

# Desain dan Implementasi Pembersih Panel Surya Otomatis dengan Teknologi IoT pada Penerangan Jalan Umum untuk Kinerja Optimal

Faisal Raja Naban<sup>1</sup>, Daeng Rahmatullah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Korespondensi: [faisal.naban@gmail.com](mailto:faisal.naban@gmail.com)

Received: Juli 2023; Accepted: September 2023; Published: November 2023

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v5i2.127>

## Abstrak

Makalah ini mengeksplorasi pengembangan dan implementasi sistem pembersihan panel surya otomatis menggunakan teknologi IoT, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem penerangan jalan bertenaga surya (PJU). Akumulasi kotoran pada panel surya secara signifikan mengurangi efisiensinya, berdampak pada kinerja keseluruhan sistem PJU. Sistem yang diusulkan mengatasi masalah ini dengan mengintegrasikan sensor tegangan dan arus yang memantau panel, dengan data yang diproses oleh mikrokontroler menggunakan Arduino. Informasi ini kemudian ditransmisikan ke ponsel cerdas pengguna, memungkinkan pemantauan waktu nyata dan deteksi anomali, yang memfasilitasi tindakan pembersihan segera bila diperlukan. Hasil eksperimen menunjukkan efektivitas sistem, menunjukkan peningkatan tegangan, arus, dan *output* daya setelah pembersihan. Secara khusus, tegangan meningkat dari 16,45 V menjadi 17,35 V, arus dari 0,52 A menjadi 0,61 A, dan daya dari 8,55 W menjadi 10,68 W, menunjukkan peningkatan penyerapan dan konversi energi matahari. Studi ini menyoroti pentingnya pemeliharaan rutin untuk mempertahankan kinerja optimal dan memperpanjang umur panel surya, menawarkan solusi hemat biaya dan andal untuk infrastruktur energi publik. Integrasi teknologi IoT mengatasi inefisiensi metode pembersihan manual, yang padat karya dan mahal, sementara juga menimbulkan risiko kerusakan dan kecelakaan. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol waktu nyata, meningkatkan keandalan dan konsistensi proses pembersihan. Penelitian ini secara signifikan berkontribusi pada pengembangan teknologi pembersihan panel surya yang efektif dan efisien, mempromosikan solusi energi berkelanjutan untuk infrastruktur publik.

**Kata kunci:** Sistem Pembersihan Otomatis, Teknologi IoT, Efisiensi Panel Surya, Penerangan Jalan Umum (PJU), Efek Bayangan

## Abstract

*This paper explores the development and implementation of an automated solar panel cleaning system using IoT technology, aiming to improve the efficiency of solar-powered street lighting (PJU) systems. The accumulation of dirt on solar panels significantly reduces their efficiency, impacting the overall performance of the street lighting system. The proposed system addresses this issue by integrating voltage and current sensors that monitor the panels, with the data processed by a*

*microcontroller using Arduino. This information is then transmitted to the user's smartphone, enabling real-time monitoring and anomaly detection, which facilitates immediate cleaning action when required. The experimental results demonstrate the system's effectiveness, showing an increase in voltage, current, and power output after cleaning. Specifically, the voltage increased from 16.45 V to 17.35 V, the current from 0.52 A to 0.61 A, and the power from 8.55 W to 10.68 W, indicating improved solar energy absorption and conversion. The study highlights the importance of regular maintenance to maintain optimal performance and extend the life of solar panels, offering a cost-effective and reliable solution for public energy infrastructure. The integration of IoT technology overcomes the inefficiencies of manual cleaning methods, which are labour-intensive and costly, while also posing risks of damage and accidents. The IoT-based system enables real-time monitoring and control, improving the reliability and consistency of the cleaning process. This research significantly contributes to the development of effective and efficient solar panel cleaning technologies, promoting sustainable energy solutions for public infrastructure.*

**Key words:** Automatic Cleaning System, IoT Technology, Solar Panel Efficiency, Public Street Lighting (PJU), Shadow Effect.

## I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon, sejalan dengan agenda keberlanjutan lingkungan yang dicanangkan di berbagai negara [1]. Panel surya, sebagai sumber energi terbarukan yang bersih dan bebas emisi, telah diimplementasikan secara luas dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis tenaga surya. Sistem ini menawarkan keuntungan signifikan dalam hal efisiensi energi dan penghematan biaya listrik, menjadikannya solusi yang ideal bagi kawasan perkotaan dan pedesaan [2]. Efektivitas panel surya dalam sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) tenaga surya sangat bergantung pada kondisi permukaan panel yang bersih untuk menyerap cahaya matahari secara maksimal [3], [4].

Saat ini, pemeliharaan panel surya, khususnya proses pembersihan, masih banyak mengandalkan metode manual yang membutuhkan frekuensi tinggi dan melibatkan tenaga kerja signifikan,

sehingga menambah beban biaya operasional dan waktu. Pendekatan manual ini tidak hanya kurang efisien tetapi juga menimbulkan tantangan tersendiri dalam hal konsistensi hasil dan keandalannya dalam jangka panjang, terutama di daerah dengan tingkat debu atau polusi udara yang tinggi [5]. Akumulasi kotoran pada permukaan panel dapat menurunkan efisiensi pengumpulan energi secara signifikan, yang berdampak pada kinerja keseluruhan sistem PJU [6]. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan teknologi pembersihan otomatis yang dapat diterapkan secara efektif pada skala PJU, memungkinkan pemeliharaan yang berkesinambungan dan efisien guna mencapai kinerja optimal dalam sistem tenaga surya.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan teknologi pembersihan otomatis yang dapat diterapkan secara efektif pada skala PJU, memungkinkan pemeliharaan yang berkesinambungan dan efisien guna mencapai kinerja optimal dalam sistem tenaga surya .

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai sistem pembersihan otomatis untuk panel surya, namun sebagian besar solusi tersebut terbatas pada penerapan skala kecil dan kurang terintegrasi dengan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT). Selain itu, penelitian mengenai pembersihan panel surya pada Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis tenaga surya masih minim, sehingga celah penelitian tetap terbuka untuk mengembangkan sistem yang mampu beroperasi secara efisien pada skala besar dengan pemantauan dan kontrol berbasis data[7], [8]. Kurangnya solusi pembersihan yang mengandalkan otomatisasi IoT secara khusus untuk PJU tenaga surya menandakan kebutuhan akan pendekatan yang memungkinkan pemeliharaan mandiri, monitoring real-time, dan peningkatan efisiensi energi secara berkelanjutan[6], [9], [10]. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan merancang sistem pembersih panel PJU yang memanfaatkan IoT guna mengoptimalkan kinerja energi dan memperpanjang masa pakai panel, memberikan kontribusi praktis sekaligus memperkaya literatur pada bidang pengembangan teknologi IoT dalam aplikasi energi terbarukan[11], [12].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pembersihan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang ditujukan untuk menjaga kebersihan dan meningkatkan kinerja panel surya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) [12]. Melalui penerapan teknologi IoT, sistem ini dirancang agar mampu mengidentifikasi kebutuhan pembersihan panel secara real-time dan mengaktifkan mekanisme pembersihan otomatis ketika diperlukan, tanpa memerlukan intervensi manual. Inovasi ini diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi pengumpulan energi, memperpanjang

masa operasional panel, dan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang pada sistem PJU berbasis tenaga surya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berupaya menghadirkan solusi teknis bagi permasalahan penurunan kinerja panel surya akibat akumulasi kotoran, tetapi juga bertujuan untuk meningkatkan keberlanjutan operasional PJU sebagai komponen penting dalam infrastruktur perkotaan yang ramah lingkungan.

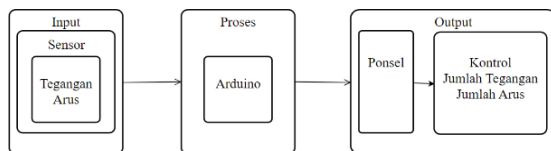
## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas sistem pembersihan panel penerangan jalan bertenaga surya, yang didasarkan pada Internet of Things (IoT), menggunakan metodologi komprehensif untuk mengatasi tantangan yang terkait dengan menjaga efisiensi panel surya. Metodologi ini dirancang untuk memastikan sistem ini efektif dan berkelanjutan.

Selain itu, penelitian juga mencakup pengujian terhadap berbagai jenis kotoran yang menempel pada panel surya, seperti debu, dedaunan, dan kotoran lainnya untuk mengetahui seberapa efektif alat pembersih ini dalam membersihkan panel surya. Proses pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari kotoran ringan hingga kotoran berat yang menempel kuat pada panel surya. Selain itu, dalam tahap pengambilan data sebelum dan sesudah proses pembersihan, dilakukan pengukuran terhadap daya yang diserap oleh panel surya untuk mengetahui apakah kinerja panel surya meningkat setelah dibersihkan oleh alat yang telah dirancang.

Gambar 1 menunjukkan diagram sistem pembersihan panel penerangan jalan bertenaga surya, yang didasarkan pada Internet of Things (IoT). Dalam

diagram tersebut, terdapat sensor tegangan dan sensor arus yang mengirimkan data ke mikrokontroler untuk diproses dengan Arduino. Data tersebut didistribusikan ke aplikasi di ponsel pengguna untuk memantau tegangan, arus, dan deteksi anomali pada panel. Apabila terdeteksi gangguan, pengguna dapat melakukan pembersihan panel PJU secara real-time. Penelitian ini menggunakan sumber DC untuk mensuplai dua aktuator JGY370 pada pembersih panel surya, dengan motor DC 80 rpm, 12V. Pembersih panel dilengkapi dengan Arduino ESP 32 yang terhubung ke internet, dan dioperasikan melalui smartphone.



**Gambar 1.** Diagram sistem alat pembersih

Data yang diperoleh dari pengujian ini kemudian dianalisis secara mendalam untuk melihat perbedaan kinerja sebelum dan sesudah proses pembersihan. Seluruh hasil dari penelitian ini kemudian disusun dalam laporan akhir yang berisikan rangkuman dari seluruh proses penelitian, temuan, serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam pengembangan teknologi pembersih panel surya yang efektif dan efisien dalam meningkatkan kinerja panel surya secara keseluruhan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini akan dilakukan dengan menggunakan alat yang telah dirancang khusus untuk mengukur kinerja sel surya. Alat tersebut akan

dipasang di lokasi yang terpapar sinar matahari secara langsung untuk memastikan bahwa sel surya menerima radiasi matahari yang optimal. Pada pukul 08.00 pagi, pengujian akan dilakukan untuk memantau kinerja sel surya saat kondisi cahaya matahari masih rendah. Kemudian, pada pukul 12.00 siang, pengujian akan dilakukan saat sinar matahari mencapai intensitas tertinggi untuk melihat sejauh mana sel surya dapat menghasilkan listrik dalam kondisi optimum. Selanjutnya, pada pukul 16.00 sore, pengujian akan dilakukan untuk mengamati kinerja sel surya saat kondisi cahaya matahari mulai berkurang. Hal ini penting untuk mengetahui seberapa efisien sel surya dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik meskipun dalam kondisi cahaya yang minim.

Data yang diperoleh dari pengujian ini akan dibandingkan untuk melihat perbedaan hasil kinerja sel surya sebelum dan sesudah proses pembersihan. Dengan demikian, diharapkan dapat diketahui sejauh mana pengaruh kotoran dan efek bayangan terhadap kinerja sel surya dan seberapa efektif proses pembersihan dalam meningkatkan kinerja sel surya tersebut.



**Gambar 2.** Tampilan aplikasi otomatis robo-clean

Mode otomatis pada aplikasi Robo Clean dirancang untuk membantu pengguna dalam menentukan waktu dan frekuensi penggunaan sapuan rol pembersih, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan fitur ini, robot pembersih dapat beroperasi secara otomatis setelah pengguna mengatur alarm melalui aplikasi.

### 3.1 Pengujian Dengan Shading Effect Daun

Dalam pengujian kali ini, diberikan kotoran berupa daun pada permukaan panel PJU. Pengujian dilakukan pada tiga waktu yang berbeda, yaitu pukul 08.00, pukul 12.00, dan pukul 16.00. Setiap pengujian menggunakan tiga mode sapuan rol pembersih yang berbeda, yaitu satu kali sapuan, dua kali sapuan, dan tiga kali sapuan. Tabel 1 menyajikan data pembacaan parameter pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran daun.

Pembersihan dilakukan dengan beberapa kali “sapuan”, untuk memberikan gambaran terkait tingkat kebersihan dari permukaan solar panel. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, terlihat bahwa proses pembersihan memberikan dampak positif terhadap kinerja sistem, yang ditunjukkan dengan peningkatan signifikan pada tegangan, arus, dan daya.

Untuk mengetahui daya keluaran dari panel surya dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (1).

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Dimana:

P = Daya Keluaran panel surya,

V = Tegangan yang dihasilkan panel surya,

I = Arus yang mengalir

Sebagai contoh, jika tegangan yang dihasilkan panel surya sebesar 15,02 V dan arus yang mengalir sebesar 0,38 A, maka daya keluaran panel surya dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = 15,02 \times 0,38 = 5,7 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan dari keseluruhan data yang diambil dapat dilihat pada Tabel 1.

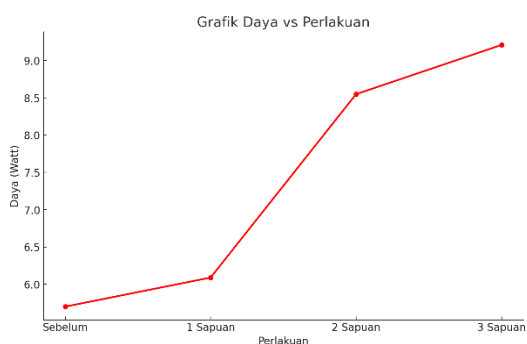
**Tabel 1.** Pembersihan pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran daun

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	15,02	0,38	5,70
Sesudah Pembersihan			
1 sapuan	15,24	0,40	6,09
2 sapuan	16,45	0,52	8,55
3 sapuan	16,75	0,55	9,21

Pembersihan berfungsi untuk mengurangi hambatan serapan radiasi matahari yang disebabkan oleh kotoran atau residu. Peningkatan kinerja ini paling jelas terlihat setelah dilakukan sapuan kedua, di mana tegangan, arus, dan daya menunjukkan lonjakan yang cukup besar jika dibandingkan dengan kondisi awal. Efek dari pembersihan mencapai titik optimal setelah dilakukan tiga kali sapuan, yang menunjukkan bahwa perawatan lebih lanjut mungkin memberikan manfaat yang semakin berkurang. Untuk memastikan kinerja perangkat tetap optimal, disarankan untuk melakukan pembersihan hingga dua atau tiga kali sapuan. Dengan membersihkan secara rutin, perangkat dapat berkinerja lebih baik tanpa melebihi batas spesifikasi. Ini juga mencegah masalah dan kerusakan.

Untuk lebih menggambarkan perbandingan antara kondisi setelah dilakukan pembersihan dan kondisi tanpa

pembersihan, dilakukan penggambaran melalui grafik. Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya pada pukul 08.00, baik ketika terdapat daun maupun setelah proses pembersihan dilakukan. Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara daya (Watt) dan perlakuan (sebelum serta setelah pembersihan dengan beberapa sapuan). Terlihat bahwa setiap perlakuan pembersihan meningkatkan daya, menunjukkan peningkatan efisiensi sistem setelah proses pembersihan dilakukan.



**Gambar 3.** Grafik daya pada pukul 08.00 untuk kondisi kotoran daun

Pengukuran yang dilakukan pada pukul 12.00 dan 16.00 menunjukkan hasil yang konsisten dengan parameter tegangan, arus, dan daya yang serupa pada kedua waktu tersebut. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil pengukuran di kedua waktu ini, yang mengindikasikan kestabilan kondisi sistem serta kinerja yang tidak terpengaruh oleh faktor lingkungan atau perubahan temporal. Temuan ini mencerminkan reliabilitas sistem dalam mempertahankan performa optimal sepanjang waktu pengujian, sehingga memberikan validitas yang lebih tinggi terhadap hasil analisis dan interpretasi data.

**Tabel 2.** Data rata-rata pengujian dengan shading effect daun

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	16,28	0,5	8,57
Sesudah Pembersihan			
1 sapuan	16,59	0,53	8,93
2 sapuan	17,29	0,61	10,53
3 sapuan	17,12	0,62	10,84

Tabel 2 menyajikan data rata-rata dari tiga kondisi perlakuan yang berbeda, yaitu satu kali sapuan, dua kali sapuan, dan tiga kali sapuan, untuk tiga waktu pengambilan data, yaitu pukul 08.00, 12.00, dan 16.00. Data ini mencerminkan hasil pengukuran yang diperoleh dari masing-masing perlakuan pada waktu-waktu yang telah ditentukan.

Dari data yang diperoleh, terlihat adanya perubahan yang signifikan pada ketiga parameter yang diukur. Tegangan meningkat dari 16,28 V menjadi 17,29 V, yang menunjukkan bahwa sistem beroperasi pada potensi yang lebih baik setelah dilakukan pembersihan. Peningkatan arus dari 0,50 A menjadi 0,62 A mengindikasikan bahwa aliran listrik yang lebih besar diperbolehkan setelah pembersihan, kemungkinan besar akibat berkurangnya resistansi dalam sistem. Selain itu, daya listrik menunjukkan peningkatan paling signifikan, yaitu dari 8,57 W sebelum pembersihan menjadi 10,84 W setelah tiga kali sapuan, yang mencerminkan peningkatan efisiensi sistem setelah proses pembersihan.



**Gambar 4.** Grafik nilai rata-rata daya untuk kondisi kotoran daun

Gambar 4 menyajikan grafik yang membandingkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya pada berbagai waktu, baik saat terdapat daun maupun setelah proses pembersihan dilakukan. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara daya (Watt) dan perlakuan yang diterapkan, yaitu sebelum dan setelah pembersihan dengan beberapa sapuan. Hasil yang terlihat mengindikasikan bahwa setiap perlakuan pembersihan berkontribusi pada peningkatan daya, yang menunjukkan adanya peningkatan efisiensi sistem setelah proses pembersihan dilaksanakan.

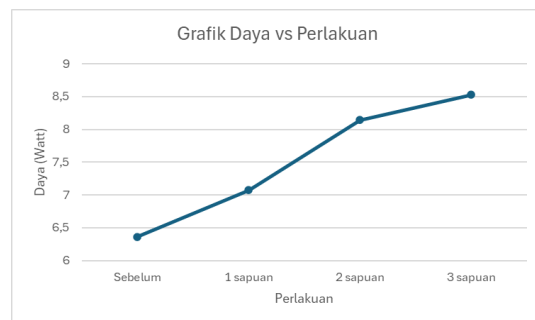
### 3.2 Pengujian Dengan Shading Effect Debu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dari berbagai mode sapuan rol pembersih terhadap kotoran debu yang menempel pada permukaan panel PJU. Dengan melaksanakan pengujian pada tiga waktu yang berbeda, yaitu pukul 08.00, pukul 12.00, dan pukul 16.00, kita dapat melihat bagaimana kotoran debu tersebut berubah seiring berjalannya waktu. Selain itu, penggunaan tiga mode sapuan rol pembersih yang berbeda, yaitu satu kali sapuan, dua kali sapuan, dan tiga kali sapuan, juga merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan dalam pengujian ini.

**Tabel 3.** Pembersihan pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran debu

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	15,52	0,41	6,36
Setelah Pembersihan			
1 sapuan	15,73	0,45	7,07
2 sapuan	16,29	0,50	8,14
3 sapuan	16,41	0,52	8,53

Dengan menggunakan berbagai mode sapuan ini, kita dapat melihat apakah ada perbedaan dalam efektivitas membersihkan kotoran debu pada permukaan panel PJU. Dengan demikian, data pembacaan parameter pada pukul 08.00 WIB dengan kotoran debu yang disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 5 memberikan insight yang berharga dalam mengevaluasi efektivitas dari berbagai mode sapuan rol pembersih terhadap kotoran debu pada panel PJU.



**Gambar 5.** Grafik daya pada pukul 08.00 untuk kondisi kotoran daun

Setelah dilakukan pembersihan untuk mengatasi efek shading yang disebabkan oleh debu, terdapat peningkatan yang signifikan pada parameter tegangan, arus, dan daya. Tegangan awal tercatat sebesar 15,52 V, dan setelah tiga kali sapuan pembersihan, tegangan meningkat menjadi 16,41 V, yang menunjukkan peningkatan total sebesar 5,74%. Arus juga mengalami kenaikan yang signifikan, dari 0,41 A sebelum pembersihan menjadi 0,52 A setelah tiga kali sapuan, yang berarti peningkatan sebesar 26,83%. Peningkatan arus ini mengindikasikan berkurangnya efek shading, sehingga aliran listrik yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Selain itu, daya listrik yang dihasilkan oleh sistem juga mengalami peningkatan, dari 6,36 Watt sebelum pembersihan menjadi 8,53 Watt setelah sapuan ketiga, dengan peningkatan total

sebesar 34,28%. Hal ini menunjukkan bahwa pembersihan tersebut berhasil meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan dengan menghilangkan debu yang menghalangi cahaya, sehingga perangkat dapat beroperasi pada performa maksimal.

Pada pukul 12.00 dan 16.00, pengukuran yang dilakukan secara konsisten menunjukkan hasil yang stabil pada parameter yang diuji, yaitu tegangan, arus, dan daya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang diuji berada dalam kondisi stabil dan tidak terpengaruh oleh lingkungan sekitarnya atau fluktuasi waktu. Dengan hasil pengukuran yang konsisten pada waktu yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam mempertahankan kinerja optimalnya.

Tabel 4 menunjukkan data rata-rata dari tiga kondisi perlakuan yang berbeda (satu, dua, dan tiga kali sapuan) pada tiga waktu pengambilan (08.00, 12.00, dan 16.00). Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak frekuensi sapuan terhadap efek perlindungan tanaman terhadap shading effect debu. Analisis data dalam tabel ini memberikan gambaran pengamatan kondisi perlakuan dan waktu. Hasil ini dapat digunakan untuk mengembangkan strategi perlindungan efektif terhadap debu.

**Tabel 4.** Data rata-rata pengujian dengan shading effect debu

Kondisi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Sebelum	16,45	0,52	8,55
Sesudah Pembersihan			
1 sapuan	16,74	0,55	9,25
2 sapuan	17,19	0,59	10,24
3 sapuan	17,35	0,61	10,68

Data pada tabel menunjukkan bahwa pembersihan sistem panel surya secara signifikan meningkatkan kinerja dengan peningkatan yang jelas dalam parameter tegangan, arus, dan daya. Sebelum pembersihan, sistem beroperasi dengan tegangan 16,45 V, arus 0,52 A, dan daya 8,55 W. Namun, setelah pembersihan dilakukan dengan tiga sapuan, tegangan meningkat hingga 17,35 V, arus menjadi 0,61 A, dan daya mencapai 10,68 W. Perubahan ini menunjukkan bahwa pembersihan berkontribusi dalam meningkatkan daya serap terhadap iradiasi, yang memungkinkan lebih banyak serapan sinar matahari. Peningkatan daya dengan selisih mencolok antara setiap tahap pembersihan menggambarkan pentingnya pemeliharaan berkala untuk memastikan sistem listrik tetap optimal dan efisien dalam operasionalnya. Analisa ini dapat dideskripsikan secara lebih jelas pada Gambar 6.

Gambar 6 adalah grafik yang menampilkan perbandingan nilai rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya pada beberapa waktu yang berbeda. Grafik ini sangat penting karena dapat memberikan informasi mengenai efisiensi panel surya tergantung pada kondisi lingkungan di sekitarnya. Pada grafik tersebut, dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dan setelah proses pembersihan dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi bersih atau kotor dari panel surya dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi dari panel tersebut. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan daya yang signifikan setelah proses pembersihan dilakukan, baik itu dengan menggunakan beberapa sapuan atau metode pembersihan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pembersihan secara berkala dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan



demikian, dapat disimpulkan bahwa pembersihan panel surya secara teratur dapat membantu meningkatkan kinerja dan efisiensi dari panel surya tersebut. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan dan menjaga kebersihan panel surya agar dapat mendapatkan hasil yang optimal dalam menghasilkan daya.



**Gambar 6.** Grafik nilai rata-rata daya untuk kondisi kotoran daun

#### IV. SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa akumulasi debu dan kotoran pada panel surya secara signifikan mengurangi efisiensinya, berdampak pada kinerja sistem penerangan jalan umum bertenaga surya (PJU). Penelitian ini menyoroti perlunya pembersihan rutin dan efektif untuk mempertahankan konversi energi yang optimal. Sistem pembersihan otomatis yang diusulkan, terintegrasi dengan teknologi IoT, mengatasi inefisiensi metode pembersihan manual, yang padat karya, mahal, dan menimbulkan risiko kerusakan dan kecelakaan. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol waktu nyata, meningkatkan keandalan dan konsistensi proses pembersihan.

Hasil eksperimen memvalidasi efektivitas sistem pembersihan otomatis, menunjukkan peningkatan tegangan, arus, dan output daya pasca pembersihan. Misalnya, tegangan meningkat dari 16,45 V menjadi 17,35 V, arus dari 0,52 A menjadi 0,61 A, dan daya dari 8,55 W

menjadi 10,68 W, menunjukkan peningkatan penyerapan dan konversi energi matahari. Studi ini menggarisbawahi pentingnya pemeliharaan berkala untuk mempertahankan kinerja optimal dan memperpanjang umur panel surya, membuat sistem lebih berkelanjutan dan hemat biaya dalam jangka panjang. Penelitian ini menawarkan solusi yang layak untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan panel surya, berkontribusi pada solusi energi yang lebih berkelanjutan untuk infrastruktur publik.

#### V. RUJUKAN

- [1] L. Li, J. Lin, N. Wu, S. Xie, C. Meng, Y. Zheng, X. Wang, Y. Zhao, "Review and outlook on the international renewable energy development," *Energy and Built Environment*, Vol. 3, No. 2, 2022,
- [2] A. Shamsavari dan M. Akbari, "Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 90, 2018.
- [3] Sumanth B. R., Lakshmi pathy N., "Design Of Street Lights Powered By Solar Power System," *International Journal of Current Advanced Research (IJCAR)*, Vol. 6, No. 3, 2017.
- [4] A. Saravanan dan N. Sivaramakrishnan, "Improve The Solar Panel Proficiency By Using Of Free Energy From Street Light," *Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications*, Vol. 928, 2022.
- [5] G. Liu, "Sustainable feasibility of solar photovoltaic powered street lighting systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 56, 2014.

- [6] A. Kumar, S. Manish, "Analyzing the impact of dust accumulation and different cleaning mechanism on efficiency of solar photovoltaic panel," *Thermal Science and Engineering*, Vol. 1, No. 3, 2018.
- [7] Y. H. Mahmood, M. A. Majeed, "Design of a Simple Dust Removal System for a Solar Street Light System," *Baghdad Science Journal*, Vol. 19, No. 5, 2022.
- [8] B. O. Olorunfemi, O. A. Ogbolumani, N. Nwulu, "Solar Panels Dirt Monitoring and Cleaning for Performance Improvement: A Systematic Review on Smart Systems," *MDPI Sustainability*, Vol. 14, No. 17, 2022.
- [9] T. Ramachandran, V. Ponnusamy, N. Z. Jhanjhi, "Solar Powered Smart Street Light with Maintenance Service System," New York: IGI Global Scientific Publishing, 2016.
- [10] S. Akbar, T. Ahmad, "Enhance and Maintain Efficiency of Solar Panel using Auto Cleaning System," *International Journal of Engineering*, Vol. 6, No. 5, 2019.
- [11] S. Gochhait, R. Asodiya, T. Hasarmani, V. Patin, O. Maslova, "Application of IoT: A Study on Automated Solar Panel Cleaning System," *2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, 2022.
- [12] L. K. Hema, R. K. Dwibedi, J. Ashwin Kumar, P. Raj, M. Shanmugavel, "Design and Implementation of Roof Top Solar Panel Cleaner Robot Using IoT," *J Phys Conf Ser*, Vol. 1964, No. 6, 2021.