NEXUS : Journal of Information & Computational Science
Vol. 2, No. 1, January 2027, hlmn. 14 – 20
E-ISSN: XXXX-XXXX | P-ISSN: XXXX-XXXX
DOI: https://doi.org/XXXX/NEXUS

SISTEM SMART TRACKING PANEL SURYA DUA SUMBU BERBASIS IOT

Ivan Brena Bhastanta Siregar [1]*, Rizaldy Khair [2]

[1 2] Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Article Info

Article History:
Received: 26-September-2026
Revised: 10-October-2026
Published: 01-January-2027

Keywords:

Smart Tracking,
Dual-Axis Solar Tracker,
Internet of Things,
ESP32,
Solar Panel

ABSTRACT

This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based two-axis smart solar panel tracking system that can automatically adjust panel orientation according to the direction of sunlight while monitoring electrical parameters in real time. The system uses an ESP32 as the main controller and IoT communication device, four Light Dependent Resistor (LDR) sensors to detect differences in light intensity, and two servo motors to control horizontal and vertical movement. Voltage, current, and power are measured using an INA219 sensor integrated with the ESP32 and Thinger.io platform. Energy charging and storage use a CN3791 MPPT module and four Li-Ion 18650 batteries connected in parallel. Testing covers tracking response, INA219 measurement accuracy, IoT communication, and solar panel performance. The results show that the system can adjust panel orientation according to changes in light direction. The highest output was 4.25 W at 12:00 WIB, with 5.06 V and 0.84 A, close to the theoretical maximum of 4.4 W. INA219 measurement error was below 2%, while IoT latency was approximately 150–250 ms with data updates every 5 seconds during a stable internet connection.

Kata Kunci:

Smart Tracking,
Dual-Axis Solar Tracker,
Internet of Things,
ESP32,
Panel Surya

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem smart tracking panel surya dua sumbu berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu menyesuaikan orientasi panel secara otomatis berdasarkan arah datangnya cahaya matahari serta memantau parameter kelistrikan secara real time. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali dan komunikasi IoT, empat sensor Light Dependent Resistor (LDR) untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya, serta dua motor servo untuk mengatur pergerakan horizontal dan vertikal. Pengukuran tegangan, arus, dan daya dilakukan menggunakan INA219 yang terintegrasi dengan ESP32 dan platform Thinger.io. Pengisian dan penyimpanan energi menggunakan modul MPPT CN3791 dan empat baterai Li-Ion 18650 yang disusun paralel. Pengujian meliputi respons tracking, akurasi pengukuran INA219, komunikasi IoT, dan kinerja panel surya. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menyesuaikan orientasi panel terhadap perubahan arah cahaya. Daya tertinggi sebesar 4,25 W diperoleh pada pukul 12.00 WIB dengan tegangan 5,06 V dan arus 0,84 A, mendekati kapasitas teoritis 4,4 W. Error pengukuran INA219 berada di bawah 2%, sedangkan latensi IoT sekitar 150–250 ms dengan pembaruan data setiap 5 detik pada koneksi internet yang stabil.

Corresponding Author:
Ivan Brena Bhastanta Siregar, Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Email: bhastanta1602@gmail.com

This is an open access article under the CC BY-SA license

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi surya menjadi salah satu pendekatan penting dalam pengembangan energi terbarukan. Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar, tetapi keluaran panel fotovoltaik dipengaruhi oleh intensitas radiasi dan orientasi permukaan panel terhadap matahari. Sandra Dewi et al. [1] melaporkan bahwa intensitas radiasi matahari di Indonesia memiliki potensi yang cukup untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan. Pada kondisi panel yang dipasang statis, perubahan posisi matahari menyebabkan sudut datang cahaya tidak selalu optimal sehingga energi yang diperoleh dapat berubah sepanjang waktu. Salah satu pendekatan untuk mengatasi keterbatasan orientasi panel

statis adalah sistem pelacak matahari. Shang dan Shen [2] menunjukkan bahwa sistem pelacakan dua sumbu dapat menghasilkan energi 24,6% lebih tinggi dibandingkan panel tetap pada pengujian mereka. Lilik et al. [3] juga melaporkan peningkatan produktivitas panel melalui metode dua sumbu pada rentang 14,82%-35,3%. Sistem dua sumbu bekerja dengan mengatur orientasi panel pada arah *horizontal* dan vertikal sehingga posisi panel dapat disesuaikan terhadap perubahan posisi matahari.

Penerapan sistem pelacak pada kendaraan berbasis energi surya menghadapi kendala tambahan berupa keterbatasan luas permukaan, perubahan kondisi pencahayaan, cuaca, dan bayangan. Sadeghi et al. [4] menempatkan teknologi fotovoltaik sebagai salah satu teknologi yang dapat digunakan pada sektor transportasi, sedangkan Oluwalana dan Grzesik [5] menekankan bahwa keluaran energi pada kendaraan bertenaga surya dipengaruhi oleh luas permukaan dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem yang tidak hanya mampu mengatur orientasi panel, tetapi juga menyediakan pemantauan kondisi energi secara *real time*.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan dukungan untuk menghubungkan sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan platform pemantauan. Choudhary [6] menjelaskan bahwa IoT memungkinkan perangkat dan sensor saling terhubung melalui internet untuk melakukan pengumpulan, pemantauan, dan pengendalian data. Dalam pengembangan sistem energi cerdas, integrasi IoT juga perlu memperhatikan keamanan dan keandalan komunikasi karena perangkat yang terhubung ke jaringan memiliki potensi kerentanan [7], [8].

Penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem *dual-axis* dan *monitoring* berbasis IoT, tetapi masih terdapat ruang untuk mengintegrasikan mekanisme *tracking*, pengukuran tegangan-arus-daya, dan pemantauan berbasis platform IoT dalam satu prototipe. Abdul Rahaim et al. [9] menunjukkan penerapan *solar tracker* dua sumbu berbasis IoT, sedangkan Setiana et al. [10] menerapkan empat LDR dan ESP32 untuk pengendalian *dual-axis*. Andini et al. [11] menunjukkan pemanfaatan Thinger.io untuk pengiriman notifikasi pada sistem berbasis fotovoltaik. Penelitian ini menggabungkan elemen tersebut dalam sebuah prototipe yang berfokus pada pelacakan dua sumbu menggunakan empat LDR dan dua motor servo, akuisisi parameter listrik menggunakan INA219, serta pengiriman data melalui ESP32 ke Thinger.io.

Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan prototipe *smart tracking* yang memadukan kendali orientasi panel, akuisisi data kelistrikan, dan *monitoring* IoT dalam satu alur sistem. Sistem diuji pada skala prototipe dengan empat panel surya mini yang disusun paralel. Pengujian diarahkan untuk mengevaluasi respons *tracking*, ketelitian pengukuran INA219, keberhasilan komunikasi IoT, dan karakteristik keluaran daya selama periode pengamatan. Hasil penelitian juga dibahas sebagai potensi teknologi pendukung pemanfaatan energi surya pada kendaraan, khususnya ketika kendaraan berada dalam kondisi terparkir.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) karena tujuan utama penelitian adalah menghasilkan prototipe sistem dan menguji fungsinya. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi prototipe, pengujian dan pengumpulan data, analisis data, serta penarikan kesimpulan. Pengujian dilakukan pada area terbuka di sekitar Komplek Taman Setia Budi Indah 2, Medan, dengan paparan sinar matahari langsung. Tahapan tersebut disusun untuk memastikan fungsi *tracking*, pengukuran kelistrikan, penyimpanan energi, dan *monitoring* IoT dapat diuji secara terpadu.

Perangkat keras utama terdiri atas empat panel surya mini dengan spesifikasi masing-masing 5 V, 1,1 W, dan 220 mA yang disusun paralel sehingga kapasitas teoritis maksimum rangkaian adalah 5 V, 880 mA, dan 4,4 W. Empat LDR ditempatkan dalam konfigurasi empat kuadran dan dipisahkan oleh penyekat silang. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan komunikasi *Wi-Fi*. Dua motor servo digunakan untuk sumbu *horizontal* dan vertikal. Pada sisi pengelolaan energi, keluaran panel melewati INA219 sebelum diteruskan ke MPPT CN3791 dan bank penyimpanan empat baterai Li-Ion 18650 yang disusun paralel. Sistem penyimpanan juga dilengkapi BMS sesuai rancangan prototipe.

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan bahasa C++. Algoritma *tracking* membaca nilai analog empat LDR, kemudian membandingkan intensitas sisi kiri-kanan dan atas-bawah. Apabila selisih melebihi nilai ambang (*threshold*), ESP32 mengirimkan sinyal PWM ke servo yang sesuai hingga perbedaan intensitas kembali berada di dalam batas. Penggunaan empat LDR sebagai umpan balik untuk dua sumbu sejalan dengan penerapan pada sistem *dual-axis* yang dilaporkan Setiana et al. [10]. Karakteristik LDR sebagai sensor cahaya juga mendukung penggunaannya untuk membaca perubahan intensitas cahaya [12]. Penggunaan motor servo sebagai aktuator pada *solar tracking* sejalan dengan pembahasan Musa et al. [13]. Arduino IDE digunakan sebagai lingkungan pemrograman mikrokontroler, sebagaimana diterapkan pada pengembangan sistem berbasis Arduino pada penelitian Yulia Basri et al. [14].

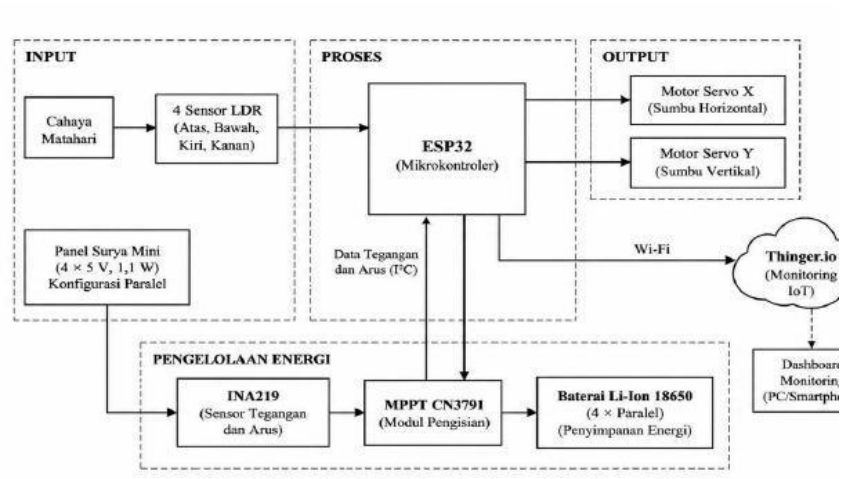
Pengukuran kelistrikan dilakukan menggunakan INA219 melalui komunikasi I²C. Tegangan dan arus dibaca oleh sensor, kemudian data diproses oleh ESP32 dan dikirim melalui *Wi-Fi* ke Thinger.io. Integrasi INA219 pada sistem panel surya berbasis ESP32 juga dilaporkan oleh Permana Muqorrobin et al. [15]. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan INA219 dan multimeter digital. Pengujian komunikasi dilakukan dengan mengamati latensi

dan interval pembaruan data pada Thinger.io. Pengujian kinerja dilakukan pada pukul 09.00-15.00 WIB dengan pencatatan tegangan, arus, daya, posisi panel, dan status koneksi IoT setiap satu jam.

Tabel 1. Konfigurasi utama prototipe

Komponen	Konfigurasi/Fungsi
Panel surya	4 panel mini; masing-masing 5 V, 1,1 W, 220 mA; paralel
ESP32	Pusat kendali, pemrosesan data, dan komunikasi Wi-Fi
Sensor LDR	4 sensor; umpan balik intensitas cahaya empat kuadran
Motor servo	2 unit; penggerak sumbu horizontal dan vertikal
INA219	Pengukuran tegangan dan arus sisi DC melalui I²C
MPPT CN3791	Pengaturan proses pengisian energi
Baterai	4 Li-Ion 18650; disusun paralel
Thinger.io	Monitoring tegangan, arus, dan daya secara real time
Arduino IDE + C++	Pengembangan dan pemrograman sistem

Arsitektur sistem memperlihatkan aliran masukan, proses, pengelolaan energi, dan keluaran. Empat LDR menjadi masukan ESP32 untuk mengendalikan dua servo. Keluaran panel diukur oleh INA219, diteruskan melalui CN3791 ke bank baterai, sedangkan data kelistrikan dikirim melalui *Wi-Fi* menuju Thinger.io.



Gambar 1. Arsitektur sistem smart tracking dan monitoring IoT

3. HASIL DAN ANALISIS

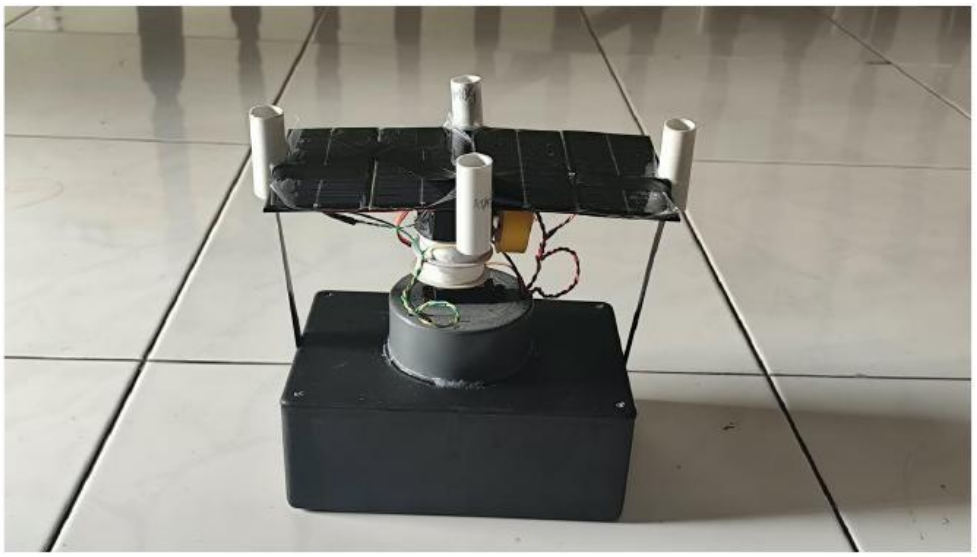
3.1 Implementasi Prototipe

Prototipe berhasil dirakit sesuai rancangan dengan mekanisme *dual-axis*, empat panel surya mini yang dipasang paralel, empat LDR, dua motor servo, ESP32, INA219, CN3791, dan bank baterai. Servo X digunakan untuk mengatur *azimuth* atau pergerakan *horizontal*, sedangkan Servo Y digunakan untuk mengatur *elevasi* atau pergerakan vertikal. Empat LDR ditempatkan pada empat sisi area panel dan digunakan sebagai umpan balik untuk menentukan arah pergerakan berdasarkan perbedaan intensitas cahaya.

Pada perangkat lunak, ESP32 membaca nilai analog LDR, menghitung perbedaan intensitas, kemudian mengendalikan servo melalui PWM. Ketika perbedaan berada di bawah *threshold*, panel mempertahankan posisi. Untuk *monitoring*, data INA219 dibaca secara berkala dan dikirim ke Thinger.io melalui jaringan *Wi-Fi*. Hasil implementasi menunjukkan bahwa fungsi *tracking* dan *monitoring* dapat berjalan pada satu sistem terintegrasi.

Gambar berikut menunjukkan bentuk fisik prototipe setelah seluruh komponen utama dirakit. Mekanisme bagian atas membawa empat panel surya mini dan sensor LDR, sedangkan bagian dasar menempatkan perangkat pengendali dan

pengelolaan energi. Struktur tersebut memperlihatkan penerapan dua sumbu gerak yang menjadi inti sistem serta penempatan perangkat elektronik dalam satu prototipe.



Gambar 2. Implementasi fisik prototipe dual-axis solar tracker

3.2 Pengujian Tracking LDR dan Motor Servo

Pengujian respons dilakukan dengan memberikan sumber cahaya dari beberapa arah. Ketika intensitas pada satu sisi lebih besar daripada sisi lainnya, servo bergerak menuju arah sumber cahaya hingga selisih pembacaan kembali masuk ke dalam *threshold*. Pada kondisi cahaya tepat di atas panel, sistem mempertahankan posisi atau masuk kondisi idle ketika perbedaan nilai sensor berada dalam batas toleransi. Hasil ini menunjukkan bahwa empat LDR dapat berfungsi sebagai umpan balik posisi untuk dua sumbu, sesuai prinsip pengendalian yang diterapkan oleh Setiana et al [10].

Tabel 2. Respons tracking pada beberapa posisi sumber cahaya

Posisi sumber cahaya	Respons LDR	Servo X	Servo Y
Timur	LDR Timur > Barat	Bergerak ke arah Timur	Menyesuaikan elevasi
Zenith	Nilai mendekati seimbang	Idle	Posisi datar/idle
Barat	LDR Barat > Timur	Bergerak ke arah Barat	Menyesuaikan elevasi

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa nilai *threshold* memengaruhi kestabilan gerakan. *Threshold* yang terlalu kecil dapat menyebabkan jitter pada servo karena sistem terus mencari posisi dengan perbedaan sensor yang sangat kecil. Pada konfigurasi penelitian, *threshold* yang digunakan mampu menghasilkan pergerakan yang relatif mulus dan menghentikan aktuator ketika posisi telah memenuhi kondisi yang ditetapkan.

3.3 Akurasi INA219 dan Monitoring IoT

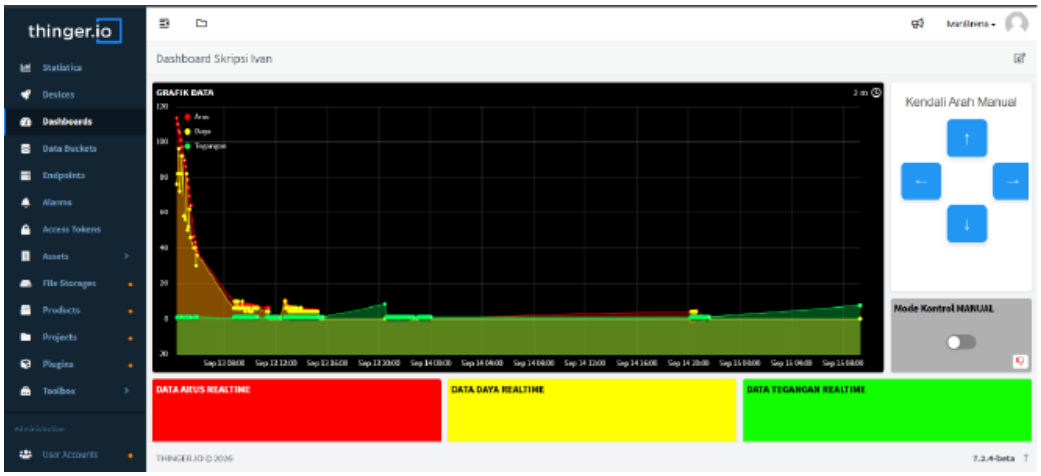
Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan INA219 terhadap multimeter digital. Hasil perbandingan digunakan untuk melihat selisih pengukuran parameter tegangan, arus, dan daya. Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh nilai error berada di bawah 2%, sehingga INA219 dapat digunakan untuk akuisisi data kelistrikan pada skala prototipe. Temuan ini konsisten dengan pemanfaatan INA219 pada sistem *monitoring* panel surya berbasis ESP32 yang dilaporkan Permana Muqorrobin et al [15].

Tabel 3. Perbandingan pembacaan INA219 dan multimeter

Parameter	INA219	Multimeter	Error
Tegangan	4,95 V	4,97 V	0,40%
Arus	0,73 A	0,74 A	1,35%
Daya	3,61 W	3,67 W	1,63%

Dashboard monitoring digunakan untuk menyajikan data hasil pengukuran secara lebih mudah dibaca. Pada implementasi penelitian, Thinger.io menampilkan pengukur dan grafik waktu untuk tegangan, arus, dan daya, serta menyediakan kontrol manual untuk pergerakan servo. Data diperbarui secara berkala sehingga pengguna dapat

mengamati perubahan parameter energi dan status sistem selama pengujian. Penggunaan Thinger.io sebagai media *monitoring* sejalan dengan penelitian Andini et al [11].



Gambar 3. Dashboard monitoring Thinger.io

Pengujian komunikasi menunjukkan data dapat dikirim melalui hotspot seluler dengan latensi sekitar 150-250 ms. *Dashboard* Thinger.io memperbarui data setiap 5 detik selama koneksi internet stabil dan pada kondisi pengujian tidak ditemukan packet loss. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ESP32 dapat menjalankan fungsi kendali lokal sekaligus komunikasi *monitoring* melalui *Wi-Fi* dalam satu prototipe. Integrasi pemantauan dan pengendalian energi berbasis sistem digital juga sejalan dengan pendekatan *monitoring* pada sistem panel surya yang dibahas Saputro et al. [16], [17].

3.4 Kinerja Keluaran Energi

Pengujian kinerja dilakukan selama pukul 09.00-15.00 WIB dengan pencatatan parameter tegangan, arus, daya, posisi panel, dan status IoT setiap satu jam. Tabel 4 menunjukkan bahwa keluaran daya berubah mengikuti kondisi pencahayaan. Daya meningkat dari 2,20 W pada pukul 09.00 menjadi 3,15 W pada pukul 10.00, kemudian turun menjadi 1,82 W pada pukul 11.00 ketika kondisi berawan. Nilai tertinggi sebesar 4,25 W diperoleh pada pukul 12.00 dengan tegangan 5,06 V dan arus 0,84 A. Setelah itu, daya menurun menjadi 4,06 W, 3,56 W, dan 2,61 W pada pukul 13.00, 14.00, dan 15.00.

Tabel 4. Hasil pengujian kinerja sistem pukul 09.00-15.00 WIB

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Status IoT
09.00	4,60	0,48	2,20	Terkoneksi
10.00	4,85	0,65	3,15	Terkoneksi
11.00	4,55	0,40	1,82	Terkoneksi
12.00	5,06	0,84	4,25	Terkoneksi
13.00	5,02	0,81	4,06	Terkoneksi
14.00	4,95	0,72	3,56	Terkoneksi
15.00	4,75	0,55	2,61	Terkoneksi

Daya puncak 4,25 W berada sangat dekat dengan kapasitas teoritis maksimum rangkaian panel sebesar 4,4 W, yaitu sekitar 96,6% dari nilai teoritis. Namun, penelitian ini tidak menghasilkan data kuantitatif keluaran panel statis yang setara untuk seluruh interval pengujian. Oleh karena itu, perbandingan dengan panel statis dibatasi pada perbedaan mekanisme orientasi: panel statis mempertahankan sudut, sedangkan sistem *dual-axis* melakukan penyesuaian otomatis berdasarkan masukan empat LDR. Pendekatan ini menjaga interpretasi hasil tetap sesuai dengan data yang benar-benar diperoleh pada penelitian.

Secara fungsional, hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem dapat mempertahankan integrasi antara *tracking*, akuisisi kelistrikan, dan *monitoring* IoT selama periode pengamatan. Nilai daya yang berubah sepanjang hari menunjukkan pengaruh kondisi pencahayaan terhadap keluaran panel, sementara respons servo membuat orientasi panel dapat disesuaikan terhadap arah sumber cahaya. Temuan ini mendukung penggunaan *dual-axis* sebagai mekanisme yang lebih adaptif terhadap perubahan orientasi dibandingkan panel statis, sebagaimana dibahas pada penelitian terdahulu [2], [3].

3.5 Potensi Penerapan pada Kendaraan Berbasis Solar System

Dalam konteks kendaraan berbasis energi surya, sistem yang dikembangkan dapat menjadi teknologi pendukung ketika kendaraan berada dalam kondisi terparkir. Konsepnya adalah mempertahankan kemampuan pengaturan orientasi panel sehingga atap atau modul panel dapat diarahkan terhadap sumber cahaya, sedangkan data tegangan, arus, dan daya dapat dipantau melalui *dashboard*. Namun, karena objek pengujian penelitian ini adalah prototipe panel surya dan bukan kendaraan, hasil yang diperoleh belum dapat digunakan untuk menyatakan peningkatan performa kendaraan secara keseluruhan. Penerapan pada kendaraan masih memerlukan pengembangan aspek mekanik, lingkungan, dan integrasi kelistrikan kendaraan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe *smart tracking* panel surya dua sumbu berbasis IoT dengan ESP32, empat LDR, dan dua motor servo. Sistem mampu menyesuaikan orientasi panel berdasarkan perbedaan intensitas cahaya pada dua arah pergerakan. Integrasi INA219 dan Thinger.io memungkinkan pengukuran serta pemantauan tegangan, arus, dan daya secara *real time*. Hasil pengujian menunjukkan daya puncak 4,25 W pada pukul 12.00 WIB dengan tegangan 5,06 V dan arus 0,84 A, sedangkan error pengukuran INA219 berada di bawah 2%. Komunikasi IoT menghasilkan latensi sekitar 150-250 ms dengan pembaruan data setiap 5 detik selama koneksi internet stabil. Secara keseluruhan, prototipe menunjukkan fungsi *tracking*, akuisisi data, dan *monitoring* dapat berjalan terpadu. Sistem juga memiliki potensi sebagai teknologi pendukung pemanfaatan energi surya pada kendaraan ketika terparkir, tetapi penerapan pada kendaraan nyata memerlukan pengujian lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Program Studi Teknologi Informasi, serta kepada Bapak Rizaldy Khair, S.Kom., M.Kom. selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sandra Dewi, Annisya Agustina, Zauzza Stabita, and Bintang Purba, "Analisis pengaruh radiasi matahari terhadap cahaya yang dihasilkan oleh panel surya," *Edukasi Elita: Jurnal Inovasi Pendidikan*, vol. 2, no. 1, pp. 276–281, 2024, doi: 10.62383/edukasi.v2i1.1032.

[2] H. Shang and W. Shen, "Design and implementation of a dual-axis solar tracking system," *Energies*, vol. 16, no. 17, Art. no. 6330, 2023, doi: 10.3390/en16176330.

[3] L. H. Santoso, B. Sunarto, and D. G. Maksum, "Peningkatan produktivitas panel surya menggunakan metode dual axis solar tracker dan mikrokontroler," *INFOTEX: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Teknik*, vol. 3, no. 1, pp. 24–36, 2024. Available: https://ojs.stttexmaco.ac.id/index.php/infotex/article/view/111.

[4] R. Sadeghi, M. Parenti, S. Memme, M. Fossa, and S. Morchio, "A review and comparative analysis of solar tracking systems," *Energies*, vol. 18, no. 10, Art. no. 2553, 2025, doi: 10.3390/en18102553.

[5] O. J. Oluwalana and K. Grzesik, "Solar-powered electric vehicles: Comprehensive review of technology advancements, challenges, and future prospects," *Energies*, vol. 18, no. 14, Art. no. 3650, 2025, doi: 10.3390/en18143650.

[6] A. Choudhary, "Internet of Things: A comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions," *Discover Internet of Things*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s43926-024-00084-3.

[7] P. K. Sadhu, V. P. Yanambaka, and A. Abdelgawad, "Internet of Things: Security and solutions survey," *Sensors*, vol. 22, no. 19, Art. no. 7433, 2022, doi: 10.3390/s22197433.

[8] H. Taherdoost, "Security and Internet of Things: Benefits, challenges, and future perspectives," *Electronics*, vol. 12, no. 8, Art. no. 1901, 2023, doi: 10.3390/electronics12081901.

[9] L. A. Abdul Rahaim, A. A. Abdullah, and A. K. L. Aquraishi, "IoT cloud system based dual axis solar tracker using Arduino," *Journal of Internet Services and Information Security*, vol. 13, no. 2, pp. 193–202, 2023, doi: 10.58346/JISIS.2023.I2.012.

[10] H. Setiana, A. B. Kusumaningtyas, and R. Maulana, "Rancang bangun PLTS solar tracker dual axis berbasis IoT menggunakan ESP32," *Prosiding SENIATI*, vol. 7, no. 2, pp. 177–182, 2023, doi: 10.36040/seniati.v7i2.7944.

[11] K. R. Andini, A. Sofijan, and H. Alwani, "Notifikasi temperatur lebih pada photovoltaic polycrystalline 100 Wp berbasis IoT menggunakan aplikasi Thinger.io," *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 10, no. 3, pp. 47–60, 2023, doi: 10.35957/jatisi.v10i3.4713.

[12] F. Al Ghifari, A. Anjalni, D. Lestari, and U. Al Faruq, "Perancangan dan pengujian sensor LDR untuk kendali lampu rumah," *Jurnal Kumparan Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 85–90, 2022, doi: 10.33369/jkf.5.2.85-90.

[13] A. Musa, E. Alozie, S. A. Suleiman, J. A. Ojo, and A. L. Imoize, "A review of time-based solar photovoltaic

tracking systems," *Information*, vol. 14, no. 4, Art. no. 211, 2023, doi: 10.3390/info14040211.

[14] I. Y. Basri, D. Novaliandry, and I. M. Tania, "Design and development of inductive sensor trainer based on Arduino and IDE 1.8.19 software," *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, vol. 15, no. 1, 2022.

[15] Z. Permana Muqorrobin, A. Nawawi, A. A. Ardani, S. Putra Setia, and R. Rahmadian, "Off-grid solar system monitoring based on ESP-32 and INA219 in Pesanggrahan Gordomulyo," *Vokasi UNESA Bulletin of Engineering, Technology and Applied Science*, vol. 1, no. 2, pp. 26–37, 2024, doi: 10.26740/vubeta.v1i2.34859.

[16] Fitrony, F. A., & Elim, M. I. (2026). Implementasi Teknologi Smart Farming untuk Monitoring Ketersediaan Air pada Tanaman Selada Berbasis Internet of Things. Journal of Science and Engineering, 7–16.

[17] J. S. Saputro, H. Maghfiroh, F. Adriyanto, M. R. Darmawan, M. H. Ibrahim, and S. Pramono, "Energy monitoring and control of automatic transfer switch between grid and solar panel for home system," *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 59–73, 2023, doi: 10.31763/ijrcs.v3i1.843.