

Optimasi Efisiensi *Solar Cell* Melalui *Solar Tracking* dan Sistem *Monitoring* Pada Proteksi Energi Listrik

Mas Ahmad Baihaqi^{**1}, Hartawan Abdillah², Ahmad Izzuddin³, Tamam Asrori⁴, Alief Muhammad⁵, Dani Hari Tunggal Prasettio⁶

^{1,2} Teknik Elektro, Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga, 67271, Indonesia.

^{3,4} Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga, 67271, Indonesia.

⁵ Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga, 67271, Indonesia.

⁶ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, 67271, Indonesia

¹baihaqi@upm.ac.id, ²hartawanabdillah@upm.ac.id, ³ahmad.izzuddin@upm.ac.id,

⁴tamam.asrori@upm.ac.id, ⁵aliefmuhammad@upm.ac.id, ⁶dani.hari59@gmail.com

****Corresponding Author:** baihaqi@upm.ac.id



Cite This: <https://doi.org/10.63440/jef.v1i1.19>



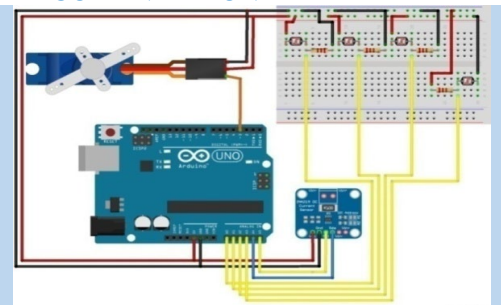
Read Online

ACCESS

Abstract: *This research aims to design and develop an advanced monitoring system for solar cells, incorporating solar tracking technology and equipped with an energy storage protection system. The proposed system in this study seeks to maximize solar energy capture by employing a tracking mechanism that aligns the solar cells with the direction of sunlight throughout the day.*

Experimental results demonstrate that the developed system significantly improves the efficiency of solar energy capture by the solar cells and provides robust protection for the energy storage mechanism. This study contributes to the field of renewable energy by offering a practical solution for enhancing solar energy utilization in regions with high solar irradiance, thus promoting sustainable energy practices and reducing dependence on non-renewable energy sources.

RECOMENDATION



Keyword: *INA219 Sensor Module, Efficiency, Energy Storage Protection, Light Dependent Resistor (LDR).*

Article Info

Recieved
January 12, 2024

Revised
March 28, 2024

Accepted
May 15, 2024

Published
June 29, 2024



1. PENDAHULUAN

Energi matahari [1] merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah dan berpotensi besar untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi global. Terletak di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki keunggulan geografis dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi, rata-rata mencapai 4,5 kWh/m² per hari. Namun, hingga saat ini, pemanfaatan energi matahari di Indonesia [2] belum optimal.

Salah satu teknologi kunci dalam memanfaatkan energi matahari adalah penggunaan panel surya, yang mampu mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Efisiensi panel surya dalam menghasilkan energi sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti intensitas cahaya matahari [3], suhu, arah datangnya sinar matahari, dan spektrum cahaya. Panel surya yang dipasang secara statis tidak dapat memaksimalkan penangkapan energi karena posisi matahari berubah sepanjang hari. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat mengoptimalkan [4] orientasi panel surya [5] agar selalu menghadap ke arah matahari, yaitu dengan menggunakan sistem pelacak matahari (solar tracking system) [6][3]. Selain itu, pemantauan kinerja panel surya [7][8] dan proteksi penyimpanan energi juga menjadi aspek penting untuk memastikan sistem bekerja secara optimal dan tahan lama. Sistem monitoring yang efektif dapat memberikan data real-time tentang kinerja panel surya dan kondisi penyimpanan energi, sementara sistem proteksi [7] dapat mencegah kerusakan pada baterai akibat pengisian berlebih atau penggunaan yang berlebihan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring pada solar cell yang berbasis solar tracking dan dilengkapi dengan sistem proteksi pada penyimpanan energi listrik. Dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno [1], sensor LDR (Light Dependent Resistor), dan modul sensor INA219, penelitian ini mengembangkan prototipe yang dapat memantau [9] dan mengoptimalkan penerimaan energi matahari serta melindungi baterai penyimpanan energi. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan sistem yang tidak hanya meningkatkan efisiensi konversi energi surya tetapi juga memberikan solusi praktis dalam pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia. Implementasi sistem ini dapat berkontribusi dalam meningkatkan pemanfaatan energi matahari [10] secara lebih efisien [11] dan berkelanjutan, sejalan dengan upaya global [12] untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil [13] dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring solar cell yang berbasis solar tracking dan dilengkapi dengan sistem proteksi pada penyimpanan energi listrik. Berikut adalah tahapan metode yang digunakan dalam penelitian ini.

Studi Literatur

- Mengumpulkan informasi dari berbagai sumber terkait teknologi solar cell, solar tracking, sistem monitoring, dan proteksi penyimpanan energi.
- Mengkaji penelitian terdahulu yang relevan untuk memahami dasar teori dan perkembangan terkini dalam bidang ini.

Perancangan Sistem

- Merancang sistem monitoring dan tracking solar cell yang terdiri dari beberapa komponen utama: mikrokontroler Arduino Uno, sensor LDR (Light Dependent Resistor), dan modul sensor INA219. Merancang rangkaian elektronik untuk integrasi sensor, mikrokontroler, dan komponen pendukung lainnya.
- Mengembangkan algoritma kontrol untuk sistem tracking yang dapat mengoptimalkan orientasi panel surya terhadap posisi matahari.

Implementasi Prototipe

- Merakit komponen hardware sesuai dengan desain yang telah dibuat.

- Mengimplementasikan algoritma kontrol pada mikrokontroler Arduino Uno.
- Menguji dan mengkalibrasi sensor LDR untuk memastikan akurasi pengukuran intensitas cahaya.

Pengujian Sistem

- Menguji kinerja sistem monitoring dengan mengumpulkan data real-time tentang intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya.
- Menguji sistem tracking dengan mengamati perubahan posisi panel surya sesuai dengan pergerakan matahari.
- Menguji sistem proteksi penyimpanan energi dengan memantau kondisi baterai selama proses pengisian dan pengosongan.

Analisis Data

- Menganalisis data yang diperoleh dari hasil pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.
- Membandingkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan dan tanpa sistem tracking.
- Mengevaluasi efektivitas sistem proteksi dalam menjaga umur dan kinerja baterai.

Variabel Penelitian

- Menganalisis hasil *monitoring* berdasarkan sudut kemiringan 30^0 , 65^0 , 110^0 , 145^0 .
- Membandingkan nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya pada kondisi jam 07:00-16:00 WIB.
- Mengevaluasi efektivitas sistem proteksi dengan menghitung nilai rata-rata pada *solar tracking*.

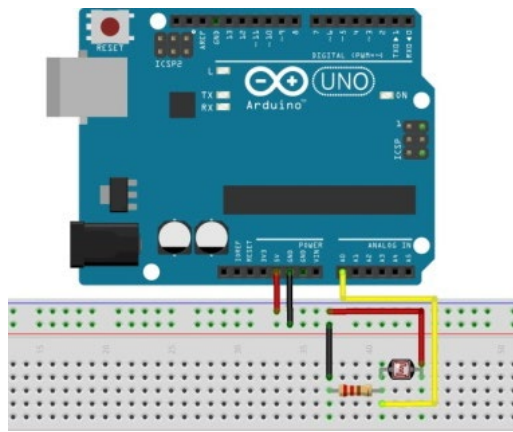
3. HASIL

Implementasi Sistem

Dengan menerapkannya sistem monitoring solar cell berbasis solar tracking dan sistem proteksi pada penyimpanan energi listrik dengan menggunakan Arduino Uno. Penggunaan sistem monitoring pada solar cell akan lebih memudahkan pemantauan nilai yang dihasilkan oleh penggunaannya. Pemakaian solar tracking dapat membantu pada penerimaan cahaya matahari lebih optimal yang selalu mengikuti arah sinar matahari, semakin besar intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh solar cell, maka semakin besar daya yang dihasilkan. Sistem proteksi pada penyimpanan energi listrik menggunakan modul M604 yang berfungsi sebagai pengatur memulai pengisian tegangan dan berhenti pengisian tegangan.

Rangkaian Sistem

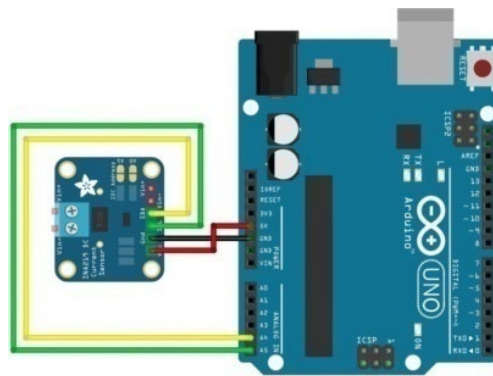
Berikut merupakan rangkaian sistem monitoring solar cell berbasis solar tracking menggunakan Arduino Uno, Sensor LDR (Light Dependent Resistor), Modul INA219, dan Motor Servo. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) disini berperan sebagai mendeteksi posisi cahaya matahari. Dimana nantinya sensor akan membaca besaran intensitas cahaya matahari dan data tersebut akan digunakan memberikan intruksi pada motor servo supaya bergerak pada posisi sensor LDR yang mendeteksi sinar matahari. Rangkaian sensor LDR ini menggunakan pin A0 dan 5v serta GND.



Gambar 1. Rangkaian Sensor LDR

Rangkaian Modul INA219

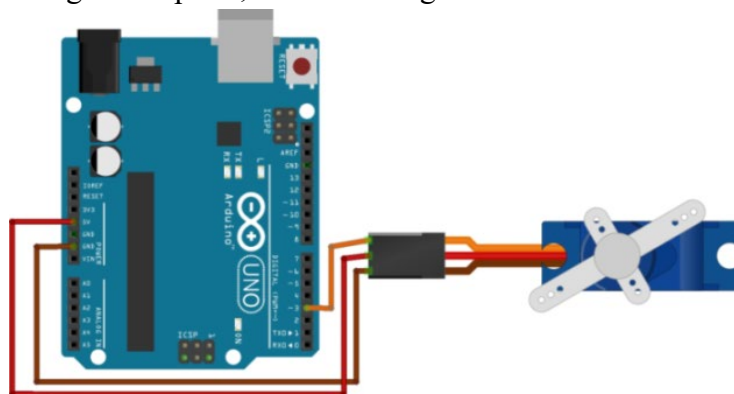
Modul INA219 difungsikan sebagai sensor yang akan mengirimkan data ke Arduino Uno untuk menyimpan data dalam bentuk besaran arus dan tegangan dalam interval waktu yang telah ditentukan. Data tersebut akan ditampilkan pada PC yang telah terhubung dengan Arduino Uno dengan menggunakan aplikasi PLX DAQ. Rangkaian modul INA219 ini menggunakan pin A4 dan A5, Vcc dihubungkan ke 5V, serta GND dengan GND pada Arduino Uno.



Gambar 2. Rangkain Modul INA219

Rangkaian Motor Servo

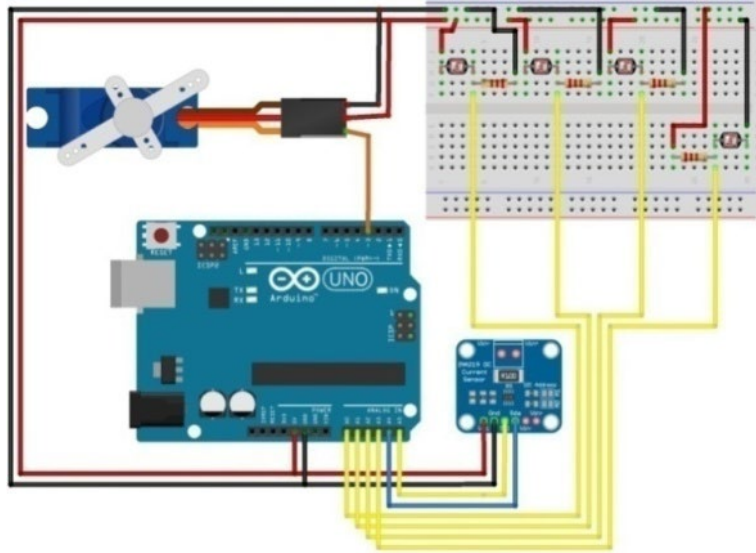
Motor servo adalah perangkat listrik atau akuator putar yang menggunakan sistem closed loop, sehingga dapat di-setup atau diatur untuk menentukan posisi sudut dari poros output motor. Pada sistem ini motor servo difungsikan menggerakkan solar cell supaya sesuai arah sinar matahari yang lebih optimal. Rangkaian motor servo ini menggunakan pin digital pada motor servo dihubunngkan ke pin 3, Vcc dihubungkan ke 5V serta GND dengan GND.



Gambar 3. Rangkaian Motor Servo

Konfigurasi Pin Keseluruhan Sistem

Konfigurasi pin keseluruhan sistem adalah pengujian dari semua komponen yang terkonfigurasi dengan benar. Konfigurasi tersebut terdiri dari sensor LDR (Light Dependent Resistor), modul sensor INA219, sebagai input dan motor servo sebagai output. Setelah semua komponen terkonfigurasi ke dalam Arduino Uno maka akan dilanjutkan dengan penanaman kode program pada semua komponen tersebut untuk melakukan pengujian semua sistem.



Gambar 4. Konfigurasi Pin Keseluruhan Sistem

Pengujian Sensor LDR

Pengujian Sensor LDR dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sensor tersebut dalam menangkap intensitas cahaya matahari. Hasil data dari sensor akan digunakan Arduino Uno untuk menggerakkan motor servo sesuai dengan nilai terbesar yang ditangkap oleh sensor LDR, sensor yang akan digunakan dalam pengujian berjumlah 4 buah yang diletakkan pada sudut yang telah ditentukan yaitu 30, 65, 110 dan 145 derajat. Untuk hasil cahaya yang ditangkap oleh sensor dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Nilai Besaran Pembacaan Sensor LDR

No	Sensor (1)	Sensor (2)	Sensor (3)	Sensor (4)	Sudut (°)
1	786 Ω	0	0	0	30°
2	0	852 Ω	0	0	65°
3	0	0	876 Ω	0	110°
4	0	0	0	542 Ω	145°

Dari tabel 1 diatas dapat dilihat nilai perbedaan antara nilai sensor LDR 1 sampai 4. Nilai LDR (Light Dependent Resistor) berupa nilai digital, dimana nilai terbesar akan menggerakkan solar cell sesuai sudut matahari.

Pengujian Modul INA219

Pengujian Modul INA219 ini dilakukan untuk mengetahui apakah modul tersebut dapat berfungsi dengan baik. Proses pengujian dilakukan dengan cara membandingkan dengan nilai yang dibaca oleh modul INA219 dibandingkan dengan perhitungan alat ukur multimeter untuk parameter yang diukur adalah tegangan (V), daya (P) dan Arus (I) pada solar cell. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Pengujian Modul INA219

No.	Multimeter		Modul INA219		Error	
	Digital					
	Volt	Ampere	Volt	Ampere	Volt	Ampere
1.	20,00	0,3	19,88	0,3	0,6	0
2.	19,00	0,1	19,00	0,1	0	0
3.	20,02	0,4	19,88	0,3	0,7	0,3
4.	20,00	0,3	19,88	0,4	0,6	0,3
5.	19,60	0,4	18,88	0,3	0,4	0,3
Rata-Rata Error (%)					0,46	0,18

Dari tabel diatas dapat kita lihat hasil pengujian Modul INA219, antara perhitungan dengan multimeter dengan modul INA219 errornya terbaca 0,46% untuk tegangan dan untuk arus 0,18% karena disetiap modul elektronika memiliki tingkat error tersendiri sehingga perbedaan antara nilai perhitungan dengan modul.

Pengujian Solar Cell Dengan Solar Tracking

Pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah *solar cell* dapat bergerak mengikuti cahaya matahari. Untuk melakukan pengujian hal tersebut, *solar cell* yang menggunakan *solar tracking* diletakkan pada halaman depan rumah. Pengujian dilakukan dari pagi jam 07:00 hingga sore hari jam 16:00 WIB, waktu tersebut merupakan efisiensi kerja penyinaran matahari [14]. Pada pagi hari pukul 07:00-08:30 WIB, posisi *solar cell* berada pada kemiringan sudut 30 derajat. Pada siang hari yang pertama yaitu pada pukul 09:00-11:00 WIB. Posisi *solar cell* berada pada sudut 65 derajat dan pada siang hari yang kedua pukul 12:30-14:30 WIB. Posisi *solar cell* berada pada kemiringan sudut 110 derajat. pada sore hari pukul 15:00-16:00 WIB. Posisi *solar cell* berada pada kemiringan sudut 145 derajat [15].

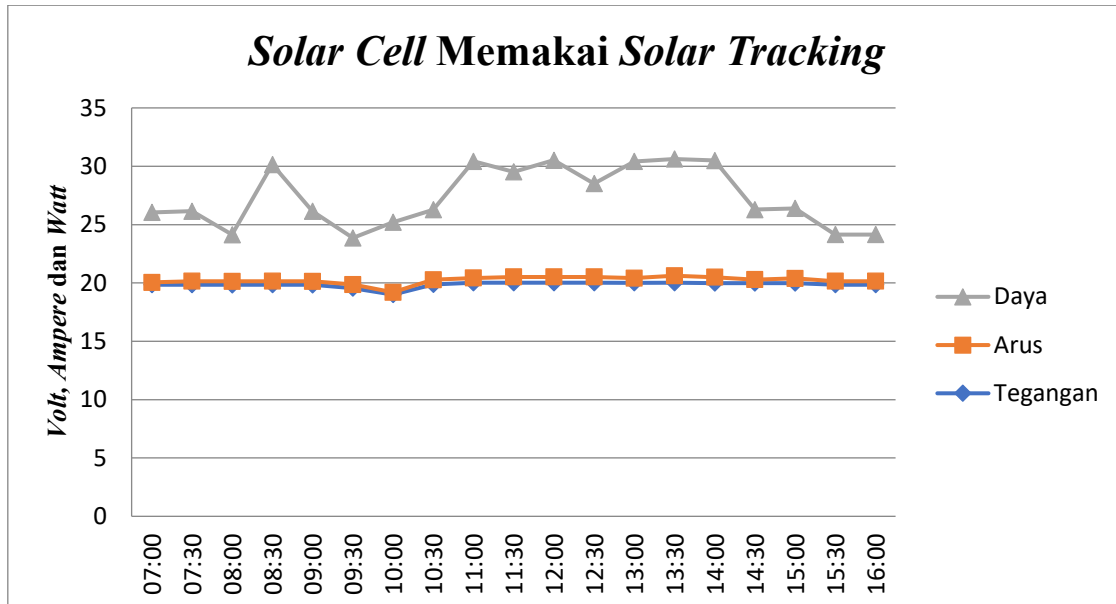
Pengujian Solar Cell Memakai Solar Tracking

Tabel 3. Pengujian Solar Cell Memakai Solar Tracking

No.	Jam	V (Volt)	I (Arus)	P (Daya)
1.	07:00	19,85	0,2	6
2.	07:30	19,85	0,3	6
3.	08:00	19,84	0,3	4
4.	08:30	19,85	0,3	10
5.	09:00	19,84	0,3	6
6.	09:30	19,56	0,3	4
7.	10:00	19,00	0,2	6
8.	10:30	19,88	0,4	6
9.	11:00	20,02	0,4	10
10.	11:30	20,02	0,5	9
11.	12:00	20,02	0,5	10
12.	12:30	20,02	0,5	8
13.	13:00	20,01	0,4	10
14.	13:30	20,02	0,6	10
15.	14:00	19,99	0,5	10
16.	14:30	19,99	0,3	6
17.	15:00	19,99	0,4	6

18.	15:30	19,85	0,3	4
19.	16:00	19,85	0,3	4
Rata-Rata		19,87 V	0,37 A	7,35 Watt

Dimana Pada tabel ini terlihat rata-rata dari parameter yang telah didapat dan disini terlihat bahwa solar cell yang menggunakan solar tracking sebesar 7,35 Watt, sedangkan solar cell tanpa solar tracking sebesar 6 Watt.



Gambar 5. Grafik Hasil Skenario Pertama *Solar Cell* Memakai *Solar Tracking*

Perhitungan

Dari data yang sudah didapatkan dari hasil pengujian skenario pertama dengan skenario kedua, maka dapat dilakukan perhitungan daya dan perbedaan pada daya listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* yang memakai *solar tracking* dengan *solar cell* tanpa *solar tracking*. Perhitungan daya yang dihasilkan yaitu perhitungan *Solar cell* memakai *solar tracking* [16].

$$P = V \cdot I$$

$$P = 19.87 \times 0.37$$

$$P = 7.3519 \text{ Watt}$$

Nilai Rata-Rata:

- Tegangan: 19,87 V
- Arus: 0,37 A
- Daya: 7,35 W

Interpretasi Data

Data menunjukkan bahwa solar cell yang dilengkapi dengan sistem solar tracking secara konsisten menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan stabil sepanjang hari. Arus yang dihasilkan juga bervariasi tetapi tetap relatif stabil, menghasilkan daya rata-rata sebesar 7,35 W. Puncak daya yang diamati adalah 10 W pada beberapa waktu dalam sehari, yang menunjukkan efektivitas sistem solar tracking dalam memaksimalkan penyerapan energi [17].

Pengujian Sistem Proteksi Pada Penyimpanan Energi Listrik

Pengujian pada penyimpanan energi listrik bertujuan untuk mencegah kerusakan pada baterai, dengan cara memutus sisi pengisian agar tidak melebihi batas kemampuan baterai. Pada pengujian ini modul M604 mengatur jumlah tegangan baterai, apabila jumlah tegangan kurang dari 12 Volt Dc, maka modul M604 akan memerintahkan relay yang kondisi NO

(*Normali Open*) menjadi NC (*Normali Close*) sehingga aliran listrik akan mengisi pada baterai dan lampu indikator akan hidup. Dan apabila baterai terdeteksi sudah mencapai tegangan 12 Volt maka M604 akan memerintahkan relay yang semula NC menjadi NO sehingga aliran listrik terputus dan lampu indikator akan mati. Proses ini bertujuan untuk baterai yang digunakan bisa lebih panjang umur pemakaiannya. Apabila pemakaian baterai melebihi kapasitas maka dapat memperpendek usianya dan sehingga akan merusak sel yang ada didalamnya [18].

4. PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja solar cell yang dilengkapi dengan sistem solar tracking dibandingkan dengan solar cell statis yang tidak menggunakan sistem tersebut. Hasil dari pengujian solar cell dengan solar tracking yang disajikan dalam Tabel 4.6 menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam hal tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan.

Hasil Pengujian Solar Cell dengan Solar Tracking

Solar cell dengan solar tracking menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 19,87 V, arus rata-rata sebesar 0,37 A, dan daya rata-rata sebesar 7,35 W. Adapun nilai daya tertinggi yang dicapai adalah 10 W pada beberapa waktu dalam sehari, khususnya pada siang hari saat intensitas cahaya matahari mencapai puncaknya [19].

Perbandingan dengan Solar Cell Tanpa Solar Tracking

Ketika dibandingkan dengan solar cell tanpa solar tracking, yang biasanya memiliki tegangan dan arus yang lebih rendah, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem solar tracking mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari. Solar cell statis cenderung tidak mampu menangkap cahaya matahari secara optimal sepanjang hari karena perubahan posisi matahari. Akibatnya, daya yang dihasilkan oleh solar cell statis berfluktuasi lebih besar dan seringkali lebih rendah dibandingkan dengan solar cell yang menggunakan *solar tracking*.

Pengaruh Solar Tracking terhadap Efisiensi

Sistem solar tracking bekerja dengan menggerakkan panel surya mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat. Dengan demikian, panel surya selalu berada pada sudut optimal terhadap sinar matahari, yang memungkinkan penyerapan energi yang maksimal. Keuntungan utama dari sistem ini adalah peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan oleh solar cell. Data dari pengujian menunjukkan bahwa solar tracking memungkinkan panel surya untuk menghasilkan daya yang lebih konsisten dan tinggi sepanjang hari [21].

Analisis Data Tegangan, Arus, dan Daya

1. **Tegangan (V):** Tegangan yang dihasilkan oleh solar cell dengan solar tracking bervariasi dari 19,00 V hingga 20,02 V. Nilai tegangan ini relatif stabil sepanjang hari, menunjukkan bahwa solar tracking mampu menjaga solar cell pada kondisi optimal.
2. **Arus (A):** Arus yang dihasilkan bervariasi dari 0,2 A hingga 0,6 A. Fluktuasi arus ini berkaitan langsung dengan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh solar cell. Sistem solar tracking membantu memaksimalkan arus yang dihasilkan dengan memastikan solar cell selalu berada pada posisi terbaik untuk menangkap sinar matahari.
3. **Daya (W):** Daya yang dihasilkan bervariasi dari 4 W hingga 10 W. Fluktuasi daya ini menunjukkan bagaimana perubahan intensitas cahaya matahari mempengaruhi output energi solar cell. Nilai daya yang lebih tinggi pada siang hari mengindikasikan bahwa solar tracking efektif dalam meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan.

Keunggulan Sistem Solar Tracking

4. **Optimalisasi Penyerapan Energi:** Dengan mengikuti pergerakan matahari, solar cell dapat menyerap energi matahari secara maksimal sepanjang hari.
5. **Peningkatan Efisiensi:** Sistem ini meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik, yang sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang konsisten dan tinggi.
6. **Pengurangan Fluktuasi Daya:** Solar tracking membantu mengurangi fluktuasi daya yang dihasilkan oleh solar cell, sehingga sistem penyimpanan energi dapat bekerja lebih efisien.

Implikasi pada Sistem Penyimpanan Energi

Salah satu aspek penting dari penelitian ini adalah proteksi sistem penyimpanan energi. Dengan output daya yang lebih konsisten dan tinggi dari solar cell yang menggunakan solar tracking, sistem penyimpanan energi dapat dioptimalkan. Proteksi ini penting untuk mencegah overcharging dan overdischarging yang dapat merusak baterai dan mengurangi umur pemakaiannya.

Pengujian Sistem Penyimpanan Energi

Pengujian pada sistem penyimpanan energi listrik bertujuan untuk melindungi baterai dari kerusakan akibat overcharging dan overdischarging. Modul M604 yang digunakan dalam pengujian ini berperan penting dalam mengatur tegangan baterai untuk memastikan baterai tidak terlalu terisi atau terlalu kosong, yang dapat merusak sel baterai dan mengurangi umur pemakaiannya.

5. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi solar tracking pada solar cell tidak hanya meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan, tetapi juga mendukung optimalisasi sistem penyimpanan energi. Dengan mempertahankan tegangan, arus, dan daya pada tingkat yang lebih stabil dan tinggi sepanjang hari, sistem solar tracking membantu dalam menjaga konsistensi daya yang masuk ke sistem penyimpanan energi. Hal ini krusial untuk memastikan baterai beroperasi dalam rentang tegangan yang aman, menghindari kerusakan yang disebabkan oleh kondisi pengisian atau pengosongan yang ekstrem. Implementasi sistem proteksi seperti modul M604 dalam konteks ini sangat penting untuk memperpanjang umur pemakaian baterai, mengurangi biaya penggantian, dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, penggunaan solar tracking tidak hanya mengoptimalkan penyerapan energi matahari tetapi juga mendukung keberlanjutan dan efisiensi sistem energi terbarukan secara lebih luas. Implementasi sistem solar tracking di Indonesia, dengan potensi radiasi matahari yang tinggi, dapat menjadi langkah penting dalam memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dan mendukung inisiatif keberlanjutan energi di negara ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM), Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga Probolinggo, dan tim peneliti yang telah memfasilitasi dalam penyelesaian proyek penelitian. Penelitian ini merupakan luaran wajib publikasi untuk menunjang sarana Laboratorium Teknik Elektro dengan skema pendanaan mandiri pada tahun 2024.

REFERENSI

- [1] B. Budiono, I. B. Sulistiawati, and N. P. Agustini, "Penggunaan NRF24L01 Untuk Monitoring Data Pada PLTS Kapasitas 309 WP," *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: <https://doi.org/10.56795/fortech.v4i1.4101>
- [2] M. R. Al Haqq, I. Chlissodin, and A. A. Soebroto, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya dalam Kondisi Berbayang Sebagian dengan Particle Swarm Optimization (PSO)," *Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 8, pp. 3524–3537, 2021. Available online: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/9607>
- [3] H. Abdillah, T. Asrori, M. A. Baihaqi, D. H. T. Prasetyo, and A. Muhammad, "Sistem Monitoring dan Manajemen Energi pada Pembangkit Hybrid PLTS, PLTB, dan PLN berbasis Internet of Things," *JASIEK (Jurnal Apl. Sains, Informasi, Elektron. dan Komputer)*, vol. 5, no. 2, pp. 41–50, 2023, doi: <https://doi.org/10.26905/jasiek.v5i2.10920>
- [4] R. A. Diantari, S. Rahayu, and R. Okvasari, "Analisis Instalasi Listrik Menggunakan Pembangkit Listrik Surya Skala Rumah Tangga," *J. Ilm. Sutet*, vol. 8, no. 2, pp. 122–128, 2018. Available online: <https://www.neliti.com/id/publications/538499/>
- [5] E. Unit Three Kartini, Bambang Suprianto, "Sistem Monitoring dan Pengukuran Pembangkit Listrik Surya dan Angin Berbasis Internet of Things Sistem Monitoring dan Pengukuran Pembangkit Listrik Surya dan Angin Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 3, pp. 371–378, 2022. doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v11n3.p371-378>
- [6] H. Abdillah, A. N. Afandi, Aripriharta, Y. Rahmawati, M. Z. Falah, and G. Fujita, "Monitoring The Potential of Horizontal Axis Wind Power Plants Based on The Internet of Things," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2926, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0183360>
- [7] Fransiscus Xaverius Ariwibisono and Widodo Pudji Muljanto, "Implementasi Sistem Monitoring Produksi Energi Plts Berbasis Protokol Modbus Rtu Dan Modbus Tcp," *Nuansa Inform.*, vol. 17, no. 2, pp. 109–118, 2023, doi: <https://doi.org/10.25134/ilkom.v17i2.28>
- [8] D. Liestyowati, I. Rachman, E. Firmansyah, and Mujiburrohmah, "Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berkapasitas 100 WP dengan Inverter 1000 Watt," *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 623–634, 2022, doi: <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.1027>
- [9] R. Sunky and R. Mukhaiyar, "Implementasi Web SCADA Pada Sistem PLTS," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 792–798, 2023, doi: <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.510>
- [10] Safrin Nahela, Ivan Fauzi Faridyan, Noviadi Arief Rachman, Agus Risdiyanto, and Bambang Susanto, "Analisa Unjuk Kerja Grid Tied Inverter Terhadap Pengaruh Radiasi Matahari dan Temperatur PV pada PLTS On Grid," *Elkha*, vol. 11, no. 2, pp. 60–65, 2019. doi: <https://doi.org/10.26418/elkha.v11i2.31452>
- [11] M. Farhan Fernanda et al., "Penentuan Komponen Sistem PLTS 100 Wp pada Floating Photovoltaic sebagai Sumber Energi Lampu Penerangan 20 W Pada Kolam Politeknik Negeri Jakarta," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 171–180, 2021. Available online: <http://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/4005>

- [12] Y. Afrida, Jeckson, and D. Feriyanto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya on Grid," *Aisyah J. Informatcs Electr. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 74–77, 2022. Available online: <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/SNTIKI/article/view/3360>
- [13] Lisiani, A. Razikin, and Syaifurrahman, "Identifikasi dan Analisis Jenis Beban Listrik Rumah Tangga Terhadap Faktor Daya (Cos Phi)," *J. Untan*, vol. 1, no. 3, pp. 1–9, 2020. doi: <https://doi.org/10.26418/j3eit.v8i1.38675>
- [14] S. Azmi, Y. Away, and I. Devi Sara, "Kajian Aspek Kecepatan dan Ketepatan pada Sun Tracker Dua Sumbu Berbasis Sensor Berbentuk Tetrahedron," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 2, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.17529/jre.v15i2.13546>
- [15] J. Rezkyanzah, L. P. Purba, and C. A. Putra, "Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino Sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell Dalam Penyerapan Energi Matahari," *SCAN J. Teknol. dan Komun.*, vol. XI, no. 2, pp. 55–60, 2016. doi: <https://doi.org/10.33005/scan.v11i2.646>
- [16] J. Wu, X. Chen, and L. Wang, "Design and Dynamics of a Novel Solar Tracker with Parallel Mechanism," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 21, no. 1, pp. 88–97, Feb. 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2015.2446994>
- [17] Y. R. Al-Saadi, M. S. Tapou, A. A. Badi, S. Abdulla, and M. Diykh, "Developing Smart Self Orienting Solar Tracker for Mobile PV Power Generation Systems," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 79090–79099, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3194026>
- [18] C. D. Rodriguez-Gallegos, O. Gandhi, S. K. Panda, and T. Reindl, "On the PV Tracker Performance: Tracking the Sun Versus Tracking the Best Orientation," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 10, no. 5, pp. 1474–1480, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2020.3006994>
- [19] H. Fathabadi, "Novel online sensorless dual-axis sun tracker," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 22, no. 1, pp. 321–328, Feb. 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2016.2611564>
- [20] T. V. Tran and W. Y. Chung, "High-Efficient Energy Harvester with Flexible Solar Panel for a Wearable Sensor Device," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 24, pp. 9021–9028, Dec. 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2616114>
- [21] J. A. Carrasco, F. G. De Quiros, H. Alaves, and M. Navalón, "An analog maximum power point tracker with pulsewidth modulator multiplication for a solar array regulator," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 34, no. 9, pp. 8808–8815, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2886887>