

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAU DAYA PADA MODUL SILIKON POLIKRISTAL

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF POWER MONITORING SYSTEM ON POLYCRYSTALLINE SILICON MODULE

Firdy Bahari P.¹, Ismudiati Puri H.², Reza Fauzi I.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

[1firdysaga@gmail.com](mailto:firdysaga@gmail.com), [2dekpuri@gmail.com](mailto:dekpuri@gmail.com), [3rezafauzii@gmail.com](mailto:rezafauzii@gmail.com)

Abstrak

Energi listrik yang dibangkitkan dengan bahan bakar fosil jumlahnya terbatas. Oleh sebab itu perlu adanya pembangkit listrik yang berkategori terbarukan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Komponen penting PLTS yaitu modul surya yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Setiap modul surya memiliki karakteristik yang berbeda dan mempengaruhi kinerja PLTS. Pada penelitian ini sistem pemantau daya telah dibuat dan diujicobakan untuk mengkarakterisasi daya keluaran dan disipasi daya pada PLTS yang berada di Gedung P. Karakterisasi modul surya dilakukan dengan cara menentukan grafik "I-V" dan mencari nilai hambatan dalam dari modul surya, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan efisiensi dan disipasi daya. Grafik "I-V" ditentukan dengan cara mencatat nilai arus dan tegangan pada beban variabel yang dihubungkan dengan modul PV. Nilai arus dan tegangan dilengkapi dengan data suhu, radiasi matahari, dan kelembaban yang tercatat pada sistem pemantau real time, sehingga mendapatkan data pengaruh lingkungan terhadap kerja PLTS. Dengan mendapatkan grafik "I-V" pada modul PV, efisiensi, nilai hambatan dan disipasi daya suatu PLTS dapat dipantau sesuai dengan waktu sebenarnya.

Kata kunci: modul surya, PLTS, grafik "I-V", efek fotovoltaiik, pemantauan daya, disipasi daya.

Abstract

Electricities generated using fossil fuel are limited. Therefore it is necessary to create a renewable power plant, such as solar power plant which uses solar modules as an electricity generators. Each solar module has different characteristics that can affect the performance of solar power plant. In this study, a power monitoring system is built and implement to monitor the output of the solar power plant which consist of efficiency, and power loss in P building. The characterization of solar module is done by determining the "I-V" curve and finding the internal resistance of the solar module. The "I-V" curve is obtained by recording the current and voltage for various resistance. The temperature, solar radiation, and humidity are also real time recorded. By getting the "I-V" curve, internal resistance, efficiency, and power loss of the solar power plant can be real time monitored.

Keywords: photovoltaics module, solar power plant, "I-V" curve, photovoltaics effect, monitoring, power loss.

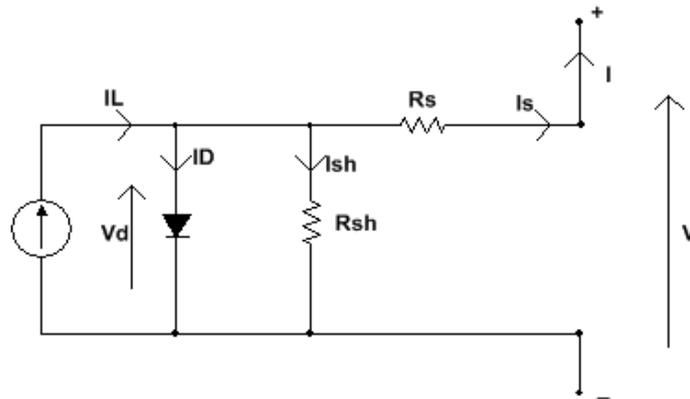
1. Pendahuluan

Mengingat keterbatasan sumber daya fosil, perlu adanya sistem pembangkit lain yang terbarukan salah satunya adalah Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Daya keluaran modul PV pada PLTS tergantung pada keadaan lingkungan, ketika daya yang dihasilkan modul PV maksimal dinamakan Maximum Power Point (MPP). Untuk mengetahui secara pasti keadaan MPP didapat dengan cara mengkarakterisasi modul PV untuk berbagai variasi radiasi matahari, suhu, dan kelembaban. Karakterisasi modul PV perlu dilakukan agar mengetahui nilai dari parameter yang dibutuhkan untuk melakukan pemantauan. Dengan melakukan pemantauan, maka akan didapatkan nilai efisiensi (η), daya rata-rata (P_a), dan disipasi daya (ΔP) dari modul PV yang digunakan.

2. Dasar Teori

2.1. Modul Fotovoltaik

Modul PV adalah gabungan dari beberapa sel PV yang diserikan. Modul PV adalah alat yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul PV memiliki karakteristik yang sama dengan rangkaian listrik, sehingga modul PV dapat disetarakan dengan rangkaian pengganti satu dioda[3]. Pada setiap modul PV terdapat hambatan dalam seri (R_s) dan hambatan dalam paralel (R_{sh}). Hambatan seri adalah hambatan yang ada pada konduktor seperti kabel dan kontak pada modul PV. Hambatan seri dapat dianalogikan seperti suatu resistor yang diserikan dengan modul PV[4]. Hambatan paralel adalah hambatan yang ada pada jalur resistif antara bagian depan dan bagian belakang modul PV, selain itu hambatan paralel juga dapat disebabkan karena cacat pada produksi. Hambatan paralel dapat dianalogikan seperti suatu resistor yang di paralelkan dengan modul PV[4]. Oleh karena itu, modul PV dapat disetarakan dengan rangkaian setara seperti Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian setara modul PV

2.2. Efisiensi dan Disipasi Daya

Nilai efisiensi pada percobaan ini didapat dari perhitungan berdasarkan persamaan 1. Nilai efisiensi dihitung berdasarkan nilai yang didapat pada saat pengambilan data grafik "I-V". Setiap daya maksimal (P_{out}) yang terukur pada setiap percobaan akan dibagi dengan hasil perkalian dari nilai intensitas cahaya matahari (G) dengan nilai luasan modul PV (A). Luasan modul PV didapat dari hasil perkalian panjang dan lebar dari modul PV yang bernilai $0,6673 \text{ m}^2$.

$$\eta = \frac{P_{out}}{G \cdot A} \times 100\% \quad (1)$$

Disipasi daya merupakan besaran daya yang hilang akibat adanya hambatan dalam dari modul PV yang digunakan. Hambatan dalam pada modul PV terbagi menjadi 2, yaitu hambatan seri (R_s) dan hambatan paralel (R_{sh}). Disipasi daya ini merupakan selisih antara daya yang tidak terpengaruh oleh hambatan dalam dengan daya yang terpengaruh oleh hambatan dalam seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.

$$P_{mp} = P'_{mp} - \Delta P$$

$$\Delta P = P'_{mp} - P_{mp} \quad (2)$$

Dengan P'_{mp} adalah nilai daya keluaran jika tidak ada hambatan seri dan hambatan paralel. P_{mp} adalah daya keluaran maksimal yang dihasilkan oleh modul PV saat beroperasi. ΔP adalah disipasi daya akibat adanya hambatan seri dan hambatan paralel. ΔP dapat dijabarkan sesuai dengan persamaan 3.

$$\Delta P = P_{sh} + P_s$$

$$\Delta P = \frac{V_{mp}^2}{R_{sh}} + I_{mp}^2 \cdot R_s \quad (3)$$

Dengan P_{SH} adalah daya pada hambatan paralel dan P_S adalah daya pada hambatan seri. Nilai disipasi daya merupakan nilai penjumlahan daya pada hambatan paralel dan hambatan seri. Nilai hambatan seri dan hambatan paralel dapat ditentukan berdasarkan kemiringan grafik "I-V". Nilai hambatan seri ditentukan berdasarkan invers dari kemiringan dekat area V_{oc} ^[15]. Nilai hambatan paralel ditentukan berdasarkan invers dari kemiringan dekat area I_{sc} ^[15].

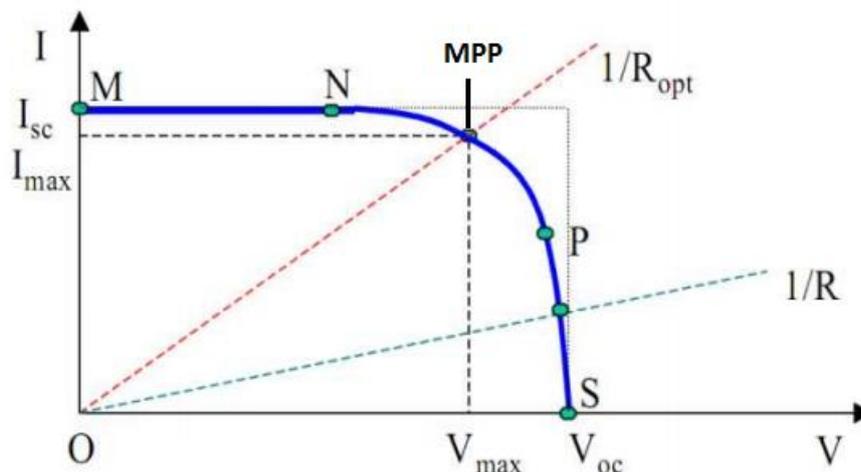
$$Slope = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I}{\Delta V}$$

$$R_s = \frac{\Delta V_{oc}}{\Delta I_{oc}} \quad (4)$$

$$R_{sh} = \frac{\Delta V_{sc}}{\Delta I_{sc}} \quad (5)$$

2.3. Kurva "I-V"

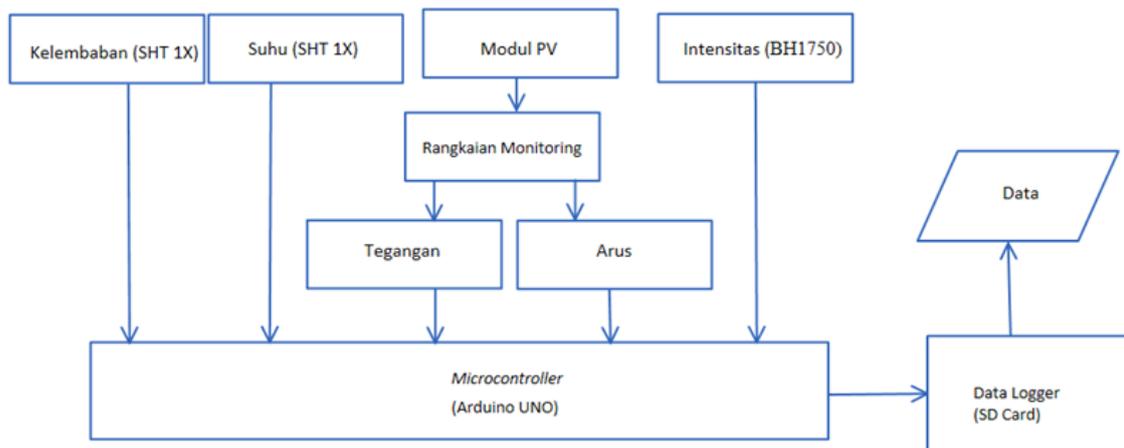
Kurva "I-V" merupakan grafik dari arus keluaran terhadap tegangan keluaran modul PV. Kurva "I-V" didapat dari pengambilan data arus keluaran dan tegangan keluaran berdasarkan perubahan nilai resistansi saat intensitas cahaya yang diterima modul PV bernilai konstan. Gambar 2 menunjukkan ketika modul PV dihubungkan dengan beban (R), dimana beban ditinjau sebagai garis linear dengan garis $I/V = 1/R$ [3]. Ketika resistansi bernilai 0, maka arus keluaran yang terbaca akan bernilai sangat besar atau disebut juga dengan arus hubung singkat (I_{sc}). Ketika nilai resistansi bertambah, titik daya akan bergerak dari titik M menuju titik N lalu ke titik P dilanjutkan ke titik S. Pada titik S, arus keluaran menjadi 0, akan tetapi tegangan keluaran akan bernilai sangat besar atau disebut juga tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Ketika daya mengalami perubahan nilai, ada titik dimana daya keluaran modul PV merupakan nilai paling besar dibandingkan dengan yang lainnya, maka itu adalah *Maximum Power Point (MPP)*.



Gambar 2 Karakteristik arus-tegangan (kurva "I-V")[3]

3. Implementasi Alat dan Hasil Pemantauan

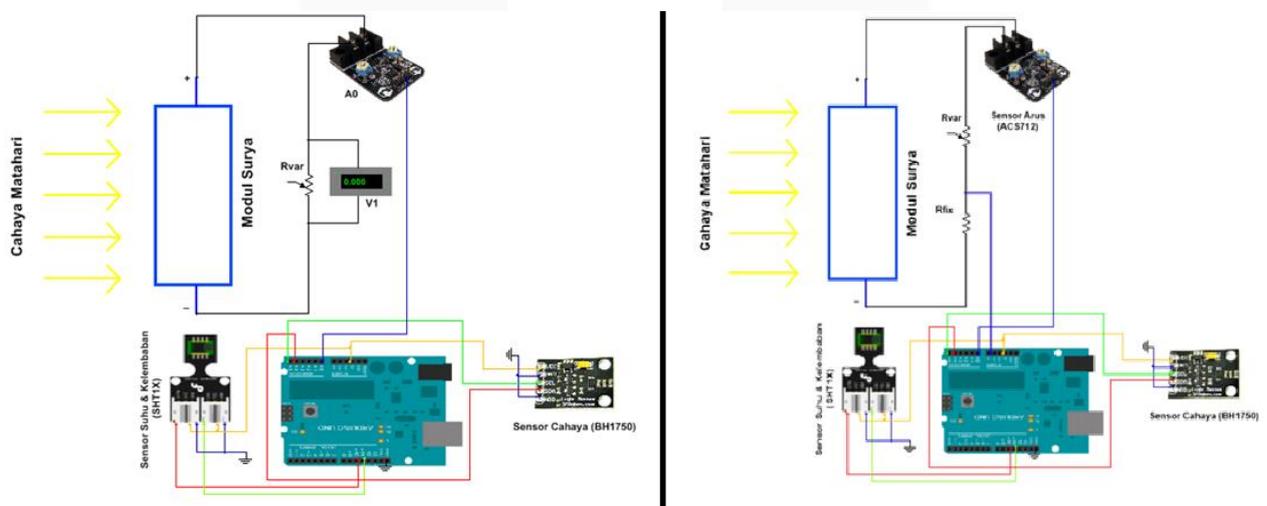
Proses pengukuran keluaran ini dilakukan pada suhu di lapangan tanpa adanya konveksi paksa (pendinginan) dan dilakukan dengan sinar matahari langsung (tanpa adanya penyinaran buatan). Untuk mengukur arus dan tegangan keluaran modul PV digunakan rangkaian yang tertera pada Gambar 4. Proses pengukuran dimulai dengan mengukur intensitas matahari, suhu udara, dan kelembaban pada saat alat sedang beroperasi. Intensitas matahari, suhu udara, dan kelembaban yang diukur akan dicatat sebagai parameter penting dalam pengukuran ini.



Gambar 3 Skema Instrumen Penelitian

Proses pengukuran keluaran modul PV ini memiliki 2 proses yang berbeda. Proses yang pertama adalah pengambilan data grafik “I-V”. Proses pengukuran ini dilakukan dengan cara merubah nilai resistansi dari resistor variabel (R_{var}) hingga diperoleh tegangan maksimal (V_{oc}), arus maksimal (I_{sc}), dan daya maksimal (P_{mp}). Parameter tegangan keluaran modul PV diukur menggunakan voltmeter digital krisbow KW06-272 (V_I) yang dipasang secara paralel dengan terminal keluaran dari modul PV sebagai referensi tegangan, sedangkan parameter arus keluaran modul PV diukur menggunakan sensor arus ACS712 (A_0) yang dipasang secara seri dengan resistor variabel (R_{var}).

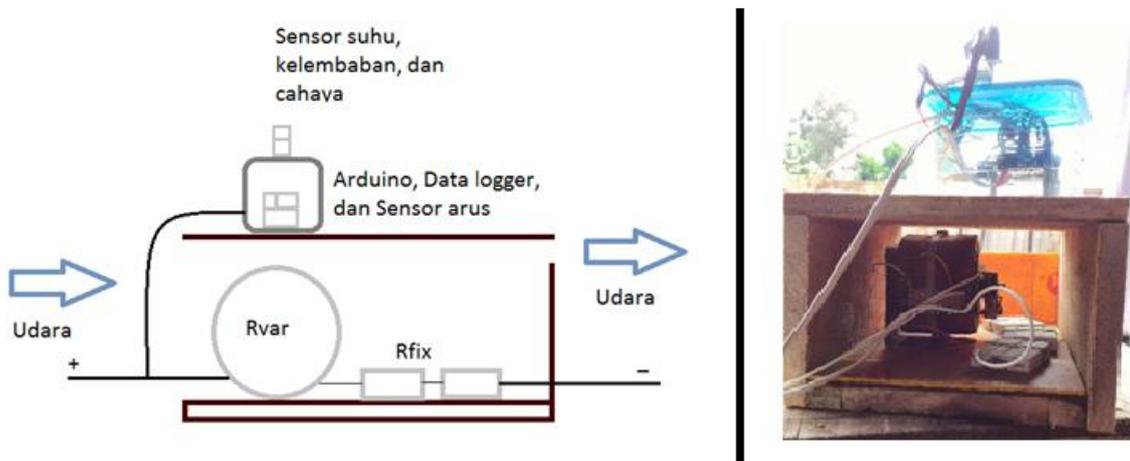
Proses pengukuran keluaran modul PV yang kedua adalah pengambilan data harian tanpa merubah nilai resistansi (Gambar 4). Proses pengukuran ini dilakukan dengan cara mengganti nilai hambatan total dengan nilai hambatan optimal yang didapat dari pengukuran keluaran sebelumnya, sehingga tegangan dan arus keluaran akan mencapai tegangan pada daya maksimal (V_{mp}), arus pada daya maksimal (I_{mp}) dan daya maksimal (P_{mp}) akan didapat dari perkalian keduanya. Parameter tegangan keluaran modul PV diukur menggunakan analog read (A_I) pada arduino, sedangkan parameter arus keluaran modul PV diukur menggunakan sensor arus ACS712 (A_0) yang dipasang secara seri dengan resistor variabel (R_{var}). Hasil dari pengukuran ini adalah grafik arus, tegangan, daya, intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, dan kelembaban udara terhadap waktu sampling yang telah diprogram pada arduino.



Gambar 4 Rangkaian untuk mengambil data grafik “I-V” dan pemantauan harian

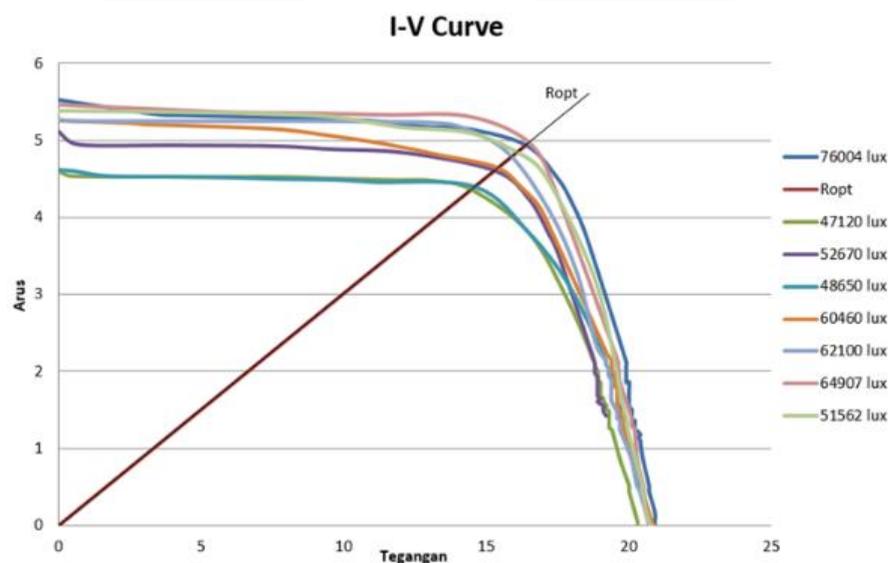
Skema dan realisasi alat pemantau pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 5. Rangkaian listrik pada alat ini dilindungi dengan 2 bagian pelindung. Yang pertama yaitu pelindung yang terbuat dari papan dilengkapi dengan rongga agar udara dapat mengalir. Aliran udara berfungsi untuk menjaga suhu R_{var} dan R_{fix} agar tidak terlalu panas saat alat sedang bekerja. R_{var} dan R_{fix} harus disimpan pada tempat yang tidak terpapar sinar matahari langsung agar tidak menyebabkan kenaikan suhu R_{var} dan R_{fix} . Pelindung resistor dibuat menggunakan papan agar dapat menopang berat dari R_{var} . Pelindung yang kedua adalah pelindung

yang dapat dipindahkan tergantung dari kebutuhan penggunaannya. Pelindung ini berfungsi untuk melindungi arduino, data logger, dan sensor arus. Pelindung ini juga berfungsi menopang sensor suhu, kelembaban, dan cahaya yang harus terpapar sinar matahari langsung



Gambar 5 Desain alat pengukuran dan foto alat pengukuran

Data arus dan tegangan keluaran dari modul PV didapat dari 8 kali percobaan yang dilakukan pada tanggal 18 November 2015 dan 27-28 Januari 2016 pada saat *peak hour* (11:00-13:30) ketika cuaca sedang tidak berawan. Kurva "I-V" yang didapatkan dari percobaan tersebut ditampilkan pada Gambar 6. Arus dan tegangan keluaran berubah sesuai pergerakan nilai resistansi variabel yang bergerak dari 0-100 k Ω . Pada nilai resistansi yang kecil, nilai arus akan menjadi sangat besar dan nilai tegangan akan menjadi sangat kecil. Pada nilai resistansi yang besar, nilai arus akan menjadi sangat kecil dan nilai tegangan akan menjadi sangat besar. Perkalian nilai arus dan tegangan akan menjadi nilai daya, sehingga nilai-nilai arus dan tegangan harus seimbang agar mencapai daya yang maksimal.



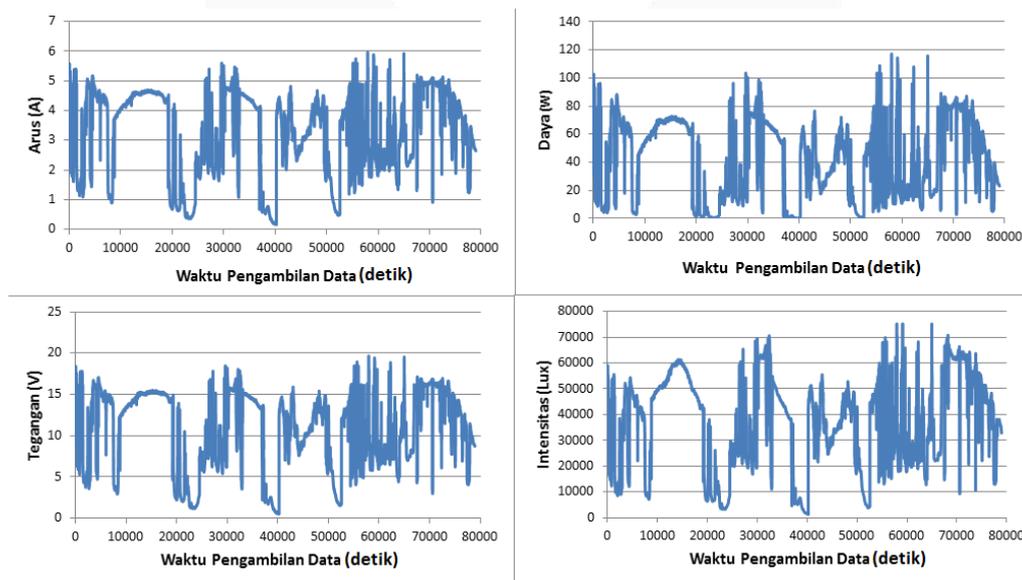
Gambar 6 Kurva "I-V" dari 8 percobaan

Nilai resistansi optimal pada 8 kali percobaan berkisar antara 3,183 hingga 3,325 Ω (Tabel 1), dengan nilai rata-rata 3,291 Ω dengan nilai toleransi sebesar 10%. Resistansi optimal digunakan sebagai pengganti rangkaian resistor pada sistem pemantau modul PV, agar sistem tersebut selalu menghasilkan daya keluaran maksimal.

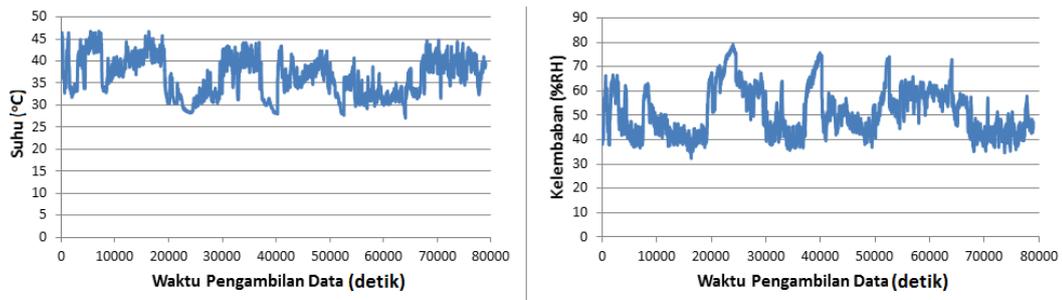
Tabel 1 R_{opt} , R_s , R_{sh} , $fill\ factor$, dan efisiensi pada setiap percobaan

Percobaan	R_{opt} (Ω)	R_s (Ω)	R_{SH} (Ω)	$Fill\ Factor$	Efisiensi (%)
1	3,320	0,469	84,444	0,701	13,19 %
2	3,326	0,714	97,500	0,675	11,86 %
3	3,319	0,755	104,545	0,675	12,37 %
4	3,318	0,739	74,615	0,668	12,59 %
5	3,075	0,743	69,091	0,650	11,92 %
6	3,271	0,703	129,273	0,673	12,63 %
7	3,183	0,522	101,571	0,724	13,10 %
8	3,283	0,608	120,625	0,695	14,85 %
Rata-Rata	3,291	0,657	97,708	0,683	12,81 %

Parameter pada sistem pemantau real time ini berjumlah 6 parameter, yaitu arus keluaran, tegangan keluaran, daya keluaran, intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, dan kelembaban udara lingkungan. Enam parameter ini diukur dengan waktu pengambilan data yang sama yaitu 1 detik. Pengambilan data pemantauan harian dilakukan selama selang 6 hari, dan setiap hari data diambil antara pukul 10:00 WIB sampai 15:00 WIB. Hasil pemantauan arus, tegangan, daya, dan intensitas cahaya matahari yang terukur selama 6 hari tersebut ditampilkan pada Gambar 7.

**Gambar 7** Grafik parameter keluaran modul surya terhadap waktu

Intensitas cahaya matahari yang terukur relatif tidak konstan. Ketika adanya perubahan intensitas cahaya matahari, arus keluaran, tegangan keluaran, dan daya akan berubah mengikuti besarnya intensitas cahaya matahari. Data suhu dan kelembaban selama proses pemantauan diperlihatkan pada Gambar 8. Terlihat suhu di Gedung P berkisar antara 27,06 °C hingga 46,8 °C, dan kelembaban berkisar antara 32,27 %RH hingga 79,07 %RH.



Gambar 8 Grafik parameter pendukung terhadap waktu

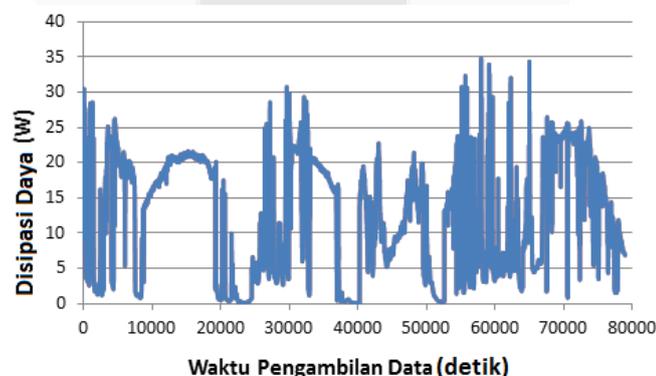
Hasil rata-rata arus, tegangan, daya keluaran, intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban udara ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter rata-rata dari 6 percobaan

Arus keluaran (A)	$3,185 \pm 0,048$
Tegangan keluaran (V)	$10,507 \pm 0,158$
Daya keluaran (W)	$40,261 \pm 0,998$
Intensitas cahaya matahari (lux)	35.960 ± 100
Suhu udara (°C)	$36,47 \pm 0,5$
Kelembaban udara (%RH)	$51,20 \pm 4,5$

Dari pengambilan delapan data grafik IV yang telah dilakukan pada penelitian ini, didapat efisiensi dari setiap percobaan yang ditampilkan pada Tabel 1. Nilai rata-rata dari efisiensi 8 percobaan ini adalah 12,813 %. Percobaan 1 hingga percobaan 8 adalah percobaan dengan alat dan prosedur yang sama, akan tetapi masing masing percobaan dilakukan pada waktu yang berbeda. Ketika ada perbedaan waktu, maka ada perbedaan keadaan lingkungan yang berbeda, seperti suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya matahari.

Nilai hambatan seri dan hambatan paralel pada penelitian ini ditentukan menggunakan 8 kali pengukuran menggunakan rangkaian seperti pada Gambar 4 yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1. Dari delapan percobaan, nilai R_S dan R_{SH} akan diratakan sesuai banyaknya percobaan. Nilai rata-rata R_S adalah $0,657 \Omega$ dan R_{SH} adalah $97,078 \Omega$. Nilai Rataan tersebut akan dimasukkan ke dalam persamaan 8 dan menghasilkan disipasi daya rata-rata sebesar 9,369 W. Grafik disipasi daya selama 6 hari pada pengambilan data pemantauan harian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik disipasi daya terhadap waktu pengambilan data selama 6 hari

4. Simpulan

Sistem pemantau keluaran modul PV secara *real time* telah direalisasikan dan terdiri dari sensor suhu dan kelembaban (SHT1x), sensor cahaya (BH1750), sensor arus ACS712, arduino UNO, *data logger* (SD Card Shield v4.1), hambatan beban. Hambatan beban ini telah disesuaikan dengan hambatan optimal pada modul PV yang bernilai 3,291 Ω , resistansi seri yang bernilai 0,657 Ω , dan resistansi paralel yang bernilai 97,708 Ω .

Pengujian alat telah dilakukan dalam rentang waktu 6 hari mulai tanggal 5 Juni 2016 sampai 16 Juni 2016. Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan diperoleh hasil efisiensi sistem sebesar 12,813 %, resistansi optimal pada keadaan *MPP* bernilai 3,291 Ω , *fill factor* sistem bernilai 0,683 , daya rata-rata 40,261 W dan rata-rata disipasi daya sebesar 9,369 W.



Daftar Pustaka:

- [1] Salman, F. J. (2013): *Perancangan dan Implementasi Sistem PLTS dan Siheli Pada Gedung Balitbangnovda Sumsel*, Tugas Akhir Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- [2] Handini, W. (2008): *Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristalit TiO₂*, Tugas Akhir Teknik Metalurgi, Universitas Indonesia.
- [3] Anjarani, K. (2010): *Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva "I-V") Pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY.
- [4] Hernday, P. (2011): *Field Aplication for "I-V" Curve Tracers*, Solarpro.
- [5] Orozco-Gutierrez, M. L. , Ramirez-Scarpetta, J. M. , Spagnuolo, G. (2013): *A Technique for Mismatched PV Array Simulation*, Journal of Renewable Energy, 55, 417-427.
- [6] Siahaan, A. (2011): *Implementasi Panel Surya yang Diterapkan pada Daerah Terpencil di Rumah Tinggal Di Desa Sibuntan, Kecamatan Habinsaran*, Tugas Akhir Teknik Elektro, Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- [7] Skoplaki, E. , Palyvos, J. A. (2009): *On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations*, Journal of Solar Energy, 83, 614-624.
- [8] Syaifudin, A. (2013): *Pengaruh Intensitas Cahaya dan Suhu terhadap Arus, Tegangan dan Daya Luaran Sel Surya Modular Polikristal Silikon*, Tugas Akhir Teknik Fisika, Universitas Telkom.
- [9] Satwiko, S. (2012): *Uji Karakteristik Sel Surya pada Sistem 25 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY.
- [10] Mekhilef, S. , Saidur, R. , Kamalisarvestani, M. (2012): *Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells*. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 2920-2925.
- [11] Wiley, J. (2011): *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Second Edition*, University of Delaware.
- [12] Diputra, W. (2008): *Simulator Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Modul Surya*, Tesis Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- [13] Raharjo, P. (2013): *Perancangan Sistem Hibrid Solar Cell-Baterai-PLN menggunakan Programmable Logic Controllers*, Tugas Akhir Teknik Elektro, Universitas Jember.
- [14] Nashirul, I. H. (2010): *Sistem On-line Condition Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasiskan Web Menggunakan Sensor Nirkabel*, Tesis Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- [15] Deline, C. (2011): *Guide To Interpreting "I-V" Curve Measurement Of PV Arrays*, US National Renewable Energy Laboratory.