

SIGNIFIKASI PERUBAHAN CUACA TERHADAP KELUARAN PANEL SURYA 50 WP DALAM MENGHASILKAN *OUTPUT* MAKSIMUM DI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Kiki Jumaida¹, Welly Yandi^{2,a}, Deni Irwansyah², dan M Y Puriza²

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Magister Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Provinsi Aceh, 23127

²⁾ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu Balunujuk, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33172

email korespondensi: wellyyandi@ubb.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan panel surya sebagai pembangkit listrik ramah lingkungan semakin banyak. Terlebih cuaca Indonesia beriklim tropis sehingga dapat memaksimalkan nilai konversi energi listrik yang dihasilkan panel surya. Penyinaran maksimal cahaya matahari dapat diperoleh setiap hari. Akan tetapi, perubahan cuaca yang sangat cepat memberikan dampak yang beragam terhadap nilai konversi energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis signifikansi perubahan cuaca terhadap keluaran panel surya 50 Wp dengan tipe *polycrystalline* yang diletakkan dalam posisi statis. Media penyimpanan digunakan aki dengan kapasitas 7 Ah dan 5 Ah. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit dimulai dari pukul 07.00-17.00 WIB dalam 3 hari berturut-turut. Data cuaca diambil dari perkiraan cuaca secara *online* dan dibandingkan dengan nilai intensitas rata-rata yang diperoleh pada hari tersebut. Daya tertinggi yang dihasilkan panel sebesar 21,96 Watt pada hari Jum'at (10/7/20) pukul 10.30 WIB dengan tegangan dan arus sebesar 18,3 Volt dan 1,2 A dengan kondisi cuaca didominasi oleh kondisi cerah dengan penyinaran yang lebih lama sehingga jumlah energi tertinggi yang dihasilkan sebesar 124 Wh.

Kata kunci: Panel Surya, Cuaca, Konversi Energi

PENDAHULUAN

Energi surya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69 % dari total energi pancaran matahari. Sementara suplai energi surya dari matahari sebesar 69% tersebut mencapai 3×1.024 joule per tahun, energi ini setara dengan 2×1.017 Watt (West, 2003). Jumlah energi ini setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1 % saja permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10 % sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi diseluruh dunia saat ini (Gratzel, 2001).

Sel surya atau juga yang disebut sel *photovoltaics* memiliki bahan silikon yang dapat menghasilkan arus listrik dan tegangan listrik jika di sinari cahaya. Permasalahan utama dari pemanfaatan energi surya dengan menggunakan sel surya adalah besarnya daya keluaran yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya matahari serta suhu lingkungan di sekitarnya (Fadhilah, Kurniawan and Sunarya, 2017). Daya yang dihasilkan oleh sel surya berbanding lurus dengan besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan oleh Sel Surya tersebut. Besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti letak astronomi lokasi pemasangan panel dan arah kedudukan dari instalasi panel surya tersebut.

Untuk memaksimalkan potensi intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya serta menge-

tahui kinerja panel surya, perlu dilakukan analisis mengenai signifikansi perubahan cuaca terhadap keluaran panel surya 50 wp dalam menghasilkan *output* maksimum di jurusan teknik elektro dengan tujuan Mengetahui pengaruh intensitas penyinaran matahari terhadap tegangan, energi dan arus keluaran Pada Panel Surya

METODE PENELITIAN

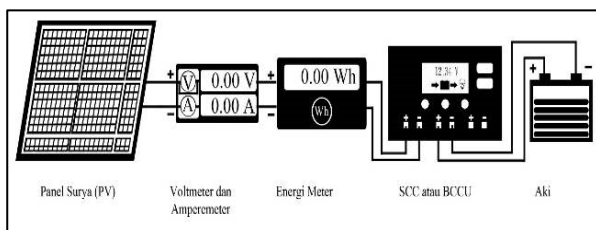
Penelitian dilakukan dilapangan Parkir Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung. Pengambilan data Pada pengambilan data dilakukan selama 3 hari dimulai dari hari rabu/8 Juli 2020 sampai dengan jum'at/10 Juli 2020 dari jam 07.00 s/d 17.00 dengan pencatatan data setiap 5 menit. Adapun alat dan bahan penelitian seperti pada Tabel 1.

Penelitian ini menggunakan sebuah panel surya 50 Wp tipe Polycrystalline dengan tegangan maksimum 16 Volt dan arus maksimum 3,13 Ampere. Panel surya tersambung ke SCC PWM untuk mengatur arus listrik yang mengalir ke Aki. Komponen pengukuran dipasang diantara output panel surya dan SCC seperti pada Gambar 1.

Setelah pengambilan data arus, tegangan, intensitas cahaya, dan energi yang dihasilkan, dilakukan pengolahan data statistik sederhana untuk mencari nilai rata-rata, maksimum, minimum dan pembuatan grafik. Kemudian, hasil pengukuran intensitas matahari akan dibandingkan dengan data cuaca pada aplikasi *smartphone*. Untuk parameter masukan, data tersebut akan dianalisis untuk mengetahui kondisi harian pada saat pengukuran.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian	Kegunaan
Multimeter/Voltmeter dan Ammeter	Untuk mengukur Tegangan dan Arus listrik
Energy Meter	Mengukur energi listrik yang dihasilkan
Aplikasi Sensors dan Lux Light Meter	Mengukur intensitas cahaya
Bahan Penelitian	Kegunaan
Panel Surya 50 Wp	Media pengubah energi surya menjadi energi listrik
Kabel	Penghubung antar komponen
SCC (Solar Charge Controller) 10 A	Kontroler Pengisian Aki
Aki kapasitas 7 Ah dan 5 Ah	Media Penyimpanan Energi Listrik
Lampu DC 12 Volt 12 Watt atau beban DC lain	Untuk melakukan pengosongan aki

**Gambar 1.** Skema pemasangan komponen penelitian.

Perhitungan daya didapat dari perkalian tegangan dan arus dengan persamaan (Zuhail, 1991)(Yandi, 2017):

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

$$W = V \times I \times t = P \times t \quad (2)$$

Dengan;

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

W = Energi Listrik (Wh)

t = Waktu (jam/h)

Perhitungan daya rata-rata;

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum P}{n} \quad (3)$$

Dengan;

$P_{rata-rata}$ = Daya rata-rata (W)

P_1 = Daya pada pengukuran ke-1 (W)

P_2 = Daya pada pengukuran ke-2 (W)

P_n = Daya pada pengukuran ke-n (W)

n = jumlah pengukuran

Efisiensi panel surya adalah perbandingan dari daya keluaran maksimum (P_{mak}) panel surya dengan daya masukan berupa perkalian intensitas matahari (*irradiance* matahari) dengan luas penampang panel surya. Perhitungan efisiensi panel surya dengan rumus sebagai berikut (Hidayanti, 2020)(Irwansyah, 2020).

$$\eta_{PLTS} = \frac{V_m \times I_m}{I \times A} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan;

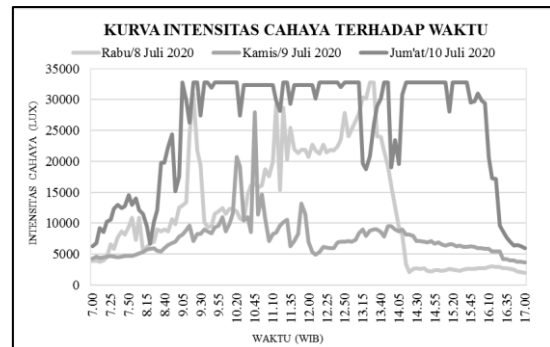
I = Radiasi Matahari (Watt/m²)

A = Luas Penampang Panel Surya (m²)

Efisiensi Suatu Panel Surya sangat Penting, karena semakin tinggi efisiensi maka kinerja suatu panel semakin baik. Efisiensi sangat berpengaruh pada Daya Maksimum dan luas penampang suatu panel Surya. Sehingga bila ingin mendapatkan efisiensi panel surya yang tinggi maka daya maksimum harus besar dengan luas penampang yang lebih minim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter masukan utama pada panel surya adalah energi surya atau energi foton yang berkaitan dengan intensitas matahari. Adapun hasil pengukuran penyinaran matahari didapatkan dalam satuan lux dengan menggunakan aplikasi *Sensors* seperti pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Kurva intensitas cahaya pada panel surya terhadap waktu.

Adapun hasil pengukuran *output* panel surya yaitu; tegangan, arus dan daya seperti pada Gambar 3 dan Tabel 2.

Umumnya, lama penyinaran efektif matahari yang dapat dijadikan sebagai waktu pengukuran selama 4 jam yaitu dari pukul 10.00 – 12.00 (Putra and Rangkuti, 2016). Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran selama 10 jam sehingga terlihat variasi data yang lebih relevan. Adapun hasil pengukuran penyinaran matahari didapatkan dalam satuan lux dengan Rentang batas pengukuran dari sensor pada aplikasi *Sensors* yaitu dari 0 lux sampai dengan 32.767 lux dengan nilai ketelitian sebesar 0,1 lux setiap 0,5 detik.

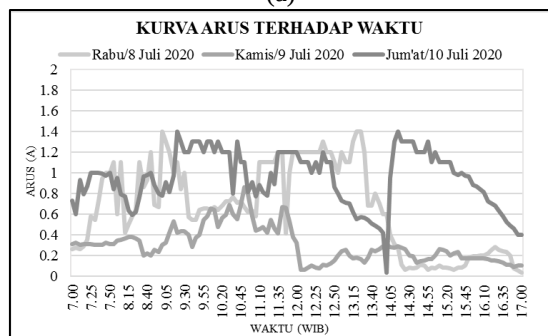
Berdasarkan grafik pada gambar 2, kondisi cuaca pada hari Rabu (8 Juli 2020) menunjukkan perubahan penyinaran matahari yang signifikan. Penyinaran tertinggi terjadi pada pukul 9.20 WIB dengan intensitas cahaya sebesar 30.901 lux untuk pagi-siang hari. Sedangkan untuk siang-sore hari, penyinaran tertinggi terjadi pada pukul 13.25 WIB dan 13.30 WIB dengan intensitas cahaya sebesar 32.767 lux. Namun setelah itu terjadi penurunan hingga nilai terendah pada pukul 14.20 WIB dengan nilai intensitas cahaya sebesar 2.124 lux dan nilai pengukuran selanjutnya tidak jauh berbeda hingga pukul 17.00 WIB. Pengukuran ini menunjukkan kondisi cuaca pada hari Rabu yaitu; berawan dipagi hari dan pada siang hari sesekali terjadi penyinaran penuh namun terjadi hujan sebentar menjelang sore dan diakhiri oleh kondisi cerah berawan.

Umumnya, lama penyinaran efektif matahari yang dapat dijadikan sebagai waktu pengukuran selama 4 jam yaitu dari pukul 10.00 – 12.00 (Putra and Rangkuti, 2016). Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran selama 10 jam sehingga terlihat variasi data yang lebih relevan. Adapun hasil pengukuran penyinaran matahari didapatkan dalam satuan lux dengan Rentang batas

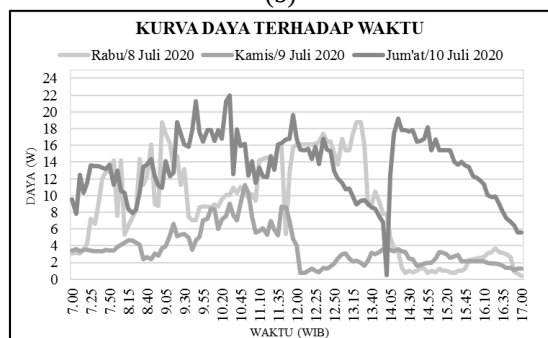
pengukuran dari sensor pada aplikasi *Sensors* yaitu dari 0 lux sampai dengan 32.767 lux dengan nilai ketelitian sebesar 0,1 lux setiap 0,5 detik.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Grafik keluaran panel surya terhadap waktu, (a) Tegangan, (b) Arus, (c) Daya.

Tabel 2. Rangkuman Hasil Pengukuran Parameter.

Parameter		Rabu (8 Jul 2020)	Kamis (9 Jul 2020)	Jum'at (10 Jul 2020)
Intensitas Cahaya (lux)	Rata-rata	12.302	7.543	25.396
	Maksimum	32.727	27.927	32.767
	Minimum	2.013	3.709	5.987
Tegangan (Volt)	Rata-rata	13,34	12,36	14,33
	Maksimum	16,10	13,10	18,3
	Minimum	11,70	11,00	13,1
Arus (Ampere)	Rata-rata	0,66	0,30	0,94
	Maksimum	1,4	0,86	1,4
	Minimum	0,3	0,06	0,03
Daya (Watt)	Rata-rata	8,76	3,77	13,38
	Maksimum	18,76	11,27	21,96
	Minimum	0,38	0,74	0,48

Berdasarkan grafik pada gambar 2, kondisi cuaca pada hari Rabu (8 Juli 2020) menunjukkan perubahan penyinaran matahari yang signifikan. Penyinaran tertinggi terjadi pada pukul 9.20 WIB dengan intensitas cahaya sebesar 30.901 lux untuk pagi-siang hari.

Sedangkan untuk siang-sore hari, penyinaran tertinggi terjadi pada pukul 13.25 WIB dan 13.30 WIB dengan intensitas cahaya sebesar 32.767 lux. Namun setelah itu terjadi penurunan hingga nilai terendah pada pukul 14.20 WIB dengan nilai intensitas cahaya sebesar 2.124 lux dan nilai pengukuran selanjutnya tidak jauh berbeda hingga pukul 17.00 WIB. Pengukuran ini menunjukkan kondisi cuaca pada hari Rabu yaitu; berawan dipagi hari dan pada siang hari sesekali terjadi penyinaran penuh namun terjadi hujan sebentar menjelang sore dan diakhiri oleh kondisi cerah berawan.

Tabel 2. Cuaca hari Rabu/8 Juli 2020 berdasarkan perekaman pada aplikasi *smartphone*.

Kota/Lokasi	Suhu Harian (°C)	Kelembapan Harian (%)
Balunujuk	26 - 28	60 - 95

Kondisi Cuaca



Berdasarkan Tabel 2, nilai maksimum tegangan pada hari Rabu (8/7) yaitu sebesar 16,10 Volt dengan arus sebesar 0,63 A pada pukul 11.00 WIB dan 0,58 A pada pukul 11.05 WIB. Sedangkan nilai arus tertinggi yaitu sebesar 1,4 Ampere pada pukul 13.20 dan 13.25 WIB dengan nilai tegangan sebesar 13,4 Volt. Daya maksimal yang dihasilkan sebesar 18,76 Watt pada pukul 13.20 dan 13.25 WIB dengan tegangan sebesar 13,4 Volt dan arus sebesar 1,4 A. Kondisi cuaca hari rabu (8 juli 2020) berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya sesuai dengan hasil perekaman cuaca pada aplikasi *smartphone*.

Kondisi cuaca pada hari Kamis (9 Juli 2020) menunjukkan perubahan penyinaran matahari yang tidak terlalu signifikan. Penyinaran tertinggi hanya terjadi pada pukul 10.20 WIB dengan nilai intensitas cahaya sebesar 20.746 lux. Sedangkan pada siang hingga sore hari, penyinaran matahari mengalami penurunan dan perubahan yang terlalu signifikan. Pengukuran ini menunjukkan kondisi cuaca pada hari Kamis yaitu; cerah dipagi hari hingga menjelang siang mulai berawan dan hujan pada siang hari sehingga tidak terjadi penyinaran yang tinggi. Dapat disimpulkan kondisi rata-rata cuaca harian pada Kamis yaitu; berawan disertai hujan dan gerimis.

Nilai maksimum tegangan pada hari Kamis (9/7) yaitu sebesar 13,10 Volt yang terjadi pada beberapa waktu antara pukul 09.55 WIB sampai dengan 11.50 WIB. Sedangkan nilai arus tertinggi yaitu sebesar 0,86 Ampere pada pukul 10.50 WIB dengan nilai tegangan sebesar 13,1 Volt. Pada kondisi ini arus dan tegangan masih berada dibawah arus maksimum yang tertulis pada *nameplate*. Kondisi ini merupakan kondisi ideal maksimal kinerja panel surya pada hari Kamis (9/7). Daya maksimal yang dihasilkan sebesar 11,27 Watt pada pukul 10.50 WIB dengan tegangan sebesar 13,1 Volt dan arus sebesar 0,86 A. Kondisi cuaca hari kamis (9 juli 2020) berdasarkan hasil pengukuran intensitas

cahaya sesuai dengan hasil perekaman cuaca pada aplikasi *smartphone*.

Tabel 3. Cuaca hari Kamis/9 Juli 2020 berdasarkan perekaman pada aplikasi *smartphone*.

Kota/Lokasi	Suhu Harian (°C)	Kelembapan Harian (%)
Balunijuk	27 - 28	60 - 95
Kondisi Cuaca		
07:00 WIB  Cerah 27°C 95 % 10 km/jam Timur Laut	10:00 WIB  Hujan Ringan 28°C 90 % 10 km/jam Timur Laut	16:00 WIB  Cerah Berawan 28°C 85 % 10 km/jam Barat Laut

Kondisi cuaca pada hari Jum'at (10 Juli 2020) menunjukkan perubahan penyinaran matahari yang signifikan dipagi hari. Penyinaran tertinggi dengan nilai intensitas cahaya maksimum sebesar 32.767 lux diawali pada Pukul 9.05 WIB dan diakhiri pada pukul 15.40 WIB. Penyinaran matahari cenderung tetap terlihat dari kurva yang cenderung tetap dan tidak mengalami perubahan signifikan. Sedangkan pada sore hari, penyinaran matahari mengalami penurunan hingga pukul 17.00 WIB. Pengukuran ini menunjukkan kondisi cuaca pada hari Jum'at yaitu; cerah dan diselingi berawan dan gerimis kecil sehingga terjadi penyinaran matahari yang cukup tinggi (cerah) dan lama.

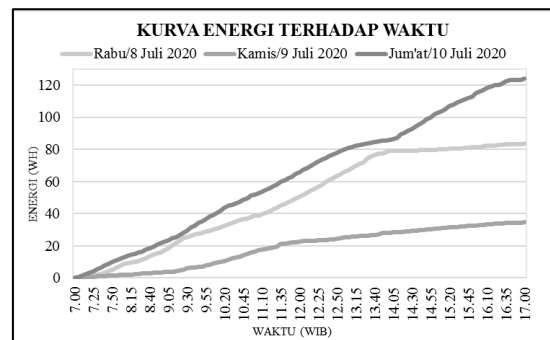
Tabel 4. Cuaca hari Jum'at/10 Juli 2020 berdasarkan perekaman pada aplikasi *smartphone*.

Kota/Lokasi	Suhu Harian (°C)	Kelembapan Harian (%)
Balunijuk	24 - 33	60 - 95
Kondisi Cuaca		
07:00 WIB  Cerah 27°C 95 % 10 km/jam Timur Laut	10:00 WIB  Hujan Ringan 28°C 90 % 10 km/jam Timur Laut	13:00 WIB  Hujan Ringan 28°C 85 % 10 km/jam Timur Laut

Nilai maksimum tegangan pada hari Jum'at (10/7) yaitu sebesar 18,30 Volt dengan arus sebesar 1,2 A pada pukul 10.30 WIB. Sedangkan untuk nilai arus tertinggi yaitu sebesar 1,4 Ampere pada pukul 14.15 WIB dengan nilai tegangan sebesar 13,7 Volt. Daya maksimal yang dihasilkan sebesar 21,96 Watt pada pukul 10.30 WIB dengan tegangan sebesar 18,3 Volt dan arus sebesar 1,2 A. Kondisi cuaca hari jum'at (10 juli 2020) berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya sesuai dengan hasil perekaman cuaca pada aplikasi *smartphone*. Kondisi cuaca dengan penyinaran yang lama menyebabkan daya maksimum yang terukur pada hari jum'at merupakan daya tertinggi selama pengukuran.

Untuk pengukuran energi harian yang diukur oleh energi meter, besar energi harian juga dipengaruhi oleh

efisiensi panel surya dan kondisi cuaca atau lamanya waktu penyinaran matahari. Berdasarkan data hasil pengukuran energi meter didapatkan kurva energi terhadap waktu dan kurva kenaikan energi terhadap waktu. Energi yang terhitung dinyatakan dalam besaran watt hour (Wh).



Gambar 4. Grafik energi listrik yang dihasilkan panel surya terhadap waktu.

Hasil pengukuran menunjukkan jumlah energi tertinggi yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 124 Wh yang terjadi pada hari Jum'at (10/7) dengan kondisi cuaca cerah dan diselingi berawan dan gerimis ringan sehingga terjadi penyinaran matahari yang cukup tinggi dan lama. Untuk hari Rabu (9/7) jumlah energi listrik yang dihasilkan panel surya sebesar 83,5 Wh. Sedangkan jumlah energi terendah yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 34,6 Wh pada hari Kamis (11/7) dengan kondisi rata-rata cuaca harian pada Kamis yaitu; mendung disertai hujan dan gerimis.

Pada perhitungan efisiensi panel surya berdasarkan persamaan (4), diasumsikan tingkat radiasi 1000 W/m², air mass 1,5 dan temperatur 250°C (*Standard Test Condition*), daya maksimum berdasarkan pengukuran sebesar 21,96 Watt serta dimensi panel surya berukuran 784 x 506 x 35 mm. Sehingga didapatkan efisiensi panel surya yaitu;

$$\eta_{PLTS} = \frac{P_{outmaks}}{P_{inmaks}} \times 100\%$$

$$\eta_{PLTS} = \frac{21,96}{1000 \times 3,96704} \times 100\% = 5,5 \%$$

Selama waktu pengukuran, didapatkan besar efisiensi maksimal panel surya sebesar 5,5%. Angka tersebut merupakan hasil perhitungan dengan asumsi untuk besar radiasi matahari maksimal yang pada waktu pengukuran adalah sebesar 1.000 Watt/m² dan daya maksimum tertinggi sebesar 21,96 Watt. Efisiensi panel surya dipengaruhi oleh luasan penampang panel, besar radiasi matahari, dan juga besar *output* daya panel surya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil didapatkan *output* panel surya pada hari Rabu (8/7), daya maksimal yang dihasilkan sebesar 18,76 Watt pada pukul 13.20 dan 13.25 WIB dengan tegangan sebesar 13,4 Volt dan arus sebesar 1,4 A. Pada hari Kamis (9/7), daya maksimal yang dihasilkan sebesar 18,76 Watt pada pukul 13.20 dan 13.25 WIB dengan tegangan sebesar 13,4 Volt dan arus sebesar 1,4 A. Pada hari Jum'at (10/7). Daya maksimal yang dihasilkan sebesar 21,96 Watt pada pukul 10.30

WIB dengan tegangan sebesar 18,3 Volt dan arus sebesar 1,2 A.

Jumlah energi tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu sebesar 124 Wh pada hari Jum'at (10/7). Untuk Hari Rabu (9/7) jumlah energi sebesar 83,5 Wh. Sedangkan jumlah energi terendah yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 34,6 Wh pada hari Kamis (11/7). Efisiensi panel surya didapatkan sebesar 5,5 % dengan asumsi radiasi matahari maksimal sebesar 1.000 W/m² pada daya maksimum terukur. Cuaca sangat berpengaruh terhadap perubahan intensitas penyinaran matahari berdasarkan hasil pengukuran dengan aplikasi *sensors*. Ketika cuaca mendung dan tertutup awan maka intensitas penyinaran yang ditangkap oleh permukaan panel surya pun menjadi berkurang dapat mengakibatkan daya keluaran yang dihasilkan semakin kecil.

Dari proses penelitian dan hasil yang didapatkan mengenai signifikasi perubahan cuaca terhadap keluaran panel surya 50 Wp dalam menghasilkan *output* maksimum disarankan agar dapat mengukur parameter radiasi matahari (Watt/m²) sehingga mendapatkan nilai efisiensi yang lebih mendukung untuk setiap data pengukuran. Selain itu, pengambilan data pengukuran parameter dapat dilakukan di lokasi atau tempat yang berbeda dan pada rentang waktu yang lebih lama dengan variasi cuaca yang mewakili kondisi sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada orang atau lembaga yang berkaitan langsung atau mendanai penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadhilah, M. H., Kurniawan, E. and Sunarya, U., 2017. Perancangan Dan Implementasi MPPT Charge Controller Pada Panel Surya Menggunakan Mikrokontroler Untuk Pengisian Baterai Sepeda Listrik. *e-Proceeding of Engineering*, 4(3), pp. 3164–3170.
- Gratzel, M., 2001. Photoelectrochemical cells. *Nature*, 414, pp. 338–344.
- Hidayanti, D. 2020. Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya. *Eksergi*, 15(3), p. 93.
- Irwansyah, D., 2020. Konversi Energi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Perencanaan Pembangkit. *Seminar Nasional Teknik Elektro (SENTER) V UIN SGD Bandung 2020*, pp. 113–127.
- Putra, S. and Rangkuti, C., 2016. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah. *Seminar Nasional Cendekiawan 2016*, pp. 23.1-23.7.
- West, K., 2003. Solar Cell Beyond Silicon. *Riso International*.
- Yandi, W., 2017. Tracker Tiga Posisi Panel Surya Untuk Peningkatan Konversi Energi dengan Catu Daya Rendah. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 6(3).
- Zuhail, 1991. *Dasar Tenaga Listrik (2nd edn)*. Bandung: Penerbit ITB.