

Rancang Bangun Prototype Solar Panel Cleaning Otomatis Berbasis Arduino Uno

Bayu Ramadhan^{*1}, Taufik Muzakkir², Nurul Fadillah³

^{1,2}Institution/affiliation; address, telp/fax of institution/affiliation

³Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: ^{*1} bayu.ramadan2017@gmail.com

Abstrak

Provinsi Kalimantan Barat memiliki potensi energi terbarukan melimpah, terutama energi matahari yang dihasilkan melalui solar sel. Solar panel menjadi alat utama dalam konversi sinar matahari menjadi listrik, digunakan baik untuk rumah tangga maupun infrastruktur publik. Penelitian ini merancang sistem pembersihan otomatis untuk mengatasi kendala pembersihan manual seperti kerusakan panel, risiko kecelakaan kerja, serta keterbatasan ruang dan jarak. Sistem ini menggunakan wiper dan penyemprotan air, dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno dengan modul RTC DS3231. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membersihkan panel surya secara efisien tanpa risiko kerusakan atau kecelakaan kerja. Tegangan yang dihasilkan meningkat dari 20,05V pada panel berdebu, menjadi 20,38V setelah pembersihan dengan air dan wiper, dan mencapai 21,08V saat panel bersih dan kering. Sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi panel surya.

Kata kunci : Arduino Uno, Modul RTC, Motor Servo, Wiper

Abstract

West Kalimantan Province has abundant renewable energy potential, especially solar energy generated through solar cells. Solar panels are the primary tools for converting sunlight into electricity, used for both household and public infrastructure purposes. This study designs an automatic cleaning system to overcome the challenges of manual cleaning, such as panel damage, work-related accidents, and spatial and distance limitations. The system uses wipers and water spraying, controlled by an Arduino Uno microcontroller equipped with an RTC DS3231 module. Test results show that the system can clean solar panels efficiently without the risk of damage or accidents. The voltage produced increased from 20.05V on dusty panels to 20.38V after cleaning with water and wipers, and reached 21.08V when the panels were clean and dry. This system has been proven to enhance the efficiency of solar panels.

Keywords : Arduino Uno, RTC Module, Servo Motor, Wiper

1. PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Barat memiliki potensi energi terbarukan yang melimpah, terutama energi matahari. Penggunaan solar sel, yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi listrik, telah berkembang seiring kemajuan teknologi. Solar panel menjadi alat yang efektif dalam mengubah energi matahari menjadi tenaga listrik untuk keperluan rumah tangga dan lainnya. Seiring meningkatnya jumlah sinar matahari yang mengenai permukaan solar panel, jumlah tenaga listrik yang dihasilkan juga meningkat. Energi ini dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti rumah, gedung, dan penerangan jalan umum, menjadi sumber listrik alternatif yang berkelanjutan. Pemanfaatan energi matahari menjadi upaya penting dalam mengurangi emisi karbon, yang telah menjadi tantangan lingkungan, sosial, dan ekonomi global dalam beberapa tahun terakhir [1].

Pengembangan ladang solar panel yang luas di masa depan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi terbarukan. Namun, efektivitas solar panel dapat terhambat oleh permukaan yang kotor akibat debu dan kotoran binatang. Oleh karena itu, menjaga kebersihan permukaan solar panel sangat penting untuk memastikan efisiensi penyerapan energi matahari tetap optimal [2].

Tujuan utama alat ini adalah untuk membuat pembersihan solar panel otomatis. Saat ini, pembersihan solar panel masih dilakukan secara manual. Metode ini memiliki beberapa kelemahan, termasuk risiko kerusakan permukaan panel, risiko kecelakaan kerja, kesulitan bergerak karena keterbatasan ruang dan jarak, dan kurangnya perawatan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah desain yang mampu mengatasi tantangan-tantangan ini dengan melakukan pembersihan solar panel secara otomatis dan efektif.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan rancang bangun alat cleaning otomatis pada solar panel berbasis Arduino Uno. Cara kerja alat ini adalah dengan menggunakan wiper untuk membersihkan, dan pertama-tama menyemprotkan air ke permukaan panel surya. Konstruksi ini berfungsi sebagai sistem elektronik yang menggunakan perintah dari mikrokontroler arduino uno yang dilengkapi dengan modul waktu nyata (RTC) DS3231 [3].

Penelitian mengenai pembersihan solar panel secara otomatis menunjukkan berbagai pendekatan dan hasil yang signifikan. [4] menemukan bahwa debu pada *cover glass* panel surya mengurangi efisiensi fotolistrik, namun dengan alat pembersih otomatis yang dioperasikan dua kali sehari, tegangan rata-rata *solar cell* dapat meningkat setelah pembersihan. [5] merancang prototipe alat pembersih otomatis menggunakan sistem kendali Arduino yang menyemprotkan air dan menggunakan sensor jarak untuk menggerakkan motor *driver*, menunjukkan efisiensi dalam penggunaan air dan kecepatan pembersihan. [6] menekankan bahwa debu dapat menurunkan kinerja solar panel sebesar 5-15%, dan dengan sistem pembersihan otomatis berbasis *wet cleaning*, produksi energi solar panel meningkat sebesar 59.55% dibandingkan tanpa pembersihan otomatis, menunjukkan pentingnya sistem ini dalam mengoptimalkan kinerja solar panel.

Energi baru terbarukan (EBT) terdiri dari energi panas matahari, panas bumi, angin, air, biofuel, biomassa, biogas, dan pasang surut air laut. EBT lebih cepat dapat diperbarui dan ramah lingkungan daripada energi fosil. Energi merupakan komoditas strategis yang sangat vital karena seluruh sistem kehidupan bergantung pada ketersediaannya. Di Indonesia, potensi energi terbarukan sangat besar, terutama energi surya, berkat kondisi geografis yang mendukung. Di Indonesia, energi surya memiliki potensi yang sangat besar dan dapat diakses secara gratis, tetapi penggunaannya masih belum optimal. Karena energi surya tidak menghasilkan polusi atau emisi gas, dapat membantu mengurangi pemanasan global [7].

Panel surya dapat menghasilkan energi dari matahari melalui proses fotovoltaik. Teknologi sel surya ditemukan oleh fisikawan Prancis Antoine César Becquerel pada tahun 1839. Pada tahun 1883, Charles Fritts membuat sel surya pertama dengan lapisan selenium dan emas yang sangat tipis. Panel surya terdiri dari sel surya yang lebih kecil, di mana metal grid membentuk salah satu terminal listrik semikonduktor. Lapisan *antireflective* meningkatkan jumlah cahaya yang masuk ke semikonduktor saat cahaya masuk melalui *metal grid* dan berinteraksi dengan komponennya, menghasilkan energi [8]. Daya output dari modul *fotovoltaik* didefinisikan sebagai $P_{out} = V_{out} \times I_{out}$. Sel surya, juga dikenal sebagai sel surya *photovoltaic* (PV), adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Tipe sel surya monokristalin dan polikristalin adalah yang paling umum di pasar. Monokristal, yang merupakan panel paling efisien dengan efisiensi hingga 15-20%, dirancang untuk penggunaan di tempat beriklim ekstrim dan kondisi alam yang keras, namun kurang berfungsi di tempat yang teduh atau cuaca berawan. Polikristal, yang menghasilkan daya listrik yang sama tetapi memiliki susunan kristal yang berbeda dan luas permukaan yang lebih besar dan memiliki efisiensi 13-18%, lebih rendah dibandingkan jenis monokristal [9].

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis Atmega328 yang memiliki enam input analog, enam *output* digital, *header* ICSP, tombol reset, dan *jack* daya. Modul Arduino Uno memiliki banyak fitur, termasuk kecepatan clock 16 MHz, memori flash 32 KB, SRAM 2 KB, dan EEPROM 1 KB. Ini juga memiliki tegangan operasi 5V, tegangan input batas 6-20V, dan

tegangan yang disarankan 7-12V. Anda juga dapat menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB, atau Anda dapat menggunakan adaptor AC ke DC atau baterai. *Real Time Clock* (RTC) adalah chip IC yang berfungsi menghitung waktu secara akurat mulai dari detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, hingga tahun. Modul RTC menggunakan baterai jam kancing sebagai sumber catu daya untuk menjaga data waktu, serta osilator kristal eksternal untuk memastikan keakuratan. Contoh penerapannya dapat ditemukan pada motherboard PC, berdekatan dengan chip BIOS, untuk memastikan jam tetap *up to date* meskipun komputer dimatikan. Spesifikasi modul RTC DS3231 meliputi: voltage operasi 2.3-5.5V, dapat beroperasi pada voltage rendah, konsumsi daya sekitar 500nA saat menggunakan baterai, voltage maksimum pada SDA dan SCL sebesar VCC + 0.3V, dan temperatur operasi -45°C hingga +80°C.

Relay adalah saklar yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik, menggunakan kontaktor yang digerakkan oleh induksi magnet dari kumparan induktor yang dialiri arus listrik. Berbeda dengan saklar manual yang tidak memerlukan arus listrik, relay membutuhkan arus listrik untuk berfungsi. Dalam peralatan elektronik, relay melakukan banyak hal, seperti menjalankan fungsi logika, memberikan penundaan waktu, mengontrol sirkuit tegangan tinggi dengan sinyal tegangan rendah, dan melindungi motor atau komponen lainnya dari kelebihan tegangan atau hubungan singkat [10].

Motor servo MG996R, yang merupakan pembaruan dari model MG995, memiliki kemampuan torsi yang baik dengan beban hingga 10 kilogram berkat gear berbahan metal. Peningkatan pada desain PCN dan IC membuat MG996R lebih akurat. Dilengkapi dengan kabel sepanjang 30cm dan tiga pin, motor ini dapat berputar hingga 180 derajat dan kompatibel dengan berbagai jenis pemrograman *servo*. Spesifikasinya meliputi berat 55 gram, dimensi 40,7 x 19,7 x 42,9 mm, torsi 9,4 kg (4,8V) hingga 11 kg (6V), kecepatan operasi 0,17 s/60° (4,8V) hingga 0,14 s/60° (6V), tegangan 4,8V - 7,2V, arus 500mA – 900mA (6V), *stall current* 2,5A (6V), *bandwidth* 5 µs, dan suhu operasi 0°C – 55°C.

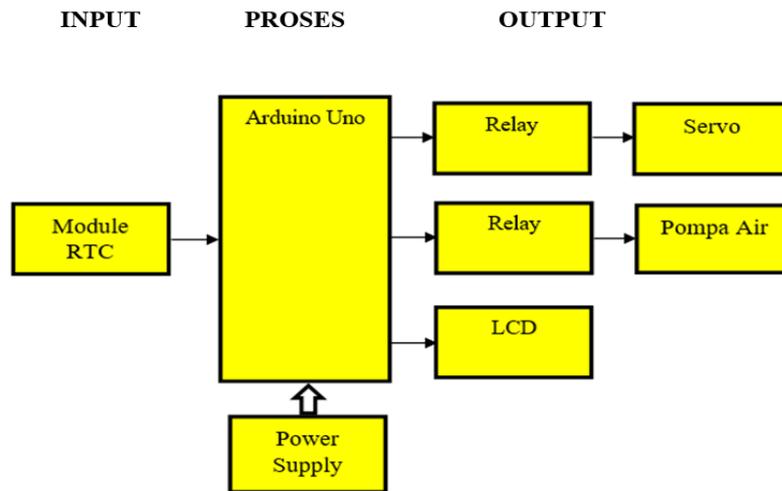
Pompa air mini DC menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaga. Polaritas tegangan yang diberikan pada dua terminal motor membuatnya berputar, dengan arah putaran dapat diubah jika polaritas diubah, dan besar tegangan menentukan kecepatan putaran. Pompa ini terdiri dari tiga bagian dasar: stasioner yang menghasilkan medan magnet, rotor berupa koil yang mengalirkan arus listrik dan berputar, serta *gear box* yang dipasang pada ujung rotor untuk menghisap air. Spesifikasinya meliputi tegangan operasi 3V-5V, laju aliran air 1.2-1.6 L/min, diameter inlet air 5.0 mm, dan diameter outlet air 7.5 mm [11].

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah tampilan elektronik yang menggunakan teknologi CMOS *logic* untuk menghasilkan gambar dengan prinsip mentransmisikan cahaya dari backlight dan memantulkan cahaya sekitarnya. LCD menggunakan cairan kristal untuk mengatur jumlah cahaya yang diteruskan atau dipantulkan, membentuk gambar atau teks. Modul LCD ini sering digunakan untuk menampilkan karakter seperti teks, angka, dan grafik, dengan fungsi sebagai pengendali tampilan karakter dan pengatur penyimpanan data tampilan. Modul LCD memiliki 16 pin, termasuk GND (*ground pin*), VCC (catu daya 5V), SDA (terhubung dengan pin SDA), dan SCL (terhubung dengan pin SCL)[12].

2. METODE

Langkah awal dalam merancang suatu sistem adalah membuat diagram blok. Diagram blok adalah representasi grafis dari rangkaian atau sistem elektronik yang menggunakan blok fungsi untuk mewakili komponen atau modul yang berbeda, serta interkoneksi di antara mereka untuk menunjukkan aliran sinyal atau arus. Tujuan utamanya adalah menyederhanakan kompleksitas sistem elektronik, sehingga memudahkan pemahaman mengenai cara kerja setiap komponen dalam mencapai fungsionalitas keseluruhan. Berikut adalah diagram blok dari *prototype* solar panel *cleaning* otomatis berbasis arduino uno.

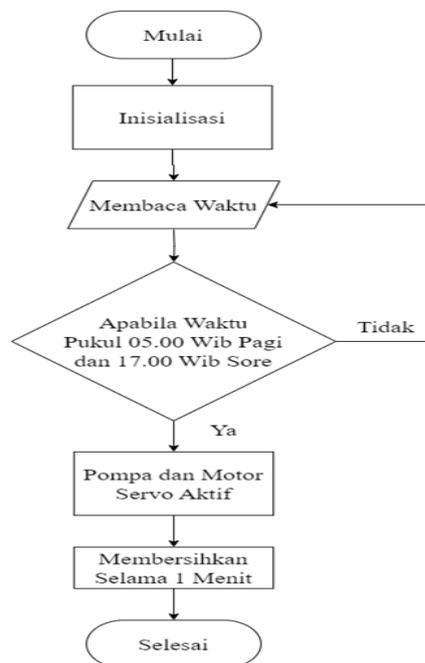
2.1 Rancangan Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada blok diagram, sistem pembersih panel surya menggunakan servo sebagai penggerak *wiper*, dikendalikan oleh RTC sebagai pengatur waktu. RTC mengirimkan input waktu ke mikrokontroler Arduino Uno yang memrosesnya. *Step-down* LM2566 digunakan untuk menurunkan tegangan dari *power supply* 12V ke 5V agar sesuai dengan kebutuhan operasional mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian mengatur *output relay* yang menggerakkan servo untuk membersihkan panel surya dan mengaktifkan pompa air untuk menyiramnya. Selain itu, mikrokontroler terhubung ke layar LCD untuk menampilkan informasi waktu.

2.2 Flowchart Sistem

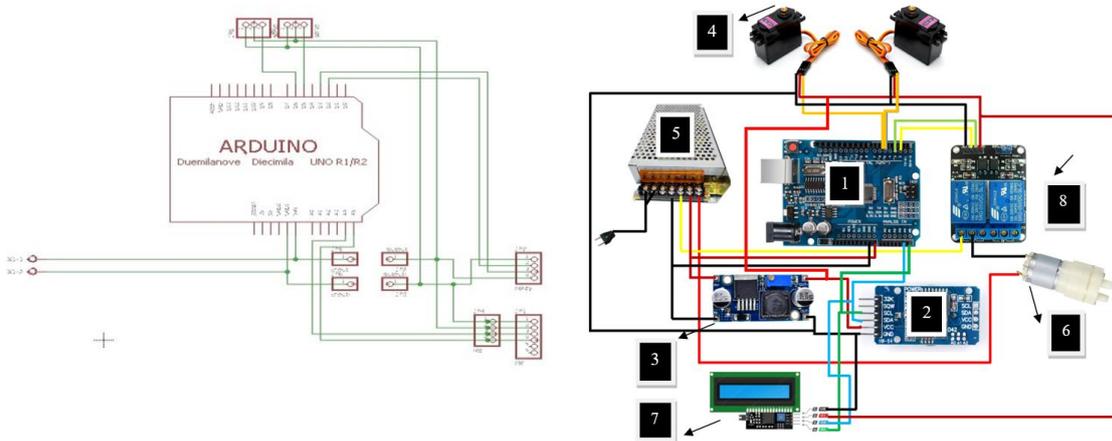


Gambar 2. Flowchart Sistem

Prototipe ini dimulai dengan Arduino membaca waktu dari RTC untuk memulai sistem. Sistem inisialisasi dan mengatur variabel yang diperlukan, kemudian memeriksa waktu. Jika waktu

menunjukkan pukul 05.00 atau 17.00, proses pembersihan dimulai. Pompa air dan motor servo diaktifkan untuk membersihkan panel surya selama satu menit. Setelah itu, sistem berhenti dan panel surya siap mengumpulkan energi matahari dengan efisien. Program kemudian mencapai akhir eksekusi, menandakan selesainya operasi pembersihan otomatis, dan kembali ke mode standby hingga waktu berikutnya untuk pembersihan tiba.

2.3 Skema Elektrik Alat *Cleaning* Otomatis Pada Solar Panel Berbasis Arduino Uno



Gambar 3. Skema Elektrik Alat *Cleaning* Otomatis Pada Solar Panel Berbasis Arduino Uno

Rancangan sistem pembersih panel surya ini menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali untuk menggerakkan komponen-komponen yang terhubung. Arduino Uno menerima *input* waktu dari RTC untuk mengatur jadwal pembersihan dan terhubung ke *Step-down* LM2566 untuk menurunkan tegangan dari *power supply* 24V menjadi 5V yang dibutuhkan untuk operasional mikrokontroler. Arduino Uno mengatur output relay yang terhubung ke servo motor untuk menggerakkan *wiper* pembersih panel surya, serta relay yang terhubung ke pompa air untuk menyiram panel surya. Informasi waktu ditampilkan melalui layar LCD. Arduino IDE digunakan untuk memprogram Arduino dengan bahasa pemrograman C yang dimodifikasi, sehingga memudahkan pemula dalam pemrograman. *Bootloader* dalam Arduino berfungsi sebagai penghubung antara *compiler* dan mikrokontroler. Pin data dari masing-masing servo terhubung ke pin 5 dan 6 dari Arduino untuk mengendalikan servo, sementara pin GND dan VCC dari RTC terhubung ke pin GND dan VIN dari Arduino Uno. Layar LCD terhubung ke Arduino melalui pin SDA ke A4 dan pin SCL ke A5 untuk menampilkan informasi waktu. Dengan demikian, sistem ini memastikan komponen-komponen bekerja secara terkoordinasi untuk pembersihan otomatis panel surya sesuai jadwal yang telah ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil pengujian berdasarkan komponen:

Tabel 1. Pengujian Alat Perkomponen

NO	Pengujian	Kriteria Pengujian	Hasil
1	Servo Wiper	Dapat bekerja dengan baik untuk berputar dari 0 ke 90 derajat membersihkan permukaan solar sel.	Berhasil
2	Pompa Air	Dapat bekerja dengan baik untuk menyemprotkan air ke permukaan solar sel	Berhasil

		menggunakan penyemprot.	nozzle
3	Tampilan LCD	Dapat menampilkan waktu pada layar lcd.	Berhasil
4	Pembacaan Waktu RTC	Dapat membaca waktu real time untuk mengatur jadwal pembersihan pada permukaan solar sel.	Berhasil

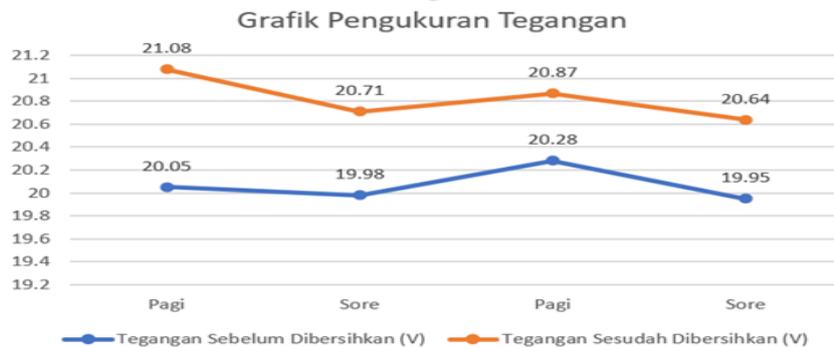
Pengujian Berdasarkan Waktu

Berikut adalah hasil pengujian berdasarkan waktu:

Tabel 2. Pengujian Berdasarkan Waktu

Hari	Waktu	Jam	Kondisi Cuaca	Tegangan Sebelum Dibersihkan (V)	Jam	Kondisi Cuaca	Tegangan Sesudah Dibersihkan (V)	Terdapat Selisih (V)
Minggu	Pagi	08.44	Panas	20.05V	08.55	Panas	21.08V	1.03V
	Sore	15.03	Panas	19.98V	15.12	Panas	20.71V	0,73V
Senin	Pagi	08.12	Panas	20.28V	08.21	Panas	20.87V	0,59V
	Sore	14.26	Panas	19.95V	14.35	Panas	20.64V	0,69V

Pengukuran Tegangan



Gambar 4. Grafik Pengukuran Tegangan

Rata-rata tegangan sebelum pembersihan adalah 20.065, sementara rata-rata tegangan sesudah pembersihan adalah 20.825, menghasilkan peningkatan tegangan sebesar 0.76. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses pembersihan mengurangi resistansi atau menghilangkan hambatan, sehingga tegangan menjadi lebih stabil atau meningkat. Efek pembersihan menunjukkan bahwa penggunaan air untuk membersihkan panel surya meningkatkan tegangan, namun peningkatannya lebih rendah dibandingkan pembersihan kering, kemungkinan karena residu air atau partikel kelembaban yang mengurangi efisiensi konversi energi. Pembersihan kering lebih efektif dalam menghilangkan residu, menghasilkan peningkatan tegangan yang lebih besar. Selain itu, terdapat variasi tegangan antara pagi dan sore, dengan tegangan cenderung lebih tinggi pada pagi hari. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari dan kondisi cuaca yang berbeda sepanjang hari mempengaruhi efektivitas pembersihan dan kinerja panel surya. Hasil analisis ini menandakan efektivitas pembersihan dalam meningkatkan kinerja panel surya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan pembuatan alat dan penelitian, disimpulkan bahwa sistem pembersih panel surya yang menggunakan mikrokontroler Arduino Uno berhasil membersihkan panel secara efisien tanpa risiko kerusakan atau kecelakaan kerja. Pengujian menunjukkan tegangan sebesar 20,05V pada panel berdebu, meningkat menjadi 20,38V setelah disemprot air, dan mencapai 21,08V pada kondisi bersih dan kering. Terdapat variasi tegangan antara pagi dan sore yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan kondisi cuaca. Rancang bangun sistem otomatis ini berhasil direalisasikan, menunjukkan potensi untuk meningkatkan ketersediaan energi surya sebagai sumber energi terbarukan.

Terdapat beberapa saran untuk perbaikan dan pengembangan sistem pembersih panel surya. Pertama, perlu penambahan sensor untuk mendeteksi dan mengukur tingkat kekotoran pada permukaan solar sel, sehingga sistem dapat merespons lebih efektif dan menjaga kinerja panel. Kedua, disarankan untuk menambahkan sistem pemantauan jarak jauh agar kinerja pembersih dapat dipantau dari jauh. Ketiga, penting untuk menyediakan perlindungan tambahan bagi sistem pembersihan agar dapat bertahan dalam kondisi cuaca ekstrem, seperti hujan deras atau angin kencang, guna memastikan keandalan operasi dalam berbagai kondisi lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D. Devaraju, V. N. S. Kumar, V. Vivek, R. Akshay Kumar, G. H. Reddy, and S. Gope, "An Efficient Automatic Solar Panel Cleaning System for Roof-Top Solar PV System," in *Proceedings - 2022 International Conference on Smart and Sustainable Technologies in Energy and Power Sectors, SSTEPS 2022*, 2022. doi: 10.1109/SSTEPS57475.2022.00018.
- [2]. A. Al Dahoud, M. Fezari, and A. Al Dahoud, "Automatic solar panel cleaning system Design," in *2021 29th Telecommunications Forum, TELFOR 2021 - Proceedings*, 2021. doi: 10.1109/TELFOR52709.2021.9653215.
- [3]. E. J. F., B. O. O, F. E. A., and M. T. S, "Design and Construction of an Automatic Solar Panel Cleaning System," *Saudi Journal of Engineering and Technology*, vol. 8, no. 12, 2023, doi: 10.36348/sjet.2023.v08i12.001.
- [4]. E. P. Wibowo, D. Notosudjono, and D. B. Fiddiansyah, "Rancang Bangun Alat Pembersih Debu Panel Surya (Solar Cell) Secara Otomatis," *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, 2018, Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/1029/0>
- [5]. J. Purba, A. S. Uyun, D. Sugiyanto, and M. I. Ramdhan, "Perancangan Prototipe Alat Pembersih Panel Surya Dengan Sistem Gerak Otomasi," *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.52447/jktm.v7i1.5940>.
- [6]. S. Wicaksono, Aceng Daud, and Sri Paryanto Mursid, "Design of Automatic Solar Cleaning System," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.35313/energi.v12i1.4937.
- [7]. P. W. Gautama, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sistem Off Grid Dengan Kapasitas 2 Kwp Pada Instalasi Menara Suar Bulukumba," Jakarta: Institut Teknologi Pln, Jakarta, 2021. Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/630122412/Skripsi-PerencanaanPLTS-sistem-off-grid-dengan-kapasitas-2-kWp-pada-instalasi-menara-suar-bulukumba-pdf>
- [8]. R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache, and A. Bouzid, "A detailed modeling method for photovoltaic cells," *Energy*, vol. 32, no. 9, 2007, doi: 10.1016/j.energy.2006.12.006.
- [9]. A. Bahrami, S. Mohammadnejad, and S. Soleimaninezhad, "Photovoltaic cells technology: Principles and recent developments," *Opt Quantum Electron*, vol. 45, no. 2, 2013, doi: 10.1007/s11082-012-9613-9.

- [10]. A. C. Keller, "Relays and Switches," Proceedings of the IRE, vol. 50, no. 5, 1962, doi: 10.1109/JRPROC.1962.288375.
- [11]. R. Karim and A. Abdulrahman, "Modeling and Practical Implementation of Separately Excited DC Motor Water Pump System," SULAIMANI JOURNAL FOR ENGINEERING SCIENCES, vol. 9, no. 3, 2023, doi: 10.17656/sjes.10160.
- [12]. B. Bahadur, "LIQUID CRYSTAL DISPLAYS.," Molecular crystals and liquid crystals, vol. 109, no. 1, 1984, doi: 10.1080/00268948408080827.
- [13]. M. O. Alsumady, Y. K. Alturk, A. Dagamseh, and M. Tantawi, "Controlling of dc-dc buck converters using microcontrollers," International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, vol. 15, 2021, doi: 10.46300/9106.2021.15.22.
- [14]. D. R. Recupero et al., "Leveraging the Arduino Platform to Develop Information Technology Devices," 2018. doi: 10.4018/978-1-5225-7601-3.ch008.
- [15]. N. Dunbar, "Alternatives to the Arduino IDE," in Arduino Software Internals, 2020. doi: 10.1007/978-1-4842-5790-6_6.