

Solar radiation monitoring system for electric vehicle charging using solar modules based on the Internet of Things

Yusuf Dewantoro Herlambang^{1*}, Muhamad Nurul Huda¹, Daffa Yudha Akbar Putra Antoro¹, Hanif Faizal Ghozali¹, Martando Robby Setyawan¹, Nanang Apriandi¹, Avicenna An-Nizhami¹, Padang Yanuar¹, Elfrida Rizky Riadini¹, Marliyati²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

²Jurusan Akuntansi, Politeknik Negeri Semarang

Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

*Corresponding author: masyusufdh@polines.ac.id

Article Processing Dates:

Received 2025-03-14

Accepted 2025-03-30

Available online 2025-03-31

Keywords:

Electric Vehicles

Internet of Things

Real-time Monitoring

Solar Energy

Solar Radiation

Abstract

The utilization of solar energy to support electric vehicle charging still faces challenges related to efficiency and real-time solar radiation monitoring. Addressing this issue is critical given the importance of optimizing renewable energy to facilitate the transition toward sustainable transportation. This study offers a solution through the development of an Internet of Things (IoT)--based solar radiation monitoring system capable of measuring solar light intensity in real time. The system employs a BH1750 sensor integrated with an ESP32 microcontroller to process data, transmit it to the Firebase Realtime Database, and display it via an Android application. The methodology encompasses the design, implementation, and testing of the system on an electric vehicle placed in an open area for 10 hours of observation. Results indicate that the highest light intensity, recorded at 98,321 lux, corresponded to solar radiation of 776.74 W/m², while the lowest light intensity, 69 lux, resulted in radiation of 0.55 W/m². The implications of this research include enhanced efficiency in electric vehicle charging, the advancement of IoT-based solar energy systems, and the potential integration with energy storage technologies and predictive algorithms to improve energy sustainability.

Sistem pemantauan radiasi matahari untuk pengisian mobil listrik menggunakan modul surya berbasis *Internet of Things*

Abstrak Pemanfaatan energi surya untuk mendukung pengisian daya mobil listrik masih menghadapi tantangan terkait efisiensi dan pemantauan radiasi matahari secara *real-time*. Permasalahan ini mendesak untuk diatasi mengingat pentingnya optimalisasi energi terbarukan dalam mendukung transisi ke transportasi berkelanjutan. Penelitian ini menawarkan solusi melalui pengembangan sistem pemantauan radiasi matahari berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengukur intensitas cahaya matahari secara *real-time*. Sistem ini menggunakan sensor BH1750 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk memproses data, mengirimkannya ke server *Firebase Realtime Database*, dan menampilkannya melalui aplikasi Android. Metode yang digunakan meliputi desain, implementasi, dan pengujian sistem pada mobil listrik yang diletakkan di area terbuka selama 10 jam pengamatan. Hasil menunjukkan intensitas cahaya tertinggi sebesar 98.321 lux menghasilkan radiasi matahari sebesar 776,74 W/m², sedangkan intensitas terendah sebesar 69 lux menghasilkan radiasi sebesar 0,55 W/m². Implikasi dari penelitian ini mencakup peningkatan efisiensi pengisian daya mobil listrik, pengembangan sistem energi surya berbasis IoT, serta potensi integrasi dengan teknologi penyimpanan energi dan algoritma prediksi untuk meningkatkan keberlanjutan energi.

Kata kunci: Energi Surya; *Internet of Things*; Mobil Listrik; Pemantauan *Real-time*; Radiasi Matahari.

1 Pendahuluan

Permasalahan utama dalam pengembangan energi terbarukan adalah bagaimana meningkatkan efisiensi dan keandalan dalam pemanfaatan sumber daya yang tersedia [1], [2]. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan karena ketersediaannya

yang melimpah serta sifatnya yang ramah lingkungan [3], [4]. Namun, tantangan utama dalam pemanfaatan energi surya adalah variasi intensitas cahaya matahari yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca, lokasi geografis, serta waktu dalam sehari [3]. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang dapat mengukur intensitas cahaya matahari secara *real-time* untuk

meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya dalam berbagai aplikasi, termasuk pengisian daya mobil listrik.

Urgensi penelitian ini semakin meningkat seiring dengan meningkatnya adopsi kendaraan listrik sebagai solusi transportasi berkelanjutan. Mobil listrik yang menggunakan modul surya sebagai sumber daya tambahan membutuhkan sistem pemantauan yang akurat guna memastikan bahwa proses pengisian daya berlangsung secara optimal. Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan data secara otomatis dan *real-time* [5], [6], [7], [8], sehingga pengguna dapat memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk menyesuaikan strategi pengisian daya sesuai dengan kondisi lingkungan.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak penelitian yang berfokus pada sistem pemantauan berbasis IoT untuk berbagai aplikasi energi surya [9], [10], [11]. Sistem pemantauan tradisional masih mengandalkan sensor yang hanya dapat diakses secara lokal atau memerlukan intervensi manual untuk memperoleh data. Namun, perkembangan teknologi komunikasi dan sensor telah memungkinkan sistem pemantauan berbasis IoT yang dapat diakses secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis *cloud*, meningkatkan kemudahan dalam pengelolaan data dan pengambilan keputusan berbasis data [12], [13], [14], [15].

Meskipun telah ada berbagai sistem pemantauan berbasis IoT, kebanyakan masih memiliki keterbatasan dalam akurasi pengukuran atau keterbatasan dalam pengelolaan data yang terintegrasi dengan perangkat lain. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengatasi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem pemantauan radiasi matahari berbasis IoT yang dapat terintegrasi langsung dengan sistem pengisian daya mobil listrik. Dengan sistem ini, data intensitas cahaya matahari dapat dikonversi menjadi nilai radiasi matahari secara otomatis dan dikirim ke server IoT untuk analisis lebih lanjut.

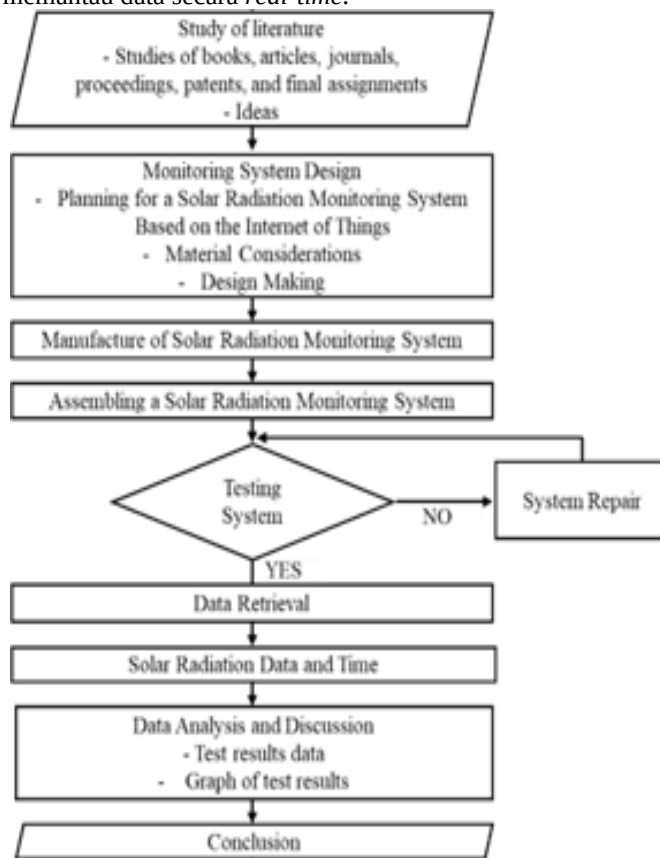
Keunggulan yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah integrasi antara pemantauan radiasi matahari berbasis IoT dengan sistem pengisian daya mobil listrik. Dengan sistem ini, diharapkan dapat diperoleh efisiensi yang lebih tinggi dalam pemanfaatan energi surya serta meningkatkan keandalan sistem pengisian daya kendaraan listrik. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan radiasi matahari yang mampu memberikan data yang akurat dan dapat diakses secara *real-time*, sehingga mendukung peningkatan efisiensi dalam penggunaan energi surya untuk kendaraan listrik.

2. Metodologi

Sistem pemantauan radiasi matahari ini dirancang menggunakan sensor BH1750 sebagai pengukur intensitas cahaya matahari. Sensor ini terhubung ke papan sirkuit cetak berbahan *fiberglass* dan bekerja bersama dengan *mikrokontroler* ESP32. *Mikrokontroler* bertugas memproses data yang dihasilkan oleh sensor dan mengirimkannya ke server *Firestore Realtime Database* melalui koneksi Wi-Fi. Untuk mendukung operasional sistem, modul surya digunakan sebagai sumber daya utama, yang terintegrasi dengan pengisi daya baterai berbentuk *Universal Step-Up Charger*. Baterai *Lead Acid* dengan kapasitas 60 V 20 Ah digunakan sebagai media

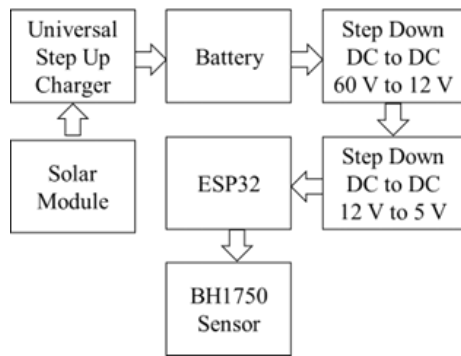
penyimpanan energi yang mendukung kelancaran pengisian daya.

Proses perancangan sistem dimulai dengan perencanaan sistem pemantauan berbasis IoT. Tahap ini meliputi pemilihan material, desain mekanik, dan pemrograman perangkat lunak untuk memastikan semua komponen berfungsi secara optimal. Diagram alir sistem yang disajikan pada Gambar 1 memberikan gambaran lengkap mengenai proses mulai dari studi literatur hingga pengumpulan dan analisis data. Komponen utama sistem ini meliputi sensor BH1750, *mikrokontroler* ESP32, modul pengisi daya, dan aplikasi Android yang dirancang untuk memantau data secara *real-time*.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

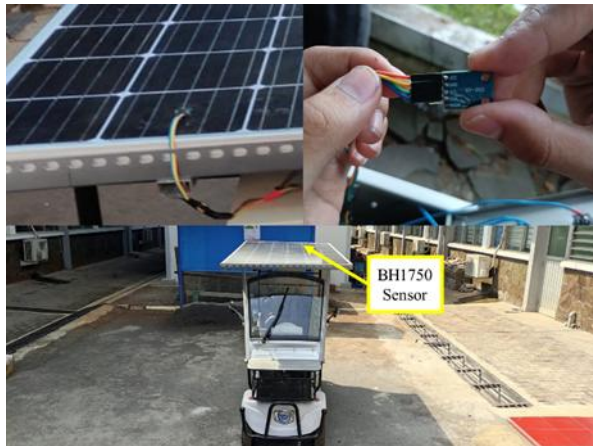
Implementasi sistem dilakukan dengan menguji mobil listrik di area terbuka yang mendapatkan paparan sinar matahari langsung. Pada pengujian ini, sistem IoT diaktifkan, dan sensor BH1750 mulai mengukur intensitas cahaya matahari secara berkala. Data yang dihasilkan oleh sensor dikirim ke *mikrokontroler* ESP32 untuk diproses dan diteruskan ke server *Firestore Realtime Database*. Data ini kemudian dapat diakses melalui aplikasi Android, yang menampilkan informasi mengenai intensitas cahaya dan radiasi matahari secara langsung. Diagram kelistrikan sistem pengisian daya berbasis IoT dijelaskan dalam Gambar 2 dan 3 untuk memberikan gambaran lebih rinci dan posisi penempatan sensor BH1750 pada kendaraan Listrik pada Gambar 4.



Gambar 2. Wiring diagram sistem charging



Gambar 3. Diagram sistem Internet of Things



Gambar 4. Posisi penempatan sensor BH1750 pada kendaraan listrik

Radiasi matahari yang terukur dihitung menggunakan persamaan (1).

$$G_u = lux * 0.0079 \quad (1)$$

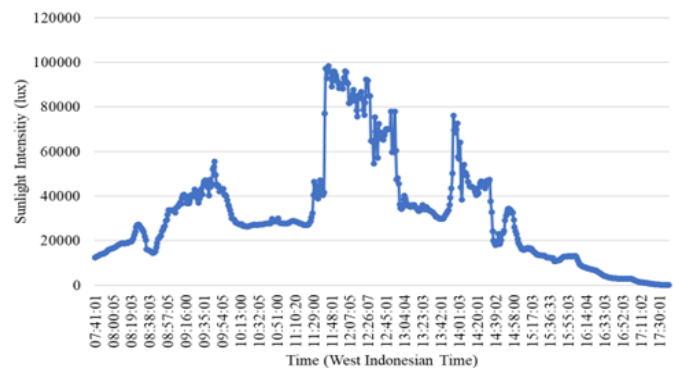
Dimana G_u adalah nilai radiasi matahari (W/m^2), dan lux adalah nilai intensitas cahaya matahari (lux). Pengujian sistem dilakukan selama 10 jam, mulai dari pukul 07:00 hingga 17:00 Waktu Indonesia Barat (WIB). Data yang dikumpulkan dicatat secara otomatis oleh sistem. Dalam pengujian ini, pengaturan pada pengisi daya dilakukan dengan variasi 25 putaran searah jarum jam untuk memastikan stabilitas pengisian baterai. Diagram sistem IoT untuk pemantauan radiasi matahari ditampilkan dalam Gambar 3, sedangkan Gambar 4 menunjukkan lokasi pemasangan sensor BH1750 pada mobil listrik.

Dengan pengujian ini, sistem dapat mengevaluasi kinerja secara menyeluruh, memastikan semua komponen berfungsi dengan baik, serta memberikan data yang relevan untuk analisis lebih lanjut. Semua langkah ini bertujuan untuk meningkatkan

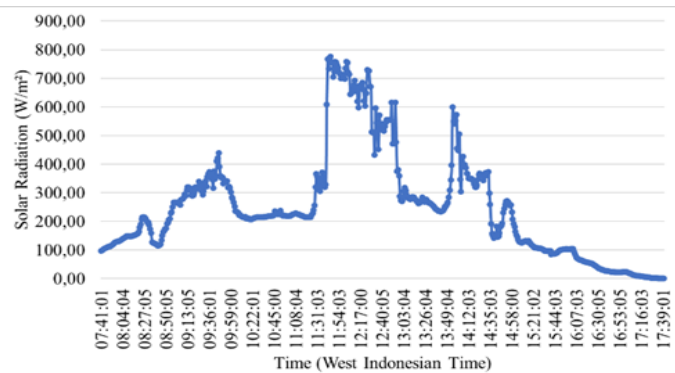
efisiensi pemanfaatan energi surya dalam aplikasi pengisian daya mobil listrik.

3. Hasil dan Pembahasan

Grafik intensitas cahaya matahari terhadap waktu (Gambar 5) dan radiasi matahari terhadap waktu (Gambar 6) menunjukkan pola fluktuasi yang signifikan sepanjang hari, dengan nilai tertinggi tercatat pada pukul 11:45:04 WIB, di mana intensitas cahaya mencapai 98.321 lux dan radiasi matahari sebesar 776,74 W/m^2 . Sebaliknya, nilai terendah masing-masing tercatat sebesar 69 lux dan 0,55 W/m^2 pada pukul 17:40:04 WIB, ketika matahari hampir tenggelam. Pola ini mencerminkan dinamika alami radiasi matahari yang dipengaruhi oleh posisi matahari, waktu dalam sehari, dan kondisi atmosfer, seperti keberadaan awan atau polusi udara yang dapat menyerap atau menghambat radiasi [3]. Analisis ini menegaskan pentingnya pemahaman terhadap variasi harian radiasi matahari untuk memaksimalkan efisiensi sistem energi surya.



Gambar 5. Intensitas matahari terhadap waktu



Gambar 6. Radiasi matahari terhadap waktu

Dalam aplikasi pengisian daya mobil listrik, fluktuasi intensitas cahaya dan radiasi matahari berpengaruh langsung pada efisiensi modul surya. Saat radiasi matahari mencapai puncaknya, modul surya mampu beroperasi secara optimal, menghasilkan daya listrik maksimum yang mempercepat proses pengisian daya baterai. Namun, pada saat radiasi menurun, efisiensi pengisian daya menurun signifikan, sehingga waktu pengisian menjadi lebih lama. Hal ini menekankan perlunya

pengembangan sistem pengisian daya yang adaptif, yaitu sistem yang mampu menyesuaikan keluaran daya berdasarkan kondisi radiasi matahari secara *real-time*. Dengan demikian, efisiensi sistem dapat dipertahankan meskipun terjadi variasi radiasi sepanjang hari.

Penerapan teknologi berbasis IoT dalam sistem ini memungkinkan pemantauan intensitas cahaya dan radiasi matahari secara langsung dan *real-time*. Data yang diperoleh melalui sistem ini tidak hanya membantu mengoptimalkan waktu pengisian daya tetapi juga memungkinkan pengaturan pengisian daya secara otomatis berdasarkan kondisi radiasi yang diterima. Keunggulan utama teknologi ini adalah kemampuannya dalam mengintegrasikan data lingkungan dengan pengendalian sistem, yang memberikan fleksibilitas lebih besar dalam pengelolaan energi. Dalam konteks ini, IoT menjadi teknologi yang sangat relevan untuk mendukung penggunaan energi terbarukan, khususnya untuk aplikasi kendaraan listrik yang membutuhkan efisiensi tinggi.

Lebih lanjut, fluktuasi radiasi matahari ini juga mengindikasikan perlunya teknologi penyimpanan energi sebagai komponen pendukung sistem. Energi yang dihasilkan selama periode radiasi tinggi dapat disimpan dan digunakan saat radiasi menurun, sehingga efisiensi operasional sistem tetap terjaga. Teknologi baterai penyimpanan yang terintegrasi dengan modul surya dapat menjadi solusi untuk memastikan ketersediaan daya sepanjang waktu, bahkan saat radiasi matahari tidak mencukupi. Selain itu, algoritma prediksi berbasis data historis dapat diterapkan untuk mempelajari pola fluktuasi radiasi, sehingga sistem dapat lebih proaktif dalam menyesuaikan strategi pengisian daya.

Secara keseluruhan, kombinasi antara pemantauan berbasis IoT, teknologi penyimpanan energi, dan algoritma prediksi memberikan solusi strategis yang dapat meningkatkan efisiensi energi surya, khususnya dalam aplikasi pengisian daya mobil listrik. Dengan integrasi teknologi ini, sistem pengisian daya tidak hanya mampu beradaptasi dengan fluktuasi radiasi tetapi juga mendukung transisi menuju energi terbarukan yang lebih stabil dan berkelanjutan. Penelitian ini menawarkan pendekatan yang relevan untuk menjawab tantangan efisiensi energi dalam aplikasi transportasi modern, sekaligus memperkuat kontribusi teknologi IoT dalam mendukung penggunaan energi terbarukan secara global.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan radiasi matahari berbasis IoT untuk mendukung pengisian daya mobil listrik melalui modul surya. Sistem ini memungkinkan pengukuran intensitas cahaya matahari secara *real-time* menggunakan sensor BH1750 yang terintegrasi dengan *mikrokontroler* ESP32 dan aplikasi Android, dengan data yang dikumpulkan menunjukkan hasil yang akurat dan sesuai dengan perhitungan manual. Berdasarkan pengujian selama 10 jam, intensitas cahaya tertinggi sebesar 98.321 lux menghasilkan radiasi matahari sebesar 776,74 W/m², sedangkan intensitas terendah sebesar 69 lux menghasilkan radiasi sebesar 0,55 W/m². Dengan kemampuan pemantauan *real-time* dan integrasi data berbasis *cloud*, sistem ini meningkatkan efisiensi pengisian daya sekaligus mempermudah analisis kinerja modul surya. Selain

itu, implementasi teknologi IoT membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi teknologi penyimpanan energi dan algoritma prediksi berbasis data historis. Penelitian ini menjawab tujuan utama dengan mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan yang efisien, akurat, dan berbasis teknologi IoT, relevan untuk kendaraan listrik dan potensial diterapkan pada sistem energi terbarukan lainnya, mendukung transisi menuju energi berkelanjutan.

Referensi

- [1] Y. D. Herlambang *et al.*, “ORGANIC RANKINE CYCLE NUMERICAL SIMULATION BASED ON FLUID PROPERTIES FOR A POTENTIAL GEOTHERMAL POWER PLANT IN INDONESIA,” *Journal of Engineering Science and Technology ICIST2023*, vol. 19, no. 2, pp. 172–184, 2024.
- [2] N. Apriandi, S. Suwarti, W. P. Widyarningsih, and R. Raharjanti, “Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Menggunakan Digester Anaerobik Tipe Batch Skala Kecil: Pengaruh Hydraulic Retention Time (HRT) Terhadap Kualitas Biogas,” *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 12, no. 1, pp. 166–176, Apr. 2023, doi: 10.23887/jstundiksha.v12i1.57310.
- [3] N. Apriandi, Y. D. Herlambang, T. Prasetyo, M. Margana, K. M. T. Negara, and R. Raharjanti, “Theoretical Study of The Determination of Optimal Tilt Angle of a Solar Collector Case Study: Mataram – Nusa Tenggara Barat,” *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 11, no. 2, pp. 281–291, Sep. 2023, doi: 10.29303/jrpb.v11i2.416.
- [4] Y. D. Herlambang, B. Prasetyo, W. Wahyono, N. Apriandi, M. Marliyati, and B. Sutanto, “Unjukkerja Panel Surya Tipe Terapung untuk Pembangkit Listrik,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 3, pp. 435–444, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [5] Y. A. Waliudin and M. Hafiz, “PROTOTYPE SISTEM MONITORING MINI SOLAR PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN ESP32 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DAN AUGMENTED REALITY (AR),” *SNTEM*, vol. 4, pp. 328–340, 2024.
- [6] A. Amuddin, J. Sumarsono, and S. Salman, “Sistem pemantauan berbasis Internet of Thing dan LoRa pada solar dryer dome untuk pengeringan kopi,” *Jurnal Agrotek UMMAT*, vol. 12, no. 1, pp. 22–36, 2025.
- [7] D. Pabiban, M. G. Pae, and R. Olin, “Sistem Monitoring Daya Listrik pada Panel Surya Dengan Penerapan Internet of Things (IoT),” *ELECTRICIAN*, vol. 19, no. 1, pp. 53–59, 2025.
- [8] A. Kurniawan, S. Sulitiadi, and A. Ristiono, “Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak Microclimate Monitoring of Greenhouse in Real Time Using Thingspeak-Based Internet of Things (IoT),” *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 10, no. 4, pp. 468–480, 2021, doi: 10.23960/jtep-l.v10.i4.468-480.

- [9] N. Beda, J. E. Candra, and M. Jufri, "Rancang Bangun Solar Panel Tracker Dual Axis Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Quacom*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2024.
- [10] S. Dinata and H. A. Putra, "Rancang Bangun Alat Monitoring Output Panel Surya di Kampus Universitas Pamulang Viktor Menggunakan Internet of Things," *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 23, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [11] K. Aprilianto and U. Yusmaniar, "Analisis Kinerja Sistem Photovoltaic Management Platform pada Implementasi Sistem PLTS Hybrid Berbasis Internet of Things Area R&D Syngenta Cikampek," *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 5, no. 2, pp. 75–83, 2024.
- [12] D. B. A. Putrayana and B. H. Purwoto, "MONITORING PENGARUH SUHU TERHADAP TEGANGAN DAN ARUS YANG DIHASILKAN OLEH PANEL SURYA BERBASIS IOT".
- [13] I. F. Pamungkas, U. T. Kartini, T. Wrahatnolo, and J. Joko, "Sistem Monitoring Daya Listrik Photovoltaic Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 236–245, 2022.
- [14] R. Mayangsari and M. Yuhendri, "Sistem Kontrol dan Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Human Machine Interface dan Internet of Thing," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 2, Aug. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.485.
- [15] A. STEFANIE and F. C. SUCI, "Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 4, p. 761, Oct. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.761.