



PENGGUNAAN *SOLAR TRACKER* UNTUK ANALISIS PENCARIAN DAYA MAKSIMAL PADA PANEL SURYA

Dwiko Nugroho Sadewo¹, Teguh Arifianto², Sunardi³, Lady Silk Moonlight⁴, Bambang Wasito⁵

^{1,2,3} Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Indonesia

⁴ Komunikasi Penerbangan, Politeknik Penerbangan Surabaya, Indonesia

⁵ Teknik Bangunan dan Landasan, Politeknik Penerbangan Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Received: August 28, 2022 Revised: December 18, 2022 Available online: December 21, 2022</p>	<p>Dewasa ini, terdapat kebijakan untuk mengurangi emisi CO² dari sumber energi menjadi sangat penting bagi para ahli ilmu lingkungan. Indonesia termasuk dalam negara beriklim tropis yang dimana mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata sebesar 4 kWh/m²/hari. Pembangkit energi dari panel surya ini memperoleh banyak perhatian peneliti terutama pada faktor penyebab panel surya menjadi tren dunia yaitu ketersediaan diseluruh dunia dengan nilai nol emisi gas rumah kaca. Daya keluaran dari panel surya menjadi masalah utama karena tidak konstan yang dipengaruhi oleh posisi kemiringan, penyinaran matahari, jenis sel surya, dan sifat teknis modul. Panel surya akan bekerja secara maksimal dan efisien ketika jumlah partikel cahaya maksimum dari matahari mengenai sel-selnya secara tegak lurus atau 90°. Untuk mengetahui waktu puncak dan kemiringan optimal panel surya dalam memproduksi daya dalam penelitian ini menggunakan <i>solar tracker</i> yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, kemiringan, <i>azimuth</i>, dan intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya secara otomatis dan secara <i>real time</i>. Dengan membandingkan panel surya jenis <i>polycrystalline</i> dan <i>monocrystalline</i> didapat waktu puncak panel surya menghasilkan daya maksimum yaitu pada pukul 11.00-13.00 WIB, rata-rata tegangan keluaran sebesar 11,43 V, rata-rata arus keluaran 54,05 mA, dan rata-rata daya 0,62 W menghadap utara. Dari pengambilan data selama lima hari, tegangan yang dihasilkan panel surya jenis <i>monocrystalline</i> lebih tinggi dan stabil dibandingkan panel surya <i>polycrystalline</i>.</p> <p>Kata kunci— sumber energi, panel surya, <i>solar tracker</i>, kemiringan, <i>azimuth</i>, <i>polycrystalline</i>, <i>monocrystalline</i></p>
CORRESPONDENCE	ABSTRACT
<p>E-mail:</p> <p>¹ dwiko.tep1908@taruna.ppi.ac.id ² teguh@ppi.ac.id ³ sunardi@ppi.ac.id ⁴ lady@poltekbangsby.ac.id ⁵ bamcito@poltekbangsby.ac.id</p>	<p>Nowadays, there are policies to reduce CO² emissions from energy sources which are very important for environmental scientists. Indonesia is included in a tropical country which has a high solar energy potential with an average daily radiation of kWh/m²/hari. This energy generator from solar panels has received a lot of attention from researchers, especially on the factors that cause solar panels to become a world trend, namely the availability throughout the world with zero greenhouse gas emission values. The output power of solar panels is a major problem because it is not constant which is influenced by the tilt position, solar radiation, type of solar cells, and the technical properties of the module. Solar panels will work optimally and efficiently when the maximum number of light particles from the sun hits the cells vertically or 90°. To find out the optimal peak and tilt times of solar panels in producing power, this study uses a solar tracker that functions to measure voltage, current, power, slope, azimuth, and light intensity received by solar panels automatically and in real time. By comparing polycrystalline and monocrystalline solar panels, the peak time for solar panels to produce maximum power is at 11.00-13.00 WIB, the average output voltage is 11.43 V, the average output current is 54.05 mA, and the average power 0.62 W faces north. From data collection for five days, the voltage produced by monocrystalline solar panels is higher and more stable than polycrystalline solar panels.</p> <p>Keywords— energy source, solar panel, solar tracker, tilt, azimuth, polycrystalline, monocrystalline</p>

I. PENDAHULUAN

Permintaan sumber energi semakin meningkat sedangkan sumber energi fosil seperti batu bara, minyak

bumi, dan gas alam semakin menipis [1]. Bahan bakar minyak akan menghasilkan CO², metana, nitrous oxide, dan flourinat. Bahan kimia ini sangat berbahaya bagi perubahan iklim di seluruh dunia [2]. Dewasa ini, terdapat kebijakan untuk mengurangi emisi CO² dari sumber energi menjadi sangat penting bagi para ahli ilmu lingkungan. Sedangkan di sisi lain, kebutuhan energi diprediksi meningkat sangat pesat hingga dua kali lipat pada tahun 2030 [3], [4].

Indonesia termasuk dalam negara beriklim tropis yang di mana mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata sebesar 4 kWh/m²/hari [5]. Potensi ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi biaya pengeluaran pembayaran listrik dan mengurangi dampak negatif dari bahan bakar minyak. Upaya untuk mengurangi efek negatif dari bahan bakar minyak harus dilakukan dengan memanfaatkan energi terbarukan [5] seperti menggunakan photovoltaic cell atau biasa disebut panel surya. Sejumlah artikel penelitian menunjukkan bagaimana cara meningkatkan efisiensi penggunaan energi terbarukan. Metode yang sering digunakan dalam penggunaan panel surya yaitu dengan memilih bahan yang cocok sehingga dapat memberikan hasil efisiensi hingga 27,5% [6].

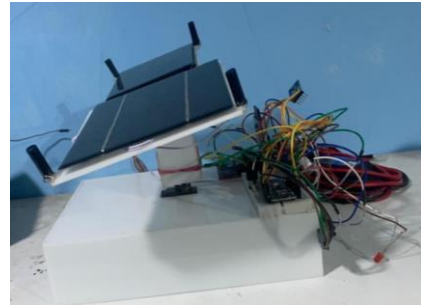
Performa panel surya dipengaruhi beberapa faktor seperti radiasi matahari, temperatur, dan kemiringan pemasangan [7]. Daya keluaran dari panel surya menjadi masalah utama karena tidak konstan yang dipengaruhi oleh posisi kemiringan, penyinaran matahari, jenis sel surya, dan sifat teknis modul. Umumnya peletakan panel surya diletakkan dengan posisi tertentu tanpa perubahan [8]. Kerugian paling utama pada energi panel surya yaitu kondisi cahaya matahari yang tidak tegak lurus dengan permukaan panel [9].

Meskipun di belakang panel surya telah diberikan nilai-nilai keluaran panel, namun tidak semua panel dapat memproduksi nilai maksimum setiap harinya. Posisi dan kemiringan panel surya juga tidak kalah penting agar dapat menyerap energi matahari dengan maksimal pada setiap hari [10]. Panel surya akan bekerja secara maksimal dan efisien ketika jumlah partikel cahaya maksimum dari matahari mengenai sel-selnya secara tegak lurus atau 90° [8].

II. LITERATURE REVIEW

A. Panel Surya

Panel surya adalah perangkat semikonduktor yang terdiri dari dioda pn junction yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang biasa disebut efek photovoltaic [11] sehingga dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Panel surya terdiri dari kumpulan panel surya yang dirangkai secara seri, paralel, atau campuran untuk mendapatkan nilai tegangan, arus, dan daya tertentu. Jumlah modul yang akan dirangkai secara seri ditentukan oleh nilai hasil tegangan yang dibutuhkan. Sedangkan pemasangan paralel dilakukan untuk menentukan hasil nilai arus [12].



Gambar 1. Perancangan solar tracker

B. Radiasi Matahari

Output maksimum dari modul surya tergantung pada suhu dan radiasi. Faktor ini memiliki pengaruh yang besar pada output tegangan dan arus panel surya. Intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan lemah pada saat pagi dan sore hari dan puncaknya pada sore hari. Peristiwa ini terjadi karena arah sinar matahari di permukaan bumi tidak vertikal [9], [13].

Radiasi matahari total pada permukaan horizontal dengan memperhitungkan radiasi langsung dan hamburan ditentukan pada persamaan (1).

$$Q = (0,62 \times S + 0,68) \sin h \quad (1)$$

dimana $S = 1 \text{ kW/m}^2$ intensitas radiasi matahari langsung dan h adalah ketinggian matahari di atas cakrawala (°).

Ketinggian matahari dapat ditentukan menggunakan persamaan (2).

$$h = \alpha \sin(\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos(15(T - T_0)) + \sin \varphi \cdot \sin \delta) \quad (2)$$

dimana φ adalah garis lintang geografis (°), T adalah waktu (jam), T_0 adalah waktu nyata tengah hari (untuk negara Indonesia $T_0 = 12$).

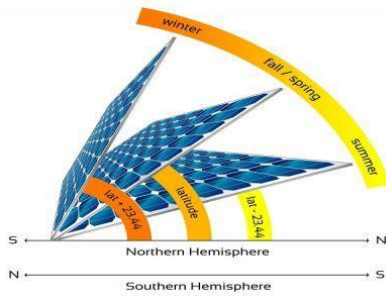
Deklinasi matahari atau sudut antara garis yang ditarik dari pusat bumi ke pusat matahari dan khatulistiwa dalam persamaan (2) dapat ditentukan menggunakan persamaan (3).

$$\delta = 23,5 \sin\left(\frac{(360(284 + n))}{365}\right) \quad (3)$$

dimana n merupakan hari ke-berapa dalam satu tahun [14].

C. Kemiringan Pemasangan

Perubahan energi panas matahari menjadi sebuah energi listrik dibutuhkan modul panel surya. Untuk memperoleh tegangan maksimal dari sebuah panel surya, dibutuhkan penempatan modul yang tepat. Panel surya akan bekerja dengan maksimal dan efisien ketika permukaan tegak lurus dengan matahari [8]. Parameter untuk meningkatkan efisiensi panel surya yaitu menempatkan panel surya sesuai dengan sudut kemiringan sehingga dapat menghasilkan energi yang lebih banyak [4].



Gambar 2. Sudut kemiringan pemasangan panel surya

D. Sudut Azimuth

Di dalam proses berubahnya energi matahari menjadi energi listrik terdapat beberapa faktor yaitu radiasi matahari, suhu panel surya, sudut kemiringan, dan sudut azimuth matahari. Arah panel surya tergantung dari sudut azimuth dan kemiringan. Sudut azimuth didapat dari arah permukaan modul dengan arah utara. Sudut optimal azimuth pada negara bagian utara bumi adalah 0°, sedangkan bagian selatan bumi adalah 180° [15]. Untuk memaksimalkan radiasi matahari yang masuk di panel surya dibutuhkan sudut kemiringan dan azimuth yang optimal [16]. Nilai sudut azimuth ditentukan 0° dari arah utara [17].

E. Jenis Panel Surya

Salah satu faktor pengurangan dan peningkatan efisiensi pada panel surya yaitu bahan panel surya [18]. Terdapat beberapa jenis panel surya yang biasa digunakan yaitu *monocrystalline* and *polycrystalline*. Jenis panel surya tersebut menggunakan bahan panel surya dengan koefisien daya serap tinggi untuk menyerap lebih banyak foton. Dalam metode ini, koefisien daya serap menentukan seberapa jauh ke dalam suatu bahan cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang dapat menembus sebelum diserap [6].

Pada penelitian ini menggunakan dua buah jenis panel surya yang berbeda yaitu *monocrystalline* and *polycrystalline*. Kedua bahan memiliki tegangan (12 V) dan arus (200 mA) yang sama dengan daya maksimal sebesar 2,4 W. Tetapi, kedua jenis panel surya memiliki ukuran dan berat yang berbeda. Ukuran *monocrystalline* memiliki ukuran lebih besar dan berat yang lebih ringan dari pada *polycrystalline*.

TABEL I. SPESIFIKASI PANEL SURYA

Spesifikasi	Polycrystalline	Monocrystalline
Tegangan (V)	12	12
Arus (mA)	200	200
Daya (W)	2,4	2,4
Ukuran (mm)	115 x 110	135 x 110
Berat (kg)	0,1	0,075

F. Daya Listrik

Perubahan usaha mempengaruhi usaha per satuan waktu sebuah alat listrik. Daya yang disuplai oleh peralatan listrik dipengaruhi oleh keberadaan dan keadaan sesaat tegangan, arus, dan hambatan listrik dalam rangkaian tertutup. Tiga variabel listrik menentukan jumlah energi yang dibutuhkan perangkat listrik untuk berfungsi secara optimal. Adaptor daya biasanya ditemukan pada label peralatan listrik yang

menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan peralatan listrik per unit waktu. Persamaan daya untuk transmisi DC dapat ditulis pada persamaan (4) dan (5).

$$P = \frac{W}{t} \tag{4}$$

$$P = V \times I \tag{5}$$

dimana P adalah daya (Watt), W merupakan energi listrik (Joule), V yaitu tegangan (Volt), dan I adalah arus yang mengalir (Ampere) [19]. Adapun pada persamaan (6) untuk menentukan daya pada arus bolak-balik.

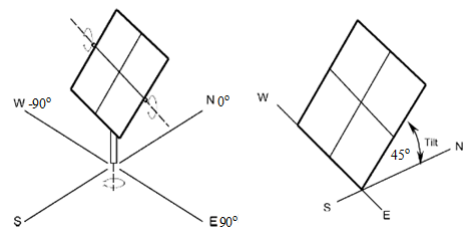
$$P = V \times I \times \cos \alpha \tag{6}$$

dimana $\cos \alpha$ adalah sudut *phasa* antara tegangan (V) dan arus listrik (I).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mengetahui daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya, penelitian ini menggunakan metode pengukuran secara langsung untuk mendapatkan data secara *real time*. Dengan metode ini, penulis dapat menentukan daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya yang dipasang pada *solar tracker*. Pengambilan data dimulai pada tanggal 5, 6, 7, 14, dan 15 Juli 2022 pukul 07.00-16.00 WIB dengan bantuan kompas untuk mengarahkan panel ke sudut azimuth 0° yaitu ke arah utara.

Penelitian dilakukan pada jam tersebut dikarenakan hasil penelitian [20] pada jam 08.00-16.00 WIB menghasilkan perubahan setiap satu satuan suhu sangat berpengaruh terhadap nilai daya yang dihasilkan.



Gambar 3. Arah panel surya

Setelah diarahkan ke 0° sudut azimuth dengan bantuan *mikrokontroller arduino nano*, *solar tracker* akan mendeteksi kemana arah matahari bergerak dengan *coding* bahasa pemrograman sehingga cahaya matahari tegak lurus dengan permukaan panel surya. Selanjutnya pengukuran tegangan, arus, kemiringan pemasangan, sudut azimuth, dan intensitas cahaya akan dicatat oleh *data logger*.

TANGGAL	JAM	Tegangan_panel1	Arus_panel1	Daya_panel1	Tegangan_panel2	Arus_panel2	Daya_panel2
05.08.2022	05:46:35	0.12	0.00	mWp	0.15	0.40	mWp
05.08.2022	06:06:38	0.14	0.30	mWp	0.30	0.30	mWp
05.08.2022	06:16:39	0.15	0.30	mWp	0.30	0.30	mWp
05.08.2022	06:26:40	0.17	0.70	mWp	0.70	0.70	mWp
05.08.2022	06:36:42	0.18	0.40	mWp	0.40	0.40	mWp
05.08.2022	06:46:43	0.18	0.40	mWp	0.40	0.40	mWp
05.08.2022	06:56:44	0.19	0.30	mWp	0.30	0.30	mWp
05.08.2022	07:06:46	0.20	0.10	mWp	0.10	0.10	mWp
05.08.2022	07:38:17	11.72	39.80	mWp	43.90	43.90	mWp
05.08.2022	07:48:19	11.78	43.90	mWp	46.60	46.60	mWp
05.08.2022	07:58:20	11.78	46.60	mWp	35.70	35.70	mWp
05.08.2022	08:08:21	11.76	35.70	mWp	42.70	42.70	mWp
05.08.2022	08:18:23	11.77	42.70	mWp	44.20	44.20	mWp
05.08.2022	08:28:24	11.79	44.20	mWp	40.30	40.30	mWp
05.08.2022	08:38:25	11.78	40.30	mWp	42.40	42.40	mWp
05.08.2022	08:48:27	11.78	42.40	mWp	54.90	54.90	mWp
05.08.2022	09:19:16	11.74	54.90	mWp	63.50	63.50	mWp
05.08.2022	09:29:18	11.78	63.50	mWp	63.00	63.00	mWp
05.08.2022	09:39:19	11.80	63.00	mWp	59.30	59.30	mWp
05.08.2022	09:49:21	11.80	59.30	mWp	65.10	65.10	mWp
05.08.2022	09:59:22	11.80	65.10	mWp	61.70	61.70	mWp
05.08.2022	10:09:24	11.79	61.70	mWp	63.60	63.60	mWp
05.08.2022	10:19:25	11.81	63.60	mWp	59.80	59.80	mWp
05.08.2022	10:29:27	11.78	59.80	mWp	72.10	72.10	mWp
05.08.2022	10:39:28	11.81	72.10	mWp	60.60	60.60	mWp
05.08.2022	10:49:30	11.77	60.60	mWp			

Gambar 4. Tampilan data logger

Semua data pengukuran akan secara otomatis tercatat secara *real time* dan tersimpan dalam format data *.txt* (gambar 4). Data yang akan diperbaharui selama 10 menit sekali. Setelah melakukan pengukuran data yang sudah didapat, akan dibandingkan berdasarkan data yang telah diambil.



Gambar 5. Pengukuran tegangan, arus, kemiringan, daya, azimuth, dan intensitas cahaya

Data pengukuran panel surya yang sudah didapat akan diuji dengan dengan membandingkan data pengukuran menggunakan *multimeter* dan *lux meter*. Pengujian ini bertujuan untuk mencocokkan data pengukuran yang dihasilkan oleh sensor dengan alat ukur sebenarnya.

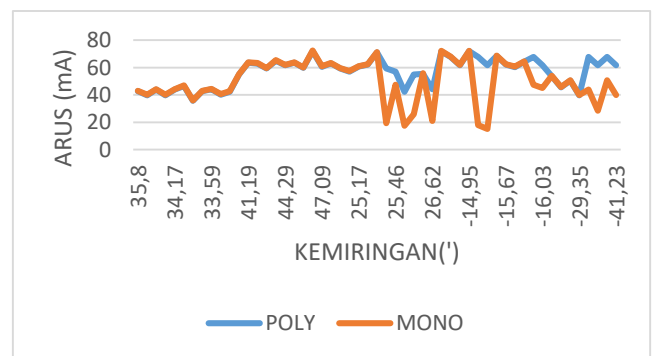
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada *solar tracker* terdapat dua buah jenis bahan panel surya yaitu *polycrystalline* dan *monocrystalline*. Perangkat ini diprogram melalui mikrokontroler *arduino nano* yang memiliki 13 buah pin digital dan 7 buah pin analog sehingga dapat memproses 2 buah sensor arus dan tegangan, 4 buah sensor cahaya, 1 buah sensor intensitas cahaya, 2 buah motor *servo*, 1 buah modul *Real Time Clock (RTC)*, dan 1 buah modul *SD card*.

TABEL II. WAKTU DAN DAYA PUNCAK *POLYCRYSTALLINE* DAN *MONOCRYSTALLINE*

Hari	Tanggal	Kemiringan (°)		Azimuth (°)		Puncak Daya (Watt)		Waktu Puncak	
		<i>Polycrystal line</i>	<i>Monocrystal line</i>	<i>Polycrystal line</i>	<i>Monocrystal line</i>	<i>Polycrystal line</i>	<i>Monocrystal line</i>	<i>Polycrystal line</i>	<i>Monocrystal line</i>
1	5 Juli 2022	24,88	24,88	27,29	27,29	0,85	0,87	12:59:49	12:59:49
2	6 Juli 2022	-24,17	-24,17	-18,06	-18,06	0,77	0,84	13:23:54	13:23:54
3	7 Juli 2022	-63,97	-63,97	-20,09	-20,09	0,78	0,83	13:55:58	13:55:58
4	14 Juli 2022	-15,3	-10,05	-10,05	-10,05	0,80	1,30	13:25:54	13:25:54
5	15 Juli 2022	-16,07	-16,07	-12,51	-12,51	0,89	1,05	11:47:39	11:47:39

Pada tabel II dapat dilihat hasil pengukuran selama 5 hari. Sudut kemiringan optimal pada kedua jenis panel surya didapat untuk *polycrystalline* sebesar 0,89 W di hari kelima pada pukul 11:47:39 dengan kemiringan sebesar -16,07° dan sudut *azimuth* sebesar -12,51° serta tercatat dengan intensitas cahaya sebesar 5461 Lx. Jenis panel surya *monocrystalline* mendapat daya puncak 1,30 W di hari keempat pada pukul 13:25:54 dengan kemiringan sebesar -10,05° dan sudut *azimuth* sebesar -10,05° dengan intensitas cahaya sebesar 5461 Lx.

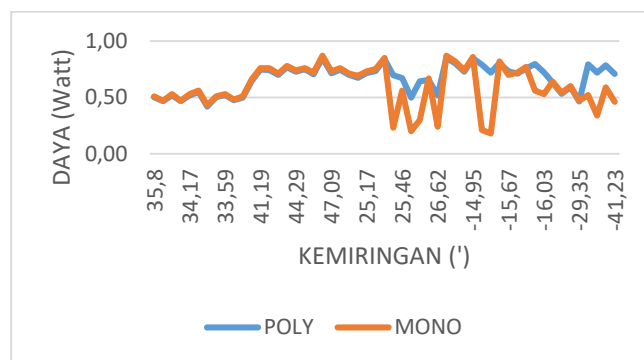


Gambar 6. Grafik perbandingan pengaruh kemiringan terhadap arus

Berdasarkan hasil yang didapat, pengukuran pada hari pertama terlihat grafik perbandingan kemiringan dengan arus pada gambar 6, arus yang dihasilkan kedua jenis panel

surya tidak stabil dikarenakan cuaca pada hari itu berawan sehingga radiasi matahari yang masuk pada panel surya juga tidak stabil. Lain halnya pada pengukuran pada hari ke dua dan ke tiga, cuaca pada hari tersebut sedang terik matahari.

Dari gambar 6 didapat puncak arus tertinggi untuk jenis *polycrystalline* sebesar 72 mA pada pukul 13:29:54 dengan kemiringan $-14,95^\circ$ dan untuk jenis *monocrystalline* didapat puncak arus tertinggi sebesar 72,31mA pada pukul 13:29:54 dengan kemiringan sebesar $-14,95^\circ$



Gambar 7. Grafik perbandingan pengaruh kemiringan terhadap daya

Dari grafik gambar 7, didapat puncak daya tertinggi untuk jenis *polycrystalline* sebesar 0,85 W pada pukul 10:39:28 dengan kemiringan sebesar $45,79^\circ$. Pada jenis *monocrystalline* didapat puncak daya tertinggi sebesar 0,87 W pada pukul 10:32:28 pada kemiringan sebesar $45,56^\circ$.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah didapatkan hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya berdasarkan kemiringan, sudut *azimuth*, dan intensitas cahaya. Waktu puncak saat sel surya menyerap cahaya matahari dan mengubah menjadi energi listrik adalah pada pukul 11.00-13.00 WIB selama tiga hari. Sudut kemiringan optimal pada kedua jenis didapat untuk *polycrystalline* 0,89 W di hari kelima pada pukul 11:47:39 dengan kemiringan sebesar $-16,07^\circ$, sudut *azimuth* sebesar $-12,51^\circ$, dan tercatat dengan intensitas cahaya sebesar 5461 Lx. Untuk bahan *monocrystalline* mendapat daya puncak 1,30 W di hari keempat pada pukul 13:25:54 dengan kemiringan sebesar $-10,05^\circ$, sudut *azimuth* sebesar $-10,05^\circ$ dengan intensitas cahaya 5461 Lx. Hasil pengamatan selama lima hari, modul surya *monocrystalline* mengeluarkan tegangan, arus, dan daya lebih stabil serta memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya jenis *polycrystalline*.

REFERENSI

[1] J. M. Carrasco, L. G. Franquelo, J. T. Bialasiewicz, E. Galvan, R. C. P. Guisado, M. A. M. Prats, J. I. Leon, and N. M. Alfonso, "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.53, no.4, pp.1002-1016, 2006.

[2] A. U. Ahmad, S. Ismail, I. M. Ahmad, I. M. Adamu, A. H. Jakada, I. S. Farouq, U. A. Mustapha, U. A. A. Muhammad, A. T. Abdullahi, A. M. Fagge, I. A. Danmaraya, A. A. Mohammed, U. M. Gwadabe, N. U. Sambo, and G. Ibrahim, "Pollutant Emissions, Renewable Energy Consumption and Economic Growth: An Empirical Review from 2015-2019", *Journal of Environmental Treatment Techniques*, vol.8, no.1, pp.323-335, 2020.

[3] A. Moradzadeh, O. Sadeghian, K. Pourhossein, B. M. Ivatloo, and A. A. Moghaddam, "Improving Residential Load Disaggregation for Sustainable Development of Energy via Principal Component Analysis", *Sustainability*, vol.12, no.8, pp.3158-3171, 2020.

[4] S. Kumar, P. B. L. Chaurasia, and H. K. Singh, "Experimental Study of Optimum Tilt Angle for Solar PV Panel in Jaipur (Rajasthan)", *International Journal of Science Research (IJSR)*, vol.3, no.7, pp.195-198, 2014.

[5] N. A. Handayani and D. Ariyanti, "Potency of Solar Energy Applications in Indonesia", *International Journal of Renewable Energy Development*, vol.1, no.2, pp.33-38, 2012.

[6] B. Gebreslassie, A. Kelam, and A. Zayegh, "Energy Saving, in Commercial Building by Improving Photovoltaic Cell Efficiency", *2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2017, pp.1-6.

[7] K. Mason, M. J. Reno, L. Blakely, S. Vejdan, and S. Grijalva, "A Deep Neural Network Approach for Behind-The-Meter Residential PV Size, Tilt, and Azimuth Estimation", *Solar Energy*, vol.196, pp.260-269, 2020.

[8] B. Poobalan, H. A. Hamid, N. H. Hanafi, and W. C. Leong, "The Study of Photovoltaic Systems Performance Using Various Azimuth Angles and Solar Array Tilt Positions", *Journal of Physics: Conference Series*, vol.1432, pp.1-9, 2020.

[9] O. Osunmuyiwa and A. Kalfagianni, "Transitions in Unlikely Places: Exploring the Conditions for Renewable Energy Adoption in Nigeria", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol.22, pp.26-40, 2017.

[10] Y. M. Chen, C. H. Lee, and H. C. Wu, "Calculation of the Optimum Installation Angle for Fixed Solar-Cell Panels Based on the Genetic Algorithm and the Simulated-Annealing Method", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.20, no.2, 2005.

[11] C. Etukudor, H. Orovwode, S. Wara, F. Agbetuyi, A. Adoghe, B. O. Obieje, and C. N. Oparaocha, "Optimum Tilt and Azimuth Angles for Solar Photovoltaic Systems in South-West Nigeria", *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, 2018, pp.348-353.

[12] B. Taghezouit, F. Harrou, Y. Sun, A. H. Arab, and C. Larbes, "A Simple and Effective Detection Strategy Using Double Exponential Scheme for Photovoltaic Systems Monitoring", *Solar Energy*, vol.214, pp.337-354, 2021.

[13] M. Seapan, Y. Hishikawa, M. Yoshita, and K. Okajima, "Temperature and Irradiance Dependences of the Current and Voltage at Maximum Power of Crystalline Silicon PV Devices", *Solar Energy*, vol.204, pp.459-465, 2020.

[14] E. V. Platonova, A. S. Toropov, and A. N. Tulikov, "Simulation of Energy Input to Solar Panels", *2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, 2019, pp.133-137.

[15] T. A. Dabbousa, I. Al-Reqeb, S. Mansour, and M. A. A. M. Zainuri, "The Effect of Tilting a PV Array by Monthly or Seasonal Optimal Tilt Angles on Energy Yield of a Solar PV System", *International Conference on Electric Power Engineering - Palestine (ICEPE- P)*, 2021, pp.1-5.

[16] A. Z. Hafez, A. Soliman, K. A. El-Metwally, and I. M. Ismail, "Tilt and Azimuth Angles in Solar Energy Applications - A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.77, pp.147-168, 2017.

[17] M. Kacira, M. Simsek, Y. Babur, and S. Demirkol, "Determining Optimum Tilt Angles and Orientations of Photovoltaic Panels in Sanliurfa, Turkey", *Renewable Energy*, vol.29, pp.1265-1275, 2004.

[18] L. Jiang, S. Cui, P. Sun, Y. Wang, and C. Yang, "Comparasion of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Modules", *2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2020)*, 2020, pp.341-344.

[19] P. S. R. Murty, *Electrical Power Systems*, 1st edition, Elseiver, 2017.

[20] T. Arifianto, Y. A. Pangestu, D. S. Oktaria, L. S. Moonlight, and D. I. Pratiwi, "Prediksi Daya Pada Panel Surya Menggunakan Metode Time Series dan Analisis Regresi", vol.4, no.1, pp.52-63, 2022.