



JESCE

(Journal of Electrical and System Control Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>

Rancang Bangun Teknologi Peningkatan Konversi Energi Menggunakan Pembersih Debu Otomatis Dan Reflektor Pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino

Design and Construction of Energy Conversion Enhancement Technology Using Automatic Dust Cleaner and Reflector on Solar Panel Based on Arduino Microcontroller

Michael Owen Sihotang¹⁾*, Habib Satria¹⁾

1)Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Indonesia

*Corresponding Email: owensihotang@gmail.com

Abstrak

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial, namun kinerja panel surya dapat menurun akibat akumulasi debu di permukaan panel. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat pembersih debu otomatis berbasis mikrokontroler Arduino yang dilengkapi dengan reflektor untuk meningkatkan konversi energi pada panel surya. Sistem ini menggunakan sensor debu untuk mendeteksi tingkat kotoran pada panel, serta motor penggerak untuk membersihkan permukaan panel secara otomatis ketika debu mencapai tingkat tertentu. Berdasarkan hasil pengujian, terjadi peningkatan tegangan output panel surya setelah proses pembersihan, dengan rata-rata kenaikan sebesar 0,5 hingga 1,5 Volt. Selain itu, penggunaan reflektor membantu meningkatkan intensitas cahaya yang diterima panel, terutama pada pagi dan sore hari. Dengan sistem otomatis ini, efisiensi kerja panel surya dapat dipertahankan tanpa intervensi manual secara berkala. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini efektif dalam meningkatkan performa panel surya dan berpotensi untuk diterapkan pada instalasi skala kecil hingga menengah.

Kata Kunci: Panel surya, Pembersih Debu Otomatis, Sensor Debu, Arduino, Reflektor.

Abstract

Solar energy is one of the most potential renewable energy sources, but the performance of solar panels can decrease due to dust accumulation on the panel surface. This study aims to design and build an automatic dust cleaning tool based on an Arduino microcontroller equipped with a reflector to increase energy conversion in solar panels. This system uses a dust sensor to detect the level of dirt on the panel, as well as a drive motor to automatically clean the panel surface when the dust reaches a certain level. Based on the test results, there was an increase in the output voltage of the solar panel after the cleaning process, with an average increase of 0.5 to 1.5 Volts. In addition, the use of a reflector helps increase the intensity of light received by the panel, especially in the morning and evening. With this automatic system, the efficiency of the solar panel can be maintained without periodic manual intervention. The results of the study indicate that this tool is effective in improving the performance of solar panels and has the potential to be applied to small to medium-scale installations.

Keywords: Solar Panel, Automatic Dust Cleaner, Dust Sensor, Arduino, Reflector.



PENDAHULUAN

Energi surya telah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial untuk masa depan, dengan panel surya sebagai teknologi utama dalam pemanfaatannya. Panel surya digunakan secara luas di berbagai sektor, baik di rumah tangga maupun industri (Ambar Sari *et al.*, 2022; Mufti, Kastiawan and Eryanto, 2023). Namun, kinerja panel surya sangat bergantung pada kondisi permukaan panel tersebut. Debu, kotoran, dan partikel lainnya yang menumpuk di permukaan panel dapat secara signifikan mengurangi efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Penurunan efisiensi panel surya akibat akumulasi debu adalah masalah yang umum terjadi, terutama di daerah yang berdebu atau beriklim kering. Penumpukan debu ini sering kali tidak terlihat oleh mata, sehingga sulit untuk mendeteksi kapan pembersihan diperlukan. Metode pembersihan manual tidak hanya memakan waktu dan tenaga, tetapi juga tidak efisien dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang otomatis dan efektif untuk menjaga kinerja optimal dari panel surya (Isyanto, Batubara and Almanda, 2023).

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan mikrokontroler seperti Arduino telah memberikan peluang

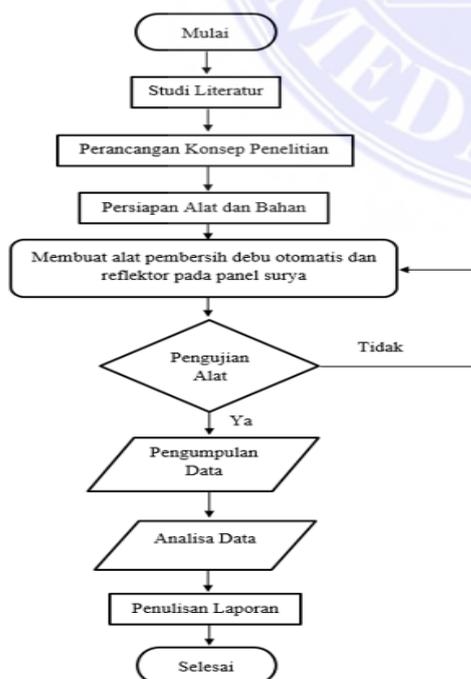
baru dalam pengembangan sistem otomatis (Pratama, Yuniahastuti and Susilo, 2023; Meilany *et al.*, 2024). Arduino memungkinkan pengendalian yang tepat dan efisien terhadap berbagai perangkat elektronik, termasuk sistem pembersih debu otomatis. Selain itu, pengembangan reflektor untuk meningkatkan penangkapan cahaya matahari pada panel surya menjadi aspek penting lainnya yang dapat meningkatkan efisiensi konversi energi. Dengan adanya teknologi pembersih debu otomatis dan reflektor, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan daya tahan panel surya (Wibowo, Notosudjono and Fiddiansyah, 2018; Adi and Tanto, 2022).

Selain itu, sistem pengisian daya otomatis merupakan inovasi yang penting dalam pengembangan teknologi ini. Penggunaan baterai sebagai penyimpan energi dari panel surya memerlukan sistem pengisian daya yang cerdas dan efisien agar daya yang dihasilkan dapat dimaksimalkan. Dalam hal ini, mikrokontroler seperti Arduino berperan penting dalam mengontrol dan mengotomatisasi proses pengisian daya pada baterai. Oleh karena itu, perancangan dan pembangunan sistem charging baterai otomatis menggunakan panel surya terapung berbasis mikrokontroler Arduino menjadi topik yang peneliti buat. Sistem ini

tidak hanya menawarkan solusi untuk pemanfaatan ruang yang lebih efisien, tetapi juga memastikan proses pengisian daya berlangsung secara optimal dan otomatis, sehingga meningkatkan kinerja dan keandalan dari sistem energi terbarukan tersebut. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat menjadi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam menyediakan energi listrik bagi berbagai kebutuhan.

METODE

Metode ini mengikuti hasil flowchart yang di gunakan untuk penelitian Perancangan Rancang Bangun Teknologi Peningkatan Konversi Energi Menggunakan Pembersih Debu Otomatis Dan Reflektor Pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino.



Gambar 1. Flowchart Kegiatan Penelitian

Penelitian ini memerlukan berbagai bahan dan alat, yang mencakup panel potovoltaik dengan spesifikasi 120wp untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Baterai 12V diperlukan untuk menyimpan energi listrik, sedangkan charging controller berfungsi mengatur pengisian baterai agar tidak overcharging. Kabel serabut digunakan untuk menghubungkan semua komponen agar aliran listrik berjalan lancar. Mikrokontroler Arduino Uno mengatur berbagai komponen elektronik, sementara stepper motor memberikan gerakan presisi dalam aplikasi tertentu. Sensor debu mendeteksi ketebalan debu untuk memantau kualitas udara, dan wattmeter DC serta multimeter digunakan untuk mengukur daya listrik dan parameter listrik lainnya. Besi berfungsi sebagai bahan untuk pembuatan rangka, dan tang serta obeng diperlukan sebagai alat kerja untuk pemasangan dan perbaikan komponen. Semua komponen ini memiliki peran krusial dalam memastikan sistem berfungsi dengan optimal.

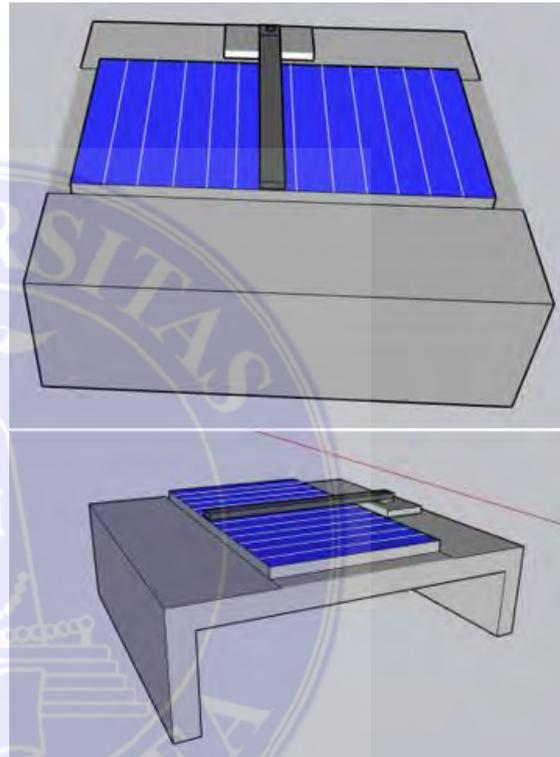
Panel surya bertindak sebagai komponen utama untuk mengonversi energi matahari menjadi listrik. Output dari panel surya diukur menggunakan Watt Meter DC, kemudian dialirkan ke Solar Charger Control yang bertugas mengatur pengisian daya ke baterai. Panel

surya juga dilengkapi dengan sensor debu untuk mendeteksi tingkat kebersihan permukaannya. Data dari sensor debu dikirimkan ke Arduino Uno untuk diproses. Jika debu terdeteksi dalam jumlah yang signifikan, Arduino Uno akan mengaktifkan motor stepper untuk menggerakkan alat pembersih debu yang terpasang di permukaan panel surya, sehingga kinerja panel tetap optimal. Seluruh sistem ini terintegrasi untuk memastikan panel surya dapat menghasilkan energi secara maksimal meskipun berada di lingkungan yang penuh debu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini, telah berhasil dibuat sebuah prototipe alat pembersih debu panel surya berbasis Arduino. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya, rangka penyangga, sistem pembersih berbentuk batang penggeser, motor stepper sebagai aktuator utama, driver motor, sensor limit switch, serta unit pengendali Arduino Uno. Rangkaian sistem dirancang agar batang pembersih dapat bergerak secara bolak-balik di atas permukaan panel surya. Motor stepper menggerakkan batang pembersih dengan perintah dari Arduino, sedangkan limit switch dipasang di kedua ujung lintasan untuk mendeteksi batas

gerakan. Ketika alat dinyalakan, motor menggerakkan batang pembersih maju ke arah ujung panel. Setelah mencapai batas, sensor limit switch mendeteksi posisi dan Arduino membalikkan arah motor sehingga batang pembersih kembali ke posisi awal ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Alat Pembersih Debu

Pembersih debu panel surya Secara keseluruhan, alat ini mampu bekerja secara otomatis untuk membersihkan debu dan kotoran yang menempel di permukaan panel surya. Dengan gerakan yang stabil dan terkontrol, pembersihan berlangsung tanpa merusak permukaan panel. Desain mekanis alat dibuat sederhana namun kokoh, dengan mempertimbangkan faktor tahan cuaca dan kemudahan perawatan. Dari hasil

pembuatan ini, dapat disimpulkan bahwa alat telah berfungsi sesuai dengan rancangan, yaitu mampu membersihkan permukaan panel surya secara efektif melalui mekanisme gerak otomatis berbasis mikrokontroler.

Hasil Pengukuran pada panel surya

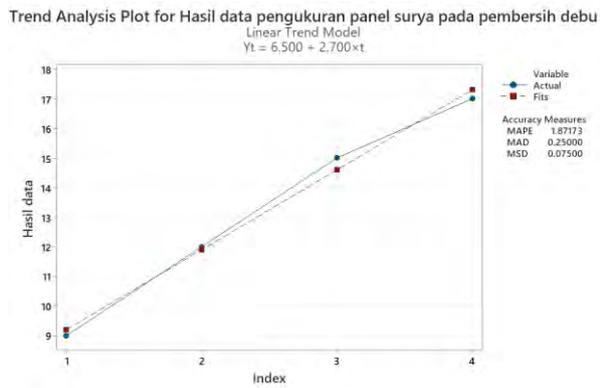
Setelah dilakukan proses pembersihan debu menggunakan alat yang telah dibuat, dilakukan pengukuran terhadap output daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kinerja panel surya setelah permukaannya dibersihkan dari debu.

Tabel.1 Hasil data pengukuran panel surya pada pembersih debu

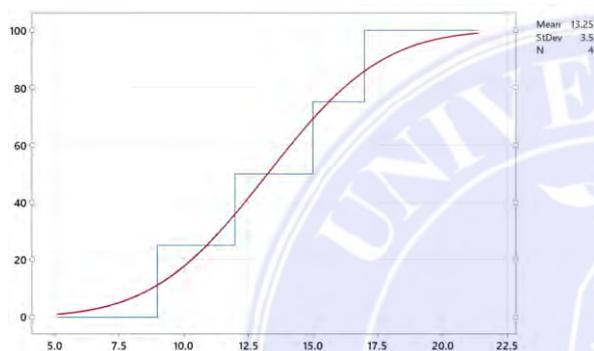
Waktu	Tingkat debu yang nempel di permukaan panel surya	Tegangan sebelum dibersihkan (V)	Tegangan Sessudah dibersihkan (V)
09.00	rendah	19,78	20,3
12.00	tinggi	18,70	20,2
15.00	sedang	19,62	20,3
17.00	sedang	19,65	20,3

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan pada panel surya sebelum dan sesudah dilakukan proses pembersihan debu menggunakan alat yang telah dirancang. Pengukuran dilakukan pada empat waktu berbeda dalam sehari, yaitu pukul 09.00, 12.00, 15.00, dan 17.00, dengan tingkat debu yang bervariasi.

Pukul 09.00: Tingkat debu tergolong rendah, panel menghasilkan tegangan 19,78 V sebelum dibersihkan, dan meningkat menjadi 20,3 V setelah dibersihkan. Pukul 12.00: Tingkat debu tinggi, menghasilkan tegangan lebih rendah, yaitu 18,70 V sebelum dibersihkan. Setelah dibersihkan, tegangan naik menjadi 20,2 V. Pukul 15.00: Saat tingkat debu sedang, panel menghasilkan 19,62 V sebelum dibersihkan, dan meningkat menjadi 20,3 V sesudahnya. Pukul 17.00: Tingkat debu masih sedang, dan panel menunjukkan tegangan 19,65 V sebelum dibersihkan, meningkat ke 20,3 V setelah dibersihkan. Dari data dapat dilihat bahwa pembersihan debu berpengaruh positif terhadap peningkatan tegangan keluaran panel surya. Saat tingkat debu tinggi, seperti pukul 12.00, penurunan tegangan sebelum dibersihkan terlihat paling signifikan. Setelah pembersihan, nilai tegangan kembali meningkat dan cenderung stabil di angka sekitar 20,3 V, menunjukkan efektivitas alat pembersih debu. Ini membuktikan bahwa akumulasi debu dapat menurunkan efisiensi panel surya, dan alat pembersih otomatis yang digunakan mampu mengembalikan performa optimal panel. Data kemudian di konversi pada trend analisis di peroleh hasil seperti Gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisis pengukuran panel surya menggunakan pembersih debu



Gambar 4. Hasil analisis pengukuran panel surya menggunakan pembersih debu

Grafik di atas menunjukkan fungsi distribusi kumulatif empiris (CDF) untuk variabel Data, dengan garis merah mewakili model distribusi normal dan langkah-langkah biru menunjukkan nilai kumulatif aktual. Rata-rata (mean) data adalah 13,25 dengan standar deviasi 3,5, yang menunjukkan bahwa sebagian besar data berkumpul di sekitar nilai rata-rata dengan sebaran moderat. Terdapat empat pengamatan ($N = 4$), sehingga ukuran sampel ini sangat kecil dan dapat mempengaruhi keandalan statistik serta generalisasi hasil. CDF menunjukkan

bahwa nilai C1 meningkat secara bertahap; peningkatan yang lebih tajam menggambarkan interval dengan kepadatan data yang lebih tinggi, sementara peningkatan yang lebih lambat menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut kurang umum. Kesesuaian antara data empiris dan distribusi normal yang diharapkan perlu diperhatikan, terutama mengingat ukuran sampel yang kecil, sehingga pengambilan keputusan lebih lanjut harus dilakukan dengan kehati-hatian dan data tambahan diperlukan untuk gambaran yang lebih akurat.

Pengukuran Sensor Debu

Pada tahap ini dilakukan pengukuran konsentrasi debu menggunakan sensor debu yang terintegrasi pada sistem pembersih panel surya. Sensor debu bekerja dengan mengukur jumlah partikel debu yang berada di sekitar permukaan panel, dan menghasilkan output dalam bentuk nilai konsentrasi partikel. Nilai konsentrasi debu tersebut digunakan untuk menentukan tingkat kebersihan panel surya, yang kemudian menjadi dasar apakah perlu dilakukan pembersihan atau tidak. Semakin tinggi nilai yang terbaca dari sensor, semakin banyak jumlah debu yang menempel, dan sebaliknya Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Percobaan pada sensor debu terhadap panel surya

Waktu	Sensor debu	Status debu
09.00	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rendah
12.00	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tinggi
15.00	85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sedang
17.00	78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sedang

Tabel 2. menunjukkan hasil pembacaan sensor debu terhadap panel surya pada beberapa waktu berbeda dalam satu hari. Data ini digunakan untuk memantau tingkat akumulasi debu di permukaan panel surya dan menentukan status kebersihan panel berdasarkan konsentrasi partikel debu (dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pukul 09.00: Sensor mencatat konsentrasi debu sebesar 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dikategorikan sebagai Rendah. Pada kondisi ini, panel surya relatif bersih dan tidak terlalu memerlukan pembersihan segera. Pukul 12.00: Konsentrasi debu meningkat menjadi 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, masuk kategori Tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya akumulasi debu yang signifikan, sehingga diperlukan tindakan pembersihan untuk mengoptimalkan kinerja panel. Pukul 15.00: Nilai sensor menurun menjadi 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dengan status Sedang. Meski tingkat debu tidak setinggi saat siang hari, tetap perlu dipertimbangkan untuk melakukan pembersihan dalam waktu dekat.

Pukul 17.00: Sensor mencatat 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih berada dalam kategori Sedang. Kondisi ini menandakan bahwa

partikel debu tetap menempel, meskipun intensitas matahari sudah mulai menurun. Peningkatan konsentrasi debu terjadi pada siang hari, kemungkinan besar akibat aktivitas lingkungan, angin, atau polusi yang membawa lebih banyak partikel debu ke permukaan panel. Pembersihan panel sangat direkomendasikan saat konsentrasi debu mencapai kategori Tinggi untuk mencegah penurunan daya keluaran panel surya. Secara keseluruhan, data sensor ini berguna untuk menentukan waktu yang tepat melakukan pembersihan otomatis berdasarkan kondisi nyata di lapangan.

KESIMPULAN

Pembersih debu otomatis yang dirancang berhasil meningkatkan performa panel surya, terbukti dari hasil pengukuran tegangan sebelum dan sesudah pembersihan. Rata-rata, tegangan panel meningkat sekitar 0,5–1,5 Volt setelah proses pembersihan debu dilakukan. Selain itu, sensor debu yang digunakan mampu mendeteksi tingkat akumulasi debu di permukaan panel surya secara akurat. Dalam hasil pengukuran, ketika konsentrasi debu mencapai kategori Tinggi (sekitar 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), terjadi penurunan tegangan yang signifikan, yang dapat diatasi dengan melakukan pembersihan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, B. and Tanto, A. (2022) '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', *Jurnal Teknik Elektro*, 6(1). Available at: <https://doi.org/10.31000/jte.v6i1.7049>.
- Ambar Sari, O. *et al.* (2022) 'Sistem Kendali Pembersih Panel Surya Menggunakan Rolling Brush Dan Wiper Dengan Metode Terjadwal', *Jurnal Ilmu Teknik dan Komputer*, 6(2).
- Isyanto, H., Batubara, M.A.K. and Almanda, D. (2023) 'Perancangan Alat Pembersih Panel Surya Berbasis Internet of Things', *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 6(2).
- Meilany, M. *et al.* (2024) 'Analisis Output Daya pada Sistem Pembersih Debu berbasis ESP32 terhadap Panel Surya', *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, 2(2). Available at: <https://doi.org/10.58291/komets.v2i2.169>.
- Mufti, M., Kastiawan, I.M. and Eryanto, D. (2023) 'Rancang Bangun Cleaning Fotovoltaik Portable Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)', *MEKANIKA: Jurnal Teknik Mesin*, 8(2). Available at: <https://doi.org/10.30996/jm.v8i2.8160>.
- Pratama, A., Yuniahastuti, I.T. and Susilo, D. (2023) 'Pembersih Panel Surya 50W Menggunakan Wiper di Laboratorium Terpadu UNIPMA', *JASIEK (Jurnal Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer)*, 5(2). Available at: <https://doi.org/10.26905/jasiek.v5i2.10906>.
- Wibowo, E.P., Notosudjono, D. and Fiddiansyah, D.B. (2018) 'Rancang Bangun Alat Pembersih Debu Panel Surya (Solar Cell) Secara Otomatis', *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).