

# Perancangan dan Pembuatan Modul Pembelajaran Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt di Universitas Kristen Petra

<sup>1</sup>Gelfantri Mangalik, <sup>2</sup>Hanny H. Tumbelaka, <sup>3</sup>Murtiyanto Santoso

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra

<sup>1</sup>gelfantrimangalik@gmail.com, <sup>2</sup>tumbeh@petra.ac.id, <sup>3</sup>murtis@petra.ac.id

**Abstract**—In the curriculum of Electrical Engineering in Petra Christian University there is a course of Renewable Energy Conversion where students learn about *Photovoltaic* System which require learning module to support teaching and learning process. This learning module is designed with 2 PV modules each 45 W with type RSM45, charger controller, battery, inverter and Raspberry Pi 3 for recording V, I, P DC and AC data and power factor on AC side.

The measured electrical parameters are converted to digital values using ADC circuits to be processed on Raspberry Pi 3 sufficient to record data for 630 hours. Output measurement results can be exported to an application program such as Microsoft Excel so that it can be graphically predicted.

The learning module has been tested for 3 days for 9 hours each day and produces the measured output data output as planned. The average error of each sensor is below ten 10% and the overall learning module error is 4%.

**Keywords**—*Photovoltaic; Raspberry Pi 3; sensor; ADC;*

**Abstrak**—Pada Kurikulum Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Petra terdapat mata kuliah Konversi Energi Terbarukan yang mempelajari tentang Sistem *Photovoltaic* yang membutuhkan modul pembelajaran untuk menunjang proses belajar mengajar. Modul pembelajaran ini dirancang dengan menggunakan 2 modul PV masing-masing 45 W dengan tipe RSM45, *charger controller*, aki, inverter dan Raspberry Pi 3 untuk merekam data V, I, P DC maupun AC dan faktor daya pada sisi AC.

Parameter listrik yang diukur dikonversi ke nilai digital dengan menggunakan rangkaian ADC untuk diproses pada Raspberry Pi 3 yang cukup untuk merekam data selama 630 jam. *Output* hasil pengukuran dapat diekspor ke program aplikasi semacam *Microsoft Excel* sehingga dapat dibuatkan grafik.

Modul pembelajaran telah diuji coba selama 3 hari selama 9 jam setiap harinya dan menghasilkan *output* data pengukuran sesuai yang direncanakan. *Error* rata-rata setiap sensor dibawah sepuluh 10% dan *error* modul pembelajaran secara keseluruhan adalah 4%.

**Kata Kunci**—*Photovoltaic; Raspberry Pi 3; sensor; ADC;*

## I. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu jenis sumber energi terbarukan. Sebagai energi terbarukan, topik (PLTS) menjadi salah satu topik yang diajarkan kepada mahasiswa Teknik Elektro Universitas Kristen Petra melalui mata kuliah Konversi Energi Terbarukan. Selain diajarkan pada proses belajar mengajar, terdapat beberapa tugas akhir mahasiswa Teknik Elektro Universitas Kristen Petra mengangkat topik yang berhubungan dengan PLTS diantaranya Pengaturan Sudut Reflektor Ganda pada Panel Surya [1], Studi tentang Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya Terhadap Kinerja Panel Surya [2] dan Studi Penggunaan *Solar Reflector* untuk Optimalisasi *Output* Daya pada Modul *Photovoltaic* [3].

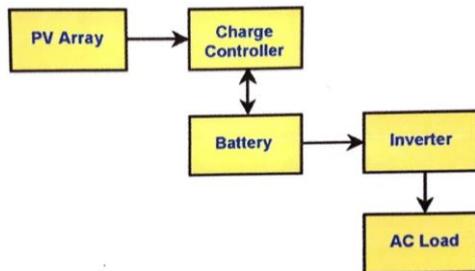
Belajar tentang PLTS bukan hanya belajar tentang teori akan tetapi juga membutuhkan praktek, oleh karena itu dibutuhkan peralatan yang dapat dipakai sebagai modul pembelajaran tentang PLTS. Dari topik-topik yang pernah diangkat menjadi topik tugas akhir, belum ada yang merancang modul pembelajaran dari sistem PLTS untuk proses pembelajaran.

Pada tahun 2016 telah dipasang Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt di Gedung P Lantai 7 Universitas Kristen Petra yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dan sekaligus sebagai sistem pembelajaran tentang energi terbarukan. Dengan merekam data yang dihasilkan oleh *Photovoltaic*, maka data tersebut dapat diolah dan dijadikan sebagai pedoman pembelajaran bagi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Kristen Petra. Saat ini Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt yang terpasang di Gedung P Lantai 7 Universitas Kristen Petra belum memiliki alat sebagai modul pembelajaran yang dapat digunakan untuk proses pembelajaran, oleh karena itu diperlukan perancangan sebuah modul pembelajaran menjadi visualisasi dari sistem yang digunakan untuk proses pembelajaran.

## II. Metode Penelitian

### A. Metode

Blok diagram modul pembelajaran Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt adalah sebagai berikut ini:

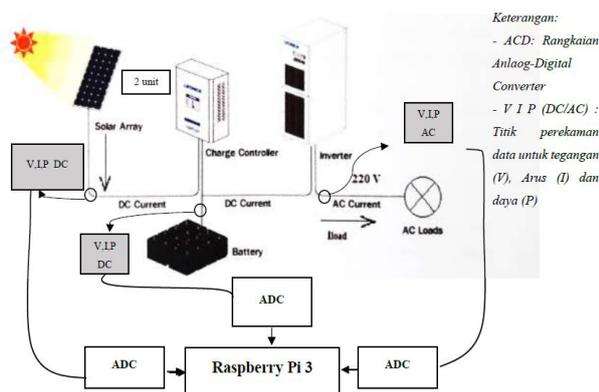


Gambar 1. Blok Diagram Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 W

Dari system *photovoltaic* yang telah dipasang terdiri dari beberapa komponen, yaitu

1. 2 modul surya
2. *Charger Controller*
3. Baterai
4. Inverter
5. Beban AC

Untuk membuat modul pembelajaran maka pertama diperlukan data besaran listrik dari sistem *photovoltaic* yang sudah dipasang dengan cara merekam besaran listrik berupa tegangan, arus dan daya pada sisi DC maupun sisi AC.



Gambar 2. Sistem *Photovoltaic*

Dari sistem *photovoltaic* yang sudah dipasang, dilakukan perekaman besaran listrik di beberapa titik dengan bantuan sensor yang kemudian disimpan pada Raspberry Pi 3. Perekaman dilakukan pada sistem *photovoltaic* yang terpasang pada Gedung P Lantai 7

Universitas Kristen Petra selama 9 jam setiap hari selama 3 hari dengan frekuensi perekaman setiap 30 detik.

Adapun komponen-komponen yang digunakan untuk membangun sistem *photovoltaic* dan perekaman data untuk modul pembelajaran dipilih sesuai dengan kebutuhan.

### 1. Modul Surya

Untuk membangun system *photovoltaic* komponen utama yang diperlukan adalah modul surya. Modul surya yang digunakan memiliki tipe RSM45 spesifikasi sebagai berikut:

Ppp	: 45 W
Ipp	: 2.95 A
Vpp	: 16 V
Isc	: 3.1 A
Voc	: 21 V

Dengan menggunakan dua modul surya tipe RSM45 maka didapatkan total daya sebesar 90 Watt saat puncak penyinaran matahari ( $1000 \text{ W/m}^2$ ). Modul surya dipasang secara parallel pada *charger controller*. Modul surya kemudian dipasang dengan kemiringan  $7^\circ$  menghadap ke utara dengan mempertimbangkan letak astronomis tempat pemasangan.

### 2. *Charger Controller*

*Charger Controller* yang dipilih untuk Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt ini adalah SHS Sistem Kendali Solsum *Inside* GAE dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe Solsum *Inside SCR*U8.8X
- Kapasitas arus sebesar 10 A

### 3. Baterai

Baterai yang digunakan dalam sistem memiliki tipe *Rocket ES100H-12* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas : 100Ah 12 V
- Tegangan mode “*Stand-by Use*” : 13,32V
- Tegangan mode “*Cyclic Use*” : 14,4V

### 4. Inverter

Listrik yang dihasilkan dari system *photovoltaic* berupa DC sementara beban listrik yang digunakan berupa beban AC oleh karena itu dibutuhkan Inverter untuk mengkonversi DC menjadi AC. Inverter yang digunakan memiliki spesifikasi:

- Input DC : 12 V
- Output AC : 220 V
- Kapasitas : 200 Watt

- Batas tegangan kerja : 10 V DC

#### 5. Beban Listrik

Beban listrik yang digunakan berupa 1 lampu pijar dengan kapasistas 25 W.

#### 6. Sensor

Untuk merekam data dari system *photovoltaic* digunakan sensor sebagai pendeteksi besaran-besaran tersebut. Ada pun sensor yang digunakan adalah :

##### a. DC Voltage Sensor 0-25 V

Sensor ini merupakan sensor untuk mendeteksi tegangan pada sisi DC. Sensor ini dapat mendapatkan input dari 0 – 25 Volt dan mengeluarkan output sebesar 0 – 5 Volt yang berupa sinyal analog.

##### b. Sensor ACS712

Sensor ACS712 merupakan sensor arus yang dapat digunakan pada DC atau AC dengan output berupa sinyal analog. Sensor ACS712 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas arus 30 A untuk AC dan DC
- Input 0-30 A AC dan DC
- Output 0-5 V DC

##### c. Sensor ZMPT101B

Sensor ZMPT101B merupakan sensor untuk membaca tegangan pada sisi AC. Sensor ini memiliki spesifikasi:

- Input 110 – 250 V AC
- Output 0 – 5 V DC

#### 7. Raspberry Pi 3

Raspberry Pi adalah *single board computer* (SBC) yang fungsinya yang hampir sama dengan kebanyakan *personal computer* (PC). Raspberry Pi 3 memiliki RAM dengan kapasitas 1 GB, 4 USB port, 40 pin GPIO, *full* HDMI port, Port Ethernet, *Combine 3.5mm audio jack and composite video*, *Camera interface* (CSI), *Display interface* (DSI), *VideoCore IV 3D graphics core* dan slot kartu *micro* SD. Raspberry Pi 3 menggunakan Bahasa pemrograman berbasis *python* dan dapat menerima input berupa digital.



Gambar 3. Raspberry Pi 3

#### 8. Arduino Mega sebagai Analog to Digital Converter (ADC)

Sensor yang digunakan mengeluarkan output dalam bentuk sinyal analog dimana sinyal ini tidak dapat diterima oleh Raspberry Pi 3 yang hanya bisa menerima sinyal dalam bentuk digital. Oleh karena itu dibutuhkan rangkaian untuk mengkonversi sinyal tersebut. Rangkaian ADC dapat diganti menggunakan Arduino Mega. Arduino Mega merupakan salah satu mikrokontroler yang merupakan *single board* yang menggunakan ATMEGA sebagai basis. Arduino Mega memiliki pin input yang dapat menerima sinyal analog yang dapat menerima keluaran sinyal analog dari sensor[4]. Output sensor akan diterima oleh Arduino yang kemudian diteruskan ke Raspberry Pi 3 untuk disimpan sebagai *data loggin* untuk modul pembelajaran. Selanjutnya sensor yang digunakan diprogram pada *sketch* Arduino yang pada Raspberry Pi 3 yang telah di instal. Sensor-senor tersebut perlu dikalibrasi agar pembacaan data sesuai dengan kenyataan.

#### 9. Pengukuran Penyinaran Matahari

Sebagai system yang memanfaatkan cahaya matahari, maka penyinaran matahari sangat terhadap hasil keluaran dari system *photovoltaic*. Untuk mengukur penyinaran matahari dapat digunakan sensor cahaya GY-302 BH1750. Sensor ini memiliki satuan lumen/m<sup>2</sup> dimana satuan ini berbeda dengan satuan yang digunakan dalam mengukur penyinaran matahari yaitu W/m<sup>2</sup>. Oleh karena itu nilai dari sensor tersebut harus dikalibrasi kedalam satuan W/m<sup>2</sup>. Dimana nilai 1 lumen/m<sup>2</sup> bernilai sekitar 0.0079 W/m<sup>2</sup> untuk matahari. Agar pengukuran penyinaran matahari tepat maka digunakan alat ukur Pyranometer yang dapat mengukur penyinaran matahari dalam W/m<sup>2</sup>. Alat ukur tersebut dapat mengambil data setiap 30 detik dan menyimpan data tersebut yang kemudian akan disimpan rata-ratanya setiap 30 menit.

#### 10. Alat ukur Pemanding

Untuk mengetahui apakah nilai data yang direkam untuk modul pembelajaran sudah tepat maka digunakan alat ukur untuk membandingkan data rekaman. Alat ukur yang digunakan sebagai pembanding diantaranya:

1. Fluke 41B untuk mengukur besaran AC seperti tegangan, arus, daya aktif, daya semu dan faktor daya.

2. Multimeter Sanwa untuk mengukur tegangan DC
3. Tang ampere (*clamp meter*) Prova dan Kyoritsu untuk mengukur arus AC maupun DC

### 11. Program Komunikasi Raspberry Pi 3 dan Arduino Mega.

Arduino Mega sebagai yang bertindak sebagai ADC diprogram melalui *sketch* Arduino pada Rapsberry Pi 3 seperti pada komputer biasa. Agar data yang didapatkan oleh Arduino Mega dapat diterima dan disimpan oleh Raspberry Pi 3, maka dibutuhkan komunikasi antara keduanya. Data dari Arduino Mega akan dikirim secara serial ke Raspberry Pi 3 yang kemudian akan disimpan secara otomatis pada Raspberry Pi 3.

```
import serial#!/usr/bin/python
import serial
import time
import datetime

ser = serial.Serial(
    '/dev/ttyACM0', 9600, 8, 'N', 1, timeout=1)

while True:

    if ser.in_waiting > 0:

        #read
        timestamp = str(datetime.datetime.fromtimestamp(time.time()).strftime('%Y-%m-%d ; %H:%M:%S'))
        print(timestamp)
        line = ser.readline().decode('utf-8')
        pstr = '{}\n'.format(line)
        print(pstr)

        #write
        f = open ("/home/pi/Loggin6JuniPart4.txt", "a")
        f.write(timestamp)
        f.write("| ")
        f.write(pstr)
        f.write("")
        f.close()
```

Gambar 4. Program untuk Komunikasi Raspberry Pi 3 dan Arduino Mega

### iii. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan selama kurang lebih 9 jam dalam sehari selama 3 hari dari tanggal 4 – 6 Juni 2018 dengan frekuensi perekaman data 30 detik. Dari hasil perekaman data didapatkan sekitat 1080 data untuk setiap hari. Data tersebut kemudian diolah dengan menghitung rata-rata hasil perekaman setiap 1 jam.

Berikut merupakan salah satu hasil yang didapatkan pada hari ke tiga pada sisi PV.

Tabel 1. Data Rata-rata per 1 Jam Hasil Rekaman

Rata-Rata Data Hasil Rekaman												
Time	Radiance (W/m²)	DC Voltage PV (V)	DC Current PV (A)	DC Power PV (W)	DC Voltage Baterai (V)	DC Current Baterai (A)	DC Power Baterai (W)	AC Voltage (V)	AC Current (A)	Apparent Power (VA)	True Power (W)	Power Factor
08.00-												
09.00	426.11	13.54	1.98	26.94	12.13	2.08	25.26	218.24	0.12	26.53	23.48	0.88
09.00-												
10.00	567.78	11.68	2.91	33.97	11.30	2.14	24.16	218.25	0.12	24.36	22.95	0.88
10.00-												
11.00	597.65	13.34	3.24	43.05	11.00	2.21	24.24	218.24	0.12	26.10	22.89	0.88
11.00-												
12.00	694.12	12.47	2.88	35.72	13.14	2.17	28.53	218.25	0.12	26.10	22.87	0.88
12.00-												
13.00	703.44	12.61	2.76	34.63	12.78	2.18	27.86	218.21	0.12	27.11	23.95	0.88
13.00-												
14.00	586.10	12.85	2.69	34.56	12.46	2.18	27.14	218.25	0.12	26.10	23.18	0.89
14.00-												
15.00	485.69	12.49	1.73	21.63	12.19	2.18	26.55	218.25	0.12	26.10	23.25	0.89
15.00-												
16.00	293.54	12.24	1.23	15.01	12.34	2.18	26.87	218.21	0.12	27.27	24.21	0.89
16.00-												
17.00	76.21	12.72	0.69	8.69	12.34	2.10	25.90	218.21	0.12	27.13	24.26	0.89

Dari Tabel 1. dapat dilihat perubahan nilai pada sisi modul surya saat terjadi perubahan penyinaran matahari. Pada sisi baterai tidak terjadi perubahan signifikan, hal ini dikarenakan saat pengambilan data baterai telah terisi penuh. Hal ini juga berlaku pada nilai di sisi beban AC. Pada sisi beban, tidak terlihat perubahan nilai yang signifikan, hal ini terjadi karena tidak ada perubahan beban serta keadaan baterai yang penuh. Dimana baterai yang digunakan saat dalam keadaan penuh dapat menyuplai beban yang digunakan kurang lebih selama 6 hari. Hal ini dapat dengan cara:

$$\text{Lama waktu (jam)} = \frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{total arus beban}} \times \text{efisiensi penggunaan} \dots (1)$$

Total arus beban sebesar:

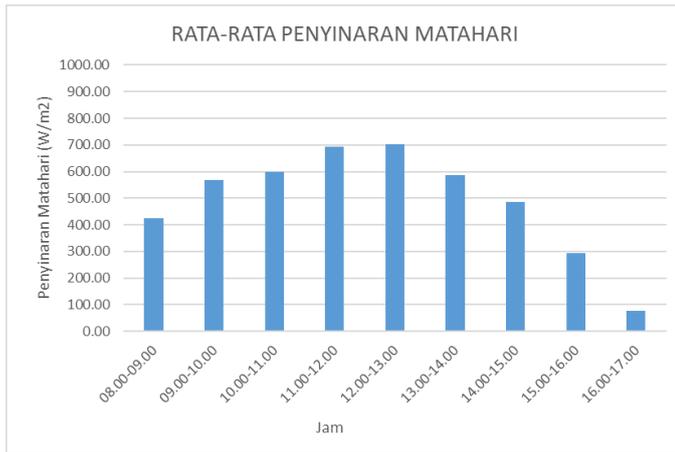
$$25 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0.1137 \text{ A}$$

Pada inverter yang digunakan terdapat spesifikasi dimana inverter tidak akan bekerja jika tegangan baterai dibawah 10 V.

$$\text{Lama waktu (jam)} = \frac{100}{0.12} \times 20\% = 166,7 \text{ jam}$$

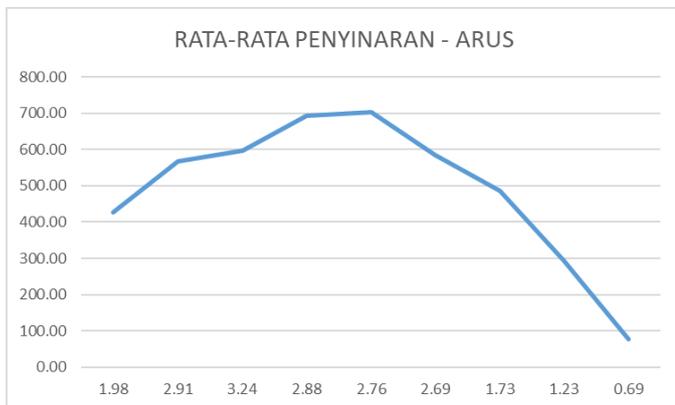
Pada sistem yang dibangun beban akan dinyalakan selama 9 jam setiap hari selama 3 hari. Lama baterai dapat digunakan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Lama waktu (hari)} = \frac{166,7}{(3 \times 9)} = 6,174 \text{ hari}$$



Gambar 5. Grafik Rata-rata Penyinaran Matahari

Gambar 5 merupakan grafik dari penyinaran matahari pada 6 Juni 2018. Penyinaran matahari memiliki nilai tertinggi pada pukul 11.00-13.00.



Gambar 6. Grafik Penyinaran – Arus

Gambar 6. merupakan grafik yang menunjukkan hubungan arus dan penyinaran yang didapatkan pada sisi modul surya. Nilai arus akan tinggi pada saat nilai penyinaran matahari juga tinggi.

Untuk melihat apakah nilai data yang direkam sesuai dengan data sebenarnya maka data hasil rekaman dibandingkan dengan data hasil pengukuran secara manual yang diambil setiap 1 jam.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran

Time	Radiance (W/m²)	DC Voltage PV (V)	DC Current PV (A)	DC Voltage Baterai (V)	DC Current Baterai (A)	AC Voltage (V)	AC Current (A)	Apparent Power (VA)	True Power (W)	Power Factor
9:00	512.00	12.97	2.41	12.37	2.37	218.65	0.12	26.24	24.40	0.93
10:00	646.00	12.95	3.75	12.37	2.23	218.30	0.12	26.24	24.40	0.93
11:00	670.00	13.50	2.48	12.47	2.36	218.30	0.12	26.20	24.36	0.93
12:00	704.00	14.10	2.03	12.74	2.26	218.30	0.12	26.20	24.36	0.93
13:00	667.00	13.98	2.05	12.31	2.78	218.33	0.12	26.20	24.37	0.93
14:00	568.00	13.72	2.24	12.37	2.28	218.56	0.12	26.23	24.39	0.93
15:00	376.00	12.36	2.01	12.37	2.77	218.44	0.12	26.21	24.38	0.93
16:00	262.00	13.060	1.31	12.37	2.26	218.57	0.12	26.23	24.39	0.93
17:00	28.00	12.78	0.46	12.37	2.23	218.68	0.12	26.24	24.40	0.93

Tabel 3. Data Hasil Perekaman

Time	Radiance (W/m²)	DC Voltage PV (V)	DC Current PV (A)	DC Voltage Baterai (V)	DC Current Baterai (A)	AC Voltage (V)	AC Current (A)	Apparent Power (VA)	True Power (W)	Power Factor
9:00:07 AM	502.52	12.09	2.30	11.96	2.17	218.22	0.12	26.10	22.41	0.86
10:00:07 AM	651.42	13.96	3.81	13.13	2.37	218.22	0.12	26.10	22.97	0.88
11:00:07 AM	688.68	13.21	2.14	12.99	2.10	218.22	0.12	26.10	23.75	0.91
12:00:07 PM	702.08	13.23	2.14	12.79	2.10	218.21	0.12	27.45	24.21	0.88
1:00:07 PM	671.30	12.15	3.23	12.83	2.22	218.22	0.12	26.10	23.01	0.88
2:00:07 PM	578.76	12.92	2.59	12.92	2.22	218.22	0.12	26.10	22.97	0.88
3:00:07 PM	372.16	12.23	1.94	12.23	2.22	218.21	0.12	27.45	24.22	0.88
4:00:07 PM	266.84	12.10	1.28	12.23	2.27	218.21	0.12	26.63	24.22	0.91
5:00:07 PM	26.29	13.01	0.69	12.33	2.17	218.21	0.12	26.10	24.21	0.88

Dari dua tabel di atas data yang didapatkan dibandingkan. Untuk mempermudah analisa maka dilakukan perhitungan terhadap persentasi *error* pada data yang didapatkan. Pesentasi *error* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Error} = \frac{E_{\text{absolute}}}{X_{\text{sebenarnya}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana *Error absolute* dapat dihitung dengan persamaan:

$$Error_{\text{absolute}} = |X_{\text{terukur}} - X_{\text{sebenarnya}}| \dots\dots\dots(3)$$

Dimana nilai  $X_{\text{terukur}}$  merupakan nilai rekaman  $X_{\text{sebenarnya}}$  diambil dari nilai alat ukur. Dari hasil perhitungan terhadap *error* yang didapatkan hasil seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. Persentasi *Error* antara Data Rekaman dan Pengukuran

	09:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00		17:00		Rata-rata Error																						
	S	P	Er	S	P	Er	S	P	Er	S	P	Er	S	P	Er	S	P	Er																							
Penyiaran (W/m <sup>2</sup> )	502	512	2%	651	646	1%	688	670	3%	702	704	0%	671	687	3%	578	568	2%	372	376	1%	266	261	2%	262	280	0%	6%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%					
V PV (V)	12.0	12.9	7%	13.9	12.9	8%	13.2	13.5	2%	13.2	14.1	6%	12.1	13.0	7%	12.9	13.7	6%	12.2	12.3	1%	12.1	13.0	7%	13.0	12.7	3%	6%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%			
I PV (A)	2.30	2.41	5%	3.81	3.75	2%	2.54	2.48	2%	2.14	2.03	5%	2.23	2.05	9%	2.21	2.24	1%	1.94	2.01	3%	1.38	1.31	2%	0.69	0.46	50%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%			
V BT (V)	11.9	12.2	3%	13.1	12.3	6%	12.9	12.4	4%	12.7	12.7	0%	12.8	12.3	4%	12.9	12.9	0%	12.2	12.2	0%	12.2	12.2	0%	12.2	12.3	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
I BT (A)	2.17	2.37	8%	2.97	2.23	6%	2.10	2.36	12%	2.10	2.26	7%	2.22	2.28	3%	2.22	2.28	3%	2.22	2.77	20%	2.27	2.26	0%	2.17	2.29	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%		
V (A)	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	218	218	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
I (A)	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0.12	0.12	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
S (VA)	26.1	26.2	1%	26.1	26.2	1%	26.1	26.2	0%	27.4	26.2	5%	26.1	26.2	0%	26.1	26.2	0%	27.4	26.2	5%	26.6	26.2	2%	26.1	26.2	1%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
P (W)	22.4	24.4	8%	22.9	24.4	6%	23.7	24.3	3%	24.2	24.3	1%	23.0	24.3	5%	22.9	24.3	6%	24.2	24.3	1%	24.2	24.3	1%	24.2	24.4	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Factor Daya	0.86	0.93	7%	0.88	0.93	5%	0.91	0.93	2%	0.88	0.93	5%	0.88	0.93	5%	0.88	0.93	5%	0.88	0.93	5%	0.91	0.93	2%	0.88	0.93	5%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	

Pada tabel menunjukkan bahwa nilai perbandingan pada sisi PV memiliki rata-rata nilai *error* pada sebesar 6% untuk tegangan dan 2% untuk arus. Berdasarkan Tabel 4. yang memperlihatkan nilai hasil pengukuran dan rekaman, nilai pada bacaan sensor masih dianggap wajar dan data dapat digunakan sebagai data untuk modul pembelajaran dengan ketentuan menyertakan nilai *error* yang didapatkan serta membanding lebih lanjut dengan nilai rata-rata setiap jam pada Tabel 1.

Pada titik pengukuran di sisi baterai terlihat bahwa rata-rata *error* untuk tegangan sebesar 3% sedangkan pada arus 9%. Pada titik pengukuran di sisi beban terlihat bahwa rata-rata *error* untuk tegangan dan arus sangat kecil dan dianggap 0. Sedangkan untuk daya nyata, daya aktif dan faktor daya masing-masing 2%, 3% dan 5%.

Pada Tabel 4. menunjukkan bahwa bahwa rata-rata *error* yang terjadi pada setiap titik pengukuran lebih kecil dari 10% dan rata-rata *error* pada sistem secara keseluruhan adalah 4%.

#### iv. Kesimpulan

Perancangan dan pembuatan modul pembelajaran Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt dapat diselesaikan dan dari proses ini dapat ditarik beberapa poin kesimpulan:

1. Modul Pembelajaran Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt berhasil dibuat dan diuji coba selama 3 hari dengan lama pengambilan data selama 9 jam setiap hari dan dapat mengukur tegangan, arus, daya pada sisi DC maupun AC serta factor daya pada sisi AC.

2. Kapasitas perekaman data Raspberry Pi 3 dengan memori 14 GB dapat menyimpan data selama 630 jam dengan frekuensi perekaman setiap 30 detik untuk 120 data setiap 1 jam.
3. *Output* data dari modul pembelajaran dapat ditampilkan dalam bentuk grafik dengan cara diekspor terlebih dahulu ke program Excel.
4. Tingkat kesalahan pembacaan dari sensor rata-rata dibawah 10%.
5. Data rekaman untuk *database* modul pembelajaran Sistem *Photovoltaic* Mandiri 90 Watt memiliki rata-rata *error* untuk keseluruhan sistem sebesar 4%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Osi, R. S., Pengaturan Sudut Reflektor Ganda Pada Solar Cell. Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2010.
- [2] Admarialce, N., Studi tentang Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya terhadap Kinerja Solar Cell. Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2011.
- [3] Wibowo, H., Studi Penggunaan Solar Reflector untuk Optimalisasi *Output* Daya pada Phovoltaic Module. Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2009.
- [4] Karvinen, K., & Karvinen, T., & Valtokari, V., "Arduino," in *Make: Sensors*, 1st ed. Canada: Maker Media, Inc., 2015. pp.25-26