

ANALISA EFISIENSI PENGARUH PARAMETER CAHAYA MATAHARI PADA FOTOVOLTAIK 100WP JENIS POLIKRISTAL, MONOKRISTAL DAN AMORPHOUS DI LABORATORIUM RISET TEKNOLOGI ENERGI UNSRI INDRALAYA

Sariman^{1*}, S. Agustina¹, M. Khoril¹ dan I. Bayusari¹

¹ Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: sariman78@yahoo.com

ABSTRAK: Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Teknologi Energi Jurusan Teknik Eiektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya di Indralaya. Fotovoltaik merupakan alat konversi Energi Matahari menjadi Energi listrik yang bebas polusi dan ramah lingkungan sehingga sangat perlu untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dalam mengembangkan teknologi baru/ terbarukan. Fotovoltaik ini ada 3 jenis yang sering digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya antara lain polikristal, monokristal dan amorphous. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter cahaya matahari pada bebagai jenis fotovoltaik. Hasil dari riset ini diketahui pada suhu yang sama seperti 24 °C panel surya amorphous menghasilkan tegangan 28.1 V arus 0.206 A, panel surya monokristal menghasilkan tegangan 30.1 V arus 0.706 A dan panel surya polikristal menghasilkan tegangan 29.1 V arus 0.306 A. Hasil dari riset ini pula diketahui bahwa panel surya jenis amorphous memiliki keluaran yang lebih kecil dibandingkan panel surya jenis polikristal dan monokristal.

Kata Kunci: Monokristal, Polikristal, Amorphous, Fotovoltaik, Konversi.

ABSTRACT: Held at the Energy Technology Research Laboratory of the Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Sriwijaya University in Indralaya. Photovoltaics is a means of converting solar energy into electricity that is pollution-free and environmentally friendly so it is necessary to conduct further research in developing new/ renewable technologies. There are 3 types of photovoltaics that are often used as solar power plants, including: Polycrystalline, Monocrystalline and Amorphous. The results of this research are known at the same temperature as 24 °C amorphous solar panels produce a voltage of 28.1 V current of 0.206 A, monocrystalline solar panels produce a voltage of 30.1 V current of 0.706 A and polycrystalline solar panels produce a voltage of 29.1 V current of 0.306 A. The results of this research are also known that amorphous solar panels have smaller output compared to polycrystalline and monocrystalline solar panels.

Keywords: Monocrystalline, Polycrystalline, Amorphous, Photovoltaic, Conversion.

PENDAHULUAN

Panel surya terdiri dari beberapa jenis. Di Indonesia, umumnya terdapat tiga jenis panel yang terdapat dipasaran yaitu Monokristalin, Polikristalin, dan Amorphus. Ketiga jenis sel surya tersebut memiliki karakteristik masing-masing dan efisiensi yang dimiliki berbeda-beda. Panel surya tidak selalu menghasilkan daya keluaran yang sama tiap waktunya karena beberapa faktor yaitu atmosfer bumi, orientasi panel, tiupan angin, radiasi matahari, dan suhu kerja panel surya (Jarnawi 2018). Listrik merupakan hal vital dalam memenuhi kebutuhan manusia, poros berkembangnya kehidupan pada suatu daerah terhadap kebutuhan akan era globalisasi ini. Salah satu indikator seberapa majunya suatu daerah kita dapat melihat apakah energi listrik sudah tersalurkan secara merata sampai seluruh penjuru.

Dari sisi perkembangannya ketika kita memantau dalam Outlook Energi Indonesia pada tahun 2014, total kebutuhan energi final pada priode 2015-2019 akan mengalami peningkatan dari 1.219 juta SBM pada tahun 2015 menjadi 1.452 juta SBM pada tahun 2019. Dari segi percepatan peningkatan energi menjadi suatu tolak ukur kemajuan tingkat kemakmuran masyarakat, hal besar yang menjadi tantangan adalah pada usaha penyediaan energy listrik itu sendiri. Ketika kita melihat kembali rasio elektrifikasi nasional mencapai 84,35%, hal ini terdata pada tahun 2014, ini berarti masih ada 15,65 % penduduk Indonesia belum dialiri listrik (ESDM 2015).

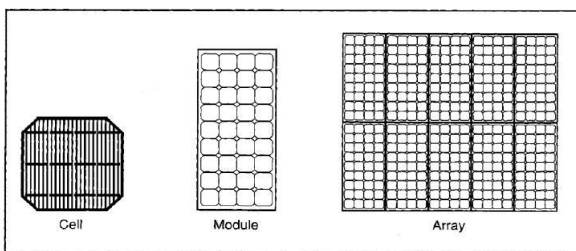
Energi terbarukan merupakan salah satu solusi yang tepat dalam penggunaan energi fosil yang semakin lama semakin habis, solusi untuk meningkatkan rasio elektrifikasi ini (Bazilian et al. 2013). Pemerintah

memiliki program untuk memberikan penyaluran listrik untuk masyarakat perdesaan yang dananya telah dianggarkan melalui APBN dan di utamakan pada provinsi dengan rasio elektrifikasi yang relatif masih rendah. Cara yang dilakukan dalam melakukan program ini dengan memberikan penyaluran listrik untuk daerah yang belum tersentuh aliran listrik, daerah terpencil dan daerah perbatasan (ESDM 2015). Untuk Provinsi Sumatera Selatan, rasio elektrifikasinya sudah mencapai 83,27%, ini berarti masih ada daerah yang belum teraliri listrik sebesar 16,73 % penduduk belum dialiri listrik, kebanyakan yang belum teraliri listrik adalah daerah perdesaan yang sulit untuk di jangkau.

Salah satu cara untuk menyalurkan listrik ke desa-desa terpencil yang sulit untuk di jangkau dengan menggunakan pembangkit dengan sistem hybrid. Pembangkit dengan sistem ini adalah pembangkit yang menggabungkan pembangkit listrik yang berbasis BBM seperti Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan jenis pembangkit yang berbasis energy terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa (S, Manan 2009).

Panel Surya

Panel Surya adalah komponen utama yang diperlukan untuk instalasi pembangkit listrik tenaga surya, panel surya terbuat dari bahan semikonduktor (Luque dan Hegedus 2003). Pada gambar 1 menunjukkan terbentuknya sebuah panel surya. Satu solar cell menghasilkan tenaga listrik yang sangat kecil, maka beberapa solar cell harus digabung sehingga terbentuklah modul, dalam pemanfaatannya beberapa modul digabungkan sehingga terbentuk array (Palz 2013).



Gambar 1 Hubungan sel surya, panel surya, dan array

Panel surya memiliki dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Pada bagian lapisan panel surya bermuatan positif dan pada bagian lapisan di atasnya bermuatan negative (Swanson 2009). Pada saat permukaan panel surya menerima cahaya matahari, beberapa foton dari cahaya matahari akan diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas. Adanya perpindahan elektron-elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik. Untuk mengetahui

jumlah panel surya yang diperlukan sebagai berikut (Rofiq 2018) :

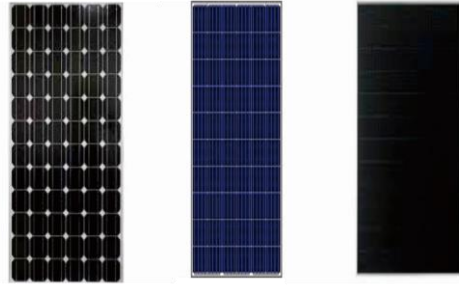
$$n_{panel} = \frac{P_{wp}}{P_{MPP}} \tag{1}$$

Keterangan :

P_{wp} = Daya yang dibangkitkan (*Watt Peak*)

P_{MPP} = Maksimum keluaran panel surya (*Watt Peak*)

Jenis-Jenis Panel Surya



Gambar 2 Jenis-jenis panel surya.

Panel Surya Monokristalin

Selama sepuluh tahun terakhir industri sel surya telah mengalami peningkatan cukup signifikan. Berkat penelitian yang massif terhadap pembuatan sel surya sehingga harga sel surya tiap tahunnya dapat semakin terjangkau. Bahan pembuat sel surya terdiri dari bahan semikonduktor. Semikonduktor merupakan bahan yang dapat menghantarkan arus listrik saat disuplai cahaya atau panas. Saat ini sebagian besar sel surya didunia terbuat dari Silikon. Selain karena jumlah silikon cukup banyak dibumi, dalam proses pengolahannya tidak merusak lingkungan. Salah satu jenis panel dari bahan silikon yang banyak dipakai yaitu Monokristalin tingkat ke efisensinya tinggi 17% - 18% (Setiawan 2019).

Panel Surya Polikristalin

Modul PV polikristalin umumnya terdiri dari sejumlah kristal yang berbeda, digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Pengolahan sel surya Si surya polikristalin lebih ekonomis, yang dihasilkan oleh pendinginan cetakan grafit yang diisi dengan silikon cair. Sel surya Si polikristalin saat ini adalah sel surya yang paling populer. Sel surya ini merupakan sel surya yang paling banyak digunakan hingga 48% dari produksi sel surya di seluruh dunia selama 2008. Selama pemadatan silikon cair, berbagai struktur kristal terbentuk. Meskipun mereka sedikit lebih murah untuk dibuat dibandingkan dengan panel surya silikon monocrystalline, namun kurang efisien ~ 12% - 14%.

Panel Surya Thin Film Amorphous

Modul PV Amorphous Si (a-Si) adalah sel surya primitif yang pertama kali diproduksi secara industri. Sel surya amorf (a-Si) dapat diproduksi pada suhu pemrosesan yang rendah, sehingga memungkinkan penggunaan berbagai substrat biaya rendah, polimer dan

fleksibel lainnya. Substrat ini membutuhkan lebih sedikit energi untuk pengolahan. Oleh karena itu, sel surya a-Si amorf relatif lebih murah dan banyak tersedia dipasaran. Kata "amorf" sehubungan dengan sel surya berarti bahwa bahan silikon yang terdiri dari sel yang tidak memiliki pasti pengaturan atom dalam kisi, struktur non-kristal, atau tidak sangat terstruktur. Panel ini dibuat dengan melapisi bahan silikon yang didoping ke bagian belakang pelat substrat / kaca. Sel surya ini umumnya berwarna coklat gelap pada sisi yang memantulkan cahaya sementara pada sisi konduktif. Masalah utama sel surya a-Si adalah efisiensi yang buruk dan hampir tidak stabil. Efisiensi sel secara otomatis jatuh pada level modul PV. Saat ini, efisiensi modul PV komersial bervariasi dalam kisaran 4% - 8% (Afif 2018).

Datalogger (Penyimpanan Data)

Datalogger disebut juga dengan perekam data. Secara umum perekam data terdiri dari mikrokontroller, sensor, aktuator, dan media penyimpanan. Dalam datalogger terdapat penyimpanan data yang diambil dari sensor-sensor. Data diambil per waktu sesuai perintah program lalu disimpan dalam media penyimpanan berupa modul SD Card. Sensor-sensor yang digunakan pada datalogger untuk mendapatkan data daya keluaran berupa sensor tegangan dan sensor arus. Sensor suhu juga digunakan untuk mendapatkan data suhu panel. Modul Real-Time Clock (RTC) digunakan agar mikrokontroller dapat menyimpan data berdasarkan waktu. Pada penelitian ini mikrokontroller yang digunakan berupa Arduino Uno karena mudah dalam pengoperasian dan pemrograman.

Radiasi Matahari

Radiasi matahari yang tersedia diluar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta radiasi matahari sebesar 1367 W/m² dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi, selain itu terjadi pengurangan intensitasnya oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.

Radiasi matahari terdiri dari energi elektromagnetik dari berbagai panjang gelombang. Mulai dari gelombang paling pendek yaitu ultraviolet hingga gelombang paling panjang yaitu infrared. Sedangkan yang dapat dikonversi oleh sel surya hanya spektrum cahaya visual diantara gelombang violet sampai merah yang menghasilkan listrik (Jacobson 2009).

Pyranometer

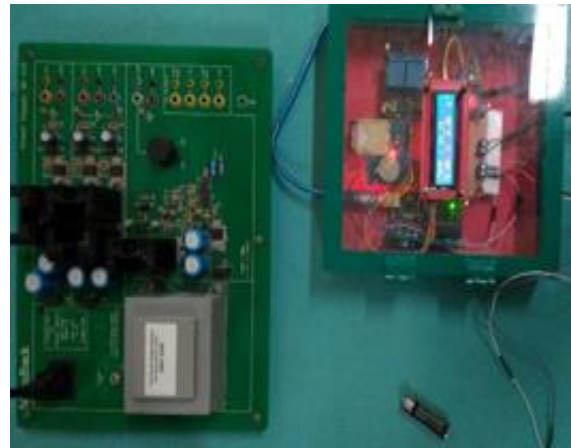
Pyranometer digunakan untuk mengukur kuantitas sinar matahari. Pyranometer memberikan sinyal tegangan berbanding lurus dengan radiasi yang diukur dalam watt per meter persegi. Perangkat ini dirancang khusus untuk menerima cahaya dari semua sudut, memiliki respons datar terhadap cahaya dari ultraviolet ke inframerah, dan memiliki output yang stabil terlepas

dari kondisi langit dan perubahan kondisi sekitar (Setiawan 2019).

METODE PENELITIAN

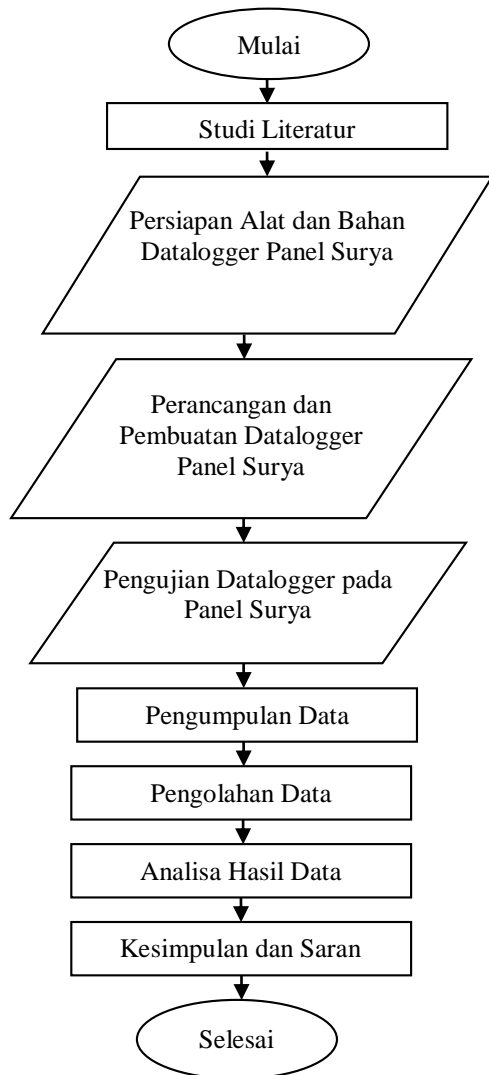
Setelah rangkaian *datalogger* dipastikan terhubung dan bekerja dengan baik, selanjutnya akan dilakukan penelitian dengan prosedur sebagai berikut :

1. Tiga jenis panel dipasang berdekatan dengan sudut kemiringan yang sama.
2. Sumber keluaran masing-masing panel dihubungkan seri dengan sensor arus, lalu dihubungkan paralel dengan sensor tegangan, lalu dihubungkan ke beban lampu DC.

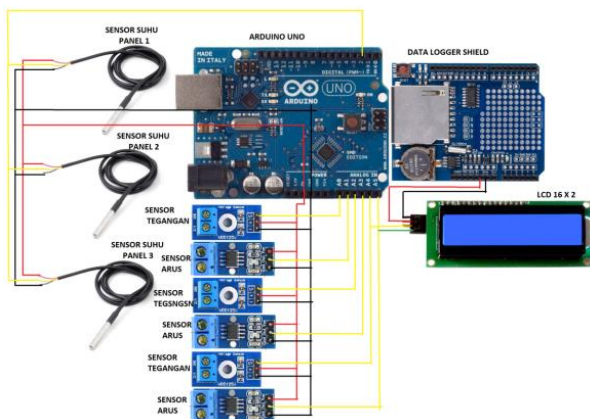


Gambar 3 Desain datalogger.

Proses riset yang digunakan pada pembuatan desain data logger panel surya adalah proses eksperimen. Berikut digram alir riset data logger panel surya:



Gambar 4 Diagram alir penelitian.



Gambar 5 Rangkaian datalogger pada software.

1. Sensor suhu DS18B20 diletakkan diatas permukaan panel surya untuk mendapatkan suhu kerja masing-masing panel.
2. Pyranometer diletakkan disebelah panel surya tanpa menghalangi cahaya yang mengarah ke panel.

3. Box *datalogger* diletakkan dibawah panel surya untuk menghindari komponen terkena air ataupun gangguan lain.
4. Pengambilan data dilakukan selama 2 minggu dengan rentang waktu per jam dari mulai pukul 06.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB.

Setelah dapat parameter tegangan (Volt), arus (Ampere), dan suhu (°C) data yang didapat selama 2 minggu tersebut dilakukan perhitungan untuk mendapatkan parameter P_{out} (Watt). Menentukan nilai P_{out} dengan Persamaan 2.1 berikut.

$$P_{out} = V \cdot I \tag{2}$$

Seteleah itu baru mengukur efisiensi. Rumus efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{E_{in} \cdot A_{in}} \times 100\% \tag{3}$$

Proses Pengkalibrasian Datalogger

Kalibrasi datalogger dilakukan pada sensor tegangan dan sensor suhu. Sensor tegangan nilainya dibandingkan dengan Voltmeter Digital, dengan variabel tegangan menggunakan Power Supply. Sensor suhu dibandingkan nilainya dengan Thermometer Air Raksa, dengan variabel suhu oleh *Hot Plate*.

Proses Pengambilan Data oleh Datalogger

Pengambilan data dilakukan selama dua minggu penelitian. Dengan proses pengambilan data sebagai berikut :

1. Sensor suhu diletakkan diatas permukaan panel
2. Sensor tegangan mengukur tegangan rangkaian terbuka bergantian dengan sensor arus mengukur arus hubung singkat.
3. Pergantian pengukuran secara otomatis oleh relay Arduino.
4. Pengambilan data dilakukan per jam, mulai dari pukul 07.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran yang didapatkan pada panel surya jenis Amorphus ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1 Data Hasil Pengukuran Pada Panel Jenis Amorphus

Pukul	Suhu (C)	Tegangan (V)	Arus (A)
07.00	24	28,1	0,206
08.00	26	28,6	0,323
09.00	30	29,3	0,746

10.00	35	29,4	1,078
11.00	45	28,5	2,044
12.00	41	31,2	1,582
13.00	35	29,4	1,322
14.00	43	27,8	1,772
15.00	40	30,7	1,479
16.00	35	29,7	0,68
17.00	31	26,7	0,185

Berdasarkan tabel 1 maka dapat diketahui bahwa pada panel jenis Amorphus, suhu tertinggi yang dihasilkan sebesar 45⁰C pada pukul 11.00 WIB dan suhu terendah yang dihasilkan sebesar 24⁰C pada pukul 07.00 WIB. Sedangkan untuk nilai Tegangan tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 31,2 V pada pukul 12.00 WIB dan Tegangan terendah sebesar 26,7 V pada pukul 17.00 WIB. Sementara Arus Tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 2,004 A pada pukul 11.00 WIB dan Arus terendah sebesar 0,185 A pada pukul 17.00 WIB.

Data hasil pengukuran yang didapatkan pada panel surya jenis Monocrystalline ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2 Data Hasil Pengukuran Pada Panel Jenis Monocrytalline

Pukul	Suhu (C)	Tegangan (V)	Arus (A)
07.00	24	30,1	0,706
08.00	26	30,6	0,823
09.00	30	31,3	1,246
10.00	35	31,4	1,578
11.00	45	30,5	2,544
12.00	41	33,2	2,082
13.00	35	31,4	1,822
14.00	43	29,8	2,272
15.00	40	32,7	1,979
16.00	35	31,7	1,18
17.00	31	28,7	0,685

Berdasarkan tabel 2 maka dapat diketahui bahwa pada panel jenis Monocrystalline, suhu tertinggi yang dihasilkan sebesar 45⁰C pada pukul 11.00 WIB dan suhu terendah yang dihasilkan sebesar 24⁰C pada pukul 07.00 WIB. Sedangkan untuk nilai Tegangan tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 33,2 V pada pukul 12.00 WIB dan Tegangan terendah sebesar 28,7 V pada pukul 17.00 WIB. Sementara Arus Tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 2,544 A pada pukul 11.00 WIB dan Arus Terendah sebesar 0,685 A pada pukul 17.00 WIB.

Data hasil pengukuran yang didapatkan pada panel surya jenis Polycrystalline ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3 Data Hasil Pengukuran Pada Panel Jenis Polycrystalline

Pukul	Suhu (C)	Tegangan (V)	Arus (A)
07.00	24	29,1	0,306
08.00	26	29,6	0,423
09.00	30	30,3	0,846
10.00	35	30,4	1,178
11.00	45	29,5	2,144
12.00	41	32,2	1,682
13.00	35	30,4	1,422
14.00	43	28,8	1,872
15.00	40	31,7	1,579
16.00	35	30,7	0,78
17.00	31	27,7	0,285

Berdasarkan tabel 3 maka dapat diketahui bahwa pada panel jenis Polycrystalline, suhu tertinggi yang dihasilkan sebesar 45⁰C pada pukul 11.00 WIB dan suhu terendah yang dihasilkan sebesar 24⁰C pada pukul 07.00 WIB. Sedangkan untuk nilai Tegangan tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 32,2 V pada pukul 12.00 WIB dan Tegangan terendah sebesar 27,7 V pada pukul 17.00 WIB. Sementara Arus Tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 2,144 A pada pukul 11.00 WIB dan Arus Terendah sebesar 0,285 A pada pukul 17.00 WIB.

Berdasarkan ketiga tabel hasil pengukuran pada ke-3 jenis panel untuk pengukuran dapat dibuat sebuah tabel perbandingan tegangan yang dihasilkan antara ketiga panel tersebut sebagai berikut.

Tabel 4 Perbandingan Tegangan Antara ke-3 Jenis Panel Surya

T (°C)	Amorphous	Monokristalin	Polikristalin
24	28,1	30,1	29,1
26	28,6	30,6	29,6
30	29,3	31,3	30,3
31	26,7	28,7	27,7
35	29,4	31,4	30,4
35	29,4	31,4	30,4
35	29,7	31,7	30,7
40	30,7	32,7	31,7
41	31,2	33,2	32,2
43	27,8	29,8	28,8
45	28,5	30,5	29,5

Berdasarkan tabel 4 maka dapat diketahui bahwa tegangan tertinggi yang dihasilkan dari hasil pengukuran pada hari ke-3 adalah sebesar 33,2 V pada panel surya jenis Monokristalin sedangkan tegangan terendah sebesar 26,7 V pada panel surya jenis Amorphus.

Analisa Kinerja Datalogger

Pada analisa hasil penelitian mengenai perbandingan ke tiga jenis panel surya maka dapat ditampilkan pada tabel hasil pengukuran selama dua minggu sebagai berikut.

Tabel 5 Hasil Pengukuran ke-3 Jenis Panel Selama Dua Minggu

Hari	Tegangan (V)			Arus (A)		
	V1	V2	V3	I1	I2	I3
ke 1	28,2	42,8	37,7	0,6	1,35	0,72
ke 2	28,1	42,6	36,7	1,0	1,54	1,07
ke 3	29,5	43,1	38,0	1,0	1,65	1,13
ke 4	28,9	38,4	36,7	0,9	1,18	0,88
ke 5	29,3	42,9	37,7	0,6	1,99	0,72
ke 6	29,0	43,7	37,0	1,1	2,07	1,19
ke 7	28,9	43,5	36,7	1,0	1,83	1,07
ke 8	28,9	42,2	36,7	0,8	1,75	0,86
ke 9	29,0	43,2	36,5	0,9	1,75	0,97
ke 10	29,5	43,5	38,0	1,0	1,81	1,10
ke 11	28,9	42,6	37,2	0,9	1,68	0,97
ke 12	28,9	42,6	37,2	0,9	1,69	0,97
ke 13	29,0	42,6	37,1	0,9	1,72	0,99
ke 14	29,0	42,6	37,2	0,9	1,74	0,99

Keterangan:

- V1 dan I1 = Panel surya amorphous
 V2 dan I2 = Panel surya monokristalin
 V3 dan I3 = Panel surya polikristalin

Berdasarkan tabel 5 maka dapat diketahui bahwa tegangan tertinggi selalu dihasilkan oleh panel surya jenis monokristalin dan tegangan terendah selalu dihasilkan oleh panel surya jenis Amorphouse sehingga kualitas tegangan keluaran yang dihasilkan paling baik dari ketiga jenis panel tersebut adalah pada panel surya jenis monokristalin. Sedangkan arus tertinggi yang dihasilkan juga selalu terdapat pada panel surya jenis monokristalin dan arus terendah juga selalu terdapat pada panel surya jenis Amorphus.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa panel surya jenis monokristalin memiliki tegangan dan arus keluaran yang dominan lebih besar dibandingkan panel surya jenis polikristalin dan amorphous. Panel surya jenis monokristalin memiliki efisiensi lebih baik dibandingkan panel surya jenis polikristalin dan amorphous.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Jarnawi, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Desa Lebung Laut Kecamatan Rantau Bayur Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan," 2018, pp. 1–26.
- A. R. Setiawan. 2019. Rancang Bangun Datalogger Tegangan, Arus dan Suhu Pada Panel Surya Jenis Monokristalin. Universitas Sriwijaya.
- Bazilian, M.; Onyeji, I.; Liebreich, M.; MacGill, I.; Chase, J.; Shah, J.; Gielen, D.; Arent, D.; Landfear, D.; Zhengrong, S. (2013). "Re-considering the economics of photovoltaic power" (PDF). *Renewable Energy*. 53:329–338. CiteSeerX 0.1.1. 692.1880. doi: 10.1016/j.renene.2012.11.029.
- Jacobson, Mark Z. (2009). "Review of Solutions to Global Warming, Air Pollution, and Energy Security". *Energy & Environmental Science*. 2 (2): 148-173. CiteSeerX 10.1.1.180.4676. doi:10.1039/B809990C.
- M. Afif. 2018. Pengaruh Parameter Cahaya Matahari dan Suhu Terhadap Daya Keluaran Panel Surya Thin Film Jenis Amorphous
- Luque, Antonio & Hegedus, Steven (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley and Sons. ISBN 978-0-471-49196-5.
- Palz, Wolfgang (2013). *Solar Power for the World: What You Wanted to Know about Photovoltaics*. CRC Press. pp. 131–. ISBN 978-981-4411-87-5.
- Rofiq. 2018. Perancangan Solar Charge Controller Pada Solar Home System Berkapasitas 1300 VA Menggunakan Panel Polikristal 100Wattpeak di laboratorium Riset Teknologi Energi. Universitas Sriwijaya.
- S. Manan, Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif yang Effisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia, *Gema Teknol.*, 2009.
- Swanson, R. M. (2009). "Photovoltaics Power Up" (PDF). *Science*. 324 (5929): 891–2. doi:10.1126/science.1169616. PMID 19443773.