



ANALISIS PENGARUH ENERGI MATAHARI TERHADAP TEGANGAN KELUAR SOLAR CELL PADA RANCANG BANGUN SOLAR TRACKING BERBASIS MICROCONTROLLER

Steven Sitompul^a, Husin Ibrahim^{b*}, Angga Bahri Pratama^a, Faisal Fahmi Hasan^a

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^bProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

*Corresponding authors at: husinibrahim@polmed.ac.id (Husin Ibrahim) Telp: +62 812-6489-456

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 28 Juli 2024

Direvisi pada 28 Agustus 2024

Disetujui pada 29 Agustus 2024

Tersedia daring pada 06 September 2024

Kata kunci:

Solar tracking, mikrokontroler, energi terbarukan

Keywords:

Solar tracking, microcontroller, renewable energy

ABSTRAK

Solar tracking adalah teknologi yang dirancang untuk memaksimalkan penyerapan energi surya dengan memastikan bahwa panel surya selalu menghadap matahari pada sudut yang optimal. Dalam studi ini, sistem pelacakan surya menggunakan mikrokontroler untuk menyesuaikan orientasi panel surya sesuai dengan pergerakan matahari sepanjang hari. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki bagaimana sinar matahari mempengaruhi tegangan keluaran sel surya dalam sistem pelacakan surya berbasis mikrokontroler tersebut. Percobaan ini melibatkan pengukuran tegangan keluaran sel surya dalam berbagai kondisi cuaca dan posisi matahari dengan panel surya sebesar 50 WP. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan sistem pelacakan surya menghasilkan tegangan keluar rata-rata 13,93 V dibandingkan dengan panel surya yang tetap yang menghasilkan tegangan keluar rata-rata sebesar 11,4 V. Studi ini menyimpulkan bahwa penggunaan sistem pelacakan surya berbasis mikrokontroler secara signifikan meningkatkan tegangan keluaran sel surya sebesar 2,53 V atau meningkatkan efisiensi sekitar 22% dalam mengubah energi surya menjadi energi listrik. Oleh karena itu, adopsi teknologi ini diharapkan menjadi solusi yang sangat efektif dalam memanfaatkan energi terbarukan, khususnya energi surya.

ABSTRACT

The solar panels are always facing the sun at the best angle, solar tracking technology helps to maximise the amount of solar energy absorbed. The solar tracking system in this study employs a microcontroller to change the solar panels' orientation based on how the sun moves during the day. This study's primary goal is to find out how sunlight impacts the solar cells' output voltage in a solar tracking system that uses microcontrollers. In this experiment, a 50 WP solar panel is used to measure the output voltage of solar cells in varied weather and sun locations. According to the findings, the installation of the solar tracking system resulted in an average output voltage of 13.93 V, which is higher than the average output voltage of 11.4 V produced by the current solar panels. According to the study's findings, using a microcontroller-based solar tracking system dramatically raises solar cells' output voltage by 2.53 V or boosts their efficiency in converting solar radiation into electrical energy by about 22%. As a result, it is anticipated that the use of this technology will be a very practical way to use renewable energy, particularly solar energy.

1. PENGANTAR

Energi surya menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan teknologi energi terbarukan karena potensinya untuk menyediakan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan. Penggunaan solar cell atau sel surya sebagai alat untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik telah menjadi solusi yang semakin populer dalam mengatasi masalah ketergantungan pada bahan bakar fosil dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. (Abrori dkk, 2017)

Dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan energi surya, teknologi solar tracking telah dikembangkan. Solar tracking memungkinkan panel surya untuk secara otomatis mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, sehingga meningkatkan jumlah cahaya matahari yang diterima oleh panel surya dan secara langsung mempengaruhi kinerja solar cell dalam menghasilkan tegangan keluar. Dalam penelitian ini, akan dibahas bagaimana sinar matahari mempengaruhi kinerja solar cell dalam sistem solar tracking yang menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali.

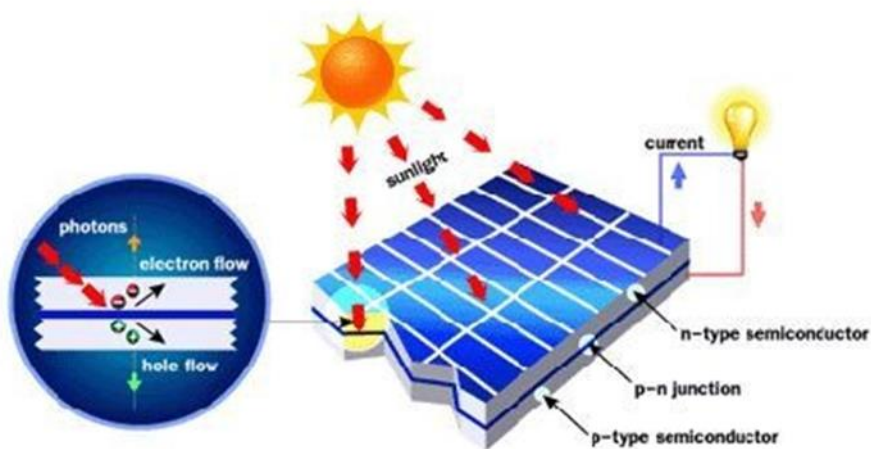
Berbagai metode dan alat ukur untuk mengukur kinerja solar cell dalam berbagai kondisi sinar matahari. Mikrokontroler akan mengukur tegangan keluar solar cell, arus keluar solar cell, dan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Selain itu, peneliti juga akan menganalisis bagaimana mikrokontroler berperan dalam mengatur sistem solar tracking untuk memaksimalkan kinerja solar cell. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan dan teknologi dalam pengembangan sistem solar tracking yang lebih efektif dan efisien dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik

1.1. Solar Cell

Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *Photovoltaic* (Nugroho dkk, 2019). Kata *photovoltaic* terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta*. *Photo* berarti cahaya dan *volta* berarti unit tegangan listrik (Myrori dkk, 2019). Efek *Photovoltaic* adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, *solar cell* sering disebut juga dengan *Sel Photovoltaic (PV)*. Efek *Photovoltaic* ini ditemukan oleh *Henry Becquerel* pada tahun 1839. Pada dasarnya, sel surya merupakan dioda foto (*photodiode*) yang memiliki permukaan yang sangat besar. Permukaan luas sel surya tersebut menjadikan perangkat sel surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih kuat dari dioda foto pada umumnya. Contohnya, sebuah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5V dan arus setinggi 0,1A saat terkena cahaya matahari.

1.2. Prinsip Kerja Solar Cell

Prinsip kerja dari panel surya bisa dilihat pada Gambar 1 di bawah ini, dimulai ketika pancaran sinar matahari yang tersusun dari foton menabrak atom semikonduktor silikon dari solar panel. Sehingga bisa menimbulkan energi besar yang mampu untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang sudah berpisah serta memiliki muatan negatif akan bergerak ke daerah konduktor dari material semikonduktor. Atom yang telah hilang elektronnya, maka strukturnya akan kosong yang disebut dengan hole yang bermuatan positif. Jika ada elektron bebas yang sifatnya negatif, maka bisa menjadi pendonor elektron atau disebut dengan semikonduktor tipe "n". Dan untuk semikonduktor dengan hole bermuatan positif akan menjadi penerima elektron atau semikonduktor tipe "p". Antara daerah positif dan negatif itulah bisa memunculkan energi yang kemudian mendorong elektron dan hole menjadi berlawanan. Di mana elektron akan jauh dari daerah negatif dan hole akan jauh dari daerah positif.



Gambar 1: Cara kerja sel surya dengan prinsip *p-n junction*

Secara sederhana, proses pembentukan energi listrik pada sebuah sel surya adalah sebagai berikut; (a) Foton dari cahaya matahari menyinari panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon. (b) Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya silikon. (c) Susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC, yang nantinya akan disimpan dalam suatu tempat yang dinamakan baterai. (d) Daya listrik DC tidak dapat langsung digunakan pada rangkaian listrik rumah atau bangunan sehingga harus mengubah daya listriknya menjadi daya listrik AC. Dengan menggunakan konverter maka daya listrik DC dapat berubah menjadi daya listrik AC sehingga dapat dimanfaatkan untuk memenuhi keperluan listrik.

1.3. Polycrystalline Silicon

Polycrystalline silicon (Witono dkk, 2021) merupakan jenis panel surya yang umum digunakan di banyak jenis bangunan. Kebanyakan panel surya yang ditemukan di Indonesia menggunakan jenis yang satu ini. Teknologi panel surya tersebut terbuat dari batang silikon yang bisa dicairkan. *Polycrystalline silicon* juga memiliki kelebihan dari segi susunan yang lebih rapat dan rapi. Saat ini penulis menggunakan panel surya tipe *polycrystalline silicon* 50 WP.

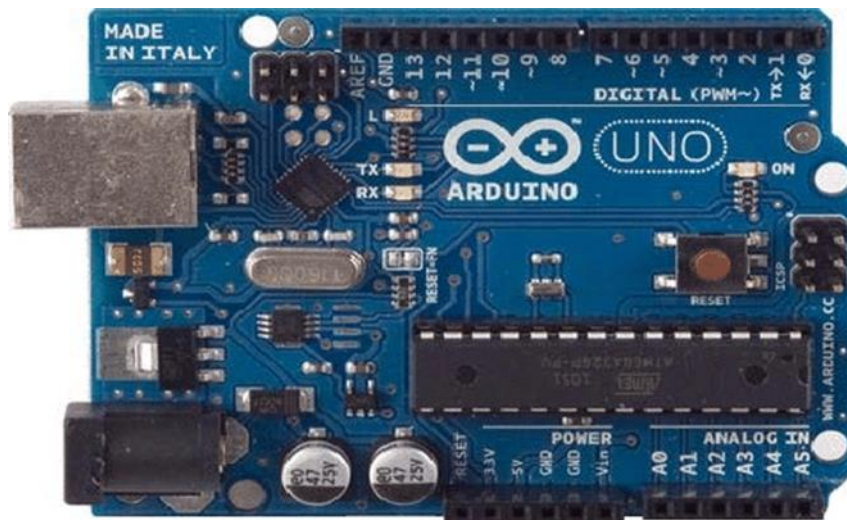


Gambar 2: Polycrystalline silicon

Karakteristik *polycrystalline silicon* adalah mempunyai tampilan yang cukup unik seperti yang ada pada Gambar 2. Jika dilihat lebih detail, panel surya akan terlihat lebih unik karena terkesan seperti ada retakan-retakan pada bagian dalam sel surya. Sama seperti jenis panel surya yang lain pada umumnya, jenis panel surya *polycrystalline silicon* juga memiliki kelemahan atau kekurangan. *Polycrystalline silicon* tidak cocok dengan wilayah atau area yang memiliki curah hujan tinggi.

1.4. Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (*datasheet*). Memiliki 14 pin input dari out 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 ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya. Setiap 14 pin digital pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Tanda kurung pada fungsi *pinmode()* disini merupakan kelompok argumen, seperti metode, fungsi, atau pernyataan kode dan perintah. Fungsi fungsi tersebut beroperasi ditegangan 5 V, Setiap pin dapat memberikan atau menerima suatu arus maksimum 40 mA dan mempunyai sebuah *resistor pull-up* (terputus secara default) 20-50 kOhm.



Gambar 3: Arduino Uno

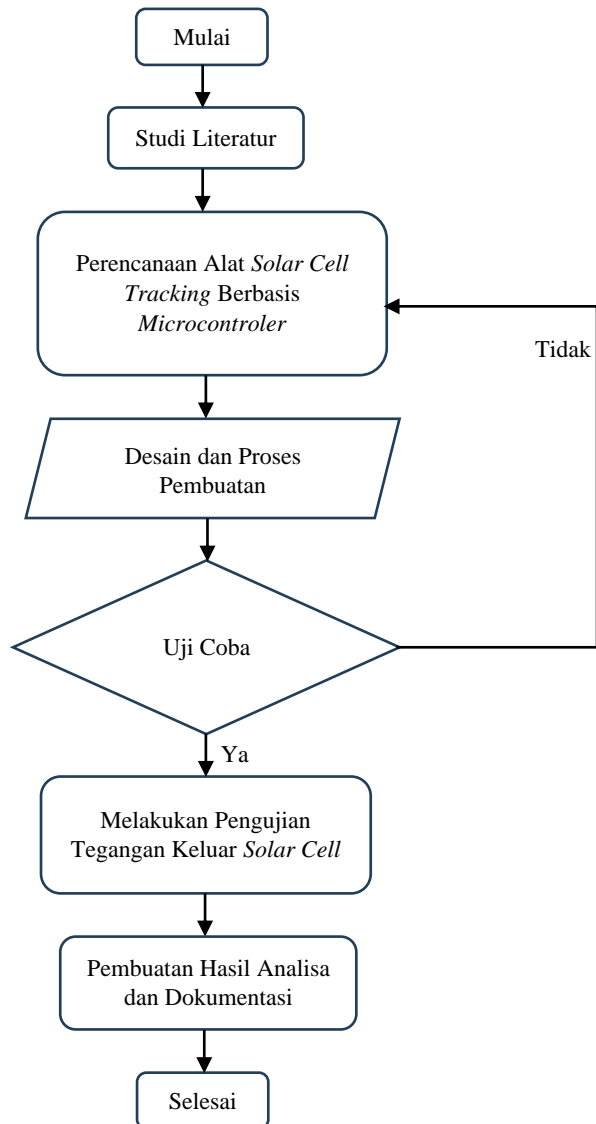
1.5. Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti cahaya dan fenomena-fenomena lingkungan alam lainnya. Setelah mengamati terjadinya perubahan, maka Input yang terdeteksi tersebut akan dikonversi menjadi Output yang dapat dimengerti oleh manusia baik melalui perangkat sensor itu sendiri ataupun ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan untuk ditampilkan atau diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunanya. Sensor pada dasarnya dapat digolong sebagai Transduser Input karena dapat mengubah energi fisik seperti cahaya atau energi fisik lainnya menjadi sinyal listrik ataupun resistansi (yang kemudian dikonversikan lagi ke tegangan atau sinyal listrik). Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah **Light Dependent Resistor (LDR)** atau sensor cahaya. Sensor cahaya adalah sensor analog yang digunakan untuk mendeteksi jumlah cahaya yang mengenai sensor tersebut. Sensor cahaya analog ini dapat diklasifikasikan lagi menjadi beberapa jenis seperti foto-resistor, *Cadmium Sulfide (CdS)*, dan fotosel. Sensor ini dapat digunakan sebagai sensor cahaya analog yang fungsinya untuk menghidupkan dan mematikan beban secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya. Resistansi LDR akan meningkat. apabila intensitas cahaya menurun. Sebaliknya, Resistansi LDR akan menurun apabila intensitas cahaya yang diterimanya bertambah dan juga ditunjukkan dengan Arduino Uno.

2. METODE

2.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian sangat penting dalam kegiatan penelitian yang akan maupun yang sudah dikerjakan, karena akan sangat memudahkan memahami bagaimana penelitian itu dimulai sampai berakhirnya penelitian tersebut. Berikut adalah diagram penelitian yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 4: Diagram alir penelitian

Studi Literatur; Seperti yang telah dilakukan bahwa penulis memilih melakukan studi pustaka dan juga beberapa pengamatan dan literasi yang baik terhadap teori yang akan penulis angkat baik itu juga melalui buku, internet, majalah, pembimbing dan pada hal ini penulis melakukan kegiatan analisis sesuai standar yang berlaku dan perancangan alat yang baik, sehingga penulis dapat melakukan beberapa pengamatan dan pembuatan data guna keperluan keaslian dan keakuratan data yang penulis miliki dan penulis kaji selama melakukan penulisan dan pembuatan laporan akhir ini. Perancangan; Langkah perancangan untuk sistem solar tracking yang menggunakan mikrokontroler (Arduino) melibatkan beberapa tahapan utama, mulai dari pembuatan kerangka hingga pengujian alat. Pengujian Alat; Metode pengujian rancangan bertujuan untuk memastikan bahwa sistem solar tracking berbasis mikrokontroler yang telah dirancang berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang dihasilkan oleh panel surya. Analisa Data: Pengolahan dan analisis hasil pengujian alat merupakan tahap krusial dalam penelitian ini untuk menentukan efektivitas dan efisiensi sistem solar tracking berbasis mikrokontroler.

2.2. Langkah Perancangan

Berikut adalah langkah-langkah perancangan: (a) Pembuatan kerangka *solar cell*. Pada proses ini dilakukannya pengerjaan mekanik dimana untuk membuat kerangka *solar cell* ini terbuat dari besi, langkah awal yaitu pemotongan besi sesuai dengan ukuran dimensi 3 x 3 m, setelah itu dilanjutkan dengan proses *joining* yaitu penyambungan dan pengelasan yang menggunakan mesin las sehingga menjadi kerangka *solar cell* dengan dimensi yang telah dibuat. (b) Wiring sistem keseluruhan. Sensor cahaya, LDR, sensor arus, dan sensor tegangan dihubungkan ke *pin analog arduino* untuk membaca data sensor. LCD display terhubung ke pin I2C *Arduino* (SDA dan SCL) untuk menampilkan data sensor. *Motor Driver* dihubungkan ke *pin digital Arduino* untuk mengendalikan pergerakan motor. *Solar Charge*

Controller menghubungkan panel surya ke baterai dan mengatur pengisian. Baterai menyimpan energi dan menyuplai daya ke inverter. Inverter mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC untuk menyalakan lampu. Lampu dihubungkan ke *output* AC inverter untuk mendapatkan pasokan daya. Wiring yang sudah sesuai, sistem *solar tracking* ini akan dapat memantau dan mengoptimalkan posisi panel surya berdasarkan intensitas cahaya, mengukur arus dan tegangan, serta mengelola pengisian dan penggunaan energi secara efektif.

2.3. Metode Pengujian Rancangan/Alat

Berikut adalah tahapan dan metode yang digunakan dalam pengujian rancangan: (a) Menguji sensor dengan sumber cahaya yang dapat diatur intensitas dan arah cahayanya. Memastikan sensor memberikan output yang benar sesuai dengan intensitas dan arah cahaya. Menghubungkan sensor ke sumber daya yang diketahui untuk memastikan sensor mengukur arus dan tegangan dengan akurat. (b) Memastikan mikrokontroler dapat menerima, mengolah data sensor, dan mengirim perintah yang tepat ke motor driver. (c) Memeriksa kodingan pada mikrokontroler untuk memastikan tidak ada kesalahan logika atau bug. (d) Memastikan motor driver dapat menerima perintah dari mikrokontroler dan menggerakkan actuator motor dengan benar. Memeriksa apakah actuator motor dapat memposisikan panel surya dengan akurat. (e) Menghubungkan SCC dengan panel surya dan baterai untuk memastikan SCC dapat mengatur pengisian baterai dengan aman dan efisien. (f) Memastikan LCD display dapat menampilkan data dari sensor dengan benar. (g) Menguji semua komponen bersama-sama dalam satu sistem untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan desain.

2.4. Metode Pengolahan/Analisa Hasil Pengujian Alat

Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan dalam metode pengolahan dan analisis hasil pengujian: (a) Mengumpulkan data tegangan keluar dari *solar cell* yang telah diukur selama pengujian pada berbagai kondisi cuaca dan posisi matahari. (b) Mencatat waktu pengukuran untuk memastikan data yang baik sepanjang hari. (c) Mencatat kondisi cuaca (cerah, berawan, hujan) selama pengujian untuk analisis lebih lanjut. (d) Catat hasil pengukuran mulai dari intensitas cahaya, arus dan tegangan yang dapat dilihat pada LCD. (e) Menghitung rata-rata tegangan keluar dari *solar cell* pada sistem *solar tracking* dan sistem panel surya. (f) Membuat grafik tegangan keluar dari *solar cell* untuk sistem *solar tracking* menunjukkan perubahan tegangan sepanjang hari. (g) Menyusun tabel yang merangkum hasil pengukuran untuk memudahkan analisis perbandingan. Metode pengolahan dan analisis hasil pengujian yang sistematis ini, diharapkan dapat diperoleh data yang valid dan akurat mengenai kinerja sistem *solar tracking*, serta dapat diidentifikasi area yang memerlukan perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Alat

Pengujian dilakukan dalam kurun waktu 1 hari mulai dari pukul 08.00-17.00 WIB secara bertahap. Data yang diperoleh oleh penulis merupakan data percobaan pada tegangan keluaran dan arus keluaran pada panel surya. Setelah memperoleh data (lux, arus dan tegangan) maka nilai daya keluaran dari solar panel 50 WP ditentukan dengan persamaan (Darwin dkk, 2020):

$$P = V \times I \quad (1)$$

Keterangan:

P	= Daya (W)
V	= Tegangan (V)
I	= Arus (A)

Kemudian untuk menentukan arus dan tegangan rata-rata pada setiap hari pengambilan data dengan persamaan:

$$I_{rata-rata} = \frac{\text{Total Arus}}{\text{Jumlah Percobaan}} \quad (2)$$

$$V_{rata-rata} = \frac{\text{Total Tegangan}}{\text{Jumlah Percobaan}} \quad (3)$$

Dari hasil daya keluaran, arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya 50 WP selanjutnya akan dibandingkan melalui grafik perbandingan. Pengambilan data pada hari Selasa 2 Juli 2024, keadaan cuaca di lokasi pengambilan data bervariasi dari cerah sampai tertutup awan. Hal itu mengakibatkan arus dan tegangan yang keluar dari panel surya fluktuatif yang dikarenakan sinar matahari tidak konstan karena faktor alam lainnya.

3.2. Hasil Pengambilan Data

Dari hasil pengujian alat data yang dapat dihasilkan sebagai berikut:

Tabel 1: Data Hasil Pengujian

Waktu	Intensitas Cahaya Matahari (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	31276	14,2	1,38	19,59
09:00	38143	14,9	1,41	21,01
10:00	41753	15,1	1,44	21,74
11:00	46641	15,3	1,49	22,79
12:00	49853	15,9	1,54	24,48
13:00	48857	15,6	1,50	23,4
14:00	31158	13,9	1,37	19,04
15:00	26631	12,7	1,24	15,74
16:00	11785	11,3	0,98	11,07
17:00	11553	11,1	0,92	10,21

Maka dari tabel di atas dapat dihitung rata-rata tegangan, arus dan daya yang dihasilkan panel surya 50 WP.

a. Rata-rata Tegangan

$$\begin{aligned}
 V_{rata-rata} &= \frac{\text{Total Tegangan}}{\text{Jumlah Percobaan}} \\
 &= \frac{14,2+14,9+15,1+15,3+15,9+15,6+13,9+12,7+11,3+11,1}{10} \\
 &= 13,93 \text{ V}
 \end{aligned}$$

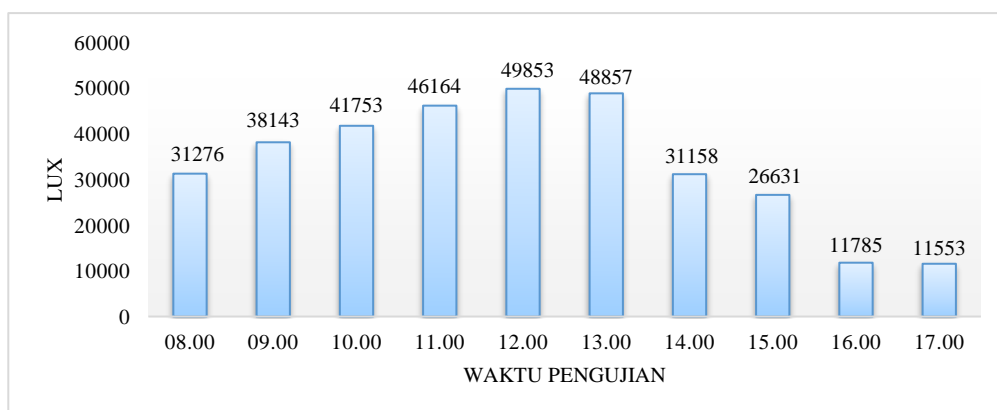
b. Rata-rata Arus

$$\begin{aligned}
 I_{rata-rata} &= \frac{\text{Total Arus}}{\text{Jumlah Percobaan}} \\
 &= \frac{1,38+1,41+1,44+1,49+1,54+1,50+1,37+1,24+0,98+0,92}{10} \\
 &= 1,327 \text{ A}
 \end{aligned}$$

c. Rata-rata Daya

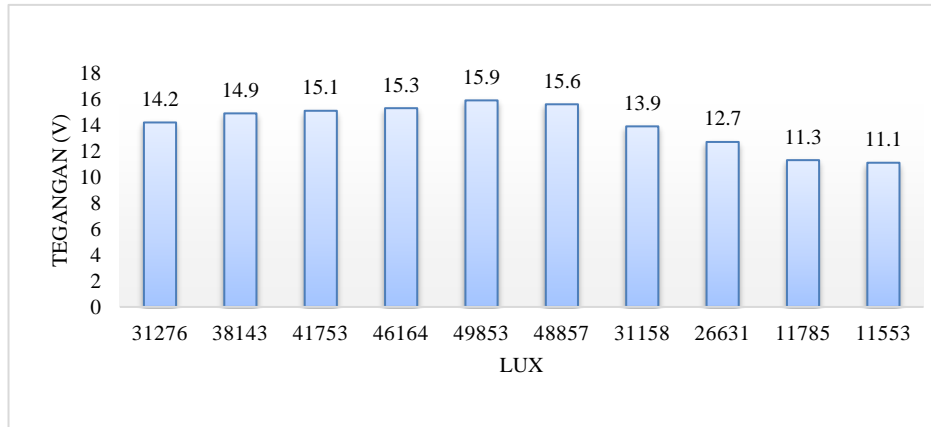
$$\begin{aligned}
 Prata-rata &= V_{rata-rata} \cdot I_{rata-rata} \\
 &= 13,93 \text{ V} \cdot 1,327 \text{ A} \\
 &= 18,48 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Maka grafik perbandingan nilai besaran lux dengan waktu adalah sebagai berikut:



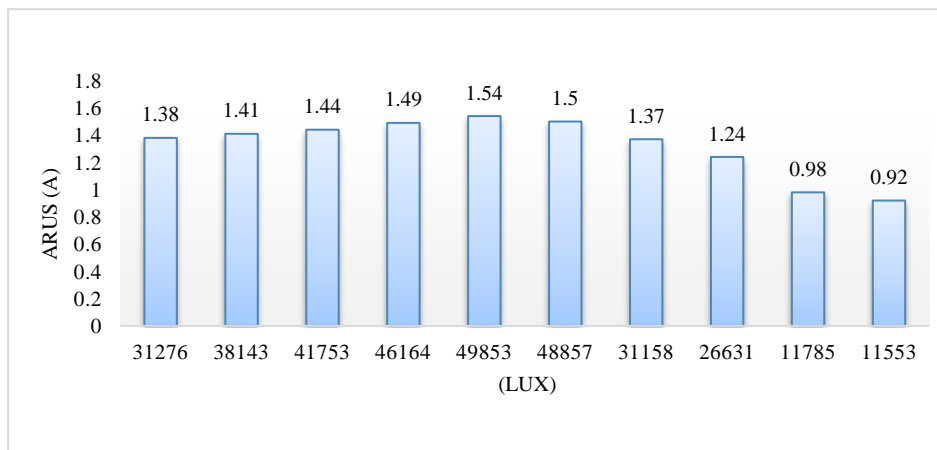
Gambar 5: Perbandingan nilai besaran lux pada pengujian dengan waktu

Berikut grafik perbandingan besaran Lux dengan Tegangan keluar pada percobaan sebagai berikut:



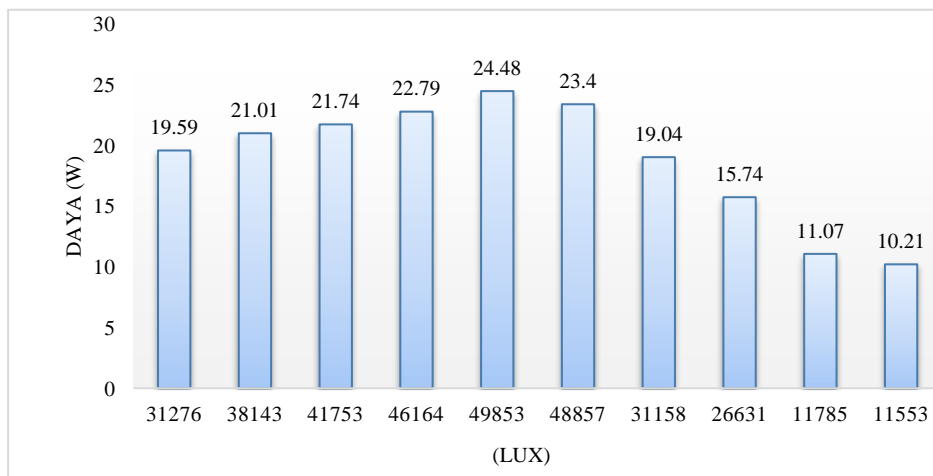
Gambar 6: Perbandingan besaran Lux dengan Tegangan keluar pada percobaan

Berikut grafik perbandingan besaran Lux dengan Arus keluar pada percobaan sebagai berikut:



Gambar 7: Perbandingan besaran Lux dengan Arus keluar pada percobaan

Berikut grafik perbandingan besaran Lux dengan Daya yang dihasilkan sebagai berikut:



Gambar 8: Perbandingan besaran Lux dengan Daya keluar pada percobaan

3.3. Analisis

Percobaan ini menunjukkan hubungan yang signifikan antara intensitas cahaya matahari dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari, yang menandakan bahwa lebih banyak energi matahari yang diubah menjadi listrik ketika cahaya matahari lebih intens. Peningkatan tegangan ini terus berlanjut hingga mencapai puncaknya sekitar tengah hari, saat intensitas cahaya matahari berada pada tingkat tertinggi. Selanjutnya, ketika intensitas cahaya matahari mulai menurun menjelang sore hari, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya juga mengalami penurunan. Hal ini menegaskan bahwa efisiensi panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya, dan puncak efisiensi biasanya

terjadi pada saat intensitas cahaya matahari maksimum, yaitu sekitar tengah hari. Hasil percobaan ini menekankan pentingnya penyesuaian posisi panel surya untuk mengoptimalkan penyerapan energi sepanjang hari. Dari data pengukuran yang telah disajikan, kita dapat menganalisis kinerja sistem solar tracking berdasarkan intensitas cahaya matahari, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pada berbagai waktu dalam sehari sebagai berikut: **Analisis Intensitas Cahaya. Pagi Hari (08:00 - 10:00):** (1) Intensitas cahaya meningkat dari 31276 Lux pada pukul 08:00 menjadi 41753 Lux pada pukul 10:00. (2) Ini menunjukkan bahwa sinar matahari mulai intens di pagi hari, memberikan lebih banyak energi untuk diubah menjadi listrik. **Siang Hari (11:00 - 13:00):** (1) Intensitas cahaya mencapai puncaknya pada 49853 Lux sekitar pukul 12:00. (2) Intensitas cahaya masih cukup tinggi pada pukul 13:00 (48857 Lux), menunjukkan bahwa siang hari adalah waktu yang paling efektif untuk menghasilkan daya maksimal. **Sore Hari (14:00 - 17:00):** (1) Intensitas cahaya mulai menurun dari 31158 Lux pada pukul 14:00 menjadi 11553 Lux pada pukul 17:00. (2) Penurunan ini menunjukkan bahwa sistem harus menyesuaikan posisi panel surya untuk menangkap sisa energi matahari yang tersedia. **Analisis Tegangan dan Arus. Pagi Hari (08:00 - 10:00):** (1) Tegangan meningkat dari 14,2 V pada pukul 08:00 menjadi 15,1V pada pukul 10:00. (2) Arus juga meningkat dari 1,38 A menjadi 1,44 A, menunjukkan peningkatan daya yang dihasilkan seiring dengan peningkatan intensitas cahaya. **Siang Hari (11:00 - 13:00):** (1) Tegangan dan arus mencapai puncaknya pada pukul 12:00 dengan nilai masing-masing 15,9 V dan 1,54 A. (2) Ini adalah kondisi optimal di mana sistem *solar tracking* bekerja dengan efisiensi maksimal untuk menghasilkan daya yang lebih besar. **Sore Hari (14:00 - 17:00):** (1) Tegangan dan arus mulai menurun seiring dengan penurunan intensitas cahaya. (2) Pada pukul 17:00, tegangan turun menjadi 11,1 V dan arus menjadi 0,92 A. **Analisis Daya. Pagi Hari (08:00 - 10:00):** (1) Daya yang dihasilkan meningkat dari 19,59 W pada pukul 08:00 menjadi 21,74 W pada pukul 10:00. (2) Peningkatan daya ini sejalan dengan peningkatan intensitas cahaya. **Siang Hari (11:00 - 13:00):** (1) Daya mencapai puncaknya pada 24,48 W pada pukul 12:00, menunjukkan bahwa panel surya bekerja dengan efisiensi maksimum saat intensitas cahaya matahari paling tinggi. (2) Daya tetap cukup tinggi pada pukul 13:00 (23,4 W). **Sore Hari (14:00 - 17:00):** (1) Daya mulai menurun dari 19,04 W pada pukul 14:00 menjadi 10,21 W pada pukul 17:00. (2) Penurunan daya ini disebabkan oleh menurunnya intensitas cahaya dan penurunan tegangan serta arus.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah tegangan yang dihasilkan oleh panel surya meningkat 1,7 V dari mulai pukul 08:00-12:00 seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari dan mencapai puncaknya sekitar tengah hari. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya bekerja dengan efisiensi maksimum ketika intensitas cahaya matahari tinggi. Sistem *solar tracking* efektif dalam mengoptimalkan posisi panel surya untuk menangkap intensitas cahaya matahari yang maksimal sepanjang hari, yang ditunjukkan oleh variasi tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Energi yang diserap oleh panel surya bervariasi sepanjang hari, dengan puncak daya dihasilkan pada tengah hari, menunjukkan pentingnya pemantauan dan penyesuaian posisi panel secara dinamis untuk efisiensi maksimum. Penggunaan sistem pelacakan surya berbasis mikrokontroler secara signifikan meningkatkan tegangan keluaran sel surya sebesar 2,53 V atau meningkatkan efisiensi sekitar 22% dalam mengubah energi surya menjadi energi listrik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Bapak Ir. Husin Ibrahim, M.T selaku dosen pembimbing penulis, sehingga berkat ilmu dan arahan beliau, penelitian ini selesai dan berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrori Muchammad. (2017). Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Alternatif dan Media Pembelajaran Praktikum Siswa Di Pondok Pesantren "Nurul Iman" Sorogenen Timbulharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta Menuju Pondok Mandiri Energi. *Jurnal Bakti Sainstek*. 1(01): 17 - 26.
- Afifudin Faslucky, Farid Samsu. (2012). Optimalisasi Tegangan Keluaran Dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari. *Jurnal Neutrino*. 4(02): 164 - 177.
- Bandri, Rafika, Ferdi. (2021). Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Panel Surya. *Jurnal Teknik Elektronik Institut Teknologi Padang*. 10(02): 107 - 113.
- Darwin. Albert. (2022). Analisa pengaruh Intesitas Sinar Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Sel Surya Jenis Monokristal. *Jurnal Mesil*. 1(02): 99 - 106.
- Myory, Muhkaiyar, Fitri, (2019), Sistem Tracking Cahaya Matahari pada Photovoltaic, *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, Volume 19 Number 1, 2019, ISSN: 1411 – 3411 (p) ISSN: 2549 – 9815 (e)
- Nugroho, Soetedjo, Nakhoda, (2019), Rancang Bangun Tracker Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Watt Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno, *Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang*
- Witono, Asrori, Harijono, Perbandingan Kinerja Panel Surya Tipe Polycrystalline dan Amorphous dibawah Kondisi Cuaca Kota Malang, *Bulletin of Science Education*, Vol. 1, No. 2, May 2021