

Rancang dan Bangun Sistem Pembersih Permukaan Panel Surya Otomatis dengan Sistem Elektromekanis Cerdas

Aripin Triyanto*, Heri Kusnadi

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Indonesia

Email: ^{1,*}dosen01315@unpam.ac.id, ²dosen10046@unpam.ac.id

Email Korespondensi: dosen01315@unpam.ac.id

Abstrak—Pengaruh perubahan cuaca terhadap kebersihan permukaan panel surya menjadi masalah yang harus dihadapi saat ini. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi nilai output efisiensi photovoltaic atap adalah tingkat kepadatan debu yang terdapat pada permukaan photovoltaic. Solusi yang dapat digunakan sebagai pembersih permukaan panel dapat menggunakan sistem pembersih otomatis, sehingga dapat mengatasi jumlah debu pada permukaan photovoltaic. Penggunaan metode pada penelitian ini menggunakan komponen arduino amega328p, sensor GP2Y1010AU0F, drive arduino, dan real-time testing. Terdapat sensor debu dan sensor tegangan untuk mengetahui jumlah kepadatan debu pada permukaan photovoltaic, sedangkan sensor tegangan dapat digunakan sebagai pembaca hasil keluaran tegangan pada photovoltaic. Penelitian ini bertujuan untuk membantu pekerjaan manusia dalam membersihkan panel surya rooftop dan membuat sistem pendeteksi ketebalan debu dan pembersih debu untuk meningkatkan nilai efisiensi panel surya dari radiasi matahari yang terserap di permukaan. Hasil penelitian PWM dengan duty cycle 100% Vout 11,72 Volt, Dust Density 0,54 mg/m³ menghasilkan data analog sebesar 3,75 Volt dan nilai ADC sebesar 767. Sedangkan untuk dust density 0,41 mg/m³ diperoleh nilai sensor analog sebesar 3,02 Volt, logika 1 dan posisi aktuator pembersih ON. Kondisi permukaan berdebu pada 0,54 mg/m³ untuk sensor fotovoltaik pada 9,13 dan kondisi tidak normal. Efisiensi yang dihasilkan saat permukaan fotovoltaik bersih adalah 55%-80%.

Kata Kunci: Kepadatan Debu; Efisiensi; Radiasi Matahari; Arduino Amega328p

Abstract—The influence of weather changes on the cleanliness of solar panel surfaces is a problem that must be faced at this time. One of the factors that can affect the output value of roof photovoltaic efficiency is the level of dust density found on the photovoltaic surface. Solutions that can be used as a panel surface cleaner can use an automatic cleaning system to overcome the amount of dust on the photovoltaic surface. The method used in this study uses the Arduino Amega328p component, GP2Y1010AU0F sensor, Arduino drive, and real-time testing. There is a dust sensor and a voltage sensor to determine the amount of dust density on the photovoltaic surface, while the voltage sensor can be used as a reader of the voltage output on the photovoltaic. This research aims to help humans work in cleaning rooftop solar panels and create a system for detecting the thickness of dust and dust cleaners to increase the efficiency value of solar panels from solar radiation absorbed on the surface. The results of the PWM research with a duty cycle of 100% Vout 11.72 Volts, Dust Density of 0.54 mg/m³ produce analog data of 3.75 Volts and an ADC value of 767. Meanwhile, an analog sensor value is obtained for a dust density of 0.41 mg/m³ of 3.02 Volts, logic 1 and the cleaning actuator ON position. Surface conditions and abnormal conditions are dusty at 0.54 mg/m³ for photovoltaic sensors at 9.13. The resulting efficiency when the photovoltaic surface is clean is 55% -80%.

Keywords: Dust Density; Efficiency; Solar Radiation; Arduino Amega328p

1. PENDAHULUAN

Perkembangan penelitian mengenai pemanfaatan sumber energi baru terbarukan masih dalam tahap peningkatan nilai efisiensi[1]. Photovoltaic (PV) adalah nama lain panel surya, yaitu komponen yang mampu mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik [2]. Besar kecilnya satuan watt puncak pada panel surya menentukan seberapa besar tegangan yang dihasilkan dari keluaran panel surya. Implementasi panel surya dapat digunakan sebagai pengganti sumber listrik dari PLN sesuai dengan kapasitas daya dan beban pemakaian [3]. Sistem seperti ini sering digunakan sebagai pembangkit listrik dari sumber tenaga surya (PLTS). Berdasarkan review penelitian sebelumnya, panel surya merupakan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dalam pembuatan dan pemanfaatannya[4][5][6]. Pengembangan menggunakan produk komersial menghasilkan prototipe pembersih panel surya dengan menggunakan sikat rol panjang dan penyedot debu[7]. Prototipe pembersih panel surya dengan menggunakan wiper dan spesifikasi panel surya 12 Volt dengan dilengkapi sensor pembersih debu[8]. Pembersih panel surya menggunakan PLC outseal dan sensor proximity dan terkoneksi dengan android sehingga dapat digunakan dengan sistem wifi[9]. Prototipe pembersih panel sura menggunakan gerak otomatis dilengkapi dengan arduino dan sensor jarak untuk mengaktifkan driver motor servo secara berlawanan[10]. Masalah panel surya yang dipasang di atap rumah adalah banyaknya akumulasi debu yang menumpuk di permukaan akibat perubahan cuaca di Indonesia[11]. Kondisi bersih pada permukaan panel surya perlu diperhatikan agar lebih maksimal dalam proses penyerapan energi radiasi matahari yang akan diubah menjadi listrik agar nilai efisiensi maksimal, polusi udara yang membawa partikel debu merupakan faktor penyebab debu akumulasi[12]. Perawatan dan pembersihan berkala perlu dilakukan untuk menjaga permukaan panel surya tetap bersih. Dampak yang ditimbulkan oleh faktor debu yang terdapat pada permukaan panel surya adalah berkurangnya nilai konversi fotovoltaik menjadi 20% hingga 40%, sehingga rata-rata sistem fotovoltaik memiliki rasio kinerja 60% hingga 80%[13]. Solusi untuk masalah pembersihan permukaan dapat dilakukan secara manual oleh tenaga manusia setiap kali ada debu di permukaan panel surya. Tingkat kesulitan dalam membersihkan permukaan, luas susunan, tebalnya debu pada panel surya membutuhkan solusi dan metode untuk memudahkan pembersihan panel surya dalam jangka panjang[14]. Penggunaan metode yang direncanakan adalah dengan membuat sistem elektromekanis cerdas yang

dapat memantau kebersihan panel surya dari debu termasuk proses pembersihan permukaan secara otomatis. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode desain permukaan panel surya jenis polikristalin berkapasitas 10 WP, dilengkapi pembersih yang berputar dengan arah maju mundur dengan pengontrol sensor dan motor servo. Bertujuan untuk membantu dan memudahkan perawatan permukaan panel surya dan meningkatkan hasil konversi fotovoltaiik pada nilai efisiensi pengaruh debu dalam jangka waktu yang lama[15][16][17].

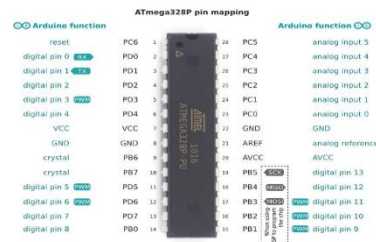
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Mikrokontroler Arduino Uno Atmega 328p

Bagian penting dari mikrokontroler adalah IC utama, sebuah chip IC dengan rangkaian ATMEGA 328p yang memiliki total 28 pin. Berikut fungsi dari masing-masing pin yang terdapat pada IC mikrokontroler[18][19][20].



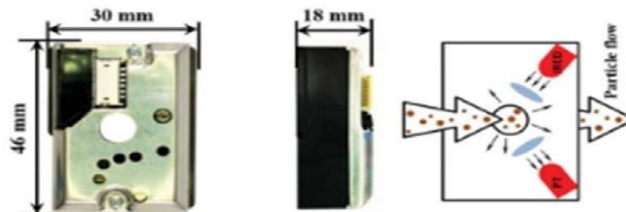
Gambar 1. Arduino Atmega 328p



Gambar 2. IC ATMEGA 328P

2.2 Sensor debu GP2Y1010AU0F

Sensor pendeteksi kepadatan digunakan untuk mengetahui jumlah partikel debu yang terkandung di udara. Sensor ini dapat membedakan debu dan asap dengan melewati komponen LED dan sensor fotodiode sesuai dengan kepadatan debu. Keluaran sensor berupa tegangan analog dan dapat diubah oleh ADC pada pin analog[21][10].



Gambar 3. Sensor GP2Y1010AU0F

2.3 Sensor tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi tegangan pada prototipe keluaran fotovoltaiik. Rancangan prototipe menggunakan modul sensor tegangan DC dengan papan arduino pada pin analog. Prinsip kerja modul ini adalah dengan menggunakan pembagi tegangan resistif, tegangan input 5V atau 3,3V. Sensor dapat membaca tegangan terukur maksimal 25Vdc yaitu 5 kali VCC[22].

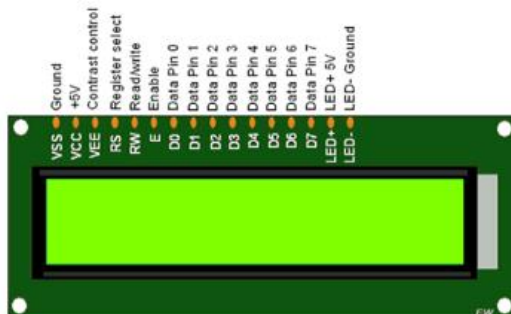


Gambar 4. Sensor Tegangan

Konsep Penggabungan Sensor. Konsep dasar dari mikrokontroler tipe arduino adalah terdapat dua struktur bahasa pemrograman yaitu void setup() dan void loop(). Fungsi setup() hanya memanggil satu kali saat program berjalan sesuai dengan penggunaan pin. fungsi setup() gabungan dalam program bahkan jika tidak ada pernyataan yang dijalankan. Setelah program berjalan sesuai petunjuk secara berurutan sesuai dengan prinsip kerja program yang dijalankan. Jika ada dua sensor yang diterapkan pada mikrokontroler, maka secara loop sensor tersebut akan mendeteksi objek sehingga memberikan input secara berurutan sesuai program sketsa[22].

2.4 Layar Kristal Cair (LCD)

Liquid crystal display (LCD) berfungsi untuk menampilkan data berupa karakter, LCD tipe 16x2 memiliki 2 baris dan setiap baris berisi 16 karakter. Proses integrasi mikrokontroler dapat dilakukan dengan setiap pin terhubung sesuai dengan program dan potensiometer trimer digunakan untuk mengatur tingkat kontras pada layar LCD[4].



Gambar 5. LCD 16 x 2

2.5 Motor DC 6 – 12 V

Pada perancangan prototype motor DC sebagai penggerak mekanik dari kiri ke kanan dan sebaliknya digunakan untuk menggerakkan brush roller bergerak pada permukaan photovoltaic untuk proses pembersihan[13].



Gambar 6. Motor DC 6-12 V Gearbox

2.6 Fotovolataik (PV)

Ini memiliki beberapa jenis dan model yang berbeda, tetapi termasuk jenis monocrystalline dan polycrystalline. Secara umum, sistem kerja dan teori dasar panel surya adalah sel surya terbuat dari silikon ditambah sedikit boron. Cahaya dapat dilihat sebagai aliran partikel kecil energi yang disebut foton. Ketika sebuah foton yang berasal dari cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang sesuai mengenai permukaan sel surya (yang umumnya terbuat dari silikon), foton mentransfer energinya ke beberapa elektron dalam material sehingga energi elektron meningkat. Biasanya elektron ini membantu menyatukan materi dengan membentuk ikatan valensi dengan menempelkan atom satu sama lain dan tidak bergerak[23][24].



Gambar 7. Panel Surya Polikristalin 10 WP

2.8 Kontrol kecepatan motor

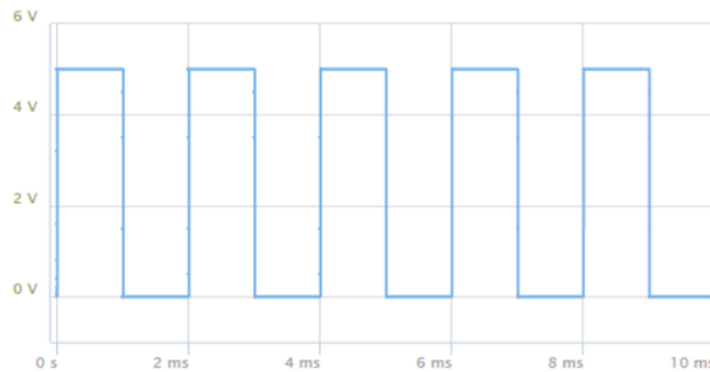
Kontrol kecepatan motor (motor speed controller) dengan sistem PWM (pulse wave modulation) digunakan untuk mengontrol motor DC gearbox agar gerakan mekanik dapat diatur sesuai dengan waktu yang dibutuhkan dalam proses pembersihan pada permukaan photovoltaic [13].



Gambar 8. Pengontrol Kecepatan Motor

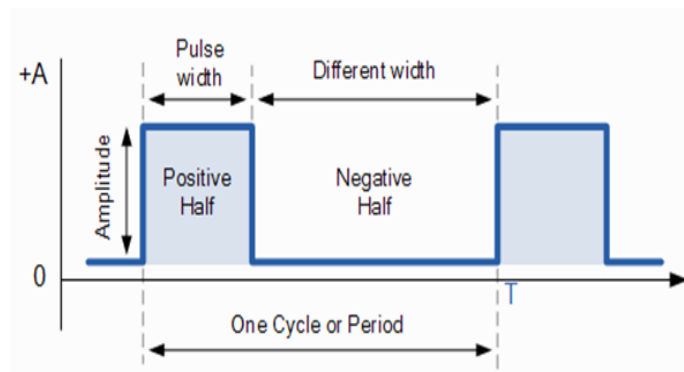
2.9 Pulse Width Modulation

Mengenal sistem PWM (pulse width modulation) memiliki resolusi 8 bit, artinya jumlah bilangan digital memiliki nilai 256 dan perubahan variasi nilai mulai dari 0-255, dan perubahan yang mewakili siklus (duty cycles).), yaitu 0-100% dari output PWM jika menggunakan kontrol PWM menggunakan potensiometer, output tegangan PWM untuk duty cycle berdasarkan persentase putaran potensiometer, misalnya jika 0% duty cycle = 0, jika 25% duty cycle = 64, jika 50% duty cycle = 127, jika 75% duty cycle = 191, dan jika 100% duty cycle = 255[21].



Gambar 9. Bentuk Gelombang Persegi (Pulsa)

Satu siklus gelombang persegi (pulsa) dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



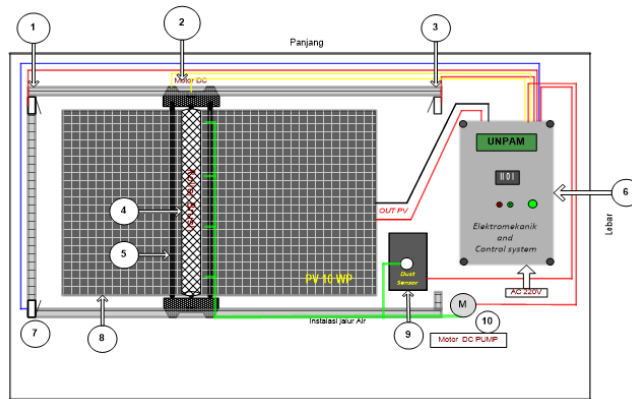
Gambar 10. Satu Siklus Gelombang

2.10 Pompa Air DC

Pompa submersible mini dengan tegangan DC dapat digunakan dalam pembuatan prototipe. fungsi pompa air mini hanya untuk sirkulasi air. Merancang alat yang membutuhkan media air seperti aerator pada akuarium, pembersih otomatis dengan media air[25].

2.11 Tahapan penelitian

Proses penelitian dalam perancangan sistem elektromekanis untuk pembersihan permukaan fotovoltaik terdiri dari beberapa tahapan dengan diagram blok dan perancangan perangkat keras sebagai berikut:

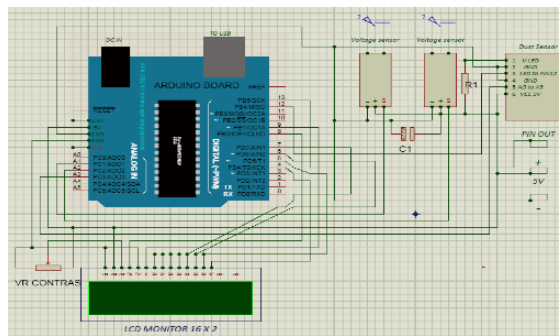


Gambar 11. Diagram Blok dan Desain Perangkat Keras

Rancangan bangun pembersih panel surya dibuat dengan menggunakan box kontrol yang terdapat sumber tegangan 220 Volt sebagai supply power ke motor DC, sensor dan peralatan elektronik didalam box. Pada saat terdapat kepadatan debu sensor bekerja dan menggerakkan motor untuk memerintahkan pembersih permukaan panel surya (sikat silinder) bergerak membersihkan panel surya. Motor DC pump berfungsi untuk menyemprotkan air pada permukaan panel surya sehingga debu yang berada pada panel surya dapat dibersihkan dengan sikat silinder yang dilengkapi dengan aliran air.

2.12 Perangkat Lunak Desain

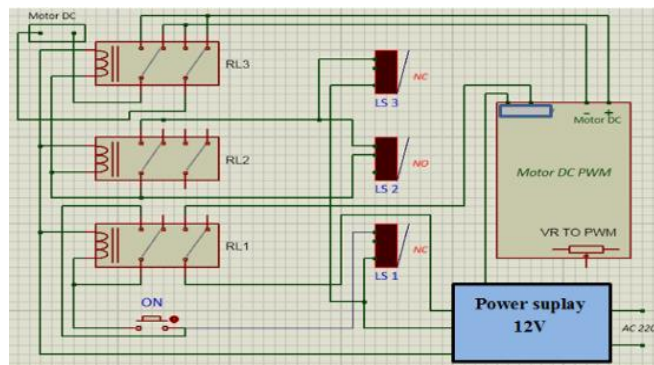
Setelah perencanaan perangkat keras, tahap penelitian selanjutnya adalah perencanaan perangkat lunak. Sebelum melakukan simulasi dilakukan pengkabelan menggunakan program pada mikrokontroler sehingga dengan mengatur input dan komponen maka diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 12. Sistem Pengkabelan Arduino

2.13 Skema Sistem Kendali Konvensional

Penggunaan sistem kontrol konvensional untuk penggerak mekanis dirancang sebagai kontrol yang diadopsi dari kontrol ON dan OFF untuk menggerakkan motor AC dengan sistem penguncian.



Gambar 13. Sistem Kontrol Konvensional

2.14 Persamaan dan Data Matematika

Energi dari panel surya yang telah diubah menjadi listrik menghasilkan nilai efisiensi. Besarnya energi cahaya yang diserap dapat menghasilkan energi listrik dengan output maksimum (η) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{V_{max} I_{max}}{P_{in}} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \tag{2}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{3}$$

Dimana:

η = Efisiensi sel surya (%)

P_{out} = Daya yang dihasilkan sel surya (watt)

P_{in} = Daya yang diterima akibat penyinaran matahari (watt)

Efisiensi maksimum yang dihasilkan dari konversi energi cahaya menjadi energi listrik pada sel surya adalah 30%. Efisiensi sel surya rata-rata adalah 10%-15% tergantung dari nilai intensitas yang diserap pada permukaan panel surya. Persamaan daya input untuk sel surya adalah:

$$P_{in} = J \cdot A \tag{4}$$

Dimana:

P_{in} = Daya yang diterima akibat penyinaran matahari (watt)

J = Intensitas cahaya (W/m²)

A = Luas permukaan sel surya (m²)

Besarnya daya keluaran pada panel surya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \tag{5}$$

Dimana:

P_{out} = Daya yang dihasilkan sel surya (watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (Volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada sel surya (Ampere)

FF = Faktor Isi

Rasio tegangan pada panel surya dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$FF = (V_{max} \times I_{max}) / (V_{oc} \times I_{sc}) \tag{6}$$

Dimana:

V_{max} = Tegangan saat sel surya mencapainya maksimum (Volt)

I_{max} = Arus saat solar cell mencapai maksimum (Amper)

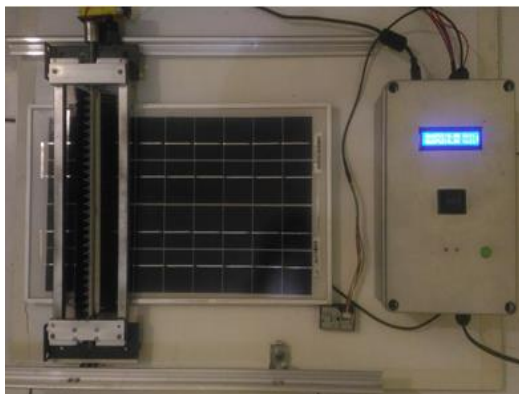
V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (Volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada sel surya (Ampere)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Prototipe pembersih panel surya

Berikut ini gambar 14 adalah rancang bangun prototipe panel surya dilengkapi dengan box kontrol dan power supply sebagai input pada masing-masing komponen panel surya.



Gambar 14. Prototipe Panel Surya

3.2 Pengujian Motor DC dengan PWM.

Menggunakan sistem PWM yang dikendalikan oleh potensiometer, pengujian dilakukan berdasarkan siklus kerja posisi potensiometer

Tabel 1. Pengujian Output PWM

Potensiometer	Vout PWM
20%	2.34 Volt
25%	2.92 Volt
30%	3.51 Volt
40%	4.68 Volt
60%	7.02 Volt
80%	9.36 Volt
100%	11.71 Volt

Analisis perhitungan tegangan output untuk perubahan duty cycle dilakukan secara bertahap dari 20% sampai 100% dengan input tegangan kerja PWM sebesar 11,71 VDC. Berikan angka persentase input ke dalam persamaan siklus kerja.

$$V = Duty\ cycle \times V_{cc} \tag{6}$$

$$V = 20\% \times 11.71$$

$$V = 2.342\ Volt$$

Dari percobaan duty cycle 20%, kecepatan motor DC 3 Volt bergerak lambat dan mempengaruhi torsi pada motor DC dan percobaan selanjutnya dilakukan dengan menaikkan duty cycle menjadi 25% dan melihat hasil perhitungan.

$$V = 25\% \times 11.71$$

$$V = 2.927\ Volt$$

Dari percobaan duty cycle 25% dengan kondisi maju kecepatan motor DC 3Volt stabil dan mampu memikul beban pada mekanik pembersih untuk bergerak, kemudian dinaikkan duty cycle menjadi 30% dengan perhitungan.

$$V = 30\% \times 11.71$$

$$V = 3.513\ Volt$$

Dari percobaan duty cycle 30% dengan kondisi maju motor DC 3Volt bergerak terlalu cepat.

3.3 Hasil Pengukuran Kepadatan Debu

Pengukuran densitas debu dilakukan pada kondisi buatan yaitu pemberian pengotor pada permukaan sensor yang dimodifikasi.

Tabel 2. Pengukuran Ketebalan Debu Dan Perbandingan Nilai Voltase

No	Ketebalan debu (mg/m ³)	Sensor tegangan analog (Volt)	Nilai ADC (0-1023)
1	0.11	0.32	65
2	0.15	0.46	94
3	0.21	1.78	364
4	0.32	2.46	503
5	0.41	3.02	617
6	0.45	3.25	664
7	0.54	3.75	767

Analisis kerapatan debu, tegangan analog dan nilai ADC pada sensor dapat dihitung dengan persamaan:

$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 1024 \tag{7}$$

Dimana:

$$\text{Kepadatan debu} = 0,17 \times \text{tegangan analog} / V_{ref}$$

$$\text{Tegangan analog} = ADC \times V_{ref} / 1024$$

Deskripsi penjelasan:

$$\text{Skor ADC} = 0,32 / 5 \times 1024 = 65,536 \approx 65 \text{ (ADC)}$$

$$\text{Kepadatan debu} = 0,17 \times 0,32/5 = 0,0108 \mu\text{g} \approx 0,0110 \mu\text{g}$$

$$\text{Tegangan analog} = 65,536 \times 5 / 1024 = 0,32 \text{ Volt}$$

Faktor pengali 0,17 adalah nilai konstanta dan 1024 mewakili nilai 10 bit (2 x 10) pada pin mikrokontroler.

3.4 Prinsip Kerja Aktuator Berdasarkan Kondisi Debu

Aktuator pada prototipe merupakan mekanisme pembersihan yang bekerja untuk membersihkan permukaan fotovoltaiik secara otomatis. Pada kondisi tidak akurat pembacaan aktuator akan berada pada dua keadaan,

mendapatkan posisi logika High ON sedangkan posisi OFF logika low. Ketika nilai kerapatan debu berada pada level 0,40mg/m³ tegangan analog mencapai nilai 3,01 volt secara otomatis di program untuk memberikan logika Tinggi.

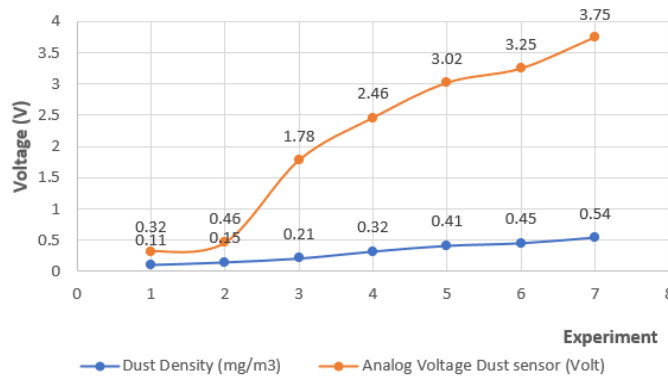
Tabel 3. Performa Aktuator Menggunakan Sensor

No	Ketebalan debu (mg/m ³)	Sensor analog tegangan (Volt)	Logic	Pembersih aktuator
1	0.11	0.32	0	OFF
2	0.21	1.78	0	OFF
3	0.32	2.46	0	OFF
4	0.41	3.02	1	ON

Berdasarkan data tabel, pada saat kerapatan debu normal yaitu ketebalan debu berkisar antara 0.11mg/m³ - 0.32mg/m³ logika pada posisi rendah (0), setelah mencapai 0.41mg/m³ logika berubah ke posisi tinggi.

3.5 Grafik Hasil Pengukuran Kepadatan Debu

Pengukuran ketebalan debu dilakukan pada kondisi buatan yaitu adanya pengotor pada permukaan fotovoltaik yang menempel pada sensor debu. Proses pengujian secara real time, sensor akan merespon tingkat ketebalan debu dan memberikan input tegangan analog.



Gambar 15. Grafik Densitas Debu Dan Tegangan Analog Sensor

Perbandingan antara perubahan debu yang terjadi dengan perubahan tegangan analog pada sensor adalah jumlah debu bertambah, tegangan naik, nilai densitas debu dari 0.11mg/m³ - 0.54mg/m³ dan tegangan analog sensor nilainya adalah 0,32 V - 3,75 V.

3.6 Pengukuran tegangan keluaran PV menghasilkan kondisi abnormal

Kondisi photovoltaic yang menghasilkan tegangan keluaran tanpa beban di bawah 60% konversi sinar matahari menjadi energi listrik, dilakukan pengukuran keluaran photovoltaic sebagai perbandingan antara tegangan pada kondisi normal dan abnormal. Setelah dilakukan pengujian alat dengan memberikan kondisi buatan, pantau kondisi drop tegangan output akibat banyaknya debu pada permukaan photovoltaic yang tebal dan menumpuk sehingga program mikrokontroler IF bekerja secara otomatis. Dua kondisi pengukuran dalam pengujian fotovoltaik yaitu:

Tabel 4. Pengujian Tegangan Output Photovoltaik Keadaan Normal

No	Pengujian (WIB)	Tegangan Photovoltaik Sensor(DC Volt)	Tegangan Photovoltaik (DC Volt)
1	7:00	15.86	15.85
2	9:00	17.66	17.65
3	11:00	18.26	18.25
4	12:00	19.81	19.8
5	13:00	18.9	18.89
6	15:00	17.27	17.25
7	17:00	14.62	14.6

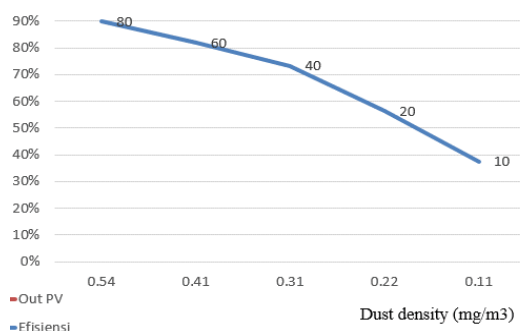
Tabel 5. Pengujian Photovoltaik keadaan berdebu

No	Ketebalan debu (mg/m ³)	Sensor tegangan photovoltaik	Kondisi
1	0,11	16,65	Normal
2	0,22	15,52	Normal
3	0,31	14,54	Normal
4	0,41	11,54	Tidak Normal
5	0,54	9,13	Tidak Normal

Pengukuran output photovoltaic dilakukan pada kondisi normal yaitu kondisi dimana permukaan photovoltaic masih terkena debu namun masih mampu mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik tidak kurang dari 60%. Pengukuran didasarkan pada perbandingan tegangan keluaran fotovoltai pada sensor tegangan dengan alat ukur digital. Pengukuran selanjutnya dilakukan pada saat kondisi cuaca cerah dari pukul 07.00 pagi hingga pukul 17.00 sore dan dilakukan di luar ruangan. Permukaan fotovoltai bersih pada pukul 07:00 permukaan tidak langsung terkena sinar matahari. Pada pukul 09.00 sinar matahari mengenai permukaan fotovoltai secara langsung.

3.7 Analisis pengaruh debu pada efisiensi fotovoltai

Salah satu faktor penyebab perubahan nilai efisiensi photovoltaic pada penelitian ini adalah tingkat akumulasi debu pada permukaan photovoltaic sehingga tingkat penyerapan energi menurun. Hasil pengukuran kerapatan debu dapat dianalisa dengan bertambahnya jumlah debu dan ketebalan mempengaruhi penurunan nilai tegangan output photovoltaic.



Gambar 16. Efek Debu Terhadap Efisiensi Photovoltai

Permukaan photovoltaic dalam keadaan bersih diperoleh rasio kerja pada efisiensi photovoltaic sebesar 55% - 80%. Sehingga hasil konversi energi memiliki nilai rata-rata rasio kinerja fotovoltai sebesar 15% - 35%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian alat pada sistem elektromekanis pada photovoltaic surface cleaner t, hasil pengukuran tegangan, pengukuran debu yang menumpuk dengan ketebalan debu yang berdampak pada rasio kinerja photovoltaic, mengakibatkan kehilangan energi sekitar 15% sampai 35%. Nilai rata-rata rasio kerja sekitar 55% sampai 85%. Faktor yang menyebabkan penurunan nilai energi adalah debu yang menutupi permukaan photovoltaic.

REFERENCES

- [1] M. Al-Ajmi, M. K. H. Muda, I. A. Halin, F. Mustapha, and M. K. A. M. Ariffin, "Design of true hybrid solar wind turbine for smaller hybrid renewable energy power plants," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 52, no. 6, pp. 881–890, 2020, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.6.8.
- [2] S. Ali Sadat, J. Faraji, M. Nazififard, and A. Ketabi, "The experimental analysis of dust deposition effect on solar photovoltaic panels in Iran's desert environment," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 47, no. December 2020, p. 101542, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101542.
- [3] H. Chen *et al.*, "Towards renewable public transport: Mining the performance of electric buses using solar-radiation as an auxiliary power source," *Appl. Energy*, vol. 325, no. 308, p. 119863, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119863.
- [4] N. A. Amoah, G. Xu, A. R. Kumar, and Y. Wang, "Calibration of low-cost particulate matter sensors for coal dust monitoring," *Sci. Total Environ.*, vol. 859, no. September 2022, p. 160336, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160336.
- [5] S. Chandra, P. Gaur, and D. Pathak, "Radial basis function neural network based maximum power point tracking for photovoltaic brushless DC motor connected water pumping system," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 86, 2020, doi: 10.1016/j.compeleceng.2020.106730.
- [6] I. Mahfuddin, R. K. R., and A. H. Lubis, "Protoype Sistem Penyiram Lahan Perkebunan Kangkung Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Logika Fuzzy Sugeno," vol. 4, no. 2, pp. 443–450, 2023, doi: 10.47065/josyc.v4i2.2668.
- [7] M. Malik Al Falah, I. N. Satya Kumara, and W. G. Ariastina, "Perkembangan Riset Dan Produk Komersial Sistem Pembersih Panel Surya," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, p. 29, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p4.
- [8] M. R. W. Kusuma, E. Apriaskar, and D. Djunaidi, "Rancang Bangun Sistem Pembersih Otomatis Pada Solar Panel Menggunakan Wiper Berbasis Mikrokontroler," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 19, no. 01, pp. 23–32, 2020, doi: 10.31358/techné.v19i01.220.
- [9] T. Dengan, A. Melalui, M. Wifi, M. B. Hc-, B. Adi, and A. Tanto, "Menggunakan Outseal Plc Dan Sensor Ir Proximity Yang," 2016.
- [10] M. I. R. Jamaludin Purba, Aep Saepul Uyun, Didik Sugiyanto, "Perancangan Prototipe Alat Pembersih Panel Surya," *Kaji. Tek. Mesi*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [11] GSA, "GSA_Report_South Jakarta - Average hourly profiles Direct normal irradiation [Wh/m²]," 2022.

- [12] H. A. Maddah, "Modeling and designing of a novel lab-scale passive solar still," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 51, no. 3, pp. 303–322, 2019, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.3.1.
- [13] N. I. Nahin, M. Nafis, S. Prokash Biswas, M. Kamal Hosain, P. Das, and S. Haq, "Investigating the input power quality of multi-pulse AC-DC power converter fed induction motor drives," *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e11733, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11733.
- [14] W. Qu *et al.*, "An approach of studying the full-spectrum conversion potential for solar photovoltaic and thermal processes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 253, no. January, p. 115194, 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2021.115194.
- [15] K. Rathi, B. Vyas, P. Acharya, J. Vyas, and A. Dixit, "Solar panels salvaging for safety & sustainability," *Mater. Today Proc.*, vol. 69, pp. 519–523, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.09.259.
- [16] R. Adhitama, A. C. Wardhana, and ..., "Pengembangan Aplikasi Monitoring Anak Berkebutuhan Khusus di Sekolah Luar Biasa Menggunakan Metode User Centered Design (UCD)," ... *Comput. Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 155–161, 2022, doi: 10.47065/josyc.v4i1.2602.
- [17] B. M. Sulthon and E. Zuraidah, "Implementasi Digital Receptionist berbasis Web dan Android," vol. 3, no. 1, pp. 57–64, 2021, doi: 10.47065/josyc.v3i1.947.
- [18] B. Smith, J. Dvorak, K. Semmens, and D. Colliver, "Using a computer based selection model for sizing of solar panels and battery back-up systems for use in a floating in-pond raceway," *Aquac. Eng.*, vol. 97, no. May 2021, p. 102238, 2022, doi: 10.1016/j.aquaeng.2022.102238.
- [19] S. Lestari and M. F. Pratama, "Penerapan Metode Long Short-Term Memory Pada Pendataan Warga Berbasis Android," vol. 3, no. 4, pp. 156–161, 2022, doi: 10.47065/josyc.v3i4.1951.
- [20] P. T. Informatika, U. B. Darma, and A. Zhu-takaoka, "Implementasi Algoritma Zhu-Takaoka Untuk Pencarian Nama Obat Pada Aplikasi Katalog Obat Berbasis Android," vol. 3, no. 3, pp. 106–109, 2022, doi: 10.47065/josyc.v3i3.1284.
- [21] M. Suzuki and M. Hirata, "Star-shaped control-vector sets of second-order systems with PWM-type input," *Automatica*, vol. 116, p. 108924, 2020, doi: 10.1016/j.automatica.2020.108924.
- [22] S. Zhang, J. Li, R. Li, and X. Zhang, "Voltage sensor fault detection, isolation and estimation for lithium-ion battery used in electric vehicles via a simple and practical method," *J. Energy Storage*, vol. 55, no. September, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.105555.
- [23] X. Wang, X. Tian, X. Chen, L. Ren, and C. Geng, "A review of end-of-life crystalline silicon solar photovoltaic panel recycling technology," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 248, no. September, p. 111976, 2022, doi: 10.1016/j.solmat.2022.111976.
- [24] S. N. Tackie and Ö. C. Özerdem, "Performance Evaluation and Viability Studies of Photovoltaic Power Plants in North Cyprus," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 2238–2247, 2022, doi: 10.20508/ijrer.v12i4.13670.g8583.
- [25] A. Triyanto, G. Firasanto, E. Mualim, D. Agus, and L. Utomo, "Implementasi dan Sosialisasi Prototipe Panel Surya 30 WP sebagai Pembelajaran di Lab SMK Khazanah Kebajikan Pondok Cabe Pamulang , Tangerang Selatan," vol. 2, no. 6, pp. 1849–1856, 2022.