

# PENGEMBANGAN SISTEM PEMBERSIH OTOMATIS DENGAN PENJADWALAN TERPROGRAM DALAM MENGOPTIMALKAN PENYERAPAN SINAR MATAHARI PADA PANEL SURYA

Rifqi Al Ihsan<sup>1</sup>, Aripriharta<sup>2\*</sup>, Langlang Gumilar<sup>3</sup>, Sujito, Agil Zaidan Nugraha<sup>5</sup> Revalina Nazilatun Nikmah<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang; Jl. Semarang No. 5, Malang, 65145, Jawa Timur; +62 341-551312

---

**Keywords:**

Daya; Debu; Panel Surya; Tegangan.

**Correspondent Email:**

[aripriharta.ft@um.ac.id](mailto:aripriharta.ft@um.ac.id)\*

**Abstrak.** Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah teknologi yang mengubah energi matahari menjadi listrik, namun sering mengalami penurunan efisiensi akibat penumpukan kotoran seperti debu pada permukaan panel. Pembersihan manual yang umum dilakukan berisiko tinggi terhadap keselamatan kerja, sehingga diperlukan solusi otomatis untuk meminimalkan risiko tersebut. Penelitian ini menganalisis pengaruh alat pembersih otomatis terhadap kinerja panel surya dengan membandingkan tegangan keluaran sebelum dan sesudah pembersihan, baik secara otomatis maupun manual. Hasil penelitian menunjukkan selisih tegangan antara panel kotor dan setelah dibersihkan alat sebesar 0,19 V (173 rpm), 0,15 V (85 rpm), dan 0,18 V (60 rpm), sementara selisih antara pembersihan alat dan manual sebesar 0,06 V (173 rpm) serta 0,04 V (85 rpm dan 60 rpm). Selain itu, daya panel saat stand by tercatat 1,9695 W, sedangkan saat alat bekerja meningkat signifikan menjadi 12,7108 W (173 rpm). Temuan ini membuktikan bahwa alat pembersih otomatis tidak hanya efektif dalam meningkatkan efisiensi panel surya tetapi juga lebih aman dibandingkan metode manual. Dengan demikian, penggunaan alat ini dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk perawatan PLTS, khususnya di daerah dengan potensi debu tinggi seperti kawasan Timur Tengah. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi pembersihan panel surya yang efisien dan aman.

**Abstract.** Solar PV is a technology that converts solar energy into electricity, but it often suffers from decreased efficiency due to the accumulation of dirt such as dust on the panel surface. The usual manual cleaning has a high risk to work safety, so an automatic solution is needed to minimize the risk. This study analyzes the effect of automatic cleaning tools on solar panel performance by comparing the output voltage before and after cleaning, both automatically and manually. The results show that the voltage difference between dirty panels and after cleaning with the device is 0.19 V (173 rpm), 0.15 V (85 rpm), and 0.18 V (60 rpm), while the voltage difference between cleaning with the device and manually is 0.06 V (173 rpm) and 0.04 V (85 rpm and 60 rpm). In addition, the panel power during stand-by was recorded at 1.9695 W, while when the device was running, the panel power increased significantly to 12.7108 W (173 rpm). These findings prove that the automatic cleaning device is not only effective in improving the efficiency of solar panels, but also safer than the manual method. Thus, the use of this tool can be a sustainable solution for solar power plant maintenance, especially in areas with high dust potential such as in the Middle East region. This research

*makes an important contribution to the development of efficient and safe solar panel cleaning technology.*

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu jenis pembangkit yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik melalui proses *photovoltaic* (PV). Teknologi ini merupakan teknologi yang sedang banyak dikembangkan oleh beberapa negara khususnya negara timur yang memiliki pancaran matahari yang cukup besar [1]. Namun, PLTS memiliki permasalahan yang sering terjadi, yaitu terjadinya penumpukan kotoran debu atau residu lainnya di permukaan panel, sehingga, energi yang dihasilkan mengalami penurunan [2], [3]. Menurut salah satu penelitian di Kuwait, terjadinya penurunan efisiensi energi sebesar 17% setelah enam hari beroperasi tanpa pembersihan akibat penumpukan debu di atas permukaan panel. Penumpukan yang terus bertambah tentunya akan mengakibatkan efektivitas kerja PLTS menurun, sehingga mampu menghasilkan kerugian yang cukup besar [4]-[6]. Oleh sebab itu, diperlukan perawatan serta pembersihan panel secara berkala yang terus dilakukan menyesuaikan kondisi daerahnya, karena setiap daerah memiliki waktu perawatan dan pembersihan panel yang berbeda [7]-[12]. Perawatan menggunakan tenaga manusia memiliki efek samping bagi keselamatan pekerja karena lokasi yang berada di atap bangunan. Oleh sebab itu, perlu sebuah pemanfaatan teknologi yang membantu mengurangi permasalahan itu salah satunya adalah dengan sistem pembersih panel surya [13]. Sehingga dapat mengatasi permasalahan penumpukan kotoran debu di permukaan panel serta dapat menghindari terjadinya kecelakaan kerja.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Sistem Pembersih Panel Surya

Sistem pembersih panel surya adalah jenis sistem yang dirancang khusus untuk membersihkan bagian permukaan panel surya yang terpasang di atap atau di tempat lain. Tujuannya adalah untuk menjaga kinerja panel yang optimal dengan membersihkan kotoran, debu atau residu lain yang dapat mengurangi

efisiensinya dalam menyerap energi matahari. Secara umum, sistem ini memiliki beberapa bagian utama. Adapun bagian-bagian tersebut sebagai berikut.

1. Rangka sistem berfungsi sebagai penopang utama agar sistem dapat bekerja optimal, layaknya tulang pada tubuh manusia.
2. Sistem pembersih berfungsi untuk membersihkan permukaan panel menggunakan kuas, semprotan air, atau media pembersih lainnya.
3. Aktuator dan navigasi menggerakkan sistem secara aman dan efisien di atas panel, menggunakan motor dan sensor untuk mendeteksi ujung panel.
4. Kontrol dan sensor berperan sebagai pengatur kerja sistem. Pengontrol bisa berupa Arduino, PLC, atau *smart relay*, dengan sensor untuk mendeteksi panel, tingkat kotoran, dan hambatan.
5. Sumber energi menyediakan listrik untuk sistem, bisa berasal dari baterai PLTS, PLN, atau baterai eksternal, sesuai preferensi pengguna.

Keuntungan menggunakan sistem pembersih panel surya antara lain efisiensi waktu dan tenaga, karena sistem ini dapat membersihkan panel secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Selain itu, dengan menjaga kebersihan panel surya dan membantu meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan panel surya.

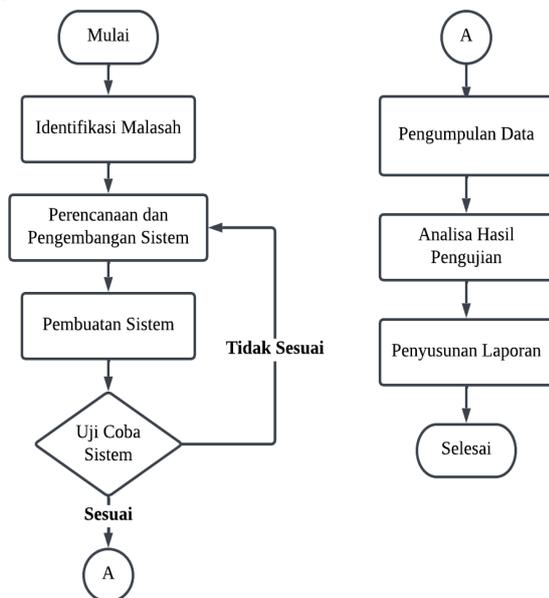
### 2.2. Pengaruh Penumpukan Kotoran pada Permukaan Panel Surya

Faktor yang dapat menurunkan kinerja panel surya adalah lokasi penempatan panel surya, penumpukan debu pada permukaan Panel surya, kotoran burung, dan noda air (jamur air) [14]. Penumpukan debu pada Panel surya merupakan masalah serius pada seluruh teknologi tenaga surya, karena hal tersebut sangat berpengaruh besar pada radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel [7]. Penurunan kinerja panel surya akibat debu atau kotoran dapat menurunkan efisiensi kerja panel sebesar 20% - 40% [9], angka yang besar dan dapat

menimbulkan kerugian besar, apalagi jika ditambah faktor lain seperti cuaca mendung atau hujan. Banyaknya penumpukan bergantung pada lokasi penempatan Panel surya. Di negara-negara Timur Tengah, penumpukan debu lebih cepat karena lingkungan sekitar berupa pasir. Penumpukan debu sebesar 4 g/m<sup>2</sup> mampu menurunkan kinerja panel sebesar 40%, dengan rata-rata kehilangan energi harian sebesar 4,4% [9].

### 3. METODE PENELITIAN

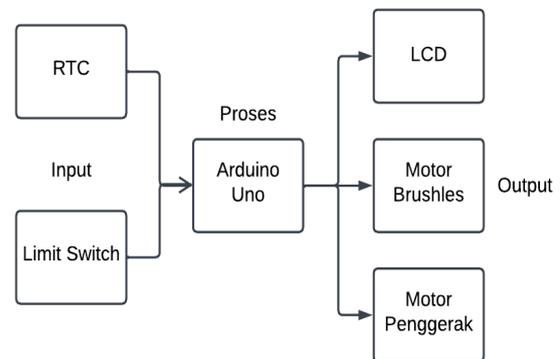
Penelitian ini memiliki tahapan penelitian yang perlu dilakukan agar hasil yang didapatkan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun tahapan penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Fokus penelitian ini adalah melakukan uji eksperimen pada perangkat yang dirancang untuk mengetahui efektivitas perangkat dalam membersihkan kotoran di permukaan panel surya serta menentukan besar daya dan energi yang dihasilkan oleh perangkat. Penelitian dilakukan menggunakan beberapa kotoran yang sering mengotori panel seperti debu, kotoran burung dan daun. Pada penelitian ini kotoran yang digunakan diasumsikan dalam bentuk dan tekstur terdekat dari kotoran tersebut, seperti tepung terigu diasumsikan sebagai debu, bubuk diasumsikan sebagai kotoran burung dan tembakau diasumsikan sebagai daun. Adapun

alur sistem yang diterapkan pada perangkat dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Berdasarkan Gambar 2, perangkat pada penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu RTC (*real time clock*) sebagai pembaca nilai waktu secara *real time*, Arduino sebagai sistem pengontrol dan motor DC (*direct current*) sebagai aktuator untuk membersihkan permukaan panel. Perangkat yang digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perangkat Penelitian Tampak Depan (Kiri) dan Tampak Belakang (Kanan)

Pada penelitian ini memiliki beberapa persamaan umum yang digunakan yang berfungsi untuk menganalisa hasil yang didapatkan, adapun persamaan tersebut sebagai berikut.

Menghitung besar daya perangkat:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

Menghitung besar energi perangkat:

$$W = P \times t \quad (2)$$

Keterangan:

W = Energi Listrik (KWh)

t = Waktu (h)

P = Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan atau Beda Potensial (Volt)

Cos  $\varphi$  = Faktor Daya Listrik

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Uji Coba Perangkat

Parameter data yang digunakan pada penelitian ini adalah tegangan yang dihasilkan panel surya dengan kondisi berbeda yaitu

kondisi kotor, setelah dibersihkan alat, dan setelah dibersihkan dengan tenaga manusia. Hasil pengujian alat dapat disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Perangkat

Jam/ Tgl	Kecepatan Motor (rpm)	Kotoran	Iradiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Tegangan (V)			Selisih (V)	
				Kotor	Sistem	Manual	Sistem dan Kotor	Manual dan Sistem
11.30 (16 Juli 2023)	173	Tepung Terigu	1135,8	20,49	20,72	20,73	0,23	0,01
12.00 (16 Juli 2023)		Tembakau Kering	1128,5	20,77	20,87	20,87	0,1	0
13.45 (16 Juli 2023)		Tembakau Basah	1150,7	21,10	21,44	21,47	0,34	0,03
14.30 (18 Juli 2023)		Bubur	873,4	20,02	20,14	20,36	0,12	0,22
Rata-Rata			1072,8	20,59	20,79	20,85	0,19	0,06
12.00 (17 Juli 2023)	85 rpm	Tepung Terigu	1201,7	20,62	20,67	20,68	0,05	0,01
12.45 (17 Juli 2023)		Tembakau Kering	1121,9	20,46	20,56	20,55	0,1	0,01
13.20 (17 Juli 2023)		Tembakau Basah	1213,1	20,73	20,95	20,95	0,22	0
14.30 (23 Juli 2023)		Bubur	864,3	19,95	20,20	20,37	0,25	0,17
Rata-Rata			1100,2	20,44	20,59	20,63	0,15	0,04

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan pada kecepatan motor 60 rpm, 85 rpm, dan 173 rpm, terdapat selisih tegangan yang cukup besar antara kondisi kotor dan setelah dibersihkan oleh sistem. Pada kecepatan 173 rpm, rata-rata selisih tegangan adalah sebesar 0,19V, sedangkan pada kecepatan 85 rpm adalah sebesar 0,15V, dan kecepatan 60 rpm adalah sebesar 0,18V, sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 1.

Selisih pada setiap kotoran setelah dibersihkan oleh sistem dan setelah dibersihkan oleh tenaga manusia memiliki selisih rata-rata sebesar 0,06V untuk kecepatan 173 rpm, serta 0,04V untuk kecepatan 85 rpm dan 60 rpm. Hasil selisih yang didapatkan disebabkan karena adanya selisih tegangan pada kotoran

bubur yang cukup besar yaitu 0,22V (173 rpm), 0,17V (85 rpm), dan 0,16V (60 rpm). Hal ini dapat terjadi karena sistem belum mampu membersihkan kotoran yang memiliki tekstur lengket seperti bubur, kotoran burung, adonan tepung, dan lainnya. Rata-rata selisih tegangan tersebut jika tidak adanya kotoran bubur sebesar 0,013V (173 rpm), 0,006V (85 rpm) dan 0,003 (60 rpm), sehingga sistem dapat dikatakan mampu menggantikan tenaga manusia di beberapa kotoran khususnya kotoran kering.

### 4.2. Besar Daya yang Dihasilkan Sistem

Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan dengan kecepatan motor 60 rpm, 85 rpm, dan 173 rpm, daya yang dihasilkan saat kondisi *stand by* (kondisi sistem siap bekerja) memiliki

nilai yang sama dan besar daya pada saat kondisi sistem bekerja pada masing-masing kecepatan memiliki perbedaan daya. Hal ini

disebabkan karena spesifikasi motor yang berbeda. Adapun hasil dayanya dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Besar Daya pada Kondisi *Stand by* dan Bekerja

Kondisi Sistem	Kecepatan Motor (rpm)	Arus (A)	Tegangan (V)	Faktor Daya	Daya (W) Pengukuran	Daya (W) Hitungan	Selisih (W)
<i>Stand by</i>	0	0,024	221,8	0,37	2,2	1,96	0,24
Bekerja	60	0,087	219,8	0,52	10,9	9,94	0,96
Bekerja	85	0,095	219	0,57	12,2	11,85	0,35
Bekerja	173	0,13	232,8	0,42	13,2	12,71	0,49

Perhitungan Manual

*Stand by*

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 221,8 \text{ V} \times 0,024 \text{ A} \times 0,37$$

$$P = 1,9695 \text{ W}$$

Bekerja (60 rpm)

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 219,8 \text{ V} \times 0,087 \text{ A} \times 0,52$$

$$P = 9,9437 \text{ W}$$

Bekerja (173 rpm)

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 232,8 \text{ V} \times 0,130 \text{ A} \times 0,42$$

$$P = 12,7108 \text{ W}$$

Bekerja (85 rpm)

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 219 \text{ V} \times 0,095 \text{ A} \times 0,57$$

$$P = 11,8588 \text{ W}$$

Hasil daya yang diperoleh dari pengukuran menggunakan alat ukur dan perhitungan manual menunjukkan adanya perbedaan. Dalam Tabel 2 terlihat bahwa selisih terbesar terjadi pada kecepatan 60 rpm, dengan selisih sebesar 0,96W. Fenomena ini dapat terjadi akibat perbedaan ketelitian atau skala pada alat ukur, yang pada akhirnya mempengaruhi akurasi pembacaan.

#### 4.3. Besar Daya yang Dihasilkan Sistem

Energi merupakan hasil perkalian dari besar daya dengan total waktu kerja sistem. Besar energi yang terpakai bergantung pada kondisi sistem ketika *stand by* dan bekerja. Data energi terpakai secara rinci dijelaskan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Besar Energi yang Terpakai saat Sistem *Stand by* dan Bekerja

Kondisi Sistem	Total Waktu Kerja Sistem	Kecepatan Motor Penggerak (rpm)	Daya (W) Pengukuran	Daya (W) Hitungan	Analisa Energi Pengukuran	Analisa Energi Hitungan
<i>Stand by</i>	24 jam	0	2,2	1,96	$52,8 \times 10^{-3} \text{ kWh}$	$47,04 \times 10^{-3} \text{ kWh}$
Bekerja	60 detik	60	10,9	9,94	$6,649 \times 10^{-5} \text{ kWh}$	$6,0634 \times 10^{-5} \text{ kWh}$
	42 detik	85	12,2	11,85	$14,152 \times 10^{-5} \text{ kWh}$	$13,746 \times 10^{-5} \text{ kWh}$
	22 detik	173	13,2	12,71	$21,912 \times 10^{-5} \text{ kWh}$	$21,0986 \times 10^{-5} \text{ kWh}$

Perhitungan manual di setiap kondisi

- Berdasarkan daya dari alat ukur

*Stand by*

$$W = P \times t$$

$$W = 2,2 \text{ W} \times 24 \text{ h}$$

$$W = 0,0022 \text{ kW} \times 24 \text{ h}$$

$$W = 52,8 \times 10^{-3} \text{ kWh}$$

Bekerja (60 rpm)

$$W = P \times t$$

$$W = 10,9 \text{ W} \times 22 \text{ s}$$

$$W = 0,0109 \text{ kW} \times 0,0061 \text{ h}$$

$$W = 6,649 \times 10^{-5} \text{ kWh}$$

Bekerja (173 rpm)

$$W = P \times t$$

$$W = 13,2 \text{ W} \times 60 \text{ s}$$

$$W = 0,0132 \text{ kW} \times 0,0166 \text{ h}$$

$$W = 21,912 \times 10^{-5} \text{ kWh}$$

Bekerja (85 rpm)

$$W = P \times t$$

$$W = 12,2 \text{ W} \times 42 \text{ s}$$

$$W = 0,0122 \text{ kW} \times 0.0116 \text{ h}$$

$$W = 14,152 \times 10^{-5} \text{ kWh}$$

- Berdasarkan daya hitungan teori

*Stand by*

$$W = P \times t$$

$$W = 1,96 \text{ W} \times 24 \text{ h}$$

$$W = 0,00196 \text{ kW} \times 24 \text{ h}$$

$$W = 47,04 \times 10^{-3} \text{ kWh}$$

Bekerja (60 rpm)

$$W = P \times t$$

$$W = 9,94 \text{ W} \times 22 \text{ s}$$

$$W = 0,00994 \text{ kW} \times 0.0061 \text{ h}$$

$$W = 6,0634 \times 10^{-5} \text{ kWh}$$

Bekerja (173 rpm)

$$W = P \times t$$

$$W = 12,71 \text{ W} \times 60 \text{ s}$$

$$W = 0,01271 \text{ kW} \times 0.0166 \text{ h}$$

$$W = 21,0986 \times 10^{-5} \text{ kWh}$$

Bekerja (85 rpm)

$$W = P \times t$$

$$W = 11,85 \text{ W} \times 42 \text{ s}$$

$$W = 0,01185 \text{ kW} \times 0.0116 \text{ h}$$

$$W = 13,746 \times 10^{-5} \text{ kWh}$$

Pengaturan kecepatan motor yang paling efisien ditinjau berdasarkan perbandingan tegangan setelah dibersihkan sistem dan tegangan setelah dibersihkan dengan tenaga manusia, serta besar energi yang terpakai. Hasil menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan motor yang paling efisien adalah pada kecepatan 85 rpm dengan selisih tegangan antara kondisi setelah dibersihkan perangkat dan setelah dibersihkan tenaga manusia sebesar 0,04V serta energi yang digunakan sebesar  $14,152 \times 10^{-5} \text{ kWh}$  (berdasarkan alat ukur) dan  $13,746 \times 10^{-5} \text{ kWh}$  (berdasarkan hitungan teori).

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil ujicoba, perangkat memiliki kemampuan dalam membersihkan seluruh sample kotoran dengan rata-rata selisih tegangan antara kondisi setelah dibersihkan alat dan setelah dibersihkan oleh tenaga manusia sebesar 0,046V, Perangkat yang dirancang pada penelitian ini masih belum mampu membersihkan kotoran dengan tekstur kotoran yang lengket, namun efektif dalam membersihkan kotoran dengan tipe kotoran yang kering. Kecepatan paling optimal yang

dapat diterapkan pada alat adalah dengan kecepatan 85 rpm dengan energi yang dihasilkan sebesar  $14,152 \times 10^{-5} \text{ kWh}$  (berdasarkan alat ukur) dan  $13,746 \times 10^{-5} \text{ kWh}$  (berdasarkan hitungan teori).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Universitas Negeri Malang (UM) atas dukungan fasilitas, sumber daya, dan lingkungan akademik yang kondusif sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Semoga kerja sama dan kontribusi UM terus berkembang untuk memajukan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Amir, M. Efendy, S. Akhmad, F. M. Wahyu, and R. Firman Surya Putra, "Optimalisasi Penggunaan Energi Terbarukan untuk Desa Mandiri Energi dan Ramah Lingkungan," *Rekayasa*, vol. 16, no. 1, pp. 42–48, Apr. 2023, doi: 10.21107/rekayasa.v16i1.19119.
- [2] B. Adi and A. Tanto, "RANCANG BANGUN ALAT PEMBERSIH PANEL SURYA MENGGUNAKAN OUTSEAL PLC DAN SENSOR IR PROXIMITY YANG TERKONEKSI DENGAN ANDROID MELALUI MODUL WIFI DT-06 DAN MODUL BLUETOOTH HC-05," vol. 6, no. 1, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.31000/jte.v6i1.7049>.
- [3] R. Mulyadi, K. D. Artika, and M. Khalil, "Perancangan Sistem Kelistrikan Perangkat Elektronik Pada Mobil Listrik," vol. 6, no. 1, Jun. 2019.
- [4] K. Eisa, R. Shenouda, M. S. Abd-Elhady, H. A. Kandil, and T. Khalil, "Mitigation of dust on PV panels that operate light posts using a wind shield, mechanical vibrations and AN antistatic coating," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 5, May 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.101993.
- [5] W. Eltayeb, G. Yedukondalu, and A. Srinath, "Design and Development of a Cleaning Robot for Solar Panels with Sun Tracking," 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/346702148>
- [6] R. Febriyan, M. Fatkhurrohman, and I. Irwanto, "TRAINER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BERBASIS IOT PADA MATA PELAJARAN INSTALASI PENERANGAN LISTRIK DI SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN," *Jurnal*

- Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6217.
- [7] N. Hashim, M. N. Mohammed, R. AL Selvarajan, S. Al-Zubaidi, and S. Mohammed, "Study on Solar Panel Cleaning Robot," in *2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, 2019, pp. 56–61. doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825028.
- [8] M. R. W. Kusuma, E. Apriakar, and Djuniadi, "Rancang Bangun Sistem Pembersih Otomatis Pada Solar Panel Menggunakan Wiper Berbasis Mikrokontroler," vol. 19, no. 1, pp. 23–32, Apr. 2020, doi: <https://doi.org/10.31358/techne.v19i01.220>.
- [9] H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. A. Al-Waeli, and K. Sopian, "A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems," Dec. 10, 2020, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123187.
- [10] M. Daffah, N. Harahap, and R. A. Dinda, "PENGEMBANGAN ROBOT PENGEPEL LANTAI BERBASIS ARDUINO UNO UNTUK MEMBANTU PROSES PEMBERSIHAN DI RUMAH," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6258.
- [11] L. Y. Hidayat, A. H. A. Setiawan, and M. Wildan, "PERENCANAAN PERAWATAN PREVENTIVE UNTUK UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS) SYSTEMS," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5741.
- [12] M. R. Pahlevi and O. A. Rozak, "PENGUJIAN SISTEM CLEANING IN PLACE PADA MESIN FILLING," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.4893.
- [13] A. Aska, R. Suppa, and M. Muhallim, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK BERBASIS IoT," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6160.
- [14] J. Purba, A. S. Uyun, D. Sugiyanto, and M. I. Ramdhan, "PERANCANGAN PROTOTIPE ALAT PEMBERSIH PANEL SURYA DENGAN SISTEM GERAK OTOMASI," vol. 7, 2022.