

Diterima : 20 April 2025

Direvisi : 26 April 2025

Online : 26 April 2025

Edisi : 30 Juni 2025

## Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan ESP32

Muhammad Luthfi Yusrizal\*, Mochammad Djaohar, Aris Sunawar

*Universitas Negeri Jakarta, Jl.R.Mangun Muka, No.11, Rawamangun, East Jakarta13220,Indonesia*

\*Email: [mluthfiyusrizal14@gmail.com](mailto:mluthfiyusrizal14@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah alat yang dapat membersihkan permukaan panel surya secara otomatis. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode rekayasa teknik dengan jenis rekayasa maju (Forward Engineering). Proses pemindaian kekotoran permukaan panel surya menggunakan sensor TCS3200 dengan memanfaatkan frekuensi warna red (R), green (G), dan blue (B) serta Sensor HC-SR04 digunakan untuk mengukur volume air yang tersedia pada ember penampungan air. Untuk memproses hasil pemindaian, digunakan mikrokontroler ESP32. Teknologi IoT (Internet of Things) digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan Blynk, yang memungkinkan alat untuk mengirimkan notifikasi atau data dari perangkat fisik ke platform cloud. Dalam penelitian ini, setiap komponen dilakukan pengujian yang bertujuan untuk memastikan kinerja yang optimal dalam sistem pemantauan dan pembersihan panel surya berbasis IoT. Berdasarkan hasil pengujian volume air memiliki rata-rata selisih akurasi 3,753%. Pada pengujian sensor warna berdasarkan kondisi awal permukaan panel surya dan kondisi permukaan panel surya setelah dibersihkan, rata-rata selisih akurasi adalah 1,6%. Berdasarkan hal tersebut alat yang dibuat dapat berfungsi dengan baik dalam membersihkan kotoran pada permukaan panel surya.

**Kata-kunci:** energi listrik, energi baru terbarukan, pembersih panel surya

### Abstract

*This study aims to design a tool that can clean the surface of solar panels automatically. This research was conducted using engineering methods with the type of forward engineering. The process of scanning dirt on the surface of the solar panel uses the TCS3200 sensor by utilizing the red (R), green (G), and blue (B) color frequencies and the HC-SR04 sensor is used to measure the volume of water available in the water storage bucket. To process the scan results, the ESP32 microcontroller is used. IoT (Internet of Things) technology is used to connect the ESP32 with Blynk, which allows the tool to send notifications or data from physical devices to the cloud platform. In this study, each component was tested with the aim of ensuring optimal performance in the IoT-based solar panel monitoring and cleaning system. Based on the results of the water volume test, the average accuracy difference is 3.753%. In the color sensor test based on the initial condition of the solar panel surface and the condition of the solar panel surface after cleaning, the average accuracy difference is 1.6%. Based on this, the tool made can function well in cleaning dirt on the surface of the solar panel.*

**Keywords:** electrical energi, new renewable energy, solar panel cleaner

## Pendahuluan

Menurut Fitriana et al. (2024) konsumsi listrik perkapita Indonesia pada tahun 2023 mencapai 1337 Kwh/kapita. Kementrian dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa batu bara merupakan sumber utama pembangkit listrik terbesar di Indonesia, persentase penggunaannya yakni sebesar 54,57% pada tahun 2023. Namun, penggunaan batu bara dalam menghasilkan energi listrik dengan jumlah yang besar dapat menimbulkan bahan-bahan yang dapat mencemarkan udara, terutama karbon dioksida yang dapat menyebabkan efek rumah kaca (Ramly et al., 2025), dioksida belerang merupakan senyawa kimia yang dapat menyebabkan penyakit paru-paru, dan oksida nitrogen merupakan sebuah gas yang beracun (Grzych et al., 2024). Oleh Karena itu, dibutuhkan sumber energi listrik yang lebih ramah lingkungan dan tidak menghasilkan zat kimia berbahaya bagi kesehatan, seperti energi baru terbarukan (EBT) (Ochoa-Correa et al., 2024).

Pada sektor energi, pemerintah sedang mengupayakan agar energi baru dan terbarukan menjadi sumber energi listrik dengan persentase tertinggi dibandingkan dengan persentase penggunaan energi fosil sebagai energi primer pembangkit listrik di Indonesia (Ramadhan et al., 2024; Wang et al., 2024). Kegunaan energi listrik sangat terlihat dalam kegiatan sehari-hari seperti menyalakan lampu dan alat elektronik lainnya (Jin & Sanders, 2024). Hal ini juga merupakan bagian dari komitmen Indonesia untuk berperan aktif dalam mengurangi emisi sektor energi sebanyak 358 juta ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2030 dan pemerintah memiliki tekad untuk mempercepat pencapaian Net Zero Emission (NZE) di tahun 2060 atau lebih cepat.

Saat ini, berbagai sumber energi baru terbarukan (EBT) telah dikembangkan di seluruh dunia untuk mendukung keberlanjutan energi (Marquez et al., 2024). Salah satu sumber energi yang paling potensial adalah energi matahari (Liao et al., 2025). Energi matahari dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, yakni panel surya. Teknologi fotovoltaik (photovoltaic / PV) yang terdapat pada panel surya dapat berfungsi sebagai alat yang dapat mengkonversi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik (Lin et al., 2023; Lee, 2024). Teknologi ini dapat menjadi solusi yang andal untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Namun, efektivitas panel surya dalam menghasilkan energi listrik sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari yang diterima.

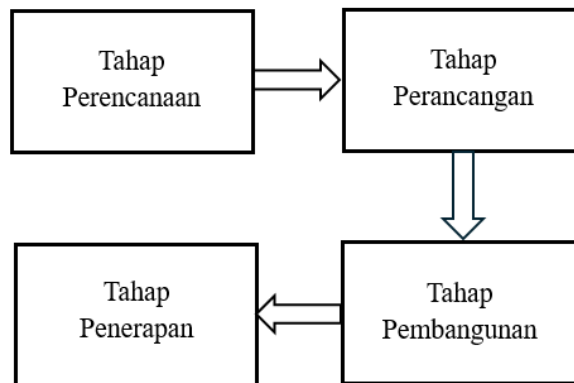
Keberadaan kotoran seperti penumpukan debu, kotoran burung, dedaunan yang menempel pada permukaan panel surya dapat mempengaruhi kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik. Fenomena ini dikenal dengan istilah soiling effect. Panel surya yang terkontaminasi debu, serbuk sari, dedaunan, dan kotoran burung dapat mengurangi 30% keluaran daya listrik (Rashak et al., 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Evstatiev et al. (2024) membuktikan bahwa kondisi kotor pada permukaan panel surya dapat menurunkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Hal ini dibuktikan dengan nilai pengukuran daya listrik yang menyatakan bahwa rata-rata daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi bersih dengan nilai 9,25 watt, sedangkan rata-rata daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi tertutup debu dengan nilai 7,75 watt, atau dengan kata lain daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya dengan kondisi bersih lebih tinggi 16,2%.

Menanggapi hal yang ada diatas, dalam penelitian ini mencoba mencari solusi merancang bangun sebuah alat yang dapat membersihkan permukaan panel surya secara otomatis. Peneliti bermaksud melakukan penelitian mengenai Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis *Internet Of Things* (Iot) Menggunakan Esp32. Penelitian ini akan membuat dan menguji kinerja alat yang telah dirancang.

## Metode

Pada penelitian ini, digunakan metode penelitian rekayasa teknik dengan jenis rekayasa maju (Forward Engineering). Menurut Martinez-Marroquin et al. (2024) rekayasa atau teknik adalah penerapan ilmu dan teknologi yang bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan manusia. Hal ini dapat diselesaikan melalui ilmu pengetahuan, matematika, dan pengalaman praktis yang diterapkan untuk mendesain objek atau proses yang berguna. Forward Engineering adalah proses untuk membuat suatu abstraksi dengan desain yang masuk akal, kemudian diterapkan menjadi suatu alat fisik saja atau sistem kerja alat (Krasanakis & Symeonidis, 2024). Terdapat tahapan yang harus dilakukan pada metode Forward Engineering yaitu tahap perancangan dan tahap pembangunan, atau untuk lengkapnya dimulai

dari perencanaan, perancangan, pembangunan dan penerapan . Gambar 1 dibawah ini merupakan bagan langkah-langkah melakukan penelitian dengan metode Forward Engineering.



**Gambar 1** Bagan Langkah-Langkah Penelitian *Forward Engineering*

Penelitian dilakukan dengan membuat sistem yang dapat membersihkan permukaan panel surya secara otomatis berbasis internet of things (IoT). Sistem yang dibuat merupakan hasil perancangan hardware untuk melakukan pemindaian dan pembersihan permukaan panel surya dan penggunaan teknologi internet of things melalui platform Blynk yang digunakan sebagai sistem monitoring volume air yang di tampung pada ember. Pada penelitian ini digunakan teknik dan prosedur pengumpulan data dengan cara pengukuran. Adapun pengukuran yang dimaksud adalah pencarian literatur berupa datasheet sensor TCS3200 dan sensor HC-SR04, pada sensor TCS3200 melakukan pengukuran frekuensi warna yang didapatkan sedangkan pada sensor HC-SR04 melakukan pengukuran jarak yang didapatkan. Teknik analisis data pada penelitian ini berupa kriteria pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data pengukuran pada setiap komponen yang terintegrasi dalam sistem, yaitu kalibrasi sensor ultrasonik dengan varian jarak, kalibrasi sensor warna dengan varian warna, dan pengujian sensor warna terhadap kondisi permukaan panel surya.

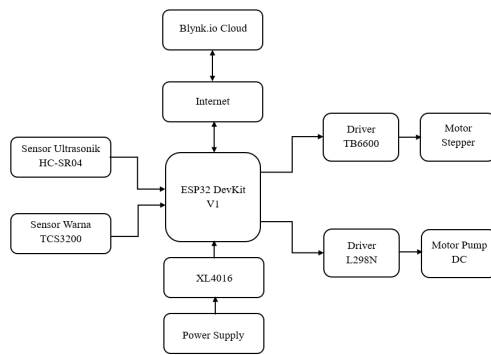
## Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian sistem pembersih permukaan panel surya otomatis berbasis *internet of things* (IoT), meliputi Hasil pembuatan sistem, hasil kalibrasi sensor ultrasonik dengan varian jarak, hasil kalibrasi sensor warna dengan varian warna, dan hasil pengujian sensor warna terhadap kondisi permukaan panel surya.

### Hasil Pembuatan Sistem

#### Perancangan Diagram Blok

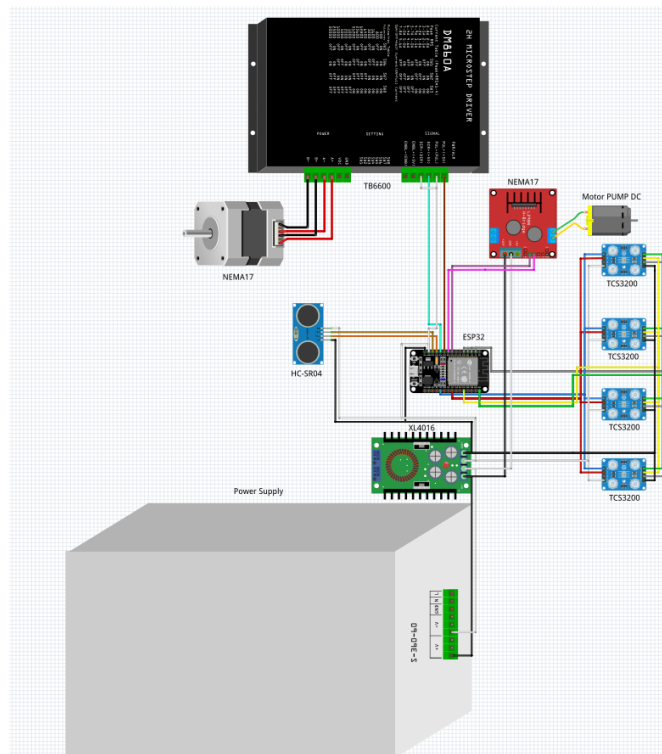
Perencanaan diagram blok merupakan langkah awal dalam perancangan alat. Diagram blok ini sangat berguna sebagai representasi visual untuk menjelaskan alur proses, struktur, atau hubungan antar komponen yang terlibat dalam penelitian. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2.** Diagram Blok Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis *Internet Of Things* (IoT) (Sumber: Peneliti, 2025)

### Perancangan Wiring Diagram

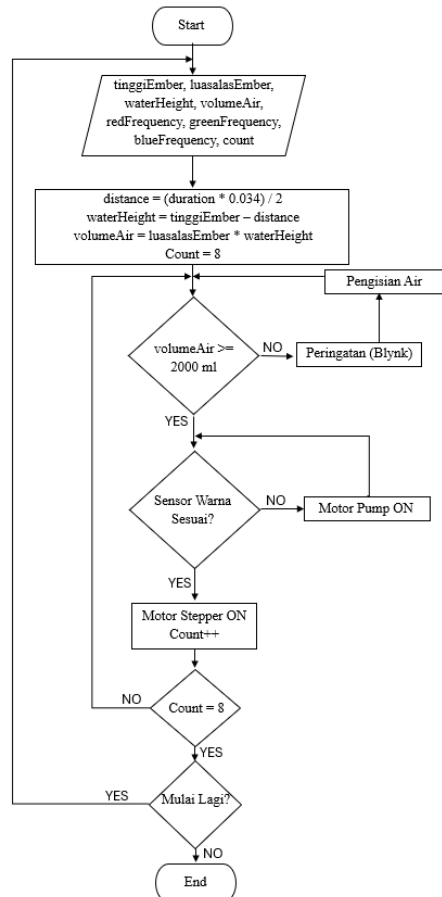
Setelah melakukan perancangan diagram blok, selanjutnya dilakukan perancangan diagram pengkabelan sistem pembersih permukaan panel surya secara otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Hal ini dilakukan untuk memudahkan peneliti pada saat proses pengkabelan keseluruhan sistem. Diagram pengkabelan dirancang menggunakan perangkat lunak Fritzing. Wiring diagram dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



**Gambar 3.** Wiring Diagram Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis *Internet Of Things* (IoT) (Sumber: Peneliti, 2025)

## Perencanaan Flowchart Diagram Alir Sistem

Sistem kerja alat akan dirancang untuk melakukan pembersihan sesuai dengan kondisi yang di tentukan. Flowchart dimulai dengan membuat beberapa variabel untuk menyimpan nilai setiap sensor yang digunakan. Kemudian memanfaatkan jarak yang didapatkan dari sensor HC-SR04 untuk mengukur volume air yang tertampung. Kondisi pertama menentukan jumlah volume yang tertampung, apabila kurang dari 2000ml maka akan muncul notifikasi melalui software blynk. Kondisi kedua menentukan frekuensi warna yang didapatkan oleh sensor TCS3200, apabila tidak sesuai maka motor pump akan menyala, sedangkan apabila sesuai maka motor stepper akan menyala. Diagram alir sistem dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



**Gambar 4.** Diagram Alir Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis Internet Of Things (IoT)  
(Sumber: Peneliti, 2025)

## Perancangan Hardware

Perancangan Desain Hardware merupakan tahap yang meliputi desain alat berdasarkan perancangan diagram blok dan perancangan wiring diagram. Desain alat ini dibuat 3D dengan menggunakan software Sketch Up. Adapun tampilan desain alat 3D ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini.

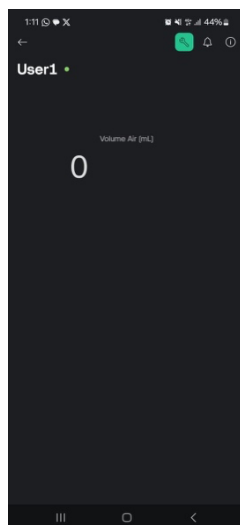


**Gambar 5.** Desain Hardware Sistem Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis Internet Of Things (IoT)  
(Sumber: Peneliti, 2025)

Perancangan desain alat dibuat berdasarkan ukuran panel surya yang digunakan. Pada penelitian ini panel surya yang digunakan adalah panel surya 100 Wp dengan dimensi panjang 76 cm, lebar 68 cm dan tinggi 3 cm. Hasil akhir pembuatan sistem pembersih panel surya secara otomatis berbasis internet of things memiliki dimensi panjang 93cm, lebar 90cm, dan tinggi 35cm.

#### Perancangan Software

Software yang digunakan pada penelitian ini adalah Blynk. Blynk merupakan sebuah platform melakukan kendali jarak jauh dan dapat dihubungkan dengan modul ESP32. Platform Blynk yang digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk menginformasikan jumlah volume air yang digunakan. Desain tampilan platform blynk dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



**Gambar 6.** Tampilan Platform Blynk  
(Sumber: Peneliti, 2025)

### Hasil Kalibrasi Sensor Ultrasonik Dengan Varian Jarak

Kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 bertujuan untuk membandingkan pengukuran jarak yang diperoleh sensor dengan jarak sebenarnya. Kalibrasi yang dilakukan pada sensor ultrasonik dilakukan berdasarkan varian jarak yang berbeda yakni 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, 40cm, 45cm, dan 50cm. Hasil kalibrasi yang dilakukan pada sensor ultrasonik dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Hasil Kalibrasi Sensor Ultrasonik Dengan Varian Jarak

Jarak (cm)	Pengukuran (ml)	Selisih (ml)	Error (%)
5	4	1	20
10	9	1	10
15	14	1	6,67
20	19	1	5
25	24	1	4,16
30	28	2	6,67
35	34	1	2,9
40	38	2	5
45	43	2	4,44
50	48	2	4
Rata-rata <i>Error</i> (%)			6,884

### Hasil Kalibrasi Sensor Warna Dengan Varian Warna

Kalibrasi sensor TCS3200 dilakukan berdasarkan kode warna RGB. Kode warna RGB terdiri dari tiga bagian angka yang dipisahkan oleh tanda koma, misalnya warna hitam R (0), G (0), dan B (0). Kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini melakukan pengukuran kode warna pada 3 warna yakni merah, hijau, dan biru. Kalibrasi sensor TCS3200 dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

**Tabel 2.** Hasil Kalibrasi Sensor Warna Dengan Varian Warna

Warna	Kode Warna Referensi	Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)
Merah	255	250	5	1,96
Hijau	255	246	9	3,52
Biru	255	255	0	0
Rata-rata <i>Error</i> (%)				<b>1,82</b>

### Hasil Pengujian Sensor Warna Terhadap Kondisi Permukaan Panel Surya

Pengujian penggunaan sensor warna dalam dalam memindai warna permukaan panel surya bertujuan untuk mengetahui kondisi permukaan panel surya. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan frekuensi kode warna yang diperoleh saat kondisi bersih pada permukaan panel surya, kondisi kotor pada permukaan panel surya, dan kondisi permukaan panel surya setelah dibersihkan. Adapun hasil pengujian perbandingan pada berbagai varian kondisi permukaan panel surya ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3.** Pengujian Sensor Warna Terhadap Kondisi Permukaan Panel Surya

Kode Warna Panel Surya (RGB)	Kode Warna Kotoran (RGB)	Kode Warna Panel Surya Setelah Dibersihkan (RGB)	Selisih	<i>Error</i>
R(131)	R(120)	R(133)	2	1,5
G(152)	G(143)	G(155)	3	1,9
B(140)	B(134)	B(142)	2	1,4
Rata-rata <i>Error</i> (%)				<b>1,6</b>

Uji coba performa sensor ultrasonik HC-SR04 dalam membaca nilai jarak yang presisi, dilakukan uji coba pada 10 pengukuran jarak yang berbeda yakni 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, 40cm, 45cm, dan 50cm. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur jarak antara sensor ultrasonik dengan sebuah benda yang dipisah sesuai jarak yang sudah di tentukan. Tabel 1 diatas merupakan hasil uji pengukuran sensor ultrasonik HC-SR04 dalam mengukur jarak, nilai yang didapatkan dari 10 pengukuran tidak ada nilai yang sesuai dengan jarak yang ditentukan, hal ini dikarenakan sensor HC-SR04 memiliki rangkaian elektronik internal yang mengukur waktu tempuh gelombang ultrasonik dan mengonversinya menjadi sinyal digital. Jika ada delay dalam pemrosesan internal, hasil pengukuran bisa sedikit lebih pendek dan Komponen seperti osilator internal dan rangkaian waktu pada HC-SR04 mungkin memiliki sedikit error dalam menghitung waktu pantulan, menyebabkan penyimpangan kecil dalam hasil.

Uji coba performa sensor warna TCS3200 dalam membaca nilai frekuensi yang presisi, dilakukan uji coba pada tiga warna yang berbeda yakni merah, hijau, dan biru. Pengujian ini dilakukan dengan cara pemindaian terhadap sensor tersebut terhadap warna-warna yang akan di uji dengan nilai intensitas maksimum yakni merah murni RGB(255,0,0), hijau murni RGB(0,255,0), dan biru murni RGB(0,0,255). Tabel 2 diatas merupakan hasil uji coba sensor warna TCS3200 dalam memindai warna, nilai yang didapat memiliki selisih yang tidak jauh berbeda dengan warna-warna yang dijadikan referensi. Hal ini disebabkan karena Sensor TCS3200 memiliki toleransi dalam pengukuran frekuensi cahaya yang diterima, sehingga nilai yang terbaca tidak selalu tepat 255 dan faktor seperti noise elektronik dan variasi sensitivitas sensor dapat menyebabkan sedikit perbedaan dalam hasil pembacaan. Kemudian warna yang ditampilkan atau diterima sensor dipengaruhi oleh kualitas cahaya sumber, berdasarkan hal tersebut sangat disarankan saat melakukan kalibrasi sensor warna TCS3200

berada diruangan yang terang tetapi harus terkontrol dan stabil karena semakin banyak cahaya yang dipantulkan ke sensor, semakin jelas perbedaan warna yang terdeteksi.

Pada penelitian ini, dilakukan uji coba mengenai pengaruh kondisi permukaan panel surya terhadap hasil akurasi pemindaian sensor warna. Sensor yang diteliti pada penelitian ini adalah sensor TCS3200 yang dapat mendeteksi warna berdasarkan nilai frekuensi red (R), green (G), dan blue (B). Nilai frekuensi RGB yang diperoleh dari sensor warna TCS3200 dijadikan sebagai tolak ukur kondisi permukaan panel surya. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan pada sensor warna, terdapat tiga kondisi permukaan panel surya, kondisi panel surya tanpa kotoran, kondisi panel surya dengan kotoran, dan kondisi panel surya setelah dibersihkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor warna TCS3200 berfungsi dengan baik dalam mendeteksi kondisi permukaan panel surya. Berdasarkan data pada tabel 3 sensor warna dapat mendeteksi perubahan frekuensi pada permukaan panel surya dan pembersihan yang dilakukan oleh alat pembersih permukaan panel surya memberikan dampak yang signifikan terhadap permukaan panel surya, hal ini terbukti dari selisih frekuensi yang didapatkan oleh sensor warna antara frekuensi RGB kondisi awal panel surya dengan frekuensi RGB kondisi panel surya setelah dibersihkan.

## Kesimpulan

Berdasarkan tahap perencanaan, perancangan, dan pengukuran yang dilakukan pada penelitian alat pembersih permukaan panel surya secara otomatis berbasis internet of things (IoT), dapat ditarik kesimpulan yang akan dipaparkan pada poin-poin berikut ini. Alat pembersih permukaan panel surya dirancang dan direalisasikan menggunakan sensor TCS3200 untuk mendeteksi permukaan panel surya berdasarkan kode warna Red, Green, Blue (RGB) dan sensor HC-SR04 digunakan untuk mengukur volume air berdasarkan jarak yang didapatkan. Sistem monitoring untuk kondisi permukaan panel surya yang dirancang dan direalisasikan menggunakan sensor warna TCS3200. Pengujian warna pada pengujian pengaruh varian warna memiliki tingkat error sebesar 0 – 3,52%. Sedangkan pada pengujian varian jarak, sensor HC-SR04 memiliki tingkat error pada pengukuran jarak sebesar 2,9 – 20%. Penggunaan alat pembersih permukaan panel surya memberikan dampak yang positif terhadap kondisi permukaan panel surya, hal ini dibuktikan dengan kecilnya selisih frekuensi warna yang didapatkan oleh sensor TCS3200.

## References

- Evstatiev, B. I., Trifonov, D. T., Gabrovska-Evstatieva, K. G., Valov, N. P., & Mihailov, N. P. (2024). PV Module Soiling Detection Using Visible Spectrum Imaging and Machine Learning. *Energies*, *17*(20), 5238–5238. <https://doi.org/10.3390/en17205238>
- Fitriana, I., Hadiyanto, H., Warsito, B., Himawan, E., & Santosa, J. (2024). The Optimization of Power Generation Mix To Achieve Net Zero Emission Pathway in Indonesia Without Specific Time Target. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, *41*, 5–19. <https://doi.org/10.54337/ijsepm.8263>
- Grzych, G., Gernez, E., Plasse, L., Deheul, S., Niguét, J., Bennis, A., Tard, C., Douillard, C., Sciffet, D., Bossaert, C., Girot, M., Dobbelaere, D., & Diesnis, R. (2024). B-283 Biological Consequences of Nitrous Oxide Abuse: Insights from Targeted Metabolomics Investigation. *Clinical Chemistry*, *70*(Supplement\_1). <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvae106.640>
- Jin, A. S., & Sanders, K. T. (2024). Characterizing residential sector load curves from smart meter datasets. *Applied Energy*, *366*, 123316. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123316>
- Krasanakis, E., & Symeonidis, A. (2024). Forward-Oriented Programming: A meta-DSL for fast development of component libraries. *Information and Software Technology*, *171*, 107474. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107474>
- Lee, Y. H. (2024). Beyond the Shockley-Queisser limit: Exploring new frontiers in solar energy harvest. *Science*, *383*(6686). <https://doi.org/10.1126/science.ado4308>

- Liao, X., Bresciani, S., Troise, C., Bukhari, W. A. A., & Bukhari, A. A. A. (2025). How Solar, Wind, and Biomass Energy Create Sustainable Pathways Towards Green Economic Growth? Insights From the Top Five Global Renewable Energy Economies. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.3345>
- Lin, S., Zhang, T., Yang, H., & Li, Y. (2023). Progress and Perspectives of Solar Cells: A Critical Review. *Energy & Fuels*, *38*(2), 761–788. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c02908>
- Marquez, R., Ovalles, C., Lopez-Linares, F., Wang, W., Robinson, P., & Reynolds, M. A. (2024). Perspective from the ACS Energy & Fuels Industry Committee toward the Transition to Sustainable Energy Sources. *Energy & Fuels*. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c05805>
- Martinez-Marroquin, E., Senadji, B., Male, S., & Wood, L. (2024). Embedding human and social aspects in engineering education. *European Journal of Engineering Education*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2430532>
- Ochoa-Correa, D., Arévalo, P., Villa-Ávila, E., Espinoza, J. L., & Jurado, F. (2024). Feasible Solutions for Low-Carbon Thermal Electricity Generation and Utilization in Oil-Rich Developing Countries: A Literature Review. *Fire*, *7*(10), 344–344. <https://doi.org/10.3390/fire7100344>
- Ramadhan, R., Mon, M. T., Tangparitkul, S., Tansuchat, R., & Agustin, D. A. (2024). Carbon capture, utilization, and storage in Indonesia: An update on storage capacity, current status, economic viability, and policy. *Energy Geoscience*, *5*(4), 100335. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2024.100335>
- Ramly, Z. T. A., Ishak, M. Y., Abdullah, A. M., Ismail, M., Abdullah, S., & Mansor, A. A. (2025). Investigating the Effectiveness of Coal-Fired Power Plant Operations: Management, Technical and Air Pollution Aspects. *Emerging Science Journal*, *9*(1), 86–113. <https://doi.org/10.28991/esj-2025-09-01-06>
- Rashak, Z. M., Hassan, K. H., Al-Fartoos, M., Chanchangi, Y., Mohammadi, M. H., & Tahir, A. A. (2024). Assessing Environmental Dynamics and Angular Influence on PV Soiling: Employing ANFIS to Mitigate Power Losses. *Energies*, *17*(23), 5921. <https://doi.org/10.3390/en17235921>
- Wang, Q., Huang, R., & Li, R. (2024). Renewable energy and sustainable development goals: Insights from latent dirichlet allocation thematic and bibliometric analysis. *Sustainable Development*, *32*(6). <https://doi.org/10.1002/sd.3027>