

Rancang Bangun Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Dengan Menggunakan Sensor Debu GP2Y1010AU0F dan Komunikasi LoRa

Alberta Bihaqil Hakiki ^{1*}, As'ad Shidqy Aziz ², Ayusta Lukita Wardani ³, Nur Vidia Laksmi ⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Juli 26, 2026

Revised Juli 28, 2026

Accepted Juli 29, 2026

Keywords:

Solar Panel
Sistem Pembersih Otomatis
GP2Y1010AU0F
INA260
LoRa chip SX1262
ESP32

ABSTRACT

Panel surya merupakan perangkat yang memanfaatkan energi matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik. Meskipun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki berbagai keunggulan sebagai sumber energi terbarukan, performa panel surya dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama akumulasi debu dan kotoran pada permukaannya. Penumpukan debu dapat menghalangi radiasi matahari yang diterima sel fotovoltaik sehingga menurunkan efisiensi konversi energi dan mempercepat degradasi panel apabila tidak dibersihkan secara rutin. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pembersih panel surya otomatis yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian dari jarak jauh menggunakan komunikasi LoRa. Sistem dikembangkan berbasis mikrokontroler ESP32 dengan mengintegrasikan sensor INA260 untuk mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya, sensor debu GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi tingkat akumulasi debu, serta modul LoRa SX1262 sebagai media komunikasi data berdaya rendah. Pengujian dilakukan menggunakan metode kuantitatif dengan membandingkan parameter keluaran panel surya sebelum dan sesudah proses pembersihan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran panel meningkat dari rata-rata 8,484 V menjadi 9,373 V atau sebesar 10,48%. Arus keluaran meningkat dari rata-rata 0,0961 A menjadi 0,2198 A atau sebesar 128,72%, sedangkan daya keluaran meningkat dari rata-rata 0,815 W menjadi 2,056 W atau sebesar 152,27%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pembersih panel surya yang dirancang mampu mengurangi dampak akumulasi debu pada permukaan panel sehingga meningkatkan performa panel surya berdasarkan parameter tegangan, arus, dan daya keluaran.

Copyright © 2026 Akiratech
Journal

All rights reserved

Corresponding Author:

Alberta Bihaqil Hakiki,
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik, Fakultas Vokasi
Universitas Negeri Surabaya
Email: albethakiki@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.63935/akiratech.v3i2.349>

1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peran strategis dalam mendukung transisi menuju sistem pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan rendah emisi. Indonesia memiliki potensi pemanfaatan energi surya yang tinggi sehingga pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terus mengalami peningkatan seiring dengan kebijakan pemerintah dalam percepatan pemanfaatan energi terbarukan. Meskipun demikian, kinerja panel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, salah satunya adalah akumulasi debu dan kotoran pada permukaan panel. Keberadaan debu dapat

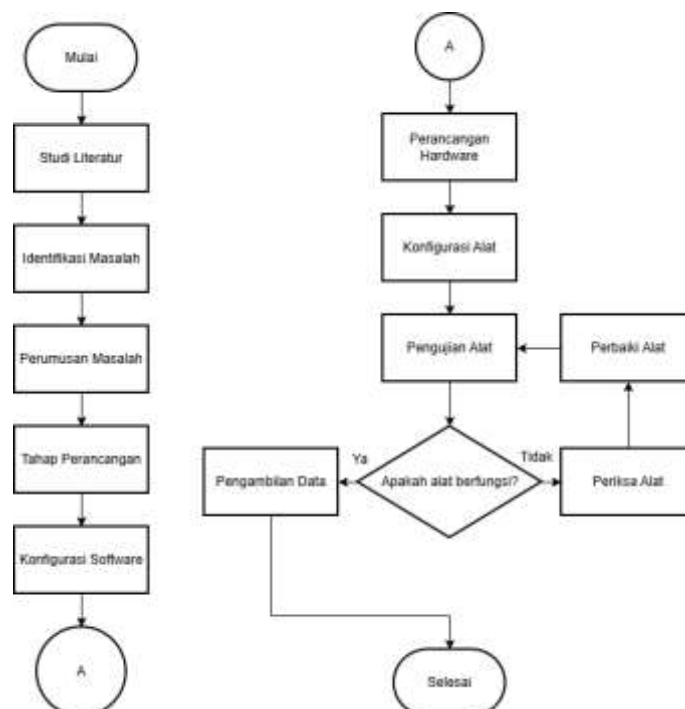
menghambat penyerapan radiasi matahari oleh sel fotovoltaik sehingga menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi listrik [1].

Penelitian [2] menunjukkan bahwa akumulasi debu dengan kepadatan 2 g/m^2 menyebabkan penurunan daya keluaran panel surya sebesar sekitar 8%, sedangkan pada kepadatan 10 g/m^2 penurunan daya dapat mencapai 38%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa akumulasi debu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa panel surya sehingga diperlukan sistem pembersihan yang mampu bekerja secara otomatis untuk menjaga kestabilan daya keluaran. Selain mekanisme pembersihan, sistem juga memerlukan sensor untuk memantau kondisi panel secara real-time serta didukung oleh sistem komunikasi yang andal dalam proses pengiriman data.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pembersihan panel surya otomatis dan menunjukkan adanya peningkatan performa keluaran listrik setelah proses pembersihan dilakukan [3]. Namun, sebagian besar sistem tersebut masih memanfaatkan jaringan *WiFi* sebagai media komunikasi sehingga jangkauan pengendalian dan pemantauan menjadi terbatas. Hasil penelitian [4] menunjukkan bahwa protokol komunikasi *LoRa* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan *MQTT* pada parameter *throughput*, *packet loss*, dan konsumsi daya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *LoRa* lebih sesuai untuk diterapkan pada sistem *Internet of Things* (IoT) yang memerlukan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem pembersih panel surya otomatis berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor INA260 untuk pemantauan parameter listrik panel, sensor debu GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi tingkat akumulasi debu pada permukaan panel, serta modul komunikasi *LoRa chip* SX1262 sebagai media transmisi data jarak jauh. Studi ini dirancang untuk menguji efektivitas sistem pembersih otomatis dengan membandingkan perubahan nilai tegangan, arus, dan daya aktif keluaran panel surya sebelum dan sesudah proses pembersihan. Sistem yang diusulkan diharapkan mampu melakukan pemantauan kondisi panel dan proses pembersihan secara otomatis sehingga dapat menjaga kestabilan performa panel surya serta mengatasi keterbatasan jangkauan komunikasi yang masih ditemukan pada penelitian sebelumnya.

2. METODE



Gambar 1 Metode pembuatan proyek

Berdasarkan gambar 1, Proses implementasi dalam proyek ini dimulai dengan mengidentifikasi kebutuhan akan sistem pembersih panel surya otomatis menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor INA260, sensor debu GP2Y1010AU0F, dan Komunikasi *LoRa* untuk panel surya. Setelah itu, setiap komponen diuji tingkat akurasi dan dibandingkan dengan alat ukur referensi. Setiap komponen dianalisis

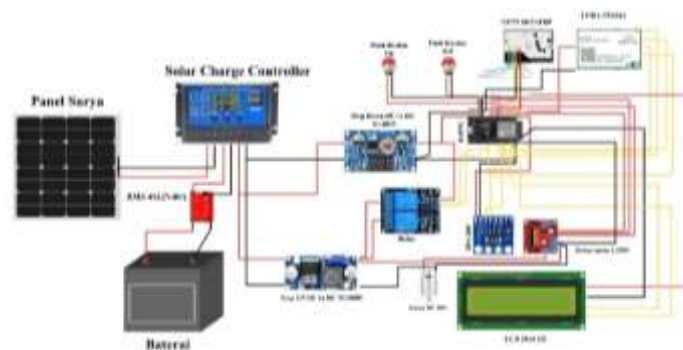
secara rinci untuk memastikan fungsionalnya dalam sistem dan ditampilkan melalui home assistant. Tahap berikutnya adalah tahap perancangan meliputi desain mekanik, perancangan rangkaian elektronik, serta konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk merealisasikan sistem pembersih panel surya otomatis. Setelah desain selesai, perangkat dibangun sesuai dengan desain yang telah dibuat. Proses dilanjutkan dengan analisis kinerja sistem yang telah dirakit, kemudian pengujian dilakukan untuk memastikan fungsionalitas alat dalam situasi operasional yang sebenarnya.

Pengumpulan data dilakukan menggunakan metode kuantitatif, karena data yang dikumpulkan bersifat numerik dan diukur langsung dari sensor, seperti tegangan, arus, dan daya. Pemantauan dilakukan secara real-time melalui home assistant. konfigurasi perangkat lunak dilakukan menggunakan *Arduino IDE* untuk memprogram ESP32 agar mampu membaca data sensor, mengolah data, mengirimkan informasi melalui *LoRa*, dan mengendalikan aktuator sesuai alur kerja sistem.

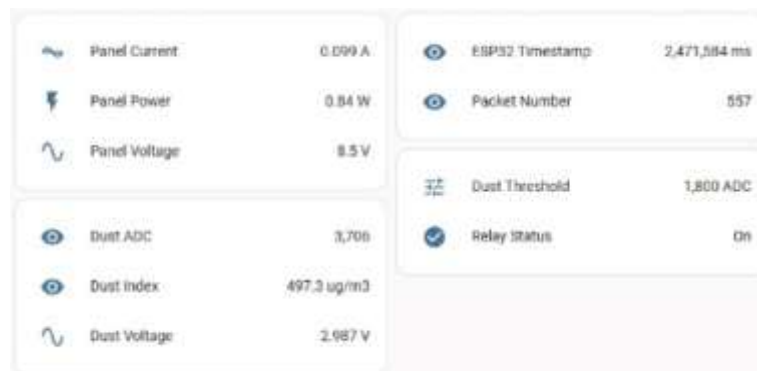
2.1 Identifikasi Masalah

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh [2], penumpukan debu pada permukaan panel surya secara signifikan mempengaruhi efisiensi konversi energi listrik. Uji coba yang telah dilakukan pada kepadatan debu 2g/m^2 , daya keluaran menurun sekitar 8%, sedangkan pada kepadatan 10g/m^2 , kehilangan daya dapat mencapai 38%. Data diatas menegaskan pentingnya pembersihan rutin pada panel surya. Sebagai pengembangan atas penelitian sebelumnya, pada penelitian “Rancang bangun Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Dengan Menggunakan Sensor Debu GP2Y1010AU0F Dan Komunikasi LoRa” ini dirancang sebuah sistem pembersihan panel surya yang dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh tanpa ketergantungan pada jaringan internet. Sistem ini memadukan sensor INA260, dan GP2Y1010AU0F sebagai pemantau performa panel secara real time, serta *LoRa chip* SX1262 sebagai media komunikasi berdaya rendah untuk pengiriman data.

2.2 Desain Sistem



Gambar 2 Wiring sistem



Gambar 3 Tampilan home assistant



Gambar 4 Desain sistem

Secara umum merupakan implementasi awal sistem yang dirancang untuk menjaga kebersihan permukaan panel surya secara otomatis berdasarkan tingkat debu yang terdeteksi. Sistem ini memanfaatkan sensor debu GP2Y1010AU0F sebagai pendeteksi tingkat debu, mikrokontroler ESP32, serta komunikasi LoRa sebagai media transmisi data monitoring antara *transmitter* dan *receiver*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Desain



Gambar 5 Hasil desain

Pengujian dimulai dengan menentukan tanggal pelaksanaan untuk memastikan kondisi lingkungan yang relatif konsisten. Selanjutnya, panel surya diamati dalam keadaan sebelum dibersihkan untuk mencatat kondisi fisik panel, tingkat iradiasi matahari, serta jumlah debu yang menempel pada permukaan panel menggunakan satuan mg/m^3 . Setelah itu, dilakukan pencatatan parameter listrik yang meliputi tegangan, arus, dan daya sebagai nilai awal sebelum proses pembersihan. Kemudian alat pembersih panel dioperasikan untuk menghilangkan debu pada permukaan panel. Setelah proses pembersihan selesai, panel diamati kembali untuk mencatat kondisi panel setelah dibersihkan dan memastikan bahwa debu telah berkurang sesuai yang diharapkan. Pengukuran iradiasi matahari serta parameter tegangan, arus, dan daya kembali dilakukan untuk memperoleh data kinerja panel setelah pembersihan. Data hasil pengukuran baik sebelum maupun sesudah pembersihan dimasukkan ke dalam tabel pengujian untuk setiap percobaan. Tahap akhir dilakukan dengan menghitung jumlah dan rata-rata efisiensi untuk mengetahui sejauh mana pembersihan panel berpengaruh terhadap peningkatan performa panel surya

3.1. Hasil Pengambilan data

Melakukan pencatatan parameter listrik yang meliputi tegangan, arus, dan daya sebagai nilai awal sebelum proses pembersihan. Kemudian alat pembersih panel dioperasikan untuk menghilangkan debu pada permukaan panel. Setelah proses pembersihan selesai, panel diamati kembali untuk mencatat kondisi panel setelah dibersihkan dan memastikan bahwa debu telah berkurang sesuai yang diharapkan dan akan dihitung

persentase peningkatan rata-rata. Perhitungan persentase peningkatan rata-rata (%) dapat dilihat pada persamaan (1).

$$\% = \frac{\text{rata rata sesudah} - \text{rata rata sebelum}}{\text{rata rata sebelum}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 1 Perhitungan hasil tegangan

Tegangan (V)					
No	Intensitas Cahaya	Konsentrasi Debu (mg/m ³)	Sebelum Dibersihkan	Sesudah Dibersihkan	Selisih (%)
1	7719	491,5	8,46	9,37	0,91
2	7722	495,21	8,5	9,37	0,87
3	7752	497,3	8,5	9,37	0,87
4	7773	496,66	8,5	9,37	0,87
5	7749	498,27	8,47	9,37	0,90
6	7778	496,5	8,51	9,36	0,85
7	7735	492,31	8,53	9,38	0,85
8	7752	490,7	8,46	9,38	0,92
9	7713	494,08	8,45	9,38	0,93
10	7625	491,5	8,46	9,38	0,92
Jumlah			84,84	93,73	8,89
Persentase Peningkatan				10,48	
Rata-rata (%)					

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan keluaran panel surya sebelum dibersihkan berada pada kisaran 8,45–8,53 V, dengan nilai rata-rata sebesar 8,484 V. Setelah proses pembersihan menggunakan sistem pembersih yang dirancang, tegangan keluaran meningkat menjadi 9,36–9,38 V, dengan rata-rata sebesar 9,373 V. Dengan demikian diperoleh jumlah peningkatan tegangan sebesar 8,89 V atau rata-rata peningkatan sebesar 0,889 V pada setiap pengujian. Berdasarkan perhitungan efisiensi peningkatan menggunakan perbandingan nilai rata-rata sebelum dan sesudah pembersihan, diperoleh efisiensi peningkatan tegangan sebesar 10,48%.

Tabel 2 Perhitungan hasil arus

Arus (A)					
No	Intensitas Cahaya	Konsentrasi Debu (mg/m ³)	Sebelum Dibersihkan	Sesudah Dibersihkan	Selisih (%)
1	7719	491,5	0,094	0,22	0,126
2	7722	495,21	0,097	0,22	0,123
3	7752	497,3	0,099	0,22	0,121
4	7773	496,66	0,097	0,22	0,123
5	7749	498,27	0,095	0,221	0,126

6	7778	496,5	0,099	0,218	0,119
7	7735	492,31	0,1	0,22	0,120
8	7752	490,7	0,093	0,22	0,127
9	7713	494,08	0,093	0,22	0,127
10	7625	491,5	0,094	0,219	0,125
Jumlah			0,961	2,198	1,237
Persentase Peningkatan			128,72		
Rata-rata (%)					

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus keluaran panel surya sebelum dibersihkan berada pada kisaran 0,093–0,100 A, dengan nilai rata-rata sebesar 0,0961 A. Setelah panel dibersihkan menggunakan sistem pembersih yang dirancang, arus keluaran meningkat menjadi 0,218–0,221 A, dengan rata-rata sebesar 0,2198 A. Dengan demikian diperoleh jumlah peningkatan arus sebesar 1,237 A atau rata-rata peningkatan sebesar 0,1237 A pada setiap percobaan.

Tabel 3 Perhitungan hasil daya aktif

Daya Aktif (W)					
No	Intensitas Cahaya	Konsentrasi Debu (mg/m ³)	Sebelum Dibersihkan	Sesudah Dibersihkan	Selisih (%)
1	7719	491,5	0,79	2,05	1,26
2	7722	495,21	0,83	2,05	1,22
3	7752	497,3	0,84	2,06	1,22
4	7773	496,66	0,83	2,06	1,23
5	7749	498,27	0,81	2,07	1,26
6	7778	496,5	0,84	2,04	1,20
7	7735	492,31	0,86	2,06	1,20
8	7752	490,7	0,78	2,06	1,28
9	7713	494,08	0,78	2,06	1,28
10	7625	491,5	0,79	2,05	1,26
Jumlah			8,15	20,56	12,41
Persentase Peningkatan			152,27		
Rata-rata (%)					

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya sebelum dibersihkan berada pada kisaran 0,78–0,86 W, dengan nilai rata-rata sebesar 0,815 W. Setelah dilakukan proses pembersihan menggunakan sistem yang dirancang, daya keluaran meningkat menjadi 2,04–2,07 W, dengan nilai rata-rata sebesar 2,056 W. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh jumlah peningkatan daya sebesar 12,41 W atau rata-rata peningkatan sebesar 1,241 W pada setiap percobaan.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran panel meningkat dari rata-rata 8,484 V menjadi 9,373 V, atau mengalami peningkatan sebesar 10,48%. Pada parameter arus, diperoleh peningkatan rata-rata dari 0,0961 A menjadi 0,2198 A, atau mengalami peningkatan sebesar 128,72%. Peningkatan pada parameter daya juga menunjukkan hasil yang signifikan, yaitu dari rata-rata 0,815 W menjadi 2,056 W, dengan peningkatan sebesar 152,27%. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penumpukan debu pada permukaan panel surya menyebabkan penurunan performa, sedangkan proses pembersihan yang dilakukan oleh sistem yang dirancang mampu mengembalikan kemampuan panel dalam meningkatkan proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik.

REFERENCES

- [1] Andrul Persada Ginting, M., Thoriq Arrayan, M., Ramadhan, A., Iwan Setiawan, dan, & Sudharto, J. (2024). Perancangan Dan Analisis Pengujian Efektivitas Sistem Monitoring Tegangan Pada *Battery Management System* Dengan Baterai *Lithium Iron Phosphate* Pada Purwarupa Mobil Listrik. In Juni (Vol. 13, Issue 2). <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [2] Ardiansyah, N. A., Wardani, A. L., Aribowo, W., & Hermawan, A. C. (2024). Rancang Bangun Alat Pembersih Solar Panel Menggunakan *Wiper* Dan *Rolling Brush* Secara Otomatis Berbasis Mqtt. *Jurnal Elektro*, 6(1), 15–20. <https://doi.org/10.30996/elsains.v6i1.10309>
- [13] Aziz Pijar Nurbianto, A., Sutisna, U., Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto Jl Semangkir No, P., & Korespondensi, P. (2024). Rancang Bangun *Solar Charger Controller* Berbasis Arduino Untuk Accu 12 Volt 7Ah. *Iteks*, 16(1), 22–32. <https://ejournal.stt-wiworotomo.ac.id/index.php/iteks/article/view/364>
- [4] Fahrurrozi, F., Buntoro, G. A., & Habiby, J. S. (2025). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Sistem *Hybrid* Tenaga Air Dan Surya Dengan Sistem Kontrol Berbasis Arduino. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6300>
- [5] Fratama Putra, G., Fajar, M., Nauwir, H., & Pangkung, A. (2025). Sistem Data *Logger* Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis *IoT* Menggunakan Sensor PZEM- 004T. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 23(1), 93–99. <https://doi.org/10.31963/SINERGI.V23I1.5515>
- [6] Galuh Prawestri Citra Handani, Binar Surya Gumilang, & Afidah Zuroida. (2023). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Suplai Daya Sistem Pemberian Pakan Ikan Otomatis. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(3), 183–187. <https://doi.org/10.33795/ELPOSYS.V9I3.655>
- [7] Harie Satiyadi, J., Muhamad Hudan, R., & Asrori, A. (2024). Analisis Pengaruh Suhu Panel Surya Terhadap Output Panel *Performance*. *Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 42–51. <https://doi.org/10.47134/JME.V1I1.2189>
- [8] Hasrul, R., Arsenly, A., Ali Wafa, R., Jadi Ate, H., Muhammad, A., Rahmat Hasrul, N., Rani Alham Rani Alham Jalan Sambaliung No, N., Samarinda Ulu, K., Samarinda, K., Timur, K., & Sambaliung No, J. (n.d.). *Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif*.
- [9] Kusumo, A. S., Rusimamto, P. W., Suprianto, B., Putu, G., & Buditjahjanto, A. (n.d.). *Sistem Kontrol Intensitas Cahaya Lampu Aquascape Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Arduino*.
- [10] Martin, T., Tutor, J., & Ballester, R. (2024). UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA School of Aerospace Engineering and Industrial Design Development of a device for locating assets outdoors based on LoRa technology End of Degree Project Bachelor's Degree in Industrial Electronics and Automation Engineering.
- [11] Novita Valentina, D., Ketut Lisa Maheni, N., Eka Wahyuningtias, B., Risha, N., & Putu Budi Yasmini, L. (2024). *Peninjauan Karakteristik Panel Surya Monocrystalline 50 WP di Kota Singaraja* (Vol. 18). <https://www.sanspower.com/harga-panel-surya-polycrystalline-dan-monocrystalline.html>
- [12] Nyamathulla, S., & Dhanamjayulu, C. (2024). A review of battery energy storage systems and advanced battery management system for different applications: Challenges and recommendations. In *Journal of Energy Storage* (Vol. 86). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111179>
- [13] Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Mahendra Putra, G., Wardhana, R., & Mulawarman, U. (2021). Pendeteksi Kehadiran menggunakan ESP32 untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis. *Jurnal Teknologi Terapan (JTT)*, 7(1), 37–43. <https://doi.org/10.31884/JTT.V7I1.318>
- [14] Purnomo, W., Bhawana Mulia, S., Fikri, M., Manufaktur, T. O., & Mekatronika, D. (2023). RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBERSIH SOLAR PANEL OTOMATIS PADA ROOFTOP BERBASIS MIKROKONTROLER. In *JOURNAL OF ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING (JEEE)* (Vol. 55, Issue 1).

- [15] Samsul Hidayat, M., Tharo, Z., Darma Tarigan, A., Sains, F., & Teknologi, D. (2024). PERFORMANCE ANALYSIS OF 20 WP PLTS IN AUTOMATIC PLANT SPRAYING. *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 7(2).
- [16] Sari, L. O., Saputra, M. F. E., & Safrianti, E. (2024). Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(1). <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.1033>
- [17] Syeha Maulana, F., Prima Pratama, A., & Suwartika Kusumadiarti, R. (2021). *Sistem Pemantauan Ketebalan Debu & Suhu Pada Ruangan Menggunakan Aplikasi Telegram Berbasis IoT* (Vol. 8, Issue 4). <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [18] Teguh Hariyanto, A., Lukita Wardani, A., Rahmatullah, D., & Shidqy Aziz, ad. (2025). *Proceeding of International Joint Conference on UNESA Proceeding of International Joint Conference on UNESA DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CORN SHELLER POWERED BY A SOLAR POWER SYSTEM WITH AN ESP32 BASED CONTROL SYSTEM IN SUKOSEWU VILLAGE GANDUSARI SUBDISTRICT BLITAR REGENCY*. 3(1). <https://proceeding.unesa.ac.id/index.php/pijcu>