

Sistem Kendali Pembersih Panel Surya Menggunakan Rolling Brush Dan Wiper Dengan Metode Terjadwal

Ovina Ambar Sari, Triyanto Pangaribowo*, Muhammad Hafiz Ibnu Hajar

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat

ambarsari.vina@gmail.com, *triyanto.pangaribowo@mercubuana.ac.id, muhammadhafizd@mercubuana.ac.id

ABSTRACT

Panel surya adalah pembangkit listrik tenaga matahari yang mana penyerapan energi matahari dipengaruhi oleh kondisi panel sendiri. Panel surya yang tertutup debu tentunya akan berpengaruh terhadap penyerapan energi matahari sehingga perlu pembersihan panel secara kontinyu. Pada penelitian ini bertujuan merancang sistem pembersih panel surya dengan menggunakan rolling brush dan wiper. Sistem pembersih ini menggunakan metode terjadwal untuk melakukan pembersihan permukaan panel surya untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari oleh panel surya. Sistem ini menggunakan arduino sebagai mikrokontroler yang terkoneksi dengan RTC untuk menentukan waktu pembersihan panel surya kemudian menggerakkan empat buah motor yang mengendalikan rolling brush dan wiper dan satu buah pompa air melalui relai. Hasil analisis menunjukkan sistem pembersih dengan wiper dan rolling brush mampu meningkatkan kenaikan tegangan sebesar 4,42 % pada pagi hari dan 4,91 % pada siang hari.

Kata Kunci— Panel Surya, Kontrol, Pembersih, Arduino, Pompa air, RTC

PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah energi matahari memiliki intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia(Sikumbang, Haris, & Elly, 2020). Terdapat dua macam teknologi pemanfaatan energi surya yaitu teknologi energi surya termal dan energi surya fotovoltaik. Teknologi energi surya fotovoltaik (photovoltaic) adalah teknologi pemanfaatan energi surya dengan cara mengonversi energi tersebut menjadi arus listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor yang disebut sel surya (solar cell)(Syafrialdi & Wildian, 2015).

Panel surya merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan energi alternatif yang bersumber dari cahaya matahari. Panel Surya akan menghasilkan energi listrik sesuai besar intensitas cahaya yang diterimanya dari pancaran cahaya matahari(Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020). Semakin besar cahaya yang mengenai permukaan solar panel, maka energi listrik yang didapat akan semakin besar(Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020) Energi matahari merupakan energi yang berjumlah sangat besar namun masih sedikit pemanfaatannya sebagai penghasil energi listrik melalui konversi panel surya(Haq, Sumardi, & Riyadi, 2014). Keuntungan yang dapat diperoleh terhadap penggunaan panel surya adalah menghilangkan ketergantungan akan energi fosil, ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi

suara dan biaya pemeliharaan rendah(Jaya, 2015)(Arwani, 2018).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya adalah penempatan panel surya yang tidak tepat sehingga menimbulkan penumpukan debu, kotoran burung dan noda air (garam)(Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020)(Gheitasi, Almaliky, & Albaqawi, 2015). Hal itu dapat secara signifikan menurunkan efisiensi solar panel. Efisiensi modul solar panel berkurang sebesar 10-25% karena kerugian pada inverter, kabel, dan pengotoran modul (debu dan serpihan)(Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020)(Mani & Pillai, 2010).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan daya keluaran dengan menggunakan sistem pembersih panel surya dengan wiper berbasis mikrokontroler(Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020), perancangan sistem automatic self cleaning solar panel(Sivan, Priya & Mathew, 2017), perancangan sistem pembersih dengan arduino (Habib et al., 2021), dan sistem pembersih pada panel surya secara otomatis dengan mikrokontroler(Wibowo, 2018) .

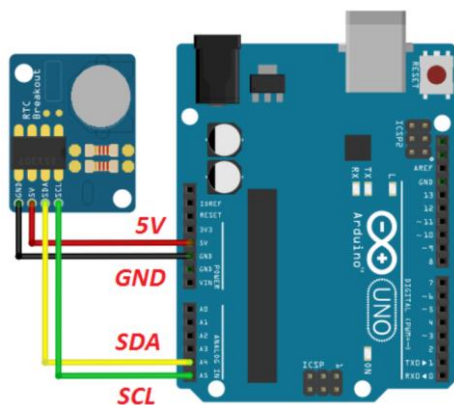
Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan ada beberapa kelemahan, antara lain lokasi sensor yang dinilai kurang efektif karena sensor yang digunakan hanya mampu mendeteksi debu di udara bukan di atas panel serta pembersih otomatis dengan wiper yang digunakan bergerak dengan sudut sehingga ada bagian panel yang

tidak tersapu wiper. Penelitian ini untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari oleh panel surya dengan pembersih rolling brush dan wiper berbasis arduino. Metode yang digunakan untuk pengontrolan menggunakan sistem terjadwal dengan pengaturan waktu yang efektif menggunakan RTC. Alat pembersih panel surya menggunakan rolling brush dan wiper ini bekerja dengan mengaktifkan pengaturan waktu kemudian arduino memberikan perintah ke dua buah motor stepper untuk menggerakkan rolling brush dari kiri ke kanan dan kembali ke posisi semula. Setelah rolling brush kembali ke posisi semula, pompa air bekerja menyiram permukaan panel surya melalui selang. Setelah panel surya sudah dibersihkan dengan air maka air akan berhenti kemudian motor lain akan bekerja menggerakkan wiper dari atas panel ke bawah kembali ke atas untuk membersihkan sisa air yang masih tertinggal di permukaan panel surya.

STUDI LITERATUR

A. Sistem Pewaktuan Real time clock (RTC)

RTC digunakan untuk mengambil data waktu secara real time, mikrokontroler Arduino Mega 2560 akan memproses waktu setting yang diterima dari RTC sebagai acuan untuk mengaktifkan modul relay. RTC diperlukan untuk memberikan informasi mengenai waktu dalam detik, menit, hari, bulan dan tahun(Rahardjo, 2021). Arduino tidak dilengkapi secara internal dengan RTC sehingga perlu modul RTC untuk sistem penjadwalan. RTC dilengkapi dengan baterai, yang umumnya disebut sebagai baterai CMOS.

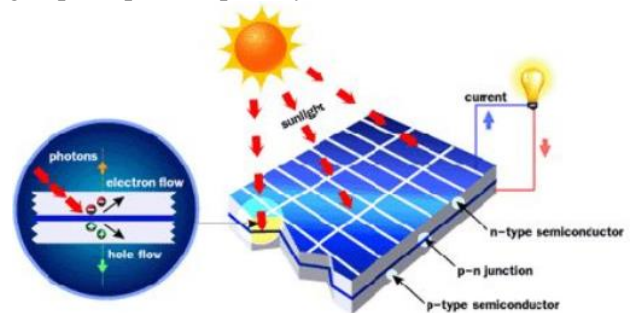


Gambar 1. Sistem koneksi RTC ke Arduino

B. Panel Surya 10 WP

Panel surya adalah sebuah sistem yang dapat digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip yang disebut efek photovoltaic(Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020). Pengkonversian sinar matahari menjadi listrik dengan panel photovoltaik, kebanyakan menggunakan Poly Crystalline Silicon sebagai material

semikonduktor photocell mereka. Prinsipnya sama dengan prinsip diode p-n(Jaya, 2015).



Gambar 2. Prinsip kerja panel surya(Jaya, 2015)

Energi listrik yang dihasilkan akan disimpan ke dalam sebuah baterai, kemudian digunakan untuk mengoperasikan perangkat elektronik sesuai kebutuhan listriknya. Solar cell memiliki satuan ukuran yang dinamakan watt peak atau yang sering disingkat WP. Semakin tinggi ukuran panel surya yang digunakan, maka semakin besar jumlah daya listrik yang dihasilkan. Jumlah panel surya yang harus digunakan tergantung pada ukuran WP yang dimiliki panel surya tersebut serta jumlah kebutuhan yang dimiliki

C. Konsep Kerja Motor Stepper

Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa (Pulse) elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakannya diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik(Saragih, Rinaldy & Prayitno, 2019) . Motor stepper bekerja dengan sistem umpan balik tertutup. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol[6]. Spesifikasi motor stepper adalah banyaknya fasa, besarnya nilai derajat per step, besarnya tegangan catu untuk setiap lilitan, dan besarnya arus yang dibutuhkan untuk setiap lilitan.



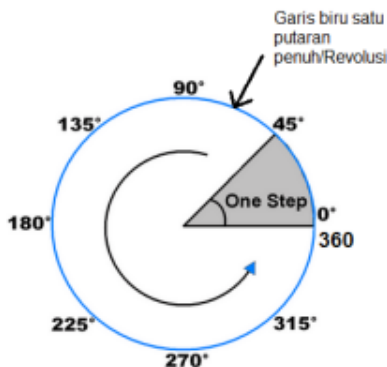
Gambar 3. Motor Stepper

Tegangan referensi dapat dihitung dengan menggunakan

rumus sebagai berikut

$$I_{max} = \frac{V_{ref}}{8 \cdot rcs} \dots \dots \dots (1)$$

Prinsip kerja motor stepper mirip dengan motor DC, sama-sama dicatu dengan tegangan DC untuk memperoleh medan magnet.



Gambar 4. Putaran Motor Stepper

Prinsip kerja dari motor stepper dengan mengontrol derajat putaran dengan membagi rotasi 360 derajat menjadi beberapa step, garis biru melingkar adalah 1 revolusi = 360 derajat, 1 step = 45 derajat atau 1 pulse = 45 derajat, untuk mencapai satu putaran penuh kita butuh 8 step atau 8 pulse listrik. Pengendalian gerakan batang motor servo dapat dilakukan dengan menggunakan metode PWM. (Pulse Width Modulation). Teknik ini menggunakan sistem lebar pulsa untuk mengemudikan putaran motor. Sudut dari sumbu motor stepper diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor (Jaya, 2015).

D. Konsep Kerja Pompa Air

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat lain, melalui suatu media dengan cara memberikan energi pada cairan yang dipindahkan mengkonversi energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan pompa digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, atau elevasi (ketinggian). Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge) (Harahap & Fakhruddin, 2018). Proses pemindahan ini terjadi akibat perubahan energi mekanik dari motor pompa menjadi energi potensial pada fluida. Pompa beroperasi dengan mengadakan perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga cairan, dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran (Arijanto, Yohana & Franklin,

2015). Salah satunya yang dipakai pada penelitian ini yaitu pompa air celup (Submersible).



Gambar 5. Pompa air 12 V

Pompa air listrik ini penggunaannya dicelupkan ke dalam air dengan tipe pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal sendiri prinsip kerjanya mengubah energi kinetik (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu impeller yang berputar dalam casing. Cara kerjanya pun sama seperti pompa air listrik yaitu memanfaatkan daya centrifugal dari perputaran kipas impeller untuk mendorong air ke atas. Jenis pompa air celup ini cukup banyak tergantung keperluannya.

E. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan penelitian ini yaitu Sistem pembersih otomatis dengan wiper yang dikendalikan dengan mikrokontroler (Nurdiansyah, Sinurat, Bakri, & Ahmad, 2020). Sistem pembersih panel surya untuk mengatasi masalah panel surya yang kotor karena pengaruh keadaan di sekitar panel surya. Sistem yang dibuat bersifat otomatis (Sivan, Priya & Mathew, 2017).

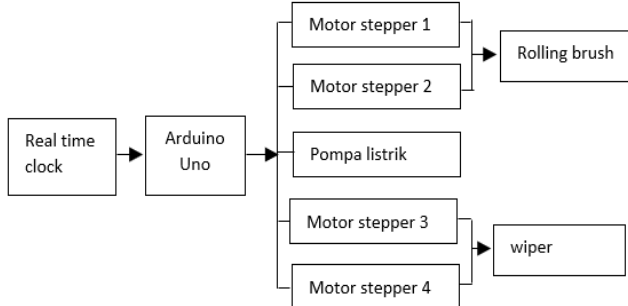
Penelitian yang dilakukan pada referensi (Habib et al., 2021) bertujuan untuk pembersihan panel surya berbasis Arduino untuk menghilangkan debu. Pembersih panel surya yang diusulkan adalah tanpa air, ekonomis dan otomatis. Mekanisme dua langkah yang digunakan pada sistem ini terdiri dari exhaust fan yang berfungsi sebagai blower udara dan wiper untuk menyapu debu dari permukaan panel. motor dc digunakan untuk menyalakan wiper.

Sistem pembersihan panel surya secara real time untuk mempermudah dalam pemeliharaan dan pemantauan panel (Wibowo, 2018). Tujuan dari penelitian ini adalah merancang alat yang menggunakan wiper sebagai pembersih dan penyemprot air ke permukaan solar panel untuk meningkatkan efisiensi dalam pembersihan solar panel. Penelitian selanjutnya perancangan pembersih panel surya dengan UBIDOTS untuk membersihkan debu di atas permukaan panel surya (Khadka, Bista, Adhikari, Shrestha, & Bista, 2020).

METODOLOGI

A. Diagram Blok Sistem Kendali

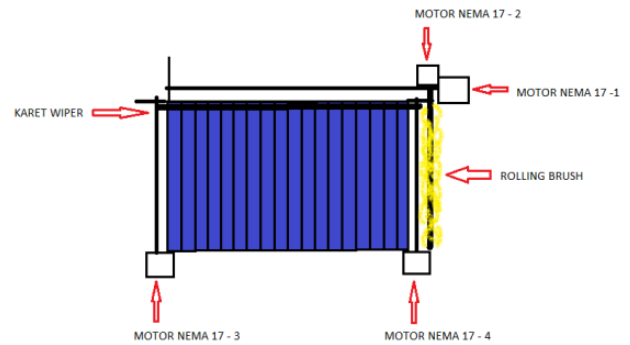
Pada gambar 6 menunjukkan blok diagram sistem kendali untuk pembersihan panel surya. Gambar 6 menunjukkan RTC (Real Time Clock) sebagai input. RTC memberi input sebagai awal data yang akan diterima oleh arduino. Sistem pembersih panel surya ini menggunakan rolling brush dan wiper yang bekerja sesuai pengaturan waktu. Pengaturan waktu diatur oleh RTC (Real Time Clock). Pada saat RTC mendeteksi waktu yang telah ditentukan, RTC akan memerintahkan arduino untuk memutar motor stepper yang menggerakkan rolling brush berputar 3800 dan bergeser ke kiri dan ke kanan. Kemudian dilanjutkan arduino memerintahkan pompa air untuk menyiramkan air pada permukaan panel surya. Setelah panel surya teraliri air, arduino memerintahkan motor stepper yang lain untuk menggerakkan wiper yang bertugas membersihkan panel dari kotoran dan air. Berikut ini bagian- bagian dari perancangan sistem rancang bangun sistem pembersih panel surya dengan rolling brush dan wiper berbasis arduino



Gambar 6. Blok diagram sistem kendali pembersih

B. Perancangan perangkat pembersih panel surya

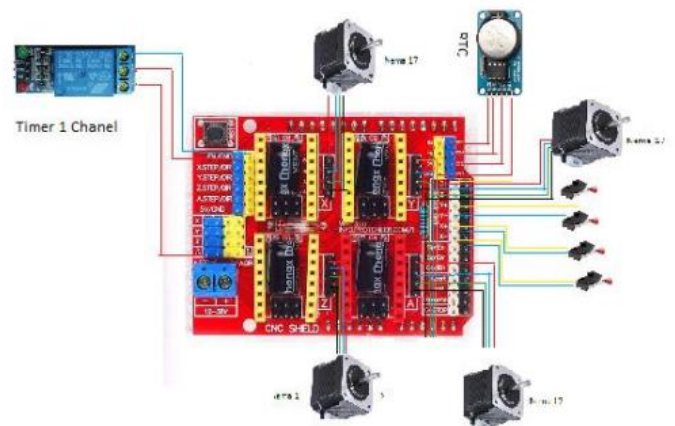
Rancang bangun sistem pembersih panel surya dengan rolling brush dan wiper berbasis arduino ditunjukkan seperti pada gambar 7. Penampung air yang berfungsi untuk menyiramkan air di atas permukaan panel surya diletakkan di samping miniature perangkat pembersih. Rolling brush dan wiper diletakkan di atas atap panel surya, dimana di samping kanan dan kiri akan terpasang rel yang berfungsi untuk menggerakkan rolling brush dan wiper di atas panel surya. Untuk memberikan gambaran tentang perancangan perangkat pembersih, tampak atas seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Perangkat pembersih panel surya

C. Perancangan sistem elektrik

Sistem elektrik ini meliputi modul RTC DS3231 yang terhubung dengan pin SCL CNC Shield V3. Pin SDA pada RTC terhubung dengan pin SDA pada CNC shield V3. Pin GND pada RTC terhubung dengan pin GND pada CNC shield V3. Pin VCC terhubung dengan pin 5V pada CNC Shield V3. Pin SDA pada RTC terhubung dengan pin SDA pada CNC shield V3. Pin GND pada RTC terhubung dengan pin GND pada CNC shield V3. Pin VCC terhubung dengan pin 5V pada CNC Shield V3. CNC shield V3 adalah modul tambahan yang digunakan untuk menambahkan fungsi khusus pada arduino uno. CNC shield dihubungkan di atas papan arduino uno tanpa tambahan jumper. Pada CNC shield terdapat 4 slot di atas papan untuk meletakkan drive 4988 yang masing – masing terhubung dengan motor stepper Nema 17. Timer 1 chanel terdapat 3 pin yang terhubung dengan papan CNC shield V3, yaitu pin IN, VCC, dan GND. Pin IN pada timer terhubung dengan pin D12 pada CNC Shield. Pin VCC pada timer terhubung dengan pin 5V pada CNC Shield V3. Pin GND pada timer terhubung dengan pin GND pada CNC shield V3. Pada CNC shield V3, terdapat Axis X, Y, Z dan A. Masing – masing Axis Y dan Z terhubung dengan 2 motor Nema 17 yang menggerakkan rolling brush. Sedangkan axis X dan A terhubung dengan motor Nema 17 yang menggerakkan wiper.

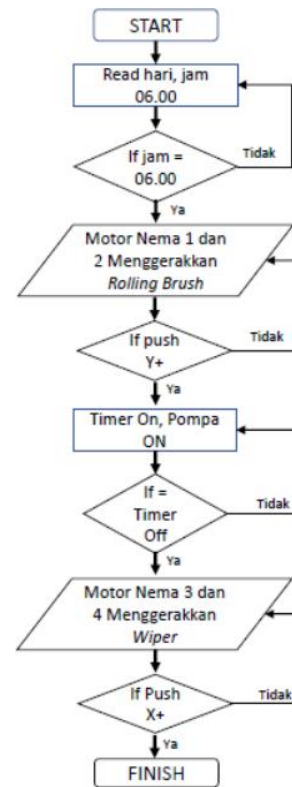


Gambar 8. Rangkaian Elektrik Sistem Pembersih Panel

Pada rangkaian elektronika terdapat 4 buah limit switch yang terhubung dengan CNC Shield V3. Limit switch yang mengatur rolling brush bergerak ke kanan dan ke kiri sampai berhenti pada posisi semula adalah limit switch yang terhubung pada Ymax dan Pin Hold pada CNC Shield V3. Sedangkan limit switch yang mengatur wiper bergerak ke bawah dan ke atas sehingga berhenti di posisi berikutnya diatur oleh limit switch yang terhubung dengan Xmin dan Resume. Papan arduino uno dan papan CNC shield memperoleh tegangan input sebesar 12 V dari power supply. Tegangan tersebut sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan oleh arduino uno dan CNC shield. Tegangan 12 volt ini juga digunakan untuk menggerakkan motor Nema 17 dan pompa air. Sedangkan pompa air terhubung pada komponen timer yaitu pada pin NO dan GND.

D. Perancangan perangkat lunak sistem pembersih

Prinsip kerja dari alat pembersih panel surya dengan rolling brush dan wiper otomatis berbasis arduino dimulai saat program dimulai dengan membaca waktu. Apabila waktu menunjukkan jam yang sudah ditentukan (misal jam 06.00 pagi), maka arduino akan memerintahkan driver A4988 untuk memutar dua buah motor Nema 17 sehingga rolling brush bergerak ke kiri dan ke kanan dan berputar 3600. Apabila rolling brush menyentuh limit switch yang pertama maka motor Nema akan berputar ke arah yang berlawanan dan rolling brush ke arah posisi awal. Hingga rolling brush menyentuh limit switch berikutnya dan dua buah motor Nema tersebut berhenti berputar. Setelah motor Nema yang pertama dan kedua berhenti berputar, selanjutnya relay bekerja untuk memompa air dan menyirami di atas permukaan panel surya. Setelah pompa air berhenti bekerja, maka motor Nema yang ketiga dan keempat akan berputar menggerakkan wiper ke bawah dan ke atas. Apabila wiper menyentuh limit switch yang pertama, maka kedua motor Nema tersebut berputar ke arah yang berlawanan. Selanjutnya apabila wiper menyentuh limit switch. Lebih jelasnya untuk flowchart program perangkat lunak dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Flowchart program sistem pembersih panel surya

HASIL DAN ANALISA

A. Pengukuran stabilitas suplai tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan yang berasal dari power supply memiliki tegangan sebesar 12 VDC sesuai dengan rating tegangan di data sheet motor Nema 17. Selain membutuhkan tegangan 12 VDC, alat pembersih udara dengan rolling brush dan wiper secara otomatis berbasis arduino juga membutuhkan tegangan 5 VDC untuk arduino uno dan driver A4988. Pengujian tegangan 5 VDC ini berasal dari tegangan kabel USB yang terkoneksi ke PC.

Tabel 1. Pengujian stabilitas tegangan

| No | Komponen | Tegangan terukur | Tegangan Standar |
|----|-----------------|------------------|------------------|
| 1 | Power Supply | 12, 04 volt | 12 volt |
| 2 | Arduino uno | 4, 98 volt | 5 volt |
| 3 | RTC | 4, 94 volt | 5,5 volt |
| 4 | Relai 1 Channel | 4, 96 volt | 5 volt |

B. Hasil Pengujian motor nema 17

Pada pengujian pin, jika diberikan logika low maka motor stepper akan aktif dan menahan posisi sedangkan saat pin enable diberikan logika high maka keadaan motor stepper akan tidak aktif (diam).

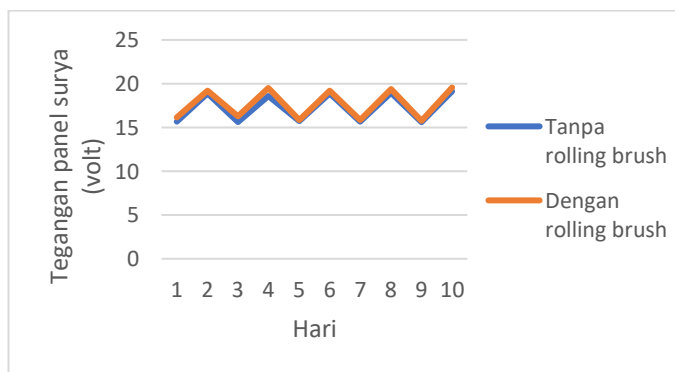
Tabel 2. Pengujian motor stepper Nema 17

| Pin | Logika | Motor | | | |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | | Motor Z | Motor Y | Motor X | Motor A |
| Dir Y | low | | Aktif | | |
| Dir Z | low | Aktif | | | |
| Dir X | low | | | Aktif | Aktif |

Tabel 2. menunjukkan kinerja dari motor ketika di beri logika pada program. Pengujian putaran motor stepper Nema 17 diuji dengan menggunakan arduino dimana parameter diubah dan diperhatikan pada logika pin DIR yang mengatur arah putaran motor stepper.

C. Hasil analisis perbandingan tegangan panel surya dengan rolling brush dan tanpa rolling brush

Pengujian dilakukan dalam beberapa waktu dengan membandingkan panel surya yang kotor tanpa dibersihkan dengan rolling brush dan dengan rolling brush.



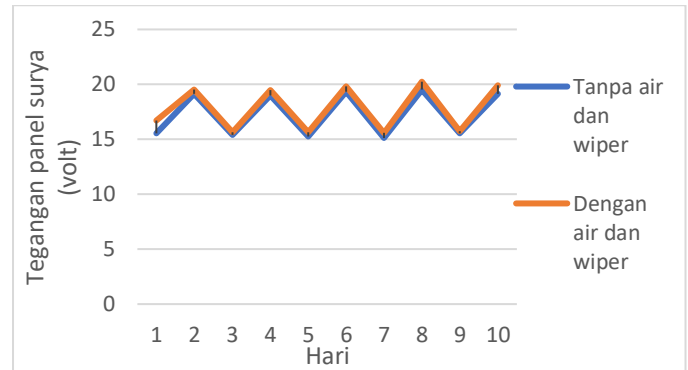
Gambar 10. Hasil uji perbandingan tegangan output panel surya dengan rolling brush dan tanpa rolling brush

Berdasarkan hasil analisis panel surya yang dibersihkan dengan rolling brush memiliki tegangan lebih besar daripada papan panel surya yang tidak dibersihkan dengan rolling brush. Besarnya selisih kenaikan sekitar 0,316 volt pada pagi hari dan 0,498 volt pada siang hari.

D. Hasil analisis perbandingan tegangan panel surya pembersihan dengan air plus wiper dan tanpa air plus wiper

Berdasarkan analisis dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa panel surya yang dibersihkan dengan

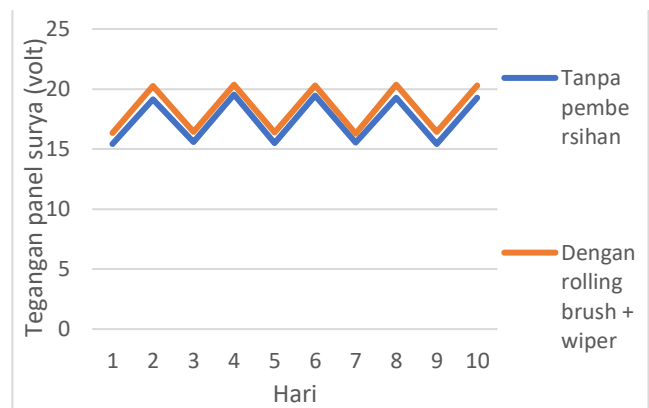
penyiraman dan wiper memiliki tegangan lebih besar daripada papan panel surya yang tidak dibersihkan dengan penyiraman dan wiper. Besarnya selisih kenaikan sekitar 0,486 volt pada pagi hari dan 0,568 volt pada siang hari.



Gambar 11. Hasil uji perbandingan tegangan output panel surya dengan wiper dan tanpa wiper

E. Hasil analisis perbandingan tegangan panel surya dengan tanpa pembersihan dan dengan alat pembersih panel surya dengan rolling brush dan wiper

Pengujian saat ini membandingkan panel surya yang tidak dibersihkan dibandingkan dengan alat pembersih panel surya otomatis yang telah dibuat. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 12 berikut .



Gambar 12. Hasil uji perbandingan tegangan output panel surya tanpa pembersihan dengan pembersih rolling brush dan wiper dan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa panel surya yang dibersihkan dengan alat pembersih panel surya dengan rolling brush dan wiper secara otomatis berbasis arduino terjadi kenaikan tegangan. Besarnya selisih kenaikan sekitar 0,884 volt pada pagi hari dan 0,982 volt pada siang hari. Hasil analisis menunjukkan terjadi kenaikan sebesar 4,42 % pada pagi hari dan 4,91 % pada siang hari setelah dilakukan pembersihan panel surya dengan rolling brush dan wiper berbasis arduino.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang telah dilakukan terhadap alat pembersih panel surya dengan rolling brush dan wiper secara otomatis berbasis arduino dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Panel surya yang dibersihkan dengan rolling brush memiliki tegangan lebih besar daripada papan panel surya yang tidak dibersihkan dengan rolling brush. Besarnya selisih kenaikan sekitar 0, 316 volt pada pagi hari dan 0, 498 volt pada siang hari.
2. Panel surya yang dibersihkan dengan penyiraman dan wiper memiliki tegangan lebih besar daripada papan panel surya yang tidak dibersihkan dengan penyiraman dan wiper. Besarnya selisih kenaikan sekitar 0, 486 volt pada pagi hari dan 0, 568 volt pada siang hari.
3. Hasil uji dapat diketahui dengan adanya alat pembersih panel surya dapat menaikkan tegangan sebesar 4,42 % pada pagi hari dan 4,91 % pada siang hari. Nilai ini dihitung berdasarkan besarnya tegangan output panel surya 20 Volt.

DAFTAR PUSTAKA

- Khadka, N., Bista, A., Adhikari, B., Shrestha, A., & Bista, D. (2020). Smart solar photovoltaic panel cleaning system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 463(1), 012121. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012121>
- Arijanto, Yohana, E. & Franklin. (2015). Analisis Pengaruh Kekentalan Fluida Air Dan Minyak Kelapa Pada Performansi Pompa Sentrifugal. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 3(2), 212–219. <https://doi.org/https://media.neliti.com/media/publications/140657-ID-analisis-pengaruh-kekentalan-fluida-air.pdf>
- Arwani, M. (2018). The Design of Solar Panel Tracking System Using Fuzzy Logic Control Method. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 4(1), 5–8. <https://doi.org/10.19184/jaei.v4i1.7455>
- Gheitasi, A., Almaliky, A., & Albaqawi, N. (2015). Development of an automatic cleaning system for photovoltaic plants. *2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*. <https://doi.org/10.1109/appeec.2015.7380938>
- Habib, Md. R., Tanvir, M. S., Suhan, A. Y., Vadher, A., Alam, S., Shawmee, T. T., ... Alrashed, A. (2021). Automatic Solar Panel Cleaning System Based on Arduino for Dust Removal. *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*. <https://doi.org/10.1109/icais50930.2021.9395937>
- Haq, A. I., Sumardi, & Riyadi, M. A. (2014). Sistem Tracking Panel Surya Untuk Pengoptimalan Daya Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy. *SINERGI*, 18(3), 117–122. Retrieved from <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/sinergi/article/view/20>
- Harahap, S. & Fakhrudin, M. I. (2018). Perancangan Pompa Sentrifugal Untuk Water Treatment Plant Kapasitas 0.25 M3/S Pada Kawasan Industri Karawang. *Prosiding Semnastek*, 0(0). Retrieved from <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3521>
- Jaya, W. (2015). Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor Photodiode Berbasis Mikrokontroler Atmega 16. *Electrician*, 9(1), 11–20. <https://doi.org/10.23960/elc.v9n1.156>
- Kusuma, M. R. W., Apriaskar, E., & Djunaidi, D. (2020). Rancang Bangun Sistem Pembersih Otomatis Pada Solar Panel Menggunakan Wiper Berbasis Mikrokontroler. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 19(01), 23–32. <https://doi.org/10.31358/techn.v19i01.220>
- Mani, M., & Pillai, R. (2010). Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3124–3131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065>
- Nurdiansyah, M., Sinurat, E. C., Bakri, M., & Ahmad, I. (2020). Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino UNO. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 1(2), 7–12. <https://doi.org/10.33365/jtikom.v1i2.14>
- Rahardjo, P. (2021). Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan RTC (REAL TIME CLOCK) Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(1), 143–147. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2021.v08.i01.p16>
- Saragih, H. R., Rinaldy, Y. & Prayitno, A. (2019). Pembuatan sistem kendali pelacak surya otomatis pada PLTS. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*. vol. 6, pp. 2–7
- Sikumbang, H., Haris, A., & Elly, M. J. (2020). Sistem Kendali Dan Monitoring Dengan Syaraf Tiruan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *PETIR*, 13(2), 119–127. <https://doi.org/10.33322/petir.v13i2.1066>
- Sivan, A., Priya, L & Mathew, S. (2017). Automatic Self Cleaning Solar Panel,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 4(5), pp. 4–6.

Syafrialdi, R., & Wildian. (2015). Rancang Bangun Solar Tracker Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 Dengan Sensor LDR Dan Penampil LCD. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2).
<https://doi.org/10.25077/jfu.4.2.%p.2015>

<https://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/1029>

Wibowo, E. P. (2018). Rancang Bangun Alat Pembersih Debu Panel Surya (Solar Cell) Secara Otomatis. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1). Retrieved from