

Rancang Bangun Panel Surya Menggunakan Motor Timer Otomatis Secara Real Time Berbasis Arduino Uno

^{1*}Kadaryono, ²Mualifi Usman, ³Riki Abdu Rozak

^{1*,2,3} Teknik Mesin, Universitas Darul Ulum, Jombang

yonokadaryono11@gmail.com, mualifi.usman7@gmail.com, mubalig1745@gmail.com

Article Info

Article history:

Received April 23th, 2025

Revised May 2nd, 2025

Accepted May 12th, 2025

Keyword:

Arduino Uno

Motor servo

Motor timer otomatis

Panel surya

Real time

ABSTRACT

The development of renewable energy, especially solar energy, is one of the main focuses in efforts to reduce dependence on fossil fuels and overcome climate change. Solar panels, as one of the most widely used technologies to utilize solar energy, have great potential to increase energy efficiency when combined with an automatic tracking system. This study aims to design and build a solar panel system based on an automatic timer motor that can operate in real time. In this study, the design of a 20 Wp solar panel uses an automatic timer motor based on the principle of real-time, as a driver using a servo motor. From the results of testing the timer motor and without using this timer motor, the voltage produced is different; for those using an automatic timer motor, the result is 16.48 volts, while without using an automatic timer motor, the voltage produced is 14.94 volts, and the efficiency of energy conversion from each method has a different value, namely, the value of the statis panel is 48% while the value of the dynamic panel is 52%. So, from these results, the highest conversion efficiency is obtained at 52%. The results of the study indicate that the greater the conversion efficiency, the greater the voltage produced is more stable.

Copyright © 2025 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Kadaryono

Universitas Darul Ulum

Jl. Gus Dur 29A, Mojongapit, Jombang

Email: yonokadaryono11@gmail.com

Abstrak—Pembangunan energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi salah satu fokus utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengatasi perubahan iklim. Panel surya, sebagai salah satu teknologi yang paling banyak digunakan untuk memanfaatkan energi matahari, memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi jika dipadukan dengan sistem pelacakan otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem panel surya berbasis motor timer otomatis yang dapat beroperasi secara real time. Pada penelitian ini dirancang bangun panel surya berkapasitas 20WP menggunakan motor timer otomatis berdasarkan prinsip real time, sebagai penggerak menggunakan motor servo. Dari hasil pengujian motor timer dan tanpa menggunakan motor timer ini tegangan yang dihasilkan berbeda, untuk yang menggunakan motor timer otomatis hasilnya sebesar 16.48 Volt, sedangkan tanpa menggunakan motor timer otomatis tegangan yang dihasilkan sebesar 14.94 Volt dan untuk efisiensi konversinya dari masing-masing metode tersebut memiliki nilai yang berbeda, yaitu nilai panel statis

sebesar 48 % sedangkan nilai panel dinamis sebesar 52 %. Maka dari hasil tersebut efesiensi konversi tertinggi didapatkan sebesar 52 %. Hasil penelitian menunjukan bahwa semakin besar efisiensi konversi semakin besar pula tegangan yang dihasilkan lebih stabil.

Kata Kunci: Arduino UNO, Motor servo, Motor timer otomatis, Panel surya, *Real time*

I. Pendahuluan

Energi terbarukan, khususnya energi matahari, semakin mendapatkan perhatian di seluruh dunia sebagai solusi untuk mengatasi krisis energi dan perubahan iklim. Menurut International Energy Agency (IEA), penggunaan energi terbarukan tumbuh lebih dari 45% dalam dekade terakhir, dengan energi matahari menjadi kontributor utama[1],[2]. Panel surya, yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, memiliki potensi besar untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembangkit listrik skala besar hingga penggunaan rumah tangga. Namun, efisiensi konversi energi dari panel surya sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan dan arah panel terhadap sinar matahari[3],[4],[5]. Oleh karena itu, pengembangan sistem pelacakan otomatis untuk panel surya menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan. Penggunaan motor timer otomatis berbasis Arduino Uno dalam pengaturan sudut panel surya dapat memberikan solusi yang efisien dan ekonomis[6]. Arduino Uno, sebagai platform mikrokontroler yang populer, menawarkan kemudahan dalam pemrograman dan integrasi dengan berbagai sensor. Dengan menggunakan sensor cahaya, sistem dapat mendeteksi posisi matahari dan secara otomatis mengatur sudut panel surya untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari. Ini tidak hanya meningkatkan efisiensi panel surya, tetapi juga mengurangi biaya operasional dan meningkatkan daya saing energi terbarukan[7].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sistem pelacakan panel surya dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 30% dibandingkan dengan panel surya statis[8],[9]. Namun, banyak dari sistem ini masih menggunakan teknologi yang mahal dan kompleks, yang membatasi adopsi luasnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pelacakan panel surya yang lebih sederhana dan terjangkau dengan menggunakan komponen yang mudah diakses dan teknologi yang sudah ada[10], [11],[12]. Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya dalam meningkatkan efisiensi penggunaan panel surya. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti lain dan pengguna energi terbarukan dalam mengimplementasikan sistem pelacakan panel surya yang efektif dan efisien[13],[14].

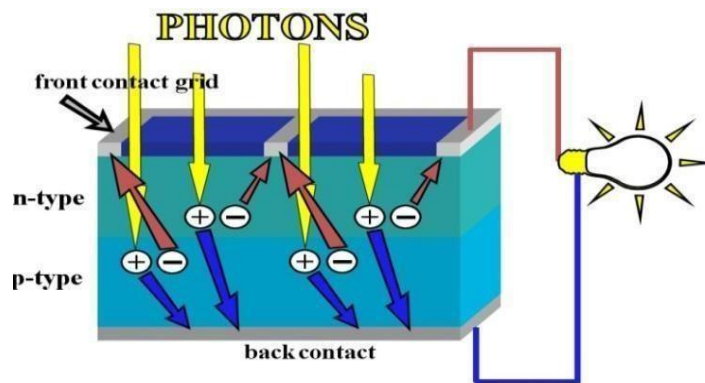
Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem pelacakan panel surya. Salah satu studi yang relevan adalah yang dilakukan oleh Alomar et al. (2019), yang mengeksplorasi penggunaan sistem pelacakan dua sumbu untuk meningkatkan efisiensi panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pelacakan dua sumbu dapat meningkatkan efisiensi hingga 40% dibandingkan dengan panel surya tetap. Namun, sistem ini memerlukan biaya dan kompleksitas yang lebih tinggi dalam hal instalasi dan pemeliharaan. Di sisi lain, penelitian oleh Sulaiman et al. (2021) mengembangkan sistem pelacakan satu sumbu menggunakan motor servo yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Hasilnya menunjukkan peningkatan efisiensi sebesar 25%. Meskipun lebih sederhana dibandingkan dengan sistem dua sumbu, penelitian ini masih menghadapi tantangan dalam hal biaya dan ketersediaan komponen. Penelitian ini menunjukkan bahwa ada kebutuhan untuk mengembangkan solusi yang lebih terjangkau dan mudah diimplementasikan. Selain itu, penelitian oleh Rahman et al. (2020) mengusulkan penggunaan sensor cahaya untuk mengontrol sudut panel surya secara otomatis. Dengan menggunakan Arduino sebagai pengendali, sistem ini mampu menyesuaikan sudut panel berdasarkan intensitas cahaya yang diterima. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor cahaya dapat meningkatkan efisiensi panel surya hingga 20%. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan dalam hal responsivitas terhadap perubahan posisi matahari sepanjang hari. Penelitian-penelitian tersebut memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan sistem pelacakan panel surya berbasis Arduino Uno. Dengan memanfaatkan teknologi yang ada, penelitian ini bertujuan untuk menyederhanakan proses pelacakan dan membuatnya lebih terjangkau bagi masyarakat luas. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengintegrasikan temuan-temuan dari penelitian terdahulu untuk merancang sistem yang lebih efisien dan efektif.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengembangan sistem pelacakan panel surya yang menggunakan motor timer otomatis berbasis Arduino Uno dengan pendekatan yang lebih sederhana dan terjangkau. Dalam penelitian ini, penulis akan menggabungkan teknologi sensor cahaya dengan algoritma pemrograman yang efisien untuk menciptakan sistem yang tidak hanya meningkatkan efisiensi panel surya, tetapi juga mudah dipasang dan dioperasikan oleh pengguna awam. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara teknologi tinggi dan aksesibilitas bagi masyarakat.

II. Kajian Pustaka

2.1. Prinsip Dasar Panel Surya

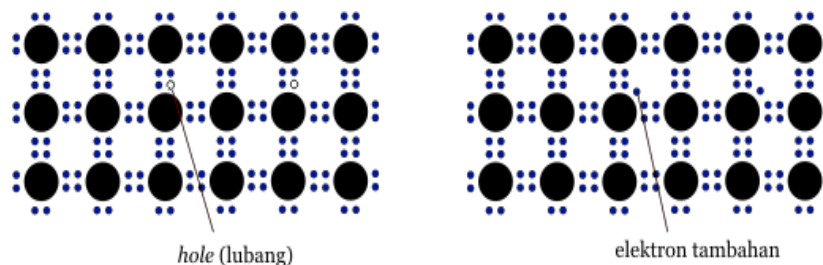
Solar cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energy. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah Kristal silikon.



Gambar 1. Cara Kerja Solar cell.

Ketika suatu Kristal silikon ditambahkandengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom- atom silikon yang mengakibatkan munculnya electron bebas pada material campuran tersebut.

2.2. Semikonduktor Tipe P dan Tipe N.

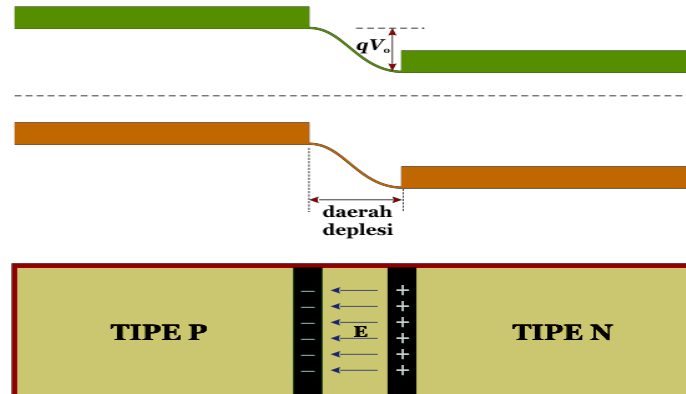


Gambar 2. Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan).

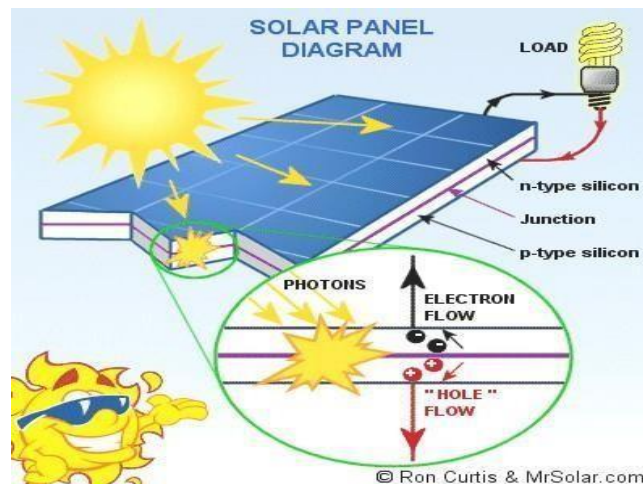
Ketika suatu Kristal silikon ditambahkandengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom- atom silikon yang mengakibatkan munculnya electron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah silikon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-N. Hal yang sebaliknya terjadi jika Kristal silikon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya electron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan munculnya hole yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-P. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan

semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-P.

2.3. Sambungan P-N



Gambar 3. Diagram Energi Sambungan P-N



Gambar 4. Struktur Solar Cell Silikon P-N Junction.

Ketika semikonduktor tipe-P dan tipe-N disambungkan maka akan terjadi difusi hole dari tipe-P menuju tipe-N dan difusi electron dari tipe-N menuju tipe-P. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe- N dan daerah lebih negative pada batas tipe-N. Adanya perbedaan muatan pada sambungan P-N disebut dengan daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus drift. Arus drift yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan P-N tersebut. Sebagaimana yang kita ketahui bersama, electron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. kehadiran medan listrik pada electron dapat mengakibatkan electron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada solar cell sambungan P-N, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan P-N agar electron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut. Ketika junction disinari, photon yang mempunyai Electron sama atau lebih besar dari lebar pita tersebut akan menyebabkan eksitasi electron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan Electron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka Electron dari area- N akan kembali ke area-P sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

2.4. Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.



Gambar 5. Arduino Uno

Uno berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI driver USB-to-serial.

III. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, mulai dari perancangan sistem hingga pengujian dan evaluasi. Pertama, tahap perancangan sistem dilakukan dengan merancang skema rangkaian elektronik yang melibatkan Arduino Uno, motor servo, dan sensor cahaya. Rangkaian ini akan memungkinkan panel surya untuk bergerak secara otomatis mengikuti posisi matahari. Dalam tahap ini, perangkat lunak pemrograman juga akan dikembangkan untuk mengontrol motor berdasarkan data yang diperoleh dari sensor cahaya. Setelah perancangan selesai, tahap selanjutnya adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan dengan memasang panel surya pada lokasi yang strategis dan mengamati kinerjanya dalam berbagai kondisi cuaca. Data yang dikumpulkan selama pengujian akan digunakan untuk mengevaluasi efisiensi sistem pelacakan yang telah dibangun. Pengukuran efisiensi dilakukan dengan membandingkan energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan dan tanpa sistem pelacakan. Selain itu, penelitian ini juga akan melibatkan analisis statistik untuk mengevaluasi hasil pengujian. Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik untuk menentukan signifikansi perbedaan efisiensi antara kedua kondisi tersebut. Hal ini penting untuk memberikan bukti empiris mengenai efektivitas sistem pelacakan yang dirancang.

Selama proses penelitian, dokumentasi yang cermat akan dilakukan untuk mencatat setiap langkah, serta tantangan yang dihadapi dan solusi yang diterapkan. Dokumentasi ini akan menjadi referensi penting bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan sistem serupa di masa depan. Selain itu, umpan balik dari pengguna juga akan diintegrasikan untuk meningkatkan desain dan fungsionalitas sistem. Hasil dari penelitian ini akan disusun dalam bentuk laporan lengkap yang mencakup semua aspek dari penelitian, mulai dari latar belakang, metodologi, hasil, hingga kesimpulan dan saran. Laporan ini akan dibagikan kepada komunitas

akademik dan industri untuk mendorong lebih banyak penelitian dan pengembangan dalam bidang energi terbarukan.

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Penelitian

Data yang diambil dari hasil pengujian dan pembahasan sistem secara keseluruhan yang telah dirancang. Untuk mengetahui hasil dari alat ini, akan dilakukan beberapa pengujian dan analisa pada seluruh bagian. Pengujian dan pengambilan data pertama dilakukan pada *Solar Cell* statis (diam). Pengujian dan pengambilan data kedua adalah *Solar Cell* dengan motor timer otomatis yang bergerak sebanyak 7 kali dan bergerak setiap dua jam satu kali.

Pengujian Panel Surya Statis

Pada pengujian pertama dilakukan dengan tanpa motor timer, dimana panel yang dibiarkan horizontal pada tiang penyangga. Berikut adalah data dari pengujian panel surya dengan tanpa motor timer :

Tabel 1 Pengujian Daya Panel Statis Tanggal 9 – 10 Juli 2022

Pukul	Input (Voc)	Kuat Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Intensitas Matahari (lux)
06.00	9.7	0.63	6.13	7013
	9.8	0.64	6.26	
Rata – rata	9.7	0.64	6.19	
07.00	14.4	0.94	13.51	15867
	14.0	0.91	12.77	
Rata – rata	14.2	0.93	13.14	
08.00	15.3	1.00	15.25	17097
	14.5	0.94	13.70	
Rata – rata	14.9	0.97	14.47	
09.00	16.7	1.09	18.17	19045
	15.8	1.03	16.26	
Rata – rata	16.2	1.06	17.21	
10.00	17.6	1.15	20.18	30000
	18.6	1.21	22.54	
Rata – rata	18.1	1.18	21.36	
11.00	18.3	1.19	21.82	40800
	18.8	1.22	23.02	
Rata – rata	18.5	1.21	22.42	
12.00	18.9	1.23	23.27	50600
	19.5	1.27	24.77	
Rata – rata	19.2	1.25	24.02	
13.00	17.6	1.15	20.18	48000
	16.7	1.09	18.17	
Rata – rata	17.1	1.12	19.17	
14.00	17.0	1.11	18.83	40306
	17.8	1.16	20.64	
Rata – rata	17.4	1.13	19.73	
15.00	16.1	1.05	16.89	20070
	16.4	1.07	17.52	
Rata – rata	16.2	1.06	17.20	
16.00	13.7	0.89	12.23	20560
	15.0	0.98	14.66	
Rata – rata	14.3	0.39	13.44	
17.00	12.1	0.79	9.54	19802
	11.0	0.72	7.88	
Rata – rata	11.5	0.75	8.71	
18.00	6.2	0.40	2.50	3004
	7.0	0.46	3.19	
Rata – rata	6.6	0.43	2.85	
Jumlah	194.2	12.65	199.93	-
Rata – rata	14.94	0.97	15.38	-

Tabel diatas adalah pemakaian daya pada saat *Solar Cell* statis. Terlihat setiap jam memiliki perubahan daya. Pemakaian daya tertinggi terjadi pada pukul 12:00 dan terendah pada pukul 18:00.

Pengujian Panel Surya Dinamis

Pada pengujian kedua dilakukan pada *Solar Cell* dengan motor timer dimana *Solar Cell* bergerak mengikuti arah matahari dari Timur ke Barat yaitu mengalami 7 kali pergerakan dalam waktu 13 jam setiap harinya. Berikut adalah data dari pengujian *Solar Cell* dengan motor timer :

Tabel 2 Hasil Pengujian Panel Dinamis Pada Tanggal 11 - 12 Juli 2022

Pukul	Input (Voc)	Kuat Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Intensitas Matahari (lux)
06.00	10.0	0.65	6.51	7013
	10.1	0.66	6.65	
Rata – rata	10.0	0.65	6.58	15867
07.00	16.3	1.06	17.31	
	15.0	0.98	14.66	17097
Rata – rata	15.6	1.02	15.98	
08.00	18.7	1.22	22.78	19045
	17.0	1.11	18.83	
Rata – rata	17.8	1.16	20.80	30000
09.00	18.9	1.23	23.27	
	18.0	1.17	21.11	40800
Rata – rata	18.4	1.20	22.19	
10.00	18.5	1.21	22.30	50600
	19.4	1.26	24.52	
Rata – rata	18.9	1.23	23.41	48000
11.00	19.4	1.26	24.52	
	19.8	1.29	25.54	40306
Rata – rata	19.6	1.28	25.03	
12.00	19.1	1.24	23.76	20070
	19.9	1.30	25.80	
Rata – rata	19.5	1.27	24.78	19802
13.00	19.0	1.24	23.52	
	18.3	1.19	21.82	3004
Rata – rata	18.6	1.21	22.67	
14.00	17.3	1.13	19.50	20560
	18.2	1.19	21.58	
Rata – rata	17.7	1.16	20.54	19802
15.00	17.2	1.12	19.27	
	17.2	1.12	19.27	19802
Rata – rata	17.2	1.12	19.27	
16.00	16.3	1.06	17.31	19802
	17.0	1.11	18.83	
Rata – rata	16.6	1.08	18.07	19802
17.00	16.2	1.06	17.10	
	16.4	1.07	17.52	3004
Rata – rata	16.3	1.06	17.31	
18.00	8.3	0.54	4.49	3004
	7.1	0.46	3.28	
Rata – rata	7.7	0.50	3.89	-
Jumlah	214.3	13.96	240.50	
Rata-rata	16.48	1.07	18.50	-

Tabel diatas adalah pemakaian daya pada saat Solar Cell dinamis. Terlihat setiap jam memiliki perubahan daya. Pemakaian daya tertinggi terjadi pada pukul 11:00 dan terendah pada pukul 18:00.

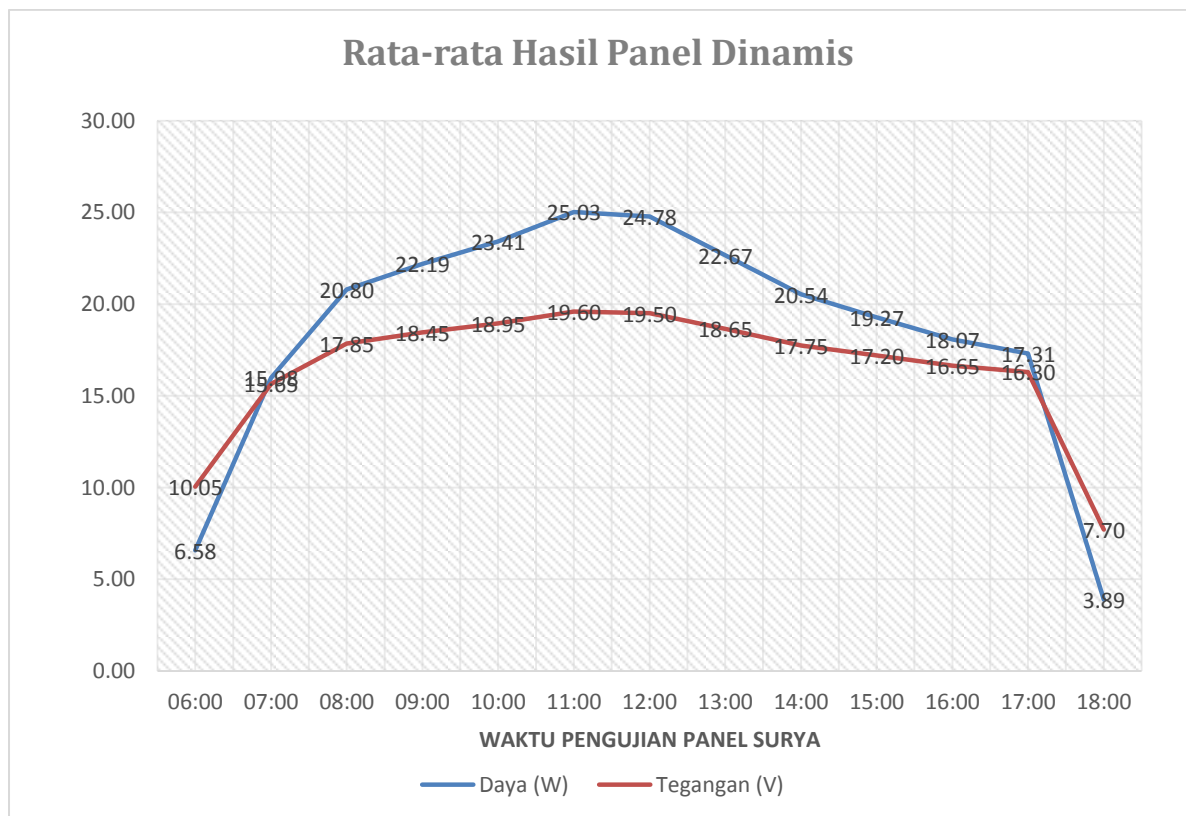
Analisa Energi

Dari pengambilan data yang dilakukan pada panel surya dengan masing – masing metode (Statis dan Dinamis) maka dapat diketahui rata – rata energi yang masuk. Berikut perbandingannya :

Tabel 3 Pengumpulan Semua Data Pengujian Panel

No	Tanggal (Panel Statis)	Input (Voc)	Arus (A)	Daya(W)
1	9 – 10 Juli 2022	14.94	0.97	15.38
No	Tanggal (Panel Dinamis)	Input (Voc)	Arus (A)	Daya(W)
1	11 – 12 Juli 2022	16.48	1.07	18.50

Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Panel Surya Statis



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Panel Surya Dinamis

Perbedaan tersebut dapat dilihat Dari grafik di atas bahwa sel surya yang menggunakan motor timer otomatis menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar dan stabil dibandingkan dengan panel surya metode statis, hal ini disebabkan sel surya metoda statis tidak selalu tegak lurus terhadap matahari, sedangkan untuk menghasilkan tegangan yang optimal sel surya harus tegak lurus terhadap matahari, berikut perbandingan rata – ratannya :

1. Sel surya mode statis menghasilkan daya = 14.94 V
2. Sel surya mode dinamis menghasilkan daya = 16.48 V

V. Kesimpulan

Simpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem pelacakan panel surya berbasis motor timer otomatis menggunakan Arduino Uno dapat meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan menggunakan sensor cahaya dan algoritma pemrograman yang efektif, sistem ini mampu menyesuaikan sudut panel secara otomatis, sehingga memaksimalkan penyerapan sinar matahari. Berdasarkan hasil dari rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya maka dapat disimpulkan sebagai berikut : Berdasarkan hasil pengujian prinsip kerja sistem kontroller guna mengirimkan sinyal perintah pada motor servo sesuai dengan yang diprogramkan. Pada pengujian dengan tanpa motor timer otomatis didapat rata-rata tegangan yang masuk sebesar 14.94 Volt. Sedangkan dengan menggunakan motor timer otomatis didapat rata-rata tegangan sebesar 16.48 Volt. Jika dilihat dari grafik tegangan yang didapat dengan menggunakan motor timer otomatis lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa motor timer otomatis.

Saran

Penelitian ini juga menemukan beberapa tantangan, seperti ketergantungan pada kondisi cuaca dan keterbatasan dalam responsivitas sistem terhadap perubahan posisi matahari yang cepat. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut guna mengembangkan sistem pelacakan yang lebih canggih, mungkin dengan mempertimbangkan penggunaan teknologi sensor yang lebih maju atau algoritma pemrograman yang lebih kompleks. Akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia dan mendorong lebih banyak inovasi dalam bidang ini. Dengan mengadopsi teknologi yang lebih efisien dan terjangkau, diharapkan penggunaan energi terbarukan dapat meningkat, sehingga membantu dalam mencapai tujuan keberlanjutan dan mengurangi dampak perubahan iklim.

VI. Daftar Pustaka

- [1] I. Citaristi, "International Energy Agency—IEA," in *The Europa Directory of International Organizations 2022*, 2022, pp. 701–702. doi: 10.4324/9781003292548-126.
- [2] A. Davydov, "International Energy Agency and U.S. Economic Policy," *Russ. Am. 21st Century*, no. 4, p. 0, 2022, doi: 10.18254/s207054760021607-4.
- [3] M. Ali *et al.*, "The comparison of dual axis photovoltaic tracking system using artificial intelligence techniques," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 10, no. 4, p. 901, Dec. 2021, doi: 10.11591/ijai.v10.i4.pp901-909.
- [4] M. Ali, D. Ajiatmo, M. Ulum, and A. Siswanto, "Application of Hybrid Power Plants Photovoltaic and Picohydro as Utilization of Overflow Water Sources," *Nanotechnol. Perceptions*, vol. 20, no. 5, pp. 1815–1823, 2024, [Online]. Available: <https://nano-ntp.com/index.php/nano/article/view/4045>
- [5] M. Ali, R. Rukslin, and C. Hasyim, "Hybrid System of Dual Axis Photovoltaic Tracking System Using Pid-Ces-Aco," *JEEMecs (Journal Electr. ...)*, vol. 4, no. 2, pp. 59–68, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jeemecs/article/view/6138>
- [6] A. Askan, M. Ali, K. Kadaryono, and M. Muhlasin, "Optimasi Sistem Kontrol Mesin Penetas Telur Menggunakan Sensor Suhu dan Kelembaban Udara," *J. FORTECH*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, Mar. 2022, doi: 10.56795/fortech.v3i1.101.
- [7] M. A. Prasetyo and H. K. Wardana, "Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 4, no. 2, p. 163, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.2.163-168.
- [8] K. W. Fauzi, T. Arfianto, and N. Taryana, "Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 4, no. 1, pp. 63–74, 2018, doi: 10.15575/telka.v4n1.63-74.

-
- [9] R. Khotama, D. B. Santoso, and A. Stefanie, "Perancangan Sistem Optimasi Smart Solar Electrical pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Metode Tracking Dual Axis Technology," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 78–84, 2020, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v7i2.1887.
- [10] M. Ali, A. A. Firdaus, H. Nurohmah, H. Suyono, M. A. Muslim, and A. N. Afandi, "Performance Comparison of The Artificial Intelligence Applications to Dual-Axis Tracking Controls of Solar Panels," in *2021 7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, IEEE, Oct. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICEEIE52663.2021.9616931.
- [11] D. F. U. Putra, A. A. Firdaus, R. T. Yunardi, M. Ali, A. P. Rosalino, and N. P. U. Putra, "Real-Time Monitoring of Dual-Axis PV System Based on Internet of Things," in *2021 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, IEEE, Jul. 2021, pp. 349–353. doi: 10.1109/ISITIA52817.2021.9502207.
- [12] M. Ali, T. Fahmi, D. W. Khaidir, and H. Nurohmah, "Optimizing Single Axis Tracking for Bat Algorithm-based Solar Cell," *J. FESPE*, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2020.
- [13] M. Ali, H. Suyono, M. A. Muslim, M. R. Djalal, Y. M. Safarudin, and A. A. Firdaus, "Determination of the parameters of the firefly method for PID parameters in solar panel applications," *SINERGI*, vol. 26, no. 2, p. 265, Jun. 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.2.016.
- [14] Hidayatul Nurohmah, M. Ali, Rukslin, Dwi Ajiatmo, and Muhammad Agil Haikal, "Komparasi PID, FLC, dan ANFIS sebagai Kontroller Dual Axis Tracking Photovoltaic berbasis Bat Algorithm," *J. JEETech*, vol. 3, no. 2, pp. 71–77, Sep. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i2.197.