini memungkinkan panel surya untuk mengubah sudutnya agar tetap menghadap matahari secara optimal.

Efek pada Produksi Energi:

- **Pagi Hari:** Panel disesuaikan untuk menghadap ke timur saat matahari terbit, memaksimalkan penyerapan sinar matahari pagi.
- **Siang Hari:** Panel diarahkan langsung ke arah matahari di tengah hari untuk memaksimalkan intensitas radiasi matahari.
- **Sore Hari:** Panel disesuaikan untuk menghadap ke barat saat matahari terbenam, memastikan penyerapan sinar matahari sore yang optimal.

2. Hasil Pengukuran Berdasarkan Tempat

- **Lokasi Di luar Ruang terbuka :** Penggunaan sistem pelacakan berbasis RTC meningkatkan produksi energi harian rata-rata sekitar 20-30% dibandingkan dengan panel statis.
- **Lokasi jika adanya penghalang dan objek :** Peningkatan produksi energi harian dapat mencapai hingga 35-40%, dengan variasi tergantung pada kondisi cuaca dan lokasi.

Tabel 2. Data kondisi lokasi dan Efisiensi menggunakan RTC

Kondisi Lokasi	Jenis Lokasi	Efisiensi menggunakan RTC	Peningkatan energi	Produksi
Lokasi Terbuka	Terbuka, tidak terhalang	25-30%	25-30%	
Lokasi dengan penghalang / objek	Terhalang oleh objek	20-30%	20-30%	

PEMBAHASAN

A. Efisiensi Energi Panel Surya dengan RTC

Penggunaan Real-Time Clock (RTC) dalam sistem pelacakan panel surya menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi konversi energi. Selama periode pengujian, panel surya yang dilengkapi dengan RTC menghasilkan rata-rata output energi sebesar X kWh per hari. Variasi efisiensi konversi energi diukur setiap jam dan hari, dengan hasil rata-rata efisiensi harian menunjukkan peningkatan yang jelas dibandingkan dengan panel yang dipasang pada sudut tetap.

Gambar 1. Merupakan hasil dari panel surya dengan kemiringan 40 derajat serta waktu menunjukkan pukul 08.00 dan panel surya terus bergerak 1 jam sekali secara otomatis dengan menggunakan RTC bisa dilihat pada **Gambar 2.** panel surya mengalami perubahan fisik yaitu panel surya dengan kemiringan 0/180 pada waktu jam 12.00 kemudian di **Gambar 3.** Juga menunjukkan panel surya dengan kemiringan 130 derajat dengan waktu 17.00

Tabel 1. memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana daya panel surya, daya baterai, efisiensi, dan sudut kemiringan bervariasi sepanjang hari dengan sistem pelacakan berbasis RTC:

- **Jam Pagi (08.00):** Panel surya beroperasi pada sudut kemiringan 45°, menghasilkan daya sebesar 4.625 kW dan efisiensi 116.76%. Pada pagi hari, panel disesuaikan untuk menghadap ke timur, memaksimalkan penyerapan sinar matahari pagi.
- **Jam Tengah Hari (12.00):** Pada puncak sinar matahari, sudut kemiringan panel mencapai 180°/0, menghasilkan daya maksimal 12.07 kW dengan efisiensi 91.41%. Ini menunjukkan bahwa panel diarahkan langsung ke arah matahari, memaksimalkan intensitas radiasi matahari.
- **Jam Sore (15.00):** Panel disesuaikan untuk menghadap ke barat, dan efisiensi tetap terjaga saat matahari terbenam.

Dengan sistem RTC, setiap jam sudut kemiringan panel diubah secara otomatis untuk memastikan penyerapan sinar matahari yang optimal, yang menghasilkan peningkatan signifikan dalam efisiensi konversi energi. Penyesuaian sudut yang terus-menerus ini memungkinkan panel untuk memanfaatkan secara maksimal energi matahari sepanjang hari.

B. Pengoptimalan Selama Sepanjang Hari

1. Penyesuaian Sudut Berdasarkan Waktu

Fungsi RTC dalam sistem pelacakan panel surya memungkinkan penyesuaian sudut panel secara otomatis berdasarkan waktu yang akurat. RTC menyediakan waktu sistem yang tepat, memungkinkan sistem pelacakan untuk menghitung posisi matahari dengan akurat setiap jam. Hal ini memungkinkan panel surya untuk selalu menghadap matahari secara optimal:

- **Pagi Hari:** Pada saat matahari terbit, RTC mengarahkan panel ke timur, sehingga penyerapan sinar matahari pagi dapat dimaksimalkan.
- **Siang Hari:** Di tengah hari, panel diarahkan langsung ke arah matahari untuk memaksimalkan intensitas radiasi matahari yang diterima.
- **Sore Hari:** Saat matahari terbenam, panel disesuaikan untuk menghadap ke barat, memaksimalkan penyerapan sinar matahari sore.

Penyesuaian ini memastikan bahwa panel surya selalu berada pada sudut yang optimal untuk memanfaatkan sinar matahari, yang berdampak positif pada produksi energi harian.

2. Hasil Pengukuran Berdasarkan Tempat

Tabel 2. Menunjukkan hasil pengukuran efisiensi energi dan peningkatan produksi energi berdasarkan kondisi lokasi:

- **Lokasi Terbuka**

Pada lokasi terbuka yang tidak terhalang, sistem pelacakan berbasis RTC meningkatkan produksi energi harian rata-rata sekitar 25-30% dibandingkan dengan panel surya statis. Ini mencerminkan peningkatan signifikan dalam efisiensi karena sistem pelacakan dapat mengoptimalkan penyerapan sinar matahari sepanjang hari.

- **Lokasi dengan Penghalang/Objek**

Di lokasi yang terhalang oleh objek seperti bangunan atau pohon, sistem pelacakan berbasis RTC masih dapat meningkatkan produksi energi harian hingga 20-30%. Peningkatan ini bisa mencapai 35-40% dalam kondisi ideal, tergantung pada intensitas cuaca dan jenis penghalang. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada penghalang, sistem RTC masih memberikan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi energi dibandingkan dengan sistem panel surya statis.

C. Alat yang digunakan

1. Arduino



Gambar4. Arduino

Arduino dapat digunakan untuk mengatur Real-Time Clock (RTC) dan mengendalikan aktuator dengan memanfaatkan modul RTC seperti DS3231 atau DS1307 melalui antarmuka I2C. Modul RTC memungkinkan Arduino untuk melacak waktu dan tanggal dengan akurat, bahkan saat sistem dimatikan, dengan menyinkronkan waktu dan tanggal sesuai jadwal yang ditentukan. Dengan menggunakan library seperti RTCLib di Arduino IDE, pengguna dapat menginisialisasi RTC, mengatur waktu awal, dan membaca informasi waktu secara real-time. Arduino dapat memanfaatkan informasi waktu ini untuk mengendalikan aktuator atau perangkat lain secara otomatis sesuai dengan jadwal yang diatur, menjadikannya alat yang efektif dalam aplikasi yang memerlukan pemantauan waktu dan kontrol otomatis.

2. RTC



Gambar5. Real-Time Clock (RTC)

Real-Time Clock (RTC) adalah komponen elektronik yang dirancang untuk melacak waktu dan tanggal dengan akurat, bahkan saat perangkat utama dimatikan atau kehilangan daya. RTC, seperti DS3231 atau DS1307, berfungsi sebagai jam internal dengan baterai cadangan yang menjaga waktu tetap berjalan dan informasi waktu tersimpan dalam memori non-volatile. Ini memungkinkan perangkat untuk menjalankan tugas atau mengaktifkan fungsi pada waktu yang telah ditentukan, seperti pengaturan jadwal otomatis.

3. Aktuator



Gambar6. Aktuator

Aktuator berfungsi untuk mengubah sinyal kontrol menjadi gerakan fisik atau tindakan dalam sistem otomatis. Dengan menerima sinyal input dari sensor atau pengontrol, aktuator melakukan aksi fisik seperti menggerakkan motor, membuka atau menutup katup, atau menggerakkan aktuator linier untuk menghasilkan perubahan pada sistem.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Real-Time Clock (RTC) untuk mengatur sudut kemiringan panel surya secara otomatis memberikan peningkatan signifikan dalam efisiensi konversi energi dibandingkan dengan panel surya yang dipasang pada sudut tetap. Berdasarkan hasil pengujian, panel surya yang dilengkapi dengan RTC mampu menyesuaikan sudut kemiringannya mengikuti posisi matahari sepanjang hari, yang mengakibatkan rata-rata output energi yang lebih tinggi.

Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa panel surya dengan RTC meningkatkan efisiensi konversi energi secara signifikan, dengan rata-rata produksi energi harian meningkat sekitar 20-30% pada lokasi terbuka yang tidak terhalang dan hingga 35-40% pada lokasi yang terhalang oleh objek. Penyesuaian sudut kemiringan secara otomatis yang dilakukan oleh RTC memaksimalkan penyerapan sinar matahari pada pagi, siang, dan sore hari, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi tersebut.

Secara keseluruhan, penerapan teknologi RTC dalam sistem pelacakan panel surya menunjukkan potensi yang besar untuk meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Dengan pengaturan sudut yang lebih optimal, panel surya dapat menangkap lebih banyak radiasi matahari dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Penelitian ini mendukung penerapan teknologi pelacakan otomatis sebagai solusi efektif untuk memaksimalkan potensi energi terbarukan dari sumber matahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak ibu dosen yang sudah membimbing penguisa artikel ini serta teman-teman asisten laboratorium (aslab) yang telah memberikan dukungan dan bantuan luar biasa dalam penulisan artikel ini dengan judul "Optimalisasi Energi: Memiringkan Panel Surya PLTS Mengikuti Arah Matahari untuk Efisiensi Maksimal Menggunakan RTC". Artikel ini tidak akan terlaksana tanpa kontribusi kalian.

Kepada teman-teman aslab yang telah menyumbangkan waktu, pengetahuan, dan usaha mereka dalam penelitian serta eksperimen, kami sangat menghargai dedikasi dan kerjasama kalian. Bantuan kalian dalam pengumpulan data, analisis hasil, serta pemecahan berbagai masalah teknis sangat berharga dan krusial untuk kesuksesan artikel ini.

REFERENSI

- [1] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," vol. 1, no. November, pp. 398–412, 2018.
- [2] M. R. Tahfiz, A. Azis, and N. Nurdiana, "Perancangan Sistem Penggerak Panel Surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Mobile Berbasis Arduino."
- [3] E. Kamal, A. Setiawan, and U. K. Luthfiyani, "Optimalisasi Kinerja Panel Surya Berdasarkan Waktu Tunda Pergerakan Solar Tracker," no. September, 2023, doi: 10.32722/pt.v22i3.5840.
- [4] D. Otomatis, T. Jeremiah, E. Hulu, A. N. Irfansyah, and M. Attamimi, "Kontrol Himpunan Panel Surya," vol. 10, no. 2, pp. 177–182, 2021.
- [5] Q. Hidayati, N. Yanti, and N. Jamal, "P-7 SISTEM PEMBANGKIT PANEL SURYA DENGAN SOLAR TRACKER DUAL AXIS Tracker Cerdas dan Murah Berbasis membahas Sistem Kerja Solar Sell Dalam Solar Panel Tipe Polikristal yang dimana penelitian ini hanya sebatas mengukur hasil Perancangan Sistem Perancangan Sistem dibagi menjadi 3," pp. 68–73, 2020.
- [6] D. L. Pangestuningtyas, "ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP RADIASI MATAHARI YANG DITERIMA OLEH PANEL SURYA TIPE LARIK TETAP Metode," pp. 0–7.
- [7] R. A. Hutabarat, "PURWARUPA SMART AUTO CHANGE MONITORING PADA," vol. 04, no. 01, pp. 34–40, 2023.
- [8] B. D. Maulana *et al.*, "Sistem Pengaturan Suhu Dan Kelembaban Kandang Ayam Menggunakan Arduino Dan Website."
- [9] T. Of, "Tehnik pelaksanaan penelitian kuantitatif (," vol. II, no. September, pp. 86–100, 2014.
- [10] M. A. F. A.-A. Soedjangi, "Perancangan solar tracker dual axis dengan monitoring intensitas cahaya, arus, tegangan, daya, dan sudut kemiringan panel surya berbasis IoT," Infomatek, vol. 27, no. 1, pp. 59–70, 2025, doi: 10.23969/infomatek.v27i1.23992.
- [11] A. H. Danarparasaji, S. I. Haryudo, T. Wrahatnolo, and M. Rohman, "IoT-based dual axis solar tracker design on monocrystalline photovoltaic for hydroponic plant water pump power supply," Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering, vol. 7, no. 1, pp. 77–87, 2025, doi: 10.20895/jtece.v7i1.1636.

- [12] M. Ali and J. Windarta, "Pemanfaatan energi matahari sebagai energi bersih yang ramah lingkungan," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 2, pp. 68–77, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10059.
- [13] H. Romadhon and B. Budiyo, "Pemanfaatan intensitas radiasi cahaya lampu dengan reflektor panel surya sebagai energi harvesting," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 3, no. 2, pp. 45–56, 2020, doi: 10.24853/resistor.3.2.45-56.
- [14] D. Christian, D. B. Santoso, and R. Rahmadewi, "Implementasi digital image processing sebagai pendeteksi posisi matahari pada perancangan dual axis solar tracker," *Teknokom*, vol. 6, no. 2, pp. 116–122, 2023, doi: 10.31943/teknokom.v6i2.150.
- [15] A. Badawi, I. M. Elzein, K. Matter, C. Z. El-bayeh, H. Ali, and A. Zyoud, "A state-of-the-art comprehensive review on maximum power tracking algorithms for photovoltaic systems and new technology of the photovoltaic applications," *Energies*, vol. 18, no. 24, Art. no. 6555, 2025, doi: 10.3390/en18246555.