



## *Rancang Bangun Alat Perotasi Panel Surya Dua Sumbu Berbasis Arduino* Aditya Nugraha<sup>1\*</sup>, Masri Bin Ardin<sup>2</sup>, Saeful Hidayat<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Subang

\*aditya@polsub.ac.id

(Artikel diterima: Oktober 2023, direvisi : November 2023)

### **ABSTRAK**

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengembangkan sistem penggerak dua sumbu pada panel surya dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya. Sistem ini terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino UNO yang berfungsi sebagai pusat pengendali, yang dilengkapi berbagai komponen termasuk sensor LDR, sensor arus, sensor tegangan, motor servo, panel surya, aki, dan *Solar Charge Controller*. Proses penelitian ini dimulai dengan merancang sistem kontrol dan juga sistem mekanik yang kemudian dilanjutkan dengan pengujian kinerja alat pada tanggal 11 Agustus 2023. Pengujian dilakukan mulai dari pukul 08.00 hingga pukul 16.00, dengan kondisi cuaca yang cerah sepanjang hari. Pengujian kinerja ini melibatkan pemantauan posisi sudut motor servo pada sumbu x dan sumbu y setiap jamnya. Selain itu pengujian ini memastikan respons sistem terhadap pergerakan matahari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa panel surya dapat bergerak secara otomatis, mengikuti arah sinar matahari sepanjang hari. Dengan implementasi sistem ini, penyerapan sinar matahari menjadi lebih optimal, terbukti dengan peningkatan rata-rata daya sebesar 24,3% pada panel surya yang menggunakan servo dibandingkan dengan panel statis.

**Kata kunci:** Panel Surya, Arduino Uno, Perotasi Dua Sumbu

### **I. PENDAHULUAN**

Peningkatan populasi dan pertumbuhan ekonomi global memberikan tekanan tambahan pada kebutuhan energi dunia. Sayangnya, ketergantungan yang terus-menerus pada bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan ini telah menimbulkan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan menyebabkan perubahan iklim global. Emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara dari pembakaran bahan bakar fosil telah menjadi penyebab utama perubahan iklim yang mengkhawatirkan. Oleh karena itu, mencari alternatif energi yang bersih dan terbarukan menjadi sangat penting [1].

Panel surya merupakan salah satu solusi yang paling menjanjikan dalam mengatasi tantangan ini. Panel Surya dapat mengubah energi matahari menjadi listrik tanpa emisi gas rumah kaca atau polusi udara [2][3]. Selain itu, matahari sebagai sumber energi tidak akan habis, menjadikannya sumber daya yang berkelanjutan dalam jangka panjang. Penggunaan panel surya juga membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas dan dapat mengurangi dampak negatif terhadap kualitas udara dan lingkungan [4][5].

Pada era ini, panel surya telah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang sangat penting dalam upaya mengatasi perubahan iklim dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Meskipun demikian, efisiensi penggunaan panel surya sangat tergantung pada sejauh mana panel surya dapat

menangkap sinar matahari secara optimal [6]. Sebagaimana diketahui, panel surya yang tetap pada posisi statis memiliki keterbatasan dalam menangkap sinar matahari secara optimal, terutama saat intensitas dan sudut sinar matahari berubah seiring dengan pergerakan matahari. Dengan tidak adanya mekanisme penyesuaian arah sinar matahari, panel surya tidak dapat secara efektif mengoptimalkan penyerapan energi matahari selama seluruh periode siang. Hal ini dapat mengakibatkan potensi energi yang terlewatkan dan mengurangi efisiensi keseluruhan sistem [7][8].

Dengan demikian dibutuhkan pengembangan sistem penggerak pada panel surya sehingga dapat meningkatkan daya tangkap energi matahari secara maksimal. Dengan peningkatan ini, tantangan terkait dengan fluktuasi cahaya matahari yang tidak merata di berbagai lokasi dan waktu dapat diatasi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih canggih dan otomatis untuk mengarahkan panel surya agar selalu menghadap ke arah sinar matahari, memaksimalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan ini.

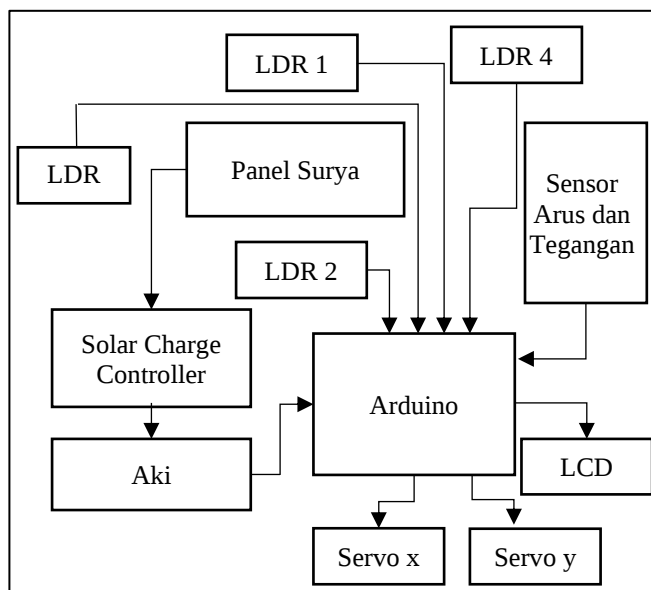
Solusi yang diusulkan dalam penelitian ini adalah penggunaan sistem pelacakan matahari yang terhubung dengan sensor cahaya dan kontrol otomatis dengan dua sumbu. Sensor cahaya akan mendeteksi intensitas cahaya matahari, sementara kontrol otomatis akan menggerakkan panel surya secara tepat untuk mengoptimalkan penyerapan energi. Metode ini tidak

hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mengurangi beban pengguna dalam pemeliharaan manual panel surya. Dengan menggabungkan teknologi sensor dan kontrol otomatis yang efektif, sistem penggerak pada panel surya dapat menjadi solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk menangani tantangan yang dihadapi dalam peningkatan efisiensi energi surya.

## II. METODOLOGI

### A. Perancangan Sistem Kontrol

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang melibatkan beberapa tahapan yang dilalui. Salah satu tahapan awal adalah mendesain sistem kontrol, yang mencakup pengembangan sistem penggerak yang terintegrasi dengan sensor cahaya dan kontrol otomatis. Dalam ilustrasi yang terdapat pada Gambar 1, secara rinci digambarkan rangkaian blok diagram dari sistem penggerak pada alat perotasi panel surya yang menjadi fokus.



**Gambar 1.** Rangkaian Blok Diagram Sistem Penggerak

Dari ilustrasi pada Gambar 1, kita dapat mengetahui fungsi masing-masing komponen dengan jelas, yakni:

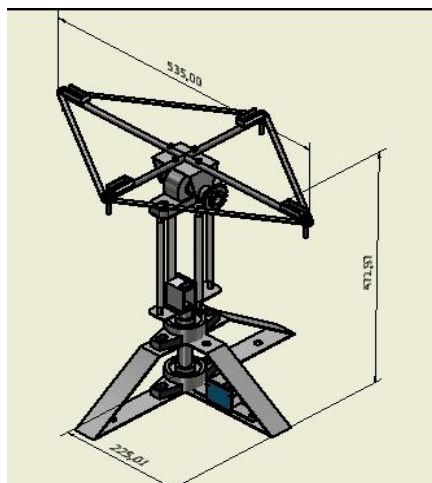
1. Mikrokontroler Arduino UNO memegang peranan sentral dalam operasional *Tracking Solar Cell*. Berfungsi sebagai pusat pengendali, Arduino UNO tidak hanya mengkoordinasikan, tetapi juga mengontrol semua aspek sistem secara terintegrasi. Dengan kemampuannya, mikrokontroler ini memastikan bahwa setiap komponen saling berinteraksi untuk mencapai efisiensi maksimal dalam menyesuaikan panel surya dengan arah sinar matahari.
2. Sensor LDR memiliki tanggung jawab utama dalam membaca dan mengukur besaran arus pada output panel surya. Data arus yang terkumpul melalui sensor ini bukan hanya dianalisis oleh Arduino UNO, tetapi juga secara visual ditampilkan pada layar LCD. Hal ini memberikan pemantauan yang akurat terhadap produktivitas panel surya, memungkinkan pengguna untuk mengukur kinerjanya dalam kondisi cahaya matahari yang berfluktuasi.
3. Sensor Arus memastikan bahwa setiap perubahan arus dapat terdeteksi dan direkam. Informasi ini kemudian diintegrasikan oleh Arduino UNO dan disajikan dengan jelas pada layar LCD, memberikan pemahaman yang lebih dalam terkait kinerja energi yang dihasilkan.
4. Sensor Tegangan digunakan untuk membaca besaran tegangan yang diterima dari panel surya. Informasi ini tidak hanya menjadi referensi bagi Arduino UNO dalam mengatur operasional sistem secara keseluruhan, tetapi juga disajikan kepada pengguna melalui LCD. Dengan demikian, pemantauan terhadap kondisi tegangan dapat dilakukan dengan mudah.
5. Motor Servo sebagai bagian dinamis dari sistem, berfungsi sebagai pengarah panel surya yang responsif. Saat sensor LDR mendeteksi cahaya matahari, Motor Servo diaktifkan oleh Arduino UNO untuk menggerakkan panel surya ke posisi yang paling optimal. Hal ini memastikan bahwa panel surya selalu berada pada sudut yang memaksimalkan penyerapan sinar matahari.
6. LCD merupakan salah satu komponen utama yang menghubungkan pengguna dengan informasi mengenai kinerja sistem. Dengan tampilan yang luas, LCD menyajikan data tentang sudut pergerakan panel surya, jumlah arus yang dihasilkan, serta informasi penting lainnya. Hal ini memberikan pengguna pemahaman menyeluruh dan memudahkan pemantauan serta evaluasi performa sistem secara *real-time*.
7. Panel Surya menjadi sumber daya utama yang akan dimaksimalkan oleh sistem. Dengan bantuan sensor dan pengendali, panel surya dapat diatur secara otomatis untuk mengikuti arah sinar matahari, meningkatkan efisiensi penyerapan energi. Panel surya yang digunakan berkapasitas 50 WP.
8. Aki VRLA 12Ah berperan sebagai penyimpanan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Penggunaan aki memungkinkan penyimpanan energi berlebih untuk digunakan pada saat matahari tidak tersedia atau kurang intens.
9. *Solar Charge Controller* bertugas mengatur dan mengontrol arus yang masuk ke aki dari panel surya. Dengan adanya *Solar Charge Controller*, pengisian aki dapat dilakukan dengan efisien dan aman, memperpanjang umur pakai aki dan menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan.

### B. Perancangan Sistem Mekanik

Agar pergerakan pada alat ini sesuai dengan kebutuhan, dirancanglah suatu sistem mekanik yang terdiri dari rangka yang kokoh mampu menyokong secara optimal panel surya dan komponen-komponen lainnya. Rangka ini dibuat menggunakan plat besi sebagai bahan penyangga utamanya, dipilih untuk memberikan kestabilan dan keandalan dalam menghadapi berbagai kondisi lingkungan.

Plat besi yang dipergunakan sebagai elemen struktural utama dirancang dengan kekuatan yang memadai, memberikan keberlanjutan dan ketahanan terhadap beban bekerja. Selain itu, keberadaan plat besi ini tidak hanya sebagai penyangga, melainkan juga berperan dalam memastikan distribusi beban yang merata, menjaga keintegritasan sistem secara keseluruhan.

Agar panel surya dapat bergerak dengan presisi melalui dua sumbu yang diinginkan, diperlukan implementasi tiga buah bearing. Bearing ini diintegrasikan dengan poros besi pada motor servo, menciptakan koneksi yang efisien dan responsif terhadap setiap perubahan yang diperlukan dalam pergerakan panel surya tersebut. Dengan demikian, sistem mekanik ini dirancang untuk mencapai tidak hanya fungsionalitas optimal tetapi juga daya tahan jangka panjang dalam mendukung kinerja panel surya dan menjaga kehandalan sistem secara keseluruhan. Detil desain dari sistem mekanik ini dapat ditemukan pada Gambar 2, yang memvisualisasikan secara lebih rinci struktur dan konfigurasi yang diterapkan.



**Gambar 2.** Rancangan Sistem Mekanik

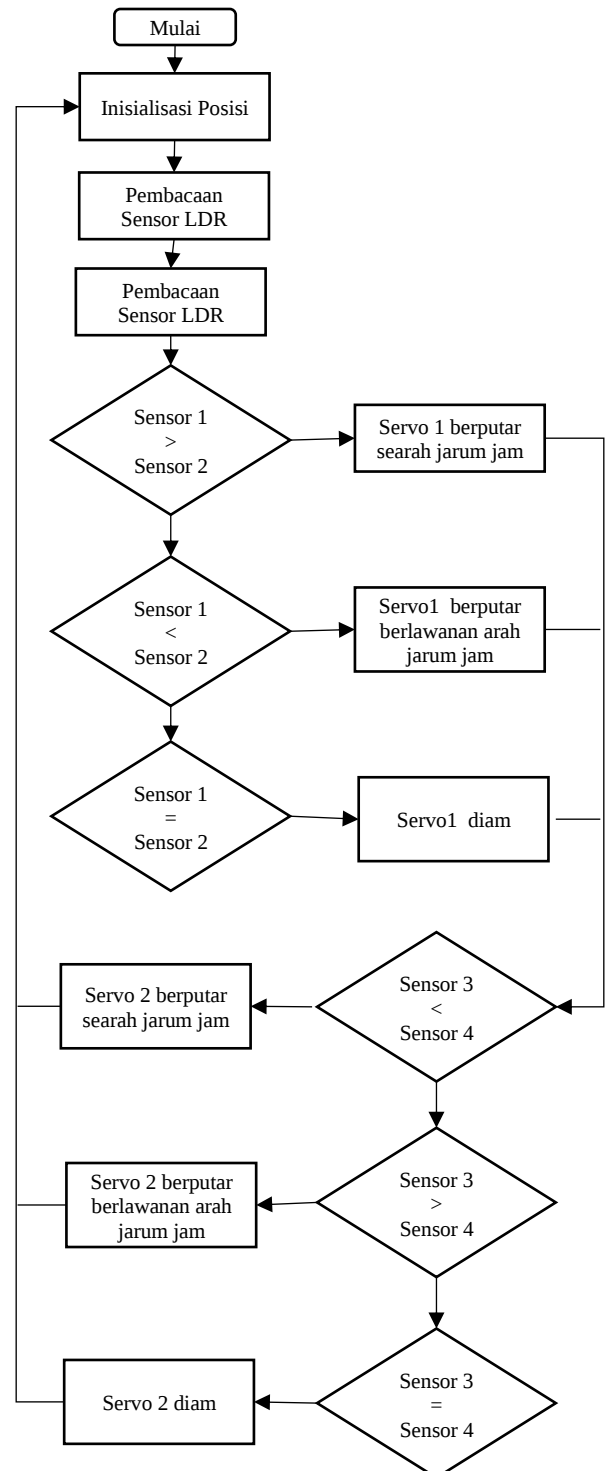
### C. Pembuatan Program Arduino

Pada Gambar 3, terdapat diagram alir pemrograman Arduino yang menjelaskan langkah-langkah implementasi sistem perotasi panel surya dua sumbu. Pemrograman ini dirancang untuk mengoptimalkan pergerakan panel surya sesuai arah sinar matahari, melibatkan berbagai komponen seperti sensor LDR, motor servo, dan mikrokontroler Arduino UNO.

Langkah pertama pada diagram alir adalah inisialisasi posisi awal dari panel surya. Setelahnya, sistem membaca data dari sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari

pada blok pembacaan sensor LDR. Selanjutnya, data tersebut digunakan untuk menentukan arah putar dari motor servo.

Diagram alir melibatkan perulangan (loop) untuk memastikan pemantauan terus-menerus terhadap perubahan intensitas cahaya matahari. Di dalam loop, sistem terus membaca sensor LDR dan memperbarui posisi motor servo sesuai dengan arah sinar matahari.



**Gambar 3.** Diagram alir pemrograman

#### D. Pengujian Alat

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem dapat mengikuti pergerakan matahari dan memaksimalkan penyerapan energi surya. Melalui serangkaian pengujian ini, diharapkan dapat melihat kinerja fungsional dari alat ini.

##### 1. Persiapan Pengujian

Sebelum memulai pengujian, maka perlu dilakukan persiapan dengan memeriksa semua komponen sistem, termasuk sensor, motor servo, mikrokontroler, dan LCD. Setiap komponen terpasang dipastikan terpasang dengan benar dan terhubung dengan baik.

##### 2. Penentuan Lokasi Pengujian

Lokasi pengujian ditentukan dengan kondisi memiliki paparan sinar matahari dapat menyinari dari pagi hingga sore hari dan tidak ada bayangan yang dapat mengganggu pergerakan panel surya. Pengujian ini dilakukan di kampus 2 Politeknik Negeri Subang.

##### 3. Pengujian Statis

Pengujian statis dilakukan untuk memastikan bahwa panel surya dapat menghadap langsung ke arah matahari dengan kondisi panel surya tidak berubah sedikitpun. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang akan dibandingkan dengan pengujian dinamis. Selama pengujian ini, secara rutin intensitas cahaya pada interval waktu tertentu diukur kemudian datanya disandingkan dengan data arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya.

##### 4. Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan dengan mengaktifkan sistem pencari sinar matahari. Respon pergerakan dari motor servo terhadap perubahan cahaya matahari yang terdeteksi oleh sensor LDR diamati. Pengujian ini juga diukur intensitas cahaya, arus dan tegangan yang dihasilkan. Sub Bahasan

### III. HASIL DAN ANALISA

Dalam penelitian ini, telah dikembangkan sebuah alat perotasi panel surya 2 sumbu yang mengintegrasikan komponen-komponen utama, antara lain panel surya, sensor LDR, Motor Servo, Arduino UNO, *Solar Charge Controller*, dan aki. Dalam pengembangan alat sistem perotasi panel surya 2 sumbu berbasis Arduino UNO, dilakukan uji coba komponen secara terpisah maupun secara yang telah terintegrasi keseluruhan. Sistem alat pencari sinar matahari pada panel surya memperlihatkan kinerja yang baik, dimana setiap komponennya berhasil beroperasi sesuai dengan tugasnya masing-masing. Mulai dari motor servo yang menunjukkan respons yang efisien terhadap perubahan kondisi cahaya matahari, sensor LDR yang memastikan deteksi yang akurat terhadap intensitas cahaya, mikrokontroler dapat memberikan sinyal *output* dan menerima sinyal input, hingga LCD yang bekerja untuk menyajikan informasi data yang dihasilkan oleh sensor arus dan tegangan.

**Tabel 1.** Uji Kinerja Perotasi Panel Surya

| Jam   | Sudut motor servo<br>Sumbu x | Sudut motor servo<br>Sumbu y |
|-------|------------------------------|------------------------------|
| 08.00 | 0 <sup>0</sup>               | 20 <sup>0</sup>              |
| 09.00 | 24 <sup>0</sup>              | 18 <sup>0</sup>              |
| 10.00 | 51 <sup>0</sup>              | 16 <sup>0</sup>              |
| 11.00 | 72 <sup>0</sup>              | 12 <sup>0</sup>              |
| 12.00 | 96 <sup>0</sup>              | 9 <sup>0</sup>               |
| 13.00 | 107 <sup>0</sup>             | 1 <sup>0</sup>               |
| 14.00 | 126 <sup>0</sup>             | 17 <sup>0</sup>              |
| 15.00 | 142 <sup>0</sup>             | 20 <sup>0</sup>              |
| 16.00 | 155 <sup>0</sup>             | 23 <sup>0</sup>              |

Tabel 1 memberikan gambaran tentang sudut motor servo pada sumbu x dan sumbu y pada berbagai jam selama uji kinerja perotasi panel surya yang dilakukan pada 11 Agustus 2023 mulai dari pukul 08.00 sampai dengan 16.00. Data ini memberikan gambaran yang lebih mendalam tentang bagaimana perotasi panel surya diatur untuk mengoptimalkan penangkapan energi matahari sepanjang hari.

Pertama, pada pukul 08.00, panel surya ditempatkan dengan motor servo sumbu x pada sudut 00 dan sumbu y pada sudut 200, menandakan bahwa panel surya menghadap ke timur mengikuti arah matahari pagi. Hal ini sesuai dengan kondisi awal yang diatur untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari pada awal hari.

Kemudian, terlihat bahwa sudut motor servo sumbu x dan y mengalami perubahan sesuai dengan pergerakan matahari. Pada pukul 09.00, sudut motor servo sumbu x dan y mengalami penyesuaian menjadi 240 dan 180, menunjukkan rotasi panel surya untuk mengikuti pergerakan matahari ke arah utara. Hal ini mencerminkan respons yang efisien terhadap perubahan kondisi cahaya matahari.

Pada pukul 12.00, di tengah hari, sudut motor servo sumbu x dan y mencapai 960 dan 90, menunjukkan penyesuaian posisi panel surya tegak ke atas, menghadap matahari pada sudut yang optimal untuk menangkap sinar matahari. Perubahan sudut ini terus berlanjut hingga pukul 16.00, di mana panel surya menghadap ke barat daya dengan sudut motor servo sumbu x dan y masing-masing pada 1550 dan 230.

Dengan demikian, analisis terhadap tabel ini menunjukkan bahwa perotasi panel surya dilakukan secara dinamis dan adaptif sesuai dengan pergerakan matahari sepanjang hari. Sudut motor servo sumbu x dan y diatur dengan presisi untuk memaksimalkan penyerapan energi matahari, menciptakan kinerja sistem perotasi panel surya yang responsif dan efisien. Setiap perubahan dalam intensitas cahaya matahari terdeteksi dengan presisi oleh sensor LDR, yang memberikan umpan balik real-time kepada mikrokontroler Arduino UNO. Motor servo sumbu x dan y merespons dengan cepat, menyesuaikan posisi panel surya untuk memaksimalkan penerimaan sinar matahari.



**Gambar 4.** Pengujian alat

selama pengujian alat yang terintegrasi, alat menunjukkan kemampuan untuk menanggapi perubahan kondisi cahaya secara real-time, dengan sensor LDR yang memberikan umpan balik yang cepat dan akurat. Motor servo mampu menyesuaikan posisi panel surya dengan respons yang efisien, menciptakan efek perotasi yang mulus dan tanpa hambatan. Mikrokontroler Arduino UNO pun mampu mengatur semua komponen dengan koordinasi yang presisi. LCD berperan penting dalam menyajikan informasi data, memberikan pemantauan yang jelas terkait arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Keberhasilan integrasi alat ini turut berdampak pada peningkatan efisiensi penggunaan energi, sehingga memastikan bahwa panel surya dapat bekerja pada performa maksimalnya. Hal ini terlihat dari data yang telah tertera pada Tabel 2.

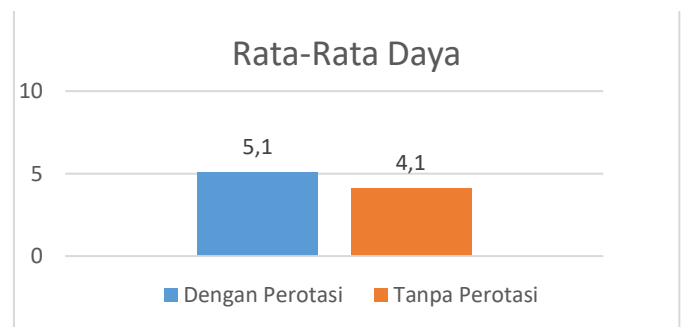
**Tabel 2.** Perbandingan Daya yang Dihasilkan Panel Surya

| Jam   | Statis (Tanpa Perotasi) |       |       | Dinamis (Dengan Perotasi) |       |       |
|-------|-------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|
|       | V (V)                   | I (A) | P (W) | V (V)                     | I (A) | P (W) |
| 08.00 | 14,29                   | 0,24  | 3,23  | 14,32                     | 0,35  | 3,01  |
| 08.30 | 14,32                   | 0,21  | 3,51  | 14,33                     | 0,24  | 3,43  |
| 09.00 | 14,34                   | 0,23  | 3,80  | 14,36                     | 0,26  | 3,73  |
| 09.30 | 14,25                   | 0,17  | 2,72  | 14,27                     | 0,20  | 2,85  |
| 10.00 | 17,49                   | 0,14  | 3,13  | 17,50                     | 0,18  | 3,15  |
| 10.30 | 18,15                   | 0,12  | 3,71  | 18,16                     | 0,22  | 3,99  |
| 11.00 | 18,30                   | 0,13  | 4,38  | 18,32                     | 0,16  | 4,93  |
| 11.30 | 19,82                   | 0,22  | 4,36  | 19,84                     | 0,22  | 4,36  |
| 12.00 | 19,70                   | 0,38  | 7,12  | 19,74                     | 0,40  | 7,89  |
| 12.30 | 16,72                   | 0,25  | 7,18  | 16,74                     | 0,30  | 8,02  |
| 13.00 | 18,04                   | 0,41  | 6,40  | 18,10                     | 0,43  | 7,78  |
| 13.30 | 18,03                   | 0,53  | 5,56  | 18,06                     | 0,55  | 7,53  |
| 14.00 | 17,04                   | 0,43  | 4,73  | 17,07                     | 0,45  | 6,68  |
| 14.30 | 17,05                   | 0,12  | 3,05  | 17,08                     | 0,30  | 5,12  |
| 15.00 | 17,56                   | 0,18  | 2,16  | 17,59                     | 0,33  | 5,80  |
| 15.30 | 17,58                   | 0,22  | 2,07  | 17,59                     | 0,25  | 4,39  |
| 16.00 | 17,53                   | 0,17  | 2,08  | 17,55                     | 0,24  | 4,21  |

Setelah melakukan uji kinerja, pada hari kedua dilakukan pengujian untuk mengukur arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan pada panel surya. Pada tabel 2, terdapat perbandingan antara kinerja panel surya dalam kondisi statis (tanpa menggunakan servo) dan dinamis (dengan menggunakan servo) pada berbagai jam selama pengujian. Pertama-tama, pada pukul 08.00, ketika intensitas cahaya matahari masih rendah, panel surya dengan servo (dinamis) menunjukkan hasil daya yang sedikit lebih rendah 3,01 W dibandingkan dengan panel surya tanpa servo 3,23 W. Hal ini mungkin disebabkan oleh penyesuaian posisi panel surya pada kondisi awal.

Namun, seiring berjalannya waktu, terlihat bahwa panel surya dengan perotasi secara konsisten menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya tanpa perotasi. Pada jam-jam selanjutnya, terlihat adanya peningkatan yang signifikan pada produksi daya panel surya yang menggunakan perotasi, seperti pada pukul 12.00 dengan selisih daya sebesar 1,77 W, menunjukkan efektivitas alat perotasi sinar matahari dalam mengoptimalkan penyerapan energi matahari.

Pada pukul 14.30, meskipun intensitas cahaya matahari menurun, panel surya dengan perotasi tetap mampu menghasilkan daya yang lebih tinggi 5,12 W dibandingkan dengan panel surya tanpa perotasi 3,05 W. Dengan demikian dapat dilihat bahwa panel surya yang menggunakan alat perotasi sinar matahari menunjukkan peningkatan daya yang signifikan dibandingkan dengan panel surya tanpa alat perotasi.



**Gambar 3.** Rata-Rata Output Daya Listrik

Dari hasil pengujian pada Tabel 2, terlihat bahwa daya rata-rata dinamis yang dihasilkan oleh panel surya dengan servo adalah 5,1, sementara daya rata-rata statis tanpa servo adalah 4,1. Dengan selisih daya yang dihasilkan kedua panel, dapat dihitung peningkatan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan servo. Peningkatan daya panel surya dapat dihitung seperti berikut[9]:

$$\text{Peningkatan daya} = \frac{5,1 - 4,1}{4,1} \times 100\% = 24,3\% \quad (1)$$

Dengan mempertimbangkan selisih daya antara kedua panel, dapat dihitung bahwa peningkatan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan servo sebesar 24,3%. Dengan Demikian, maka implementasi sistem penggerak dua sumbu berhasil meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya secara signifikan.

#### IV. KESIMPULAN

Dalam rangka meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem penggerak pada panel surya dengan memanfaatkan teknologi mikrokontroler Arduino UNO, sensor LDR, motor servo, dan komponen-komponen pendukung lainnya. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa implementasi alat perotasi panel surya 2 sumbu berbasis Arduino UNO telah berhasil memberikan kinerja yang baik dalam mengoptimalkan penyerapan energi matahari. Uji kinerja perotasi panel surya pada berbagai jam menunjukkan kemampuan sistem untuk mengadaptasi posisi panel surya secara dinamis, mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi sistem penggerak ini secara signifikan meningkatkan daya panel surya sebesar 24,3% dibandingkan dengan panel statis, nilai ini berdasarkan daya rata-rata panel yang bergerak dinamis sebesar 5,1 W, sedangkan daya rata-rata panel surya yang statis sebesar 4,1 W. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi sistem perotasi panel surya 2 sumbu berbasis Arduino UNO dengan motor servo efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. W. Siregar, "Analisis Pengaruh Keterbukaan Perdagangan, Konsumsi Energi, Dan Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Emisi Karbon Di Negara D-8," *J. Magister Ekon. Syariah*, vol. 2, no. 1 Juni, pp. 61–77.
- [2] M. S. A. Ipung and S. Thamrin, "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Alternatif Energi Masa Depan," *J. Pengabd. Kpd. Masy. Nusantara*, vol. 4, no. 3, pp. 2427–2435, 2023.
- [3] G. F. DILA, "Analisis Alasan Tiongkok Bertahan Dalam Paris Agreement Sebagai Negara Penyumbang Emisi Gas Terbesar Di Dunia Pada Tahun 2017," 2021.
- [4] U. Iswandi and I. Dewata, *Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Deepublish, 2020.
- [5] A. Jaelani, "Energi baru terbarukan di Indonesia: Isyarat ilmiah al-Qur'an dan implementasinya dalam ekonomi Islam," 2017.
- [6] P. K. HUTAURUK, "Analisis Kinerja Solar Tracker Mono Axis dan Dual Axis Menggunakan Panel Surya Polycrystal 100 Wp," 2023.
- [7] R. Gardashov, M. Eminov, G. Kara, E. G. E. Kara, T. Mammadov, and X. Huseynova, "The optimum daily direction of solar panels in the highlands, derived by an analytical method," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, p. 109668, 2020.
- [8] S. N. Matondang *et al.*, "POWERPIXIE (POWER BANK SOLAR PANEL) INOVASI PERANCANGAN APLIKASI PORTABLE POWERBANK BERBASIS PANEL SURYA," *Sci. J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 202–217, 2023.
- [9] A. El Hammoumi, S. Motahhir, A. El Ghizal, A. Chalh, and A. Derouich, "A simple and low-cost active dual-axis solar tracker," *Energy Sci. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 607–620, 2018.