

Sistem Kendali Otomasi Pintu Irigasi Berbasis IoT dengan Sensor Proximity dan Rotary Encoder

Ibun Ibnu Walad¹, Efendi S Wirateruna², Ngatmari³

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
22201053008@unisma.ac.id, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id, ngatmari@unisma.ac.id

Abstract

Manual operation of irrigation gates remains a major constraint in many Indonesian agricultural areas, particularly when field access is difficult and weather conditions are extreme. This study develops and quantitatively evaluates an IoT-based irrigation gate automation control system equipped with an Omron E6B2-CWZ6C rotary encoder, Fotek PM12-04N proximity sensor, Siemens S7-1200 PLC, and Raspberry Pi 4B, powered by a 550 Wp solar panel and 12 V 100 Ah VRLA battery. Field testing was conducted at Bendungan Sukoanyar, Malang Regency, on six gate opening levels (10–60 cm) with five repetitions each. Results show that the IoT system achieved an average position accuracy of 99.04% and operational reliability of 93.3%, significantly higher than the manual system (96.09% and 76.7%, respectively). Although the average response time of the IoT system was 23.6% slower, overall performance remained superior and suitable for field application. These findings demonstrate that IoT integration can significantly improve the precision and reliability of irrigation gate control while supporting food security and renewable energy utilization in remote agricultural areas.

Keywords: irrigation automation, IoT, rotary encoder, proximity sensor, PLC, solar panel, position accuracy, reliability

Abstraksi

Pengoperasian pintu irigasi secara manual masih menjadi kendala utama di banyak wilayah pertanian Indonesia, terutama ketika akses lapangan sulit dan cuaca ekstrem. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi secara kuantitatif Sistem Kendali Otomasi Pintu Irigasi berbasis IoT yang dilengkapi rotary encoder E6B2-CWZ6C, proximity sensor Fotek PM12-04N, PLC Siemens S7-1200, dan Raspberry Pi 4B, dengan sumber energi panel surya 550 Wp dan baterai VRLA 12 V 100 Ah. Pengujian lapangan dilakukan di Bendungan Sukoanyar, Kabupaten Malang, pada enam tingkat bukaan (10–60 cm) dengan lima kali pengulangan. Hasil menunjukkan bahwa sistem IoT mencapai akurasi posisi rata-rata 99,04 % dan reliabilitas operasi 93,3 %, jauh lebih tinggi dibandingkan sistem manual (masing-masing 96,09 % dan 76,7 %). Meskipun waktu respons sistem IoT rata-rata 23,6 % lebih lambat, performa keseluruhan tetap unggul dan layak diterapkan di lapangan. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi IoT mampu meningkatkan presisi dan keandalan pengendalian pintu irigasi secara signifikan, sekaligus mendukung ketahanan pangan dan pemanfaatan energi terbarukan di kawasan pertanian terpencil.

Kata Kunci: irigasi otomatis, IoT, rotary encoder, sensor proximity, PLC, panel surya, akurasi posisi, reliabilitas

I. PENDAHULUAN

Irigasi memegang peran krusial dalam menjaga kesinambungan produksi pangan, terutama di wilayah agraris yang sangat bergantung pada aliran air dari sungai atau saluran utama. Namun, di banyak daerah irigasi di Indonesia, pengoperasian pintu air masih dilakukan secara manual dengan sistem buka-tutup yang mengandalkan tenaga manusia. Pendekatan konvensional ini tidak hanya menyebabkan

keterlambatan dalam respons, tetapi juga berisiko menimbulkan kesalahan operasional, keausan komponen akibat pembukaan yang tidak terkontrol, serta inkonsistensi dalam pengaturan bukaan pintu selama proses distribusi air berlangsung [1]. Ketergantungan penuh pada operator lapangan pun menimbulkan kerentanan, khususnya ketika akses menuju lokasi sulit dijangkau saat cuaca ekstrem menghambat aktivitas operasional.

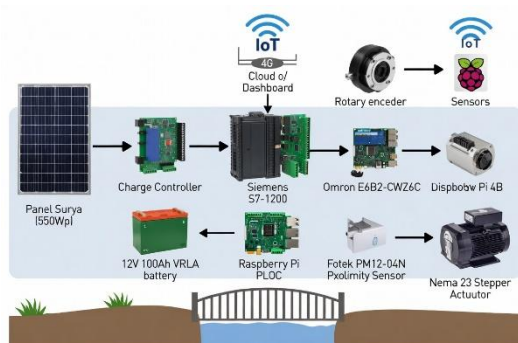
Kemajuan teknologi otomasi mendorong penerapan sistem kendali berbasis motor listrik, sensor posisi, serta logika digital sebagai alternatif pengganti operasi manual. Integrasi Internet of Things (IoT) memungkinkan pintu air irigasi dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh [2], [3], [4]. Meskipun berbagai pendekatan menunjukkan potensi besar, sebagian besar studi masih berada pada tahap uji fungsi (proof-of-concept). Belum banyak penelitian yang mengevaluasi performa sistem secara kuantitatif, terutama terkait parameter teknis seperti kecepatan respons aktuator, akurasi posisi bukaan, serta keandalan operasional dalam penggunaan jangka panjang di lapangan [5], [6].

Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk melakukan evaluasi kuantitatif terhadap Sistem Kendali Otomasi Pintu Irigasi berbasis IoT yang menggunakan motor stepper Nema 23, dilengkapi rotary encoder E6B2-CWZ6C, sensor proximity Fotek PM12-04N, PLC Siemens S7-1200, dan Raspberry Pi 4B sebagai gateway IoT, dengan sumber energi panel surya 550 Wp. Evaluasi dilakukan melalui serangkaian uji operasional di Bendungan Sukoanyar, Kabupaten Malang. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu mengisi kekosongan dalam literatur sebelumnya serta memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem otomasi irigasi yang diimplementasikan secara efektif di lapangan.

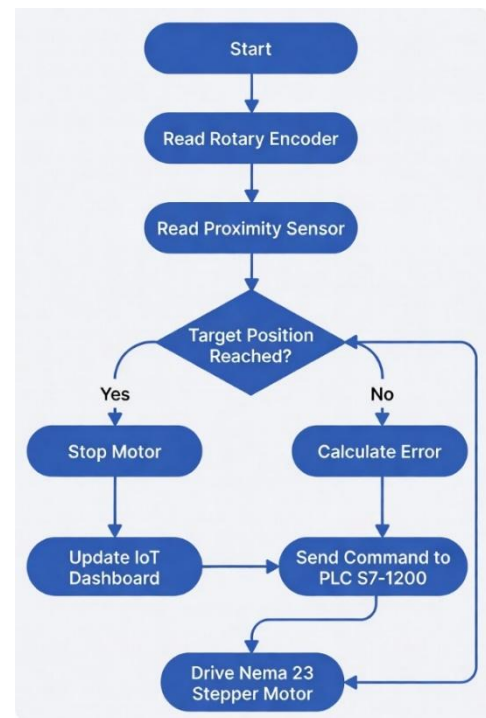
Penelitian ini secara khusus difokuskan pada evaluasi kuantitatif performa aktuasi pintu irigasi, bukan sekadar uji fungsi. Parameter yang diukur meliputi waktu respons, akurasi posisi bukaan menggunakan Metode Persentase Akurasi berbasis Relative Error, serta reliabilitas siklus operasi. Dengan pendekatan ini, hasil penelitian diharapkan mampu memberikan data empiris yang dapat dibandingkan secara langsung antara sistem IoT dan metode manual, sekaligus mengisi kekosongan literatur terkait karakterisasi kinerja aktuator pintu irigasi di kondisi lapangan nyata.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan rancang bangun sistem dan pengujian lapangan. Arsitektur sistem terdiri atas lapisan sensor dan aktuator, lapisan kontrol dan komputasi, serta lapisan daya dan komunikasi IoT. Blok diagram sistem disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem kendali otomasi



pintu irigasi berbasis IoT

Sensor proximity Fotek PM12-04N digunakan untuk mendeteksi batas pergerakan, sementara rotary encoder Omron E6B2-CWZ6C memberikan umpan balik posisi. Data sensor diproses oleh PLC Siemens S7-1200. Raspberry Pi 4B berfungsi sebagai gateway IoT. Aktuator yang digunakan adalah motor stepper Nema 23. Sumber energi berasal dari panel surya 550 Wp monofacial yang terhubung ke baterai SOLANA VRLA Deep-Cycle 12 V 100 Ah. Algoritma kontrol digambarkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Flowchart algoritma kontrol sistem

Akurasi posisi dihitung menggunakan Metode Persentase Akurasi berbasis Relative Error. Relative Error dihitung sebagai selisih mutlak antara posisi target dan posisi aktual dibagi posisi target. Selanjutnya, persentase akurasi diperoleh dengan persamaan berikut:

Akurasi (%) =

$$\left(1 - \frac{Posisi_{target} - Posisi_{aktual}}{Posisi_{target}}\right) \times 100\% \dots (1)$$

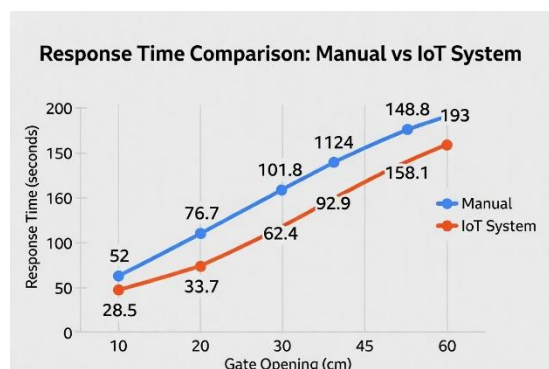
di mana P_{target} adalah posisi target bukaan pintu (cm) dan P_{aktual} adalah posisi aktual yang terbaca dari rotary encoder (cm). Semakin kecil nilai Relative Error, semakin tinggi persentase akurasi. Reliabilitas dihitung sebagai persentase jumlah siklus operasi yang berhasil diselesaikan tanpa fault terhadap total percobaan pada setiap tingkat bukaan. Setiap tingkat bukaan diuji sebanyak lima kali pengulangan untuk sistem manual maupun sistem IoT. Pengujian dilakukan

pada enam tingkat bukaan (10–60 cm) dengan lima kali pengulangan untuk sistem manual maupun IoT di Bendungan Sukoanyar. Parameter yang diukur meliputi waktu respons, akurasi posisi, dan reliabilitas siklus operasi.

itu, sistem manual bergantung sepenuhnya pada keterampilan operator, sehingga error lebih besar terutama pada bukaan kecil (10 cm) yang membutuhkan presisi tinggi.

Tabel 1. Spesifikasi Utama Perangkat Keras Sistem

Komponen	Spesifikasi
PLC	Siemens S7-1200 CPU 1211C
Gateway IoT	Raspberry Pi 4B
Rotary Encoder	Omron E6B2-CWZ6C
Proximity Sensor	Fotek PM12-04N Inductive NPN
Aktuator	Motor Stepper Nema 23
Panel Surya	550 Wp Monofacial
Baterai	SOLANA VRLA Deep-Cycle 12 V 100 Ah



III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian waktu respons dan akurasi posisi pada enam tingkat bukaan disajikan secara lengkap pada Tabel 2. Sistem IoT mencapai akurasi posisi rata-rata 99,04%, sementara sistem manual hanya 96,09%.

Tabel 2. Perbandingan Waktu Respons dan Akurasi Posisi

Bukaan (cm)	Manual (s)	IoT (s)	Diff (%)	Akurasi Manual (%)	Akurasi IoT (%)
10	28,49	33,70	+18,3	91,16	98,46
20	52,00	62,40	+20,0	97,15	99,42
30	76,70	92,94	+21,2	95,80	99,17
40	101,80	127,08	+24,8	96,17	98,98
50	123,98	158,08	+27,5	97,60	99,25
60	148,78	192,96	+29,7	98,66	98,98
Rata-rata	—	—	+23,6	96,09	99,04

Tabel 2 menunjukkan keunggulan sistem IoT dalam akurasi pada hampir seluruh tingkat bukaan. Waktu respons sistem IoT rata-rata 23,6% lebih lambat dibandingkan sistem manual. Keterlambatan ini disebabkan oleh proses pemrosesan sinyal encoder, komunikasi data melalui Raspberry Pi 4B, serta logika kendali PLC yang memastikan posisi stabil sebelum motor berhenti. Terdapat trade-off antara kecepatan dan ketepatan kendali.

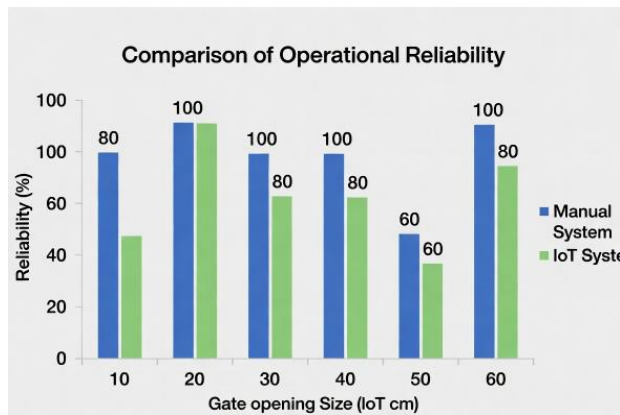
Secara keseluruhan, sistem IoT menunjukkan akurasi yang konsisten tinggi (98,46%–99,42%) pada seluruh tingkat bukaan. Keunggulan ini diperoleh karena umpan balik posisi yang kontinu dari rotary encoder memungkinkan PLC melakukan koreksi secara real-time hingga posisi target tercapai dengan error minimal. Sementara

Gambar 3. Perbandingan waktu respons sistem manual dan sistem IoT

Tabel 3. Reliabilitas Siklus Operasi

Bukaan (cm)	Manual Berhasil	Manual Gagal	Reliabilitas Manual (%)	IoT Berhasil	Reliabilitas IoT (%)
10	4	1	80	5	100
20	5	0	100	5	100
30	4	1	80	5	100
40	4	1	80	4	80
50	3	2	60	5	100
60	3	2	60	4	80
Total / Rata-rata	23	7	76,7	28	93,3

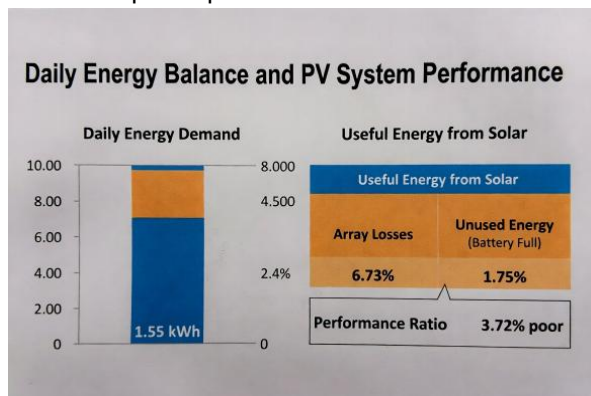
Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem IoT memiliki reliabilitas rata-rata 93,3%, jauh lebih tinggi dibandingkan sistem manual (76,7%). Sistem manual mengalami penurunan reliabilitas yang signifikan pada bukaan 50 cm dan 60 cm (hanya 60%). Hal ini disebabkan oleh kesulitan operator dalam mengontrol posisi secara konsisten ketika beban meningkat. Sebaliknya, sistem IoT hanya mengalami 2 kegagalan dari total 30 percobaan.



Gambar 4. Perbandingan reliabilitas siklus operasi sistem manual dan sistem IoT

Dari segi konsumsi energi, kebutuhan harian sistem diperkirakan sekitar 1,55 kWh/hari. Panel surya 550 Wp secara teoritis mampu memenuhi kebutuhan tersebut pada kondisi cuaca cerah. Namun, hasil simulasi PVsyst menunjukkan Performance Ratio yang rendah (hanya 3,72%) akibat kapasitas baterai yang masih terbatas (1 unit 12 V 100 Ah), sehingga sebagian besar energi terbuang ketika baterai penuh (Unused Energy). Kondisi ini mengindikasikan perlunya penambahan kapasitas penyimpanan energi agar otonomi sistem meningkat.

Penurunan reliabilitas sistem manual pada bukaan 50 cm dan 60 cm (hanya 60%) disebabkan oleh meningkatnya beban hidraulik dan gesekan mekanis, yang membuat operator kesulitan mempertahankan posisi target secara konsisten. Sebaliknya, sistem IoT mampu mempertahankan reliabilitas tinggi karena adanya batas keselamatan dari proximity sensor dan logika stabilisasi posisi pada PLC.



Gambar 5. Neraca energi harian dan kinerja sistem fotovoltaik (Performance Ratio rendah akibat kapasitas baterai terbatas)

Pengujian lapangan juga mengungkapkan tantangan operasional jangka panjang, antara lain risiko korosi pada komponen mekanis (ulir, rantai, rangka) akibat paparan air irigasi dan kelembaban tinggi, kesulitan akses pemeliharaan di lokasi terpencil, serta aspek keamanan karena sistem berada di area terbuka. Secara keseluruhan, hasil

pengujian menjawab rumusan masalah bahwa penerapan integrasi IoT memberikan performa yang lebih baik dibandingkan metode manual, terutama dalam hal akurasi posisi dan reliabilitas operasi.

Dari segi konsumsi energi, kebutuhan harian sistem diperkirakan sekitar 1,55 kWh/hari. Panel surya 550 Wp secara teoritis mampu memenuhi kebutuhan tersebut pada kondisi cuaca cerah. Namun, hasil simulasi PVsyst menunjukkan Performance Ratio yang sangat rendah (hanya 3,72%) akibat kapasitas baterai yang masih terbatas (1 unit 12 V 100 Ah). Kondisi ini menyebabkan Array Losses tinggi dan sebagian besar energi terbuang ketika baterai penuh (Unused Energy). Hasil simulasi mengindikasikan perlunya penambahan kapasitas penyimpanan energi agar otonomi sistem meningkat.

IV. KESIMPULAN

Sistem Kendali Otomasi Pintu Irigasi berbasis IoT yang dilengkapi rotary encoder E6B2-CWZ6C dan proximity sensor Fotek PM12-04N, dikendalikan oleh PLC Siemens S7-1200 serta Raspberry Pi 4B, telah berhasil diimplementasikan dan diuji di Bendungan Sukoanyar. Sistem mampu beroperasi menggunakan sumber energi panel surya 550 Wp dan baterai 12 V 100 Ah.

Penerapan integrasi IoT memberikan performa yang lebih unggul dibandingkan pengoperasian manual. Sistem IoT mencapai akurasi posisi rata-rata 99,04% (lebih tinggi dari sistem manual 96,09%) dan reliabilitas siklus operasi 93,3% (dibandingkan 76,7% pada sistem manual). Temuan ini secara langsung menjawab rumusan masalah penelitian.

Terkait pengukuran akurasi posisi, sistem IoT mampu menjaga error posisi sangat kecil berkat umpan balik kontinu dari rotary encoder. Sementara itu, waktu respons sistem IoT rata-rata 23,6% lebih lambat dibandingkan sistem manual. Keterlambatan ini merupakan trade-off yang wajar akibat proses pemrosesan data encoder, komunikasi IoT, dan logika stabilisasi posisi pada PLC.

Konsumsi energi harian sistem diperkirakan sekitar 1,55 kWh/hari. Panel surya 550 Wp secara teoritis mampu memenuhi kebutuhan tersebut, meskipun hasil simulasi PVsyst menunjukkan Performance Ratio yang rendah (3,72%) akibat kapasitas baterai yang masih terbatas. Secara keseluruhan, integrasi IoT mampu meningkatkan presisi dan keandalan pengendalian pintu irigasi secara signifikan dibandingkan metode manual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Sujathakumari, M. Baluchandra, and Sumanth P, "Eco Smart Solar Powered Irrigation System," *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, vol. 2, no. 09, pp. 2396–2402, Sep. 2024, doi: 10.47392/irjaeh.2024.0329.
- [2] P. Dey et al., "IoT-based solar-powered smart irrigation system with solar tracker for rice fields," *Precision Agriculture Science and Technology*, vol. 6, Apr. 2024, doi: 10.12972/pastj.20240004.
- [3] N. Niharika, S. Raju, R. Akash, I. Hussain, and K. Victor, *Gate Guard: Streamlining Agriculture with Smart Water Gate System*. 2024. doi: 10.1109/ICACRS62842.2024.10841506.
- [4] A. Olujimi, I. Aaron, O. Adebayo, A. Afolarin, and E. Jonathan, "Smart Solar Powered Irrigation System," *Journal European des Systemes Automatises*, vol. 55, no. 4, pp. 535–540, Aug. 2022, doi: 10.18280/jesa.550413.
- [5] S. Ali et al., "Solar Powered Smart Irrigation System," *Pakistan Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 49–55, Mar. 2022, doi: 10.51846/vol5iss1pp49-55.
- [6] J. Wanyama et al., "Development of a Solar Powered Smart Irrigation Control System Kit," *Smart Agricultural Technology*, vol. 5, p. 100273, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.atech.2023.100273.
- [7] R. Chakma et al., "Harnessing the Power of the Sun: An IOT-Based Solar Irrigation System," in *Intelligent Computing and Optimization*, Springer, 2024, pp. 125–134. doi: 10.1007/978-3-031-73318-5_13.
- [8] R. Mustapa, S. A. Sanat, M. Fauzi, and C. Pa, "The Innovation Of IoT Water Monitoring Irrigation Solar System," 2024.
- [9] K. R, J. M, N. M, N. E, and R. R, "Solar Energy Based Smart Irrigation System using IoT," *Journal of ISMAC*, vol. 5, pp. 83–99, Jun. 2023, doi: 10.36548/jismac.2023.2.001.
- [10] S. N. Rao, K. B M, and H. Mishra, "IoT Based Irrigation System Powered by Solar Energy," vol. 19, pp. 13–17, Aug. 2020.
- [11] S. D. Yusuf, S.-L. D. Comfort, I. Umar, and A. Z. Loko, "Simulation and Construction of a Solar Powered Smart Irrigation System Using Internet of Things (IoT), Blynk Mobile App," *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, pp. 136–147, Oct. 2022, doi: 10.9734/ajahr/2022/v9i4202.
- [12] G. Setiawan and M. J. Afroni, "Smart Farming Tanaman Selada (Romaine) dengan Sistem Aeroponik Berbasis IoT," 2021.
- [13] M. A. Abdelhamid et al., "Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-94251-3.
- [14] M. I. Maulana, B. Minto Basuki, and E. S. Wirateruna, "Rancang Bangun Sistem MPPT Photovoltaic Berbasis Algoritma Modified Incremental Conductance dengan Arduino," 2023.
- [15] N. H. Azhan, N. M. Azhariddin, and M. B. Ismail, "Development of Solar-Powered IoT Smart Irrigation System for Chili Crops Cultivation in Greenhouse," *2023 International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T)*, pp. 100–105, 2023.
- [16] W. R. Kadpan, F. F. Mustafa, and H. T. Kadhim, "A Review of Control Automatically Water Irrigation Canal Using Multi Controllers and Sensors," Jun. 01, 2024, doi: 10.18280/jesa.570309.
- [17] D. Ramprasad et al., "Solar-powered smart irrigation system using Machine learning & IoT," *International Journal of Research Publication and Reviews*, vol. 5, no. 3, pp. 7610–7616, Mar. 2024.
- [18] V. R. Pathmudi et al., "A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications," *Sci. Afr.*, vol. 19, p. e01577, 2023.
- [19] N. Jaiswal, T. V. Kumar, and C. Shukla, "Smart drip irrigation systems using IoT: a review of architectures, machine learning models, and emerging trends," *Discover Agriculture*, vol. 3, no. 1, p. 253, 2025, doi: 10.1007/s44279-025-00430-1.