

# PENGUJIAN DAN IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM *HYBRID* KAPASITAS 1230WP PADA SMA NEGERI 3 SURAKARTA

Choirul Alfian Putranto<sup>\*)</sup>, Jaka Windarta dan Darjat

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [choirulalfian1@gmail.com](mailto:choirulalfian1@gmail.com)

## Abstrak

Saat ini permintaan energi listrik di Indonesia begitu besar sehingga kebutuhan listrik selalu naik begitu pesat tiap tahunnya. Namun penggunaan energi baru terbarukan masih sangat minim padahal Indonesia memiliki potensi yang sangat besar sekitar 442 GW. Berangkat dari hal tersebut, SMA Negeri 3 Surakarta menjadi objek inisiasi sekolah modern dengan penggunaan energi yang ramah lingkungan. Penulis menginisiasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem *hybrid* untuk menyuplai beban sebesar 1110W berupa lampu penerangan dan pompa air yang bertujuan untuk meningkatkan keadilan dan juga penghematan energi yang ramah lingkungan. PLTS yang sudah diimplementasikan ini memiliki kapasitas panel surya yang terpasang sebesar 1230Wp, dilengkapi dengan *inverter hybrid* kapasitas 2400W yang mana didalamnya sudah terintegrasi *Solar Charge Controller* jenis MPPT 60A dan *Automatic Transfer Switch*, serta selain itu juga terpasang 4 buah baterai kapasitas 100Ah. Pengujian didapatkan untuk efisiensi panel surya sebesar 12,26%, SCC sebesar 86,71%, Inverter sebesar 80,64%. Untuk pengujian baterai menunjukkan masih dalam kondisi sangat baik yang sama halnya dengan pengujian pembebanan, *charging*, dan *discharging*. Hal ini menunjukkan bahwa semua komponen dan sistem berjalan dengan baik sehingga layak untuk diimplementasikan dan dijalankan keseluruhan sistemnya.

*Kata kunci: Energi Baru Terbarukan, SMA N 3 Surakarta, PLTS, Hybrid*

## Abstract

*Currently, the demand for electrical energy in Indonesia is so large that the demand for electricity always increases rapidly every year. However, the use of renewable energy is still very minimal even though Indonesia has a huge potential of around 442 GW. Departing from this, SMA Negeri 3 Surakarta became the object of initiation a modern school with the use of environmentally friendly energy. The author initiated a Solar Power Plant with a hybrid system to supply of load 1110W form of lighting and water pumps which aim to increase reliability and save energy that is environmentally friendly. This Solar Power Plant that has been implemented has an installed solar panel capacity of 1230Wp, is equipped with a 2400W capacity hybrid inverter in which the MPPT 60A Solar Charge Controller and Automatic Transfer Switch are integrated, and 4 x 100Ah batteries are also installed. Testing the efficiency of solar panels is 12.26%, SCC is 86.71%, inverter is 80.64%. For battery testing, it shows that in very good condition, which is the same as load test, charging, and discharging tests. This shows that all components and systems are running well so it is feasible to implement and run the entire system.*

*Keywords: Renewable Energy, SMA N 3 Surakarta, Solar Power Plant, Hybrid*

## 1. Pendahuluan

Di Indonesia permintaan energi listrik sangat besar bahkan selalu naik tiap tahunnya seiring dengan tingkat pertumbuhan penduduk. Laju pertumbuhan permintaan listrik rata-rata sebesar 7% per tahun selama periode 2018-2050. Maka dari itu diperlukan peran energi baru terbarukan dalam rangka menjaga ketahanan dan kemandirian energi, sekaligus mengurangi penggunaan

minyak dan upaya global untuk mengurangi produksi energi fosil, khususnya emisi gas rumah kaca [1].

Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target penggunaan energi baru dan terbarukan tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang begitu besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut [2].

Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial di Indonesia adalah energi surya. Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa dan memiliki banyak keunggulan dan potensi besar dalam pemanfaatan energi surya. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari tergantung pada garis lintang, kondisi atmosfer dan posisi matahari dalam kaitannya dengan khatulistiwa [3].

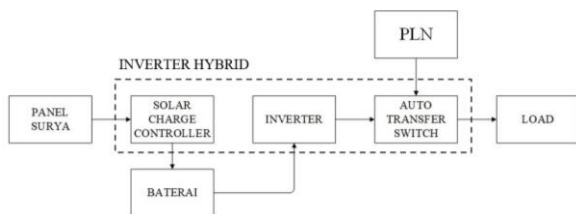
Sekolah merupakan tempat penting untuk meningkatkan kualitas pendidikan nasional. Pengelolaan sarana dan prasarana sekolah juga harus terlihat terpelihara dan jelas bermanfaat. Salah satunya adalah penggunaan listrik di sekolah. Di sekolah-sekolah saat ini, banyak menggunakan peralatan listrik modern, tentunya peralatan tersebut banyak mengkonsumsi listrik[4].

Berangkat dari kondisi tersebut, sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi, penulis merencanakan inisiasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik terbarukan yang dapat menghemat penggunaan energi fosil dan ramah lingkungan serta dapat diimplementasikan di SMA Negeri 3 Surakarta. Dengan pemanfaatan energi matahari untuk PLTS maka SMA Negeri 3 Surakarta ikut mendukung kebijakan pemerintah dalam menerapkan energi yang ramah lingkungan dan peduli terhadap penggunaan energi terbarukan [5].

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan

Jenis sistem PLTS yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem PLTS *hybrid* berbasis *off-grid*. Sistem *hybrid* berbasis *off-grid* yang dimaksud penulis adalah dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan terlebih dahulu di baterai kemudian dapat digunakan ke beban. Namun terdapat juga sumber listrik PLN untuk membackup ketika baterai habis. Sehingga secara bergantian kedua sistem baterai dan PLN ini akan saling membackup ketika terjadi kekurangan daya listrik atau pemadaman [6].



Gambar 1. Konfigurasi Sistem Hybrid

Gambar 1 menunjukkan blok diagram perancangan sistem PLTS Hybrid berbasis *off-grid*. Berikut penentuan spesifikasi tiap komponen pada PLTS sistem Hybrid.

### 2.2. Kebutuhan Energi Listrik Harian

Berikut adalah tabel profil beban yang akan disuplai di SMA Negeri 3 Surakarta :

Tabel 1. Beban yang tersuplai di lokasi penelitian

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)
Lampu TL (Court)	20	40	800	3	2400
Lampu LED (Jalan)	1	70	70	12	840
Water Pump (Taman)	2	85	170	6	1020
Water Pump (Hidroponik)	2	35	70	6	420
Total			1110		4680

### 2.3. Iradian dan Temperatur Lokasi

Pada tahun 2019 rata-rata insolasi matahari pada lokasi penelitian adalah 5,45 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Bulan Oktober memiliki nilai insolasi tertinggi dikarenakan bulan tersebut adalah waktu musim kemarau sehingga penyinaran matahari yang dapat sangat maksimal. Kemudian untuk temperature lokasi pada tahun 2019 rata-rata sebesar 30,61°C [7].

### 2.4. Spesifikasi Komponen Utama

#### 2.4.1. Panel Surya

Panel surya yang akan diimplementasikan di lokasi penelitian dengan kapasitas 410Wp berjumlah 3 buah yang dipasang secara seri. Jika panel surya dipasang secara seri maka arus yang mengalir pada rangkaian akan sama, sedangkan tegangan yang dihasilkan merupakan jumlah dari masing-masing tegangan per panel atau dengan kata lain tegangan output rangkaian menjadi tegangan panel dikalikan dengan jumlah panel yang terpasang seri [8]. Sehingga didapatkan nilai spesifikasi rangkaian seri tiga buah panel surya sesuai Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Nilai Spesifikasi Rangkaian Seri 3 Panel

Specification Type	Nilai
Maximum Power	1230W
Maximum Power Voltage (Vmp)	125,55 V
Maximum Power Current (Imp)	9,8 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	153,87 V
Short-Circuit Current (Isc)	10,90 A
Power Tolerance	3%

#### 2.4.2. Inverter Hybrid

Inverter yang terapan pada penelitian kali ini berjenis *inverter hybrid* dimana didalamnya sudah terintegrasi Solar Charge Controller 60A, Inverter 2400 Watt, dan Automatic Transfer Switch.

Tabel 3. Nilai Spesifikasi *Inverter Hybrid*

Specification Type	Value
PV Input Voltage Range	30 V - 150 VDC
Maximum PV Array Power	1600 W
Maksimum Output Voltage (Charging Voltage Using PV)	27 VDC
Maximum Output Current (Charging Current Using PV)	60 A
Maximum AC Charging (Arus charging dengan PLN)	15 A
Battery Charging Voltage Range	154 - 280 VAC
Maximum MPPT Efficiency	98%

Berdasar Tabel 3. pemilihan *inverter* tersebut dikarenakan *inverter hybrid* ini memiliki kapasitas SCC sebesar 60A sehingga arus charging maksimal dari panel surya sebesar 51,25A mampu masuk secara maksimal ke baterai. Selain itu *inverter* ini memiliki kapasitas 2400 Watt dimana beban nantinya yang akan tersuplai yaitu sebesar 1110 Watt. Sehingga *inverter* nantinya diharapkan mampu berkerja dengan optimal [9].

### 2.4.3. Baterai

Baterai yang digunakan pada penelitian kali ini adalah berjenis *valve regulated lead acid*. Alasan dipilihnya tipe baterai ini berdasar Tabel 4. dikarenakan harga baterai yang lebih terjangkau dan sudah sesuai dengan perancangan sistem PLTS [10].

Tabel 4. Nilai Spesifikasi Baterai

Parameter	Value
Merk	SMT-Power Battery SMT12100
Type	Valve Regulated Lead-Acid Battery
Normal Voltage	12 V
Internal Resistance	≤ 5.0 mohm
Maximum Charging Current	30 A
Floating Voltage	14,5 – 14,9 VDC @25 oC
Absorbed Voltage	13,5 – 13,9 VDC @25 oC

## 2.5. Spesifikasi Komponen Tambahan

### 2.5.1. SPD DC

$V_{oc}$  panel surya sebesar 145,8 V, maka rating minimal SPD DC dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$V_{rating} = V_{oc} \times \text{Faktor Kali}$$

$$V_{rating} = 145,8 \times 1,2$$

$$V_{rating} = 174,96 \text{ V}$$

Faktor kali dalam menghitung rating SPD DC adalah 1,2 [3]. Sesuai dengan perhitungan maka nilai rating tegangan minimal SPD DC adalah 174,96V, sehingga SPD DC yang dipilih adalah SPD DC 500 V merk PUDDPOW.

### 2.5.2. MCB DC PV

Rating minimal MCB DC dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$I_{max} = I_{sc} \times \text{Jumlah string}$$

$$I_{max} = 10,5 \text{ A} \times 1$$

$$I_{max} = 10,5 \text{ A}$$

Faktor kali dalam menghitung rating MCB DC adalah 1,25 [11].

$$\text{Rating MCB} = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$\text{Rating MCB} = 10,5 \text{ A} \times 1,25$$

$$\text{Rating MCB} = 13,125 \text{ A}$$

Sesuai dengan perhitungan maka nilai rating arus minimal MCB DC PV adalah 13,125 A, sehingga yang dipilih adalah MCB DC 20A merk SeanRo.

### 2.5.3. MCB DC Baterai

Rating minimal MCB DC dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$I_{max} = P_{max} / \text{Tegangan Sistem Baterai}$$

$$I_{max} = 1230 \text{ A} / 24 \text{ V}$$

$$I_{max} = 51,25 \text{ A}$$

Faktor kali dalam menghitung rating MCB DC adalah 1,25 [11].

$$\text{Rating MCB} = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$\text{Rating MCB} = 51,25 \text{ A} \times 1,25$$

$$\text{Rating MCB} = 62,06 \text{ A}$$

Sesuai dengan perhitungan maka nilai rating arus minimal MCB DC PV adalah 62,06 A, sehingga yang dipilih adalah MCB DC 63A merk SeanRo.

### 2.5.3. MCB AC

Rating minimal MCB AC dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$I_{max} \text{ AC} = \text{Daya Maksimum Beban} / \text{Tegangan Nominal}$$

$$I_{max} \text{ AC} = 1110 \text{ W} / 220 \text{ V}$$

$$I_{max} \text{ AC} = 5,05 \text{ A}$$

$$\text{Rating MCB} = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$\text{Rating MCB} = 5,05 \text{ A} \times 1,25$$

$$\text{Rating MCB} = 6,3 \text{ A}$$

Faktor kali dalam menghitung rating MCB AC adalah 1,25 [12]. Sesuai dengan perhitungan maka MCB AC yang dipilih harus melebihi rating adalah MCB AC 10A.

### 2.5.4. Kabel DC PV

Arus maksimal dan KHA yang melewati kabel penghantar panel surya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{max} = I_{sc} \times \text{Jumlah String}$$

$$I_{max} = 10,9 \text{ A} \times 1$$

$$I_{max} = 10,9 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$\text{KHA} = 10,9 \text{ A} \times 1,25$$

$$\text{KHA} = 13,625 \text{ A}$$

Dari persamaan diatas didapatkan bahwa nilai KHA harus lebih besar dari 13,625 A. Berdasarkan PUIL 2011 [15], untuk KHA diatas 13,625 A yaitu KHA 23 A. Maka kabel DC yang digunakan dalam pengimplementasian PLTS ini yaitu kabel PV1-F dengan luas penampang sebesar 2,5 mm<sup>2</sup>.

### 2.5.5. Kabel DC Baterai

Arus maksimal dan KHA yang melewati kabel penghantar baterai dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{max} = \text{Daya Panel Surya} / \text{Tegangan Sistem}$$

$$I_{max} = 1230 / 24$$

$$I_{max} = 51,25 \text{ A}$$

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

$$KHA = 51,25 \text{ A} \times 1,25$$

$$KHA = 62,06 \text{ A}$$

Sesuai dengan perhitungan, nilai KHA yang didapatkan adalah 62,06 A. Berdasarkan PUIL 2011 [15], kabel yang dibutuhkan adalah kabel dengan minimal luas penampang sebesar 10 mm<sup>2</sup> berkonduktor tembaga dengan KHA sebesar 75 A, namun dengan alasan ketika pihak sekolah menginginkan penambahan panel surya kedepannya maka digunakan kabel dengan luas penampang diatasnya sebesar 16 mm<sup>2</sup>.

### 2.5.6. Kabel AC

Arus maksimal dan KHA yang melewati kabel penghantar beban dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{max \text{ AC}} = \text{Daya Maksimum Beban} / \text{Tegangan Nominal}$$

$$I_{max \text{ AC}} = 1110 \text{ W} / 220 \text{ V}$$

$$I_{max \text{ AC}} = 5,05 \text{ A}$$

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor Koreksi}$$

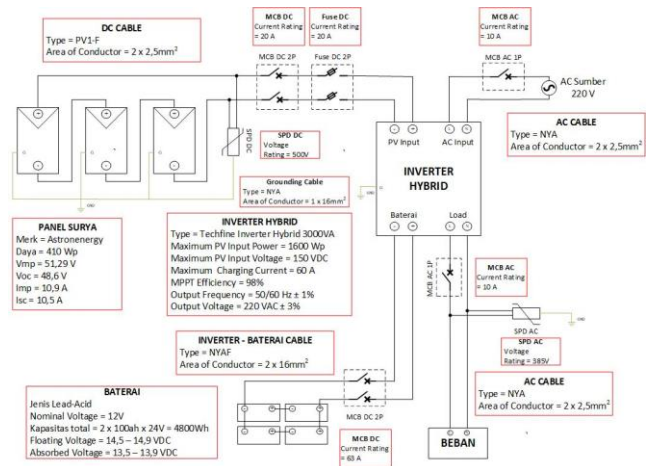
$$KHA = 5,05 \text{ A} \times 1,25$$

$$KHA = 6,3 \text{ A}$$

Sesuai dengan perhitungan, nilai KHA yang didapatkan adalah 6,3 A. Berdasarkan PUIL 2011 [15], kabel yang dibutuhkan adalah kabel dengan minimal luas penampang sebesar 1,5 mm<sup>2</sup> dengan KHA sebesar 18,5 A, sehingga kabel yang akan adalah kabel NYM merk ETERNA dengan 2 inti yang masing-masing digunakan untuk fasa dan netral dengan luas penampang sebesar 2,5 mm<sup>2</sup>.

## 2.6. Engineering Desain

Berikut merupakan bagan sistem komponen-komponen yang akan terpasang pada PLTS Hybrid.



Gambar 2. Detail Engineering Desain

Berdasarkan Gambar 2. PLTS hybrid dirangkai dengan konfigurasi array yang terdiri dari 1 string dan 3 panel yang disusun secara seri. Konfigurasi array surya seperti ini menghasilkan nilai Voc sebesar 145,8 V dan Isc sebesar 10,50 A, sehingga masih sesuai dengan rating masukkan inverter.

## 3. Pengujian dan Analisa

### 3.1. Pengujian Komponen

#### 3.1.1. Panel Surya

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Iradian dan Suhu

Jam	Iradian (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)
6:00	59,8	39
6:20	59,9	40,2
6:40	62	40,3
7:00	129,4	42,1
7:20	195,8	42,8
7:40	220,1	42,2
8:00	286,6	42,8
8:20	381,8	41,9
8:40	493,2	41,7
9:00	625,9	43
9:20	789,3	48
9:40	864,5	49,2
10:00	964,6	48,5
10:20	1180,4	49
10:40	1210,5	49,5
11:00	1072,3	51,3
11:20	1112,1	53,1
11:40	1039,2	52,3
12:00	982,6	53,3
12:20	506,1	52,1
12:40	424	39,5
13:00	1297,7	41,1
13:20	418,7	48,5
13:40	923,7	39,1
14:00	189,6	35,2
14:20	821,3	52,3
14:40	541,9	52,1
15:00	310,8	49
15:20	116,5	48,5
15:40	98,9	36,8
16:00	213,4	39,1
16:20	40,1	38,7
16:40	18,4	37,2
17:00	12,5	35,4

A. Iradian dan Suhu

Pengujian iradian bertujuan untuk mengukur intensitas cahaya matahari yang dihasilkan. Pengujian suhu bertujuan untuk mengukur termal atau suhu pada permukaan panel surya. Hasil data pengujian sesuai Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5. pukul 09:00 WIB sampai pukul 12:40 WIB didapatkan nilai iradian rata-rata 897,63 W/m<sup>2</sup>. Kemudian pada pukul 13:00 WIB sampai pukul 16:00 WIB didapatkan nilai iradian rata-rata sebesar 493,25 W/m<sup>2</sup>. Hal ini terjadi dikarenakan kondisi pada saat pukul 13:00 WIB sampai pukul 16:00 WIB berawan sehingga menghalangi datangnya pancaran sinar matahari. Hal tersebut berdampak pada nilai iradian pada waktu mendung lebih kecil daripada saat matahari cerah.

B. Daya Masukan

Perhitungan daya masukan dilakukan untuk menghitung efisiensi panel surya. Berdasarkan data iradian pada tanggal 22 Agustus 2021 daya masukan panel surya dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Pin = E \times A$$

Dengan luas penampang modul surya adalah 2,02m x 1,01m = 2,0402 m<sup>2</sup>. Jumlah modul surya yang digunakan adalah 3 buah sehingga luas permukaannya dikali 3 menjadi 6,1206 m<sup>2</sup>. Dengan melakukan perhitungan dengan rumus, didapatkan data seperti yang terdapat pada Tabel 6. berikut :

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Daya Masukan

Jam	Iradian (W/m <sup>2</sup> )	Pin (W)
6:00	59,8	366,01
6:20	59,9	366,62
6:40	62	379,48
7:00	129,4	792,01
7:20	195,8	1198,41
7:40	220,1	1347,14
8:00	286,6	1754,16
8:20	381,8	2336,85
8:40	493,2	3018,68
9:00	625,9	3830,88
9:20	789,3	4830,99
9:40	864,5	5291,26
10:00	964,6	5903,93
10:20	1180,4	7224,76
10:40	1210,5	7408,99
11:00	1072,3	6563,12
11:20	1112,1	6806,72
11:40	1039,2	6360,53
12:00	982,6	6014,10
12:20	506,1	3097,64
12:40	424	2595,13
13:00	1297,7	7942,70
13:20	418,7	2562,70
13:40	923,7	5653,60
14:00	189,6	1160,47
14:20	821,3	5026,85
14:40	541,9	3316,75
15:00	310,8	1902,28
15:20	116,5	713,05
15:40	98,9	605,33
16:00	213,4	1306,14
16:20	40,1	245,44
16:40	18,4	112,62
17:00	12,5	76,51

Berdasarkan Tabel 6. dapat dilihat bahwa daya masukan tertinggi terjadi pada jam 10:40 WIB sebesar 7942,7 W dengan nilai iradian 1297,7 W/m<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan karena pada waktu tersebut kondisi matahari dalam kondisi cerah dan tidak berawan. Kemudian untuk daya paling rendah terjadi pada jam 15:40 WIB sebesar 605,33 W dengan nilai iradian 98,9 W/m<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena pada waktu tersebut kondisi matahari belum maksimal memancarkan sinarnya dan langit dalam keadaan berawan. Dapat disimpulkan juga nilai iradiasi berbanding lurus dengan daya masukan panel surya. Apabila nilai iradiasi semakin kecil, maka daya masukan yang diterima panel surya semakin kecil, dan apabila nilai iradiasi semakin besar, maka daya masukan juga semakin besar pula.

C. Tegangan *Open Circuit* dan Arus *Short Circuit*

Pengujian tegangan open circuit dan arus short circuit bertujuan untuk menghitung daya keluaran maksimum panel surya. Alat ukur yang digunakan yaitu multimeter. Pengujian tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* dilakukan selama 1 hari pada tanggal 22 Agustus 2021, dengan interval waktu pengambilan data setiap 20 menit. Hasil data pengujian sesuai Tabel 7. berikut:

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Tegangan *Open circuit* dan Arus *Short circuit*

Waktu	Voc (V)				Isc (A)			
	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Series	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Series
6:00	43,56	43,62	43,53	130,8	0,51	0,5	0,58	0,53
6:20	43,5	43,58	43,52	130,6	0,46	0,45	0,5	0,48
6:40	44,15	44,23	44,11	132,5	0,71	0,7	0,78	0,73
7:00	44,87	44,92	44,85	134,7	1,27	1,25	1,24	1,35
7:20	44,51	44,59	44,63	133,7	1,26	1,88	2,06	1,96
7:40	45,25	45,3	45,26	136,21	2,18	2,19	2,37	2,27
8:00	46,18	46,26	46,14	138,59	2,66	2,63	2,7	2,71
8:20	45,32	45,4	45,28	136,02	2,65	3,27	3,45	3,35
8:40	45,77	45,85	45,79	137,4	4,03	4,01	4	4,11
9:00	45,39	45,52	45,27	135	3,82	4,28	3,99	4,43
9:20	45,82	45,91	46,34	138,07	6,02	6,19	6,02	6,08
9:40	45,52	45,66	45,82	137	6,67	6,97	7	6,9
10:00	45,27	45,46	45,5	136,1	6,51	6,99	7,7	7,15
10:20	45,46	45,47	45,39	136,3	8,07	7,7	8,04	7,94
10:40	45,29	45,3	45,27	135,8	8,12	8,56	8,24	8,4
11:00	45,27	45,39	45,37	136,1	8,28	8	7,99	8,16
11:20	45,11	45,07	45,06	135,25	8,23	8,15	8,19	8,14
11:40	45,04	45,17	44,92	135,12	7,39	7,3	7	7,4
12:00	44,63	44,77	44,6	134,3	3,99	6,74	3,98	4,43
12:20	44,97	44,94	44,93	134,8	3,81	3,78	3,71	3,78
12:40	45,11	44,76	44,74	134,63	2,61	2,55	2,47	2,53
13:00	44,76	46,34	46,48	137,5	8,04	8,24	8,4	8,3
13:20	43,57	43,89	43,64	133	3,37	3,34	3,27	3,08
13:40	45,07	45,11	45,06	135,4	7,3	7,39	7,52	7,43
14:00	44,96	43,96	43,98	132,5	1,51	1,53	2,55	1,83
14:20	44,52	44,82	45,04	134,35	4,54	4,17	3,78	4,17
14:40	44,92	44,78	44,89	134,56	4,03	3,41	3,55	3,98
15:00	44,36	44,39	44,4	133,2	3,34	3,37	3,27	3,08
15:20	43,55	43,69	43,72	130,1	1,15	1,11	1,07	1,09
15:40	42,87	42,52	42,66	128,2	1,05	1,03	1,1	1,06
16:00	43,89	43,64	43,57	133	2,06	2,05	2,07	2,08
16:20	43,04	43,12	43,16	129,3	0,4	0,39	0,44	0,42
16:40	41,5	41,55	41,48	124,6	0,18	0,19	0,23	0,2
17:00	41,09	41,15	41,06	123,4	0,13	0,12	0,17	0,15

Berdasarkan Tabel 7. Jika panel surya dirangkai seri maka nilai arusnya sama, nilai tegangan keluarannya merupakan penjumlahan dari tiap tegangan keluaran tiap modul. Nilai arus saat diseri hampir sama dengan nilai arus antar modul.

D. Fill Factor

Fill factor merupakan daya yang tersedia pada maximum power point (Pm) dibagi dengan tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubungan pendek (Isc). Dapat dihitung nilai maximum power voltage dan maximum power current dengan menggunakan persamaan :

$$V_{mp \text{ hitung}} = V_{oc \text{ ukur}} \times \frac{V_{mp \text{ nameplate}}}{V_{oc \text{ nameplate}}}$$

$$V_{mp \text{ hitung}} = 135 \times \frac{125,55}{153,87}$$

$$V_{mp \text{ hitung}} = 110,153 \text{ V}$$

$$I_{mp \text{ hitung}} = I_{sc \text{ ukur}} \times \frac{I_{mp \text{ nameplate}}}{I_{sc \text{ nameplate}}}$$

$$I_{mp \text{ hitung}} = 4,43 \times \frac{9,8}{10,9}$$

$$I_{mp \text{ hitung}} = 3,99 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan fill factor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Fill \ Factor = \frac{V_{mp \text{ hitung}} \times I_{mp \text{ hitung}}}{V_{oc \text{ ukur}} \times I_{sc \text{ ukur}}}$$

$$Fill \ Factor = \frac{110,153 \times 3,99}{135 \times 4,53}$$

$$Fill \ Factor = 0,734$$

Dari hasil perhitungan, nilai fill factor dari modul surya sebesar 0,734. Nilai fill factor tersebut masih dalam kategori yang ideal dimana nilai fill factor yang ideal berkisar antara 0,7 sampai 0,85.

E. Daya Keluaran Maksimum

Daya keluaran maksimum merupakan daya maksimum yang dapat dikeluarkan oleh panel surya. Nilai daya keluaran maksimum yang dapat dikeluarkan panel surya dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$P_m = V_{oc} \times I_{sc} \times Fill \ Factor$$

Dimana : Voc = Tegangan open circuit (Volt)

Isc = Arus short circuit (Ampere)

Sehingga didapatkan nilai daya maksimum pada pukul 09:00 WIB sebagai berikut :

$$P_m = 135 \times 4,43 \times 0,734 = 439,13 \text{ Watt}$$

Dengan menggunakan perhitungan fill factor dan daya keluaran maksimum di atas, didapatkan nilai perhitungan fill factor dan daya keluaran modul surya pada setiap waktu pengujian seperti yang terdapat pada Tabel 8.

Berdasarkan Tabel 8. didapat kan hasil bahwa iradiasi berbanding lurus dengan daya keluaran maksimum. Daya tertinggi terjadi karena tingginya jumlah iradiasi matahari yang dapat diterima oleh array surya pada saat itu sehingga nilai Voc dan Isc juga semakin tinggi.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Daya Keluaran Maksimum

Waktu	Voc (Volt)	Isc (A)	FF	Pm (Watt)
6:00	130,8	0,53	0,734	50,9
6:20	130,6	0,48	0,734	46,03
6:40	132,5	0,73	0,734	71,02
7:00	134,7	1,35	0,734	133,52
7:20	133,7	1,96	0,734	192,42
7:40	136,21	2,27	0,734	227,04
8:00	138,59	2,71	0,734	275,78
8:20	136,02	3,35	0,734	334,59
8:40	137,4	4,11	0,734	414,66
9:00	135	4,43	0,734	439,14
9:20	138,07	6,08	0,734	616,4
9:40	137	6,9	0,734	694,11
10:00	136,1	7,15	0,734	714,54
10:20	136,3	7,94	0,734	794,65
10:40	135,8	8,4	0,734	837,61
11:00	136,1	8,16	0,734	815,47
11:20	135,25	8,14	0,734	808,39
11:40	135,12	7,4	0,734	734,19
12:00	134,3	4,43	0,734	436,86
12:20	134,8	3,78	0,734	374,15
12:40	134,63	2,53	0,734	250,11
13:00	137,5	8,3	0,734	837,99
13:20	133	3,08	0,734	300,79
13:40	135,4	7,43	0,734	738,7
14:00	132,5	1,83	0,734	178,04
14:20	134,35	4,17	0,734	411,37
14:40	134,56	3,98	0,734	393,24
15:00	133,2	3,08	0,734	301,24
15:20	130,1	1,09	0,734	104,13
15:40	128,2	1,06	0,734	99,78
16:00	133	2,08	0,734	203,13
16:20	129,3	0,42	0,734	39,88
16:40	124,6	0,2	0,734	18,29
17:00	123,4	0,15	0,734	13,59

F. Efisiensi Panel Surya

Efisiensi modul surya merupakan perbandingan daya keluaran dan daya masukan panel surya. Nilai efisiensi panel fotovoltaik dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{439,13}{3830,88} \times 100\%$$

$$\eta = 11,46 \%$$

Dengan menggunakan perhitungan efisiensi panel surya di atas, didapatkan data nilai perhitungan pada setiap waktu pengujian seperti yang terdapat pada Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9. nilai efisiensi lebih kecil daripada nilai efisiensi yang terdapat pada label panel surya. Nilai perhitungan rata-rata efisiensi dari panel surya adalah 12,26%. Sedangkan nilai efisiensi pada data sheet adalah 19,81% - 20,55%. Lebih rendahnya nilai efisiensi ini disebabkan karena pengaruh dari suhu modul surya yang lebih tinggi dari kondisi optimal, dimana rata-rata nilai pengukuran suhu modul surya berturut-turut sebesar 46,84°C dan suhu optimal pengoperasian panel surya

adalah 25°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu permukaan modul surya, maka daya keluaran dan efisiensi akan semakin kecil.

Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Waktu	Irradian (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Pin (Watt)	Pm (Watt)	Efisiensi (η)
6:00	59,8	39	366,01	50,90	13,91
6:20	59,9	40,2	366,62	46,03	12,56
6:40	62	40,3	379,48	71,02	18,72
7:00	129,4	42,1	792,01	133,52	16,86
7:20	195,8	42,8	1198,41	192,42	16,06
7:40	220,1	42,2	1347,14	227,04	16,85
8:00	286,6	42,8	1754,16	275,78	15,72
8:20	381,8	41,9	2336,85	334,59	14,32
8:40	493,2	41,7	3018,68	414,66	13,74
9:00	625,9	43	3830,88	439,14	11,46
9:20	789,3	48	4830,99	616,40	12,76
9:40	864,5	49,2	5291,26	694,11	13,12
10:00	964,6	48,5	5903,93	714,54	12,10
10:20	1180,4	49	7224,76	794,65	11,00
10:40	1210,5	49,5	7408,99	837,61	11,31
11:00	1072,3	51,3	6563,12	815,47	12,43
11:20	1112,1	53,1	6806,72	808,39	11,88
11:40	1039,2	52,3	6360,53	734,20	11,54
12:00	982,6	53,3	6014,10	436,86	7,26
12:20	506,1	52,1	3097,64	374,15	12,08
12:40	424	39,5	2595,13	250,11	9,64
13:00	1297,7	41,1	7942,70	838,00	10,55
13:20	418,7	48,5	2562,70	300,79	11,74
13:40	923,7	39,1	5653,60	738,70	13,07
14:00	189,6	35,2	1160,47	178,04	15,34
14:20	821,3	52,3	5026,85	411,37	8,18
14:40	541,9	52,1	3316,75	393,24	11,86
15:00	310,8	49	1902,28	301,24	15,84
15:20	116,5	48,5	713,05	104,13	14,60
15:40	98,9	36,8	605,33	99,78	16,48
16:00	213,4	39,1	1306,14	203,13	15,55
16:20	40,1	38,7	245,44	39,88	16,25
16:40	18,4	37,2	112,62	18,30	16,25
17:00	12,5	35,4	76,51	13,59	17,76

3.1.2. Inverter Hybrid

Pengujian unjuk kerja sistem PLTS yang dilakukan pada inverter bertujuan untuk menganalisis efisiensi dari Solar Charge Controller dan Inverter yang terintegrasi didalam Inverter Hybrid.

A. Efisiensi Solar Charge Controller

Untuk menentukan nilai efisiensi dengan melakukan pengujian daya keluaran maksimum solar charge controller dibandingkan dengan daya masukan solar charge controller. Berikut Tabel 10. nilai efisiensi berdasarkan pengujian daya masukan solar charge controller dan daya keluaran solar charge controller :

Berdasarkan Tabel 10, nilai efisiensi terbesar pada pukul 13:20 WIB sebesar 92,2 %. Rata-rata efisiensi sebesar 86,71 %. Sehingga dapat disimpulkan solar charge controller dapat bekerja dengan sangat baik dikarenakan bahwa daya masukan hampir sama dengan daya keluaran solar charge controller.

Tabel 10. Data Hasil Pengujian SCC

Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Pin (Watt)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
6:00	101,9	0,1	10,19	23,21	0,4	9,28	91,11
6:20	90,4	0,1	9,04	23,27	0,34	7,91	87,52
6:40	103,8	0,2	20,76	23,48	0,78	18,31	88,22
7:00	105,2	0,1	10,52	23,41	0,41	9,60	91,24
7:20	112,2	1,3	145,86	23,56	5,52	130,05	89,16
7:40	116,1	1,6	185,76	23,78	6,44	153,14	82,44
8:00	117,4	0,8	93,92	23,67	3,61	85,45	90,98
8:20	117,6	1,1	129,36	24,21	4,67	113,06	87,40
8:40	117,8	2,5	294,5	24,34	10,98	267,25	90,75
9:00	107	4,32	462,24	24,99	15,7	392,34	84,88
9:20	130,3	2,9	377,87	25,22	12,95	326,60	86,43
9:40	126,6	4,4	557,04	25,47	19,06	485,46	87,15
10:00	116,3	7,11	826,89	25,79	27,76	715,93	86,58
10:20	114,3	6,44	736,09	25,95	25,47	660,95	89,79
10:40	113,2	7,7	871,64	26,23	29,33	769,33	88,26
11:00	114,2	7,22	824,52	25,51	28,1	716,83	86,94
11:20	112,6	7,24	815,22	26,56	27,65	734,38	90,08
11:40	114,6	7,03	805,64	26,82	25,08	672,65	83,49
12:00	112,6	8,43	949,22	27,12	32,08	870,01	91,66
12:20	117,9	2,4	282,96	26,59	9,15	243,30	85,98
12:40	115	1,92	220,8	26,52	6,66	176,62	79,99
13:00	112,6	5,59	629,43	27,07	17,47	472,91	75,13
13:20	113,5	1,92	217,92	26,79	7,5	200,93	92,20
13:40	118,2	2,3	271,86	26,82	8	214,56	78,92
14:00	94,3	1,32	124,48	26,52	4,03	106,88	85,86
14:20	114,18	3,68	420,18	26,63	13,89	369,89	88,03
14:40	114,29	3,6	411,44	26,84	13,41	359,92	87,48
15:00	113,5	2,71	307,58	27,12	10,21	276,90	90,02
15:20	110,64	0,95	105,11	26,23	3,48	91,28	86,84
15:40	107,86	0,92	99,23	26,12	3,46	90,38	91,08
16:00	113,07	1,83	206,91	26,95	6,98	188,11	90,91
16:20	105,2	0,1	10,52	26,34	0,36	9,48	90,14
16:40	95,8	0,1	9,58	26,32	0,31	8,16	85,17
17:00	96,5	0,1	9,65	26,39	0,29	7,65	79,31

B. Efisiensi Inverter

Untuk menentukan nilai efisiensi dengan melakukan pengujian daya keluaran maksimum inverter dibandingkan dengan daya masukan inverter. Berikut merupakan Tabel 11. nilai efisiensi berdasarkan pengujian daya masukan inverter dan daya keluaran inverter :

Tabel 11. Data Hasil Pengujian Inverter

Time	Vin (V)	Iin (A)	Pin (Watt)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (Watt)	Efficiency
18.00	25,27	50,1	1266,03	229,5	6,65	1053,06	83,18
18.15	24,83	51	1266,33	229,9	6,54	1037,45	81,92
18.30	24,65	52,3	1289,19	229,8	6,54	1043,01	80,9
18.45	24,45	52,7	1288,52	229,6	6,65	1088,64	84,49
19.00	24,31	52,8	1283,57	230	6,16	977,59	76,16
19.15	24,07	53,3	1282,93	229,5	6,13	990,41	77,2

Berdasarkan Tabel 11. didapatkan bahwa rata-rata efisiensi inverter pada sebesar 80,64%. Didapatkan bahwa efisiensi inverter hasil perhitungan lebih rendah daripada yang pada data sheet, dimana pada data sheet menyatakan efisiensi maksimal sebesar 98%. Hal ini disebabkan oleh naiknya suhu inverter saat sistem beroperasi dan rugi-rugi komponen yang ada didalamnya.

3.1.3. Baterai

Pengujian pada baterai dapat menentukan kondisi dan kualitas dari baterai yang akan digunakan. Berdasarkan

data pengukuran lapangan maka didapatkan data sesuai Tabel 12.

Tabel 12. Data Hasil Pengujian Baterai

Baterai	V Rating (Volt)	Cold Cranking Ampere (CCA)	SOC (%)	SOH (%)	Internal Resistance (mOhm)
Baterai 1	12,87	575	98	100	4,27
Baterai 2	12,87	580	98	100	4,26
Baterai 3	12,90	585	98	100	4,20
Baterai 4	12,87	590	98	100	4,19

Berdasarkan Tabel 12. dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan *rating* pada semua baterai dalam kondisi baik karena masih diatas 12 V. Untuk nilai kemampuan *Cold Cranking Ampere* (CCA) masih dalam kondisi normal dikarenakan nilai CCA diatas 400. Selanjutnya untuk analisa SOC dan SOH juga masih sangat baik dikarenakan menunjukkan nilai 100%. Hal ini disebabkan kondisi baterai masih dalam keadaan baru. Dapat dilihat juga bahwa nilai *internal resistance* dari semua baterai berada di bawah 5.5 mOhm (< 5.5m Ohm). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi semua baterai dalam kondisi baik.

### 3.2. Pengujian Pembumian

Pengujian nilai tahanan pembumian dilakukan untuk mengetahui kualitas pembumian dari PLTS di lokasi objek penelitian. Pengujian grounding dilakukan dengan menggunakan alat ukur HIOKI FT6380 CLAMP ON EARTH TESTER. Hasil pengujian tahanan pembumian terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengujian Tahanan Pembumian

Berdasarkan hasil pengujian tahanan pembumian, didapatkan nilai tahanan pembumian sebesar 0,99Ω. Hal ini menunjukkan bahwa tahanan pentanahan di objek lokasi penelitian sudah memenuhi standar PUIL 2011 karena memiliki nilai tahanan kurang dari 5 ohm (<5Ω) [13].

### 3.3. Pengujian Sistem

#### 3.3.1. Pembebanan

Pengujian beban yang perlu dicermati adalah nilai tegangan, arus, dan *cos phi* yang terdapat pada beban lampu. Pengujian beban ini perlu dilakukan dengan tujuan

untuk membuat inverter dapat bekerja secara optimal, dimana *inverter* mampu menopang beban sebesar 2400 W maksimal dengan nilai *cos phi* paling kecil sebesar 0,5 [14]. Berikut merupakan Tabel 13. hasil pengujian pembebanan dengan menggunakan sistem PLTS dengan menggunakan *inverter hybrid* :

Tabel 13. Data Pengujian Pembebanan

Nama Beban	Beban Nameplate			Pengukuran			
	Daya Name Plate (W)	Nilai	Total (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Power Factor (cosp)	Daya Terukur (Watt)
Outdoor Lampu	70	1	70	229,6	0,37	0,97	82,06
Court Lampu	40	20	800	229,7	4,87	0,72	807,66
Water Pump	35	2	240	229,7	1,42	0,27	87,09
Total	-	-	1110	229,6	6,65	0,71	1088,6

Berdasarkan Tabel 13, terlihat bahwa nilai *cosphi* berdasarkan pengukuran yaitu sebesar 0,71 dan nilai untuk nilai daya beban total pengukuran sebesar 1088,6 Watt. Hal tersebut membuktikan bahwa inverter dapat berjalan dengan baik dan normal karena nilai faktor daya diatas 0,5 dan nilai daya total dibawah kapasitas inverter yaitu dibawah 2400 Watt. Kemudian untuk nilai beban puncak pada saat pengukuran hampir mendekati atau sesuai dengan beban puncak nameplate yaitu sebesar 1110 Watt.

#### 3.3.2. Pengujian Switching ATS

Berikut merupakan nilai parameter hasil pengujian *switching* suplai yang dilakukan oleh ATS dimana sudah terintegrasi didalam *inverter hybrid*.

Tabel 14. Hasil Pengujian Proses Switching ATS

Nilai Tegangan Switching ATS		Hasil Pengujian Switching ATS	
Baterai – PLN	PLN – Baterai	Baterai – PLN	PLN – Baterai
25 V	29,2 V	25 V	29,2 V

Berdasarkan Tabel 14. telah dilakukan pengujian untuk nilai tegangan *switching* dari penggunaan baterai beralih ke PLN mengalami transisi dengan nilai tegangan yaitu 25 V dan untuk pengujian nilai tegangan *switching* dari PLN beralih ke Baterai memiliki nilai 29,2 V. Hal ini menunjukkan bahwa ATS yang terintegrasi didalam inverter *hybrid* ini dapat beroperasi dengan baik karena dapat *switching* secara otomatis sesuai dengan nilai tegangan *switching* baterai yang disetting. Berikut merupakan dokumentasi pengukuran tegangan *switching*

#### 3.3.3. Charging

##### A. Hasil Perhitungan

Waktu pengisian baterai dapat dihitung berdasarkan data daya keluaran maksimum panel surya dengan efisiensi *solar charge controller* ≥ 98 % (asumsi : daya keluaran



panel surya sama dengan daya keluaran solar charge controller dalam artian efisiensinya 100%). Berikut merupakan perhitungan lama waktu pengisian baterai :

$$\text{Waktu Pengisian Baterai} = \frac{\text{Kapasitas Baterai Tersedia}}{\text{Arus Pengisian}}$$

Dimana :

$$\text{Kapasitas Baterai Tersedia} = \text{Kapasitas Total Baterai} \times \text{DoD}$$

$$\text{Kapasitas Baterai Tersedia} = (200 \text{ Ah} \times 2) \times 50\%$$

$$\text{Kapasitas Baterai Tersedia} = 200 \text{ Ah}$$

$$\text{Arus Pengisian (A)} = \frac{\text{Daya Keluaran Panel Surya (Watt)}}{\text{Tegangan Sistem Baterai (Volt)}}$$

$$\text{Arus Pengisian (A)} = \frac{1230 \text{ Watt}}{24 \text{ Volt}}$$

$$\text{Arus Pengisian (A)} = 51,25 \text{ Ampere}$$

Maka lama pengisian baterai menurut perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Waktu Pengisian Baterai} = \frac{\text{Kapasitas Baterai Tersedia}}{\text{Arus Pengisian}}$$

$$\text{Waktu Pengisian Baterai} = \frac{200 \text{ Ah}}{51,25 \text{ A}}$$

$$\text{Waktu Pengisian Baterai} = 3,9 \text{ h (3,9 jam)}$$

Sehingga waktu pengisian baterai dengan asumsi daya keluaran maksimum panel surya 1230 watt (sesuai spesifikasi modul) yaitu minimal 3,9 jam.

#### B. Hasil Simulasi

Lama waktu yang dibutuhkan untuk charging baterai secara penuh dapat juga dilihat dari hasil simulasi pada software PvSyst seperti gambar dibawah ini.

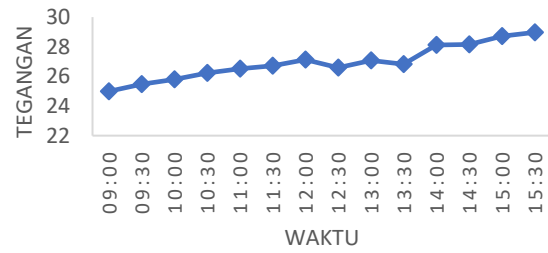
System information	
PV array Phom	1.23 kWp
Max. user's power	1.04 kW
This battery pack represent about :	
Charging Time during full sun conditions	2.0 hours
Discharging under average load	11.7 hours
Discharging under maximum load	2.3 hours

Gambar 4. Hasil Simulasi Lama Pengisian Baterai

Dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan dalam mengisi baterai secara penuh menggunakan panel surya dengan kapasitas 1230Wp adalah selama 2 jam. Pada simulasi ini intensitas iradiasi yang dimasukkan sesuai dengan lokasi penelitian dan juga berdasarkan nilai iradiasi rata-rata dilokasi penelitian. Selain itu dapat kita lihat juga di hasil simulasi menunjukkan untuk waktu discharging ketika beban penuh yaitu selama 2,3 jam.

#### C. Hasil Pengujian

Waktu yang dibutuhkan untuk pengisian mulai dari kondisi tegangan saat charging 12,5 V sampai 14,9 V yaitu 6,5 jam mulai dari pukul 09:00 WIB sampai pukul 15:30 WIB.



Gambar 5. Grafik Tegangan Baterai Saat Charging Terhadap Waktu

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik tegangan baterai saat kondisi pengisian terhadap waktu. Terlihat bahwa grafik tegangan baterai meningkat seiring berjalannya waktu. Kondisi tegangan awal baterai saat charging sebesar 24,99 V dan kondisi tegangan akhir baterai saat charging sebesar 28,93 V. Total waktu charging 6,5 jam.

Hal ini dapat diketahui bahwa hasil pengujian tidak sesuai dengan perhitungan dan simulasi dikarenakan untuk yang perhitungan diasumsikan bahwa panel surya dapat menghasilkan daya maksimal secara terus menerus. Sehingga arus charging bernilai konstan tidak berubah-ubah sebesar 51,25A, berbeda dengan keadaan riil dimana arus charging selalu fluktuatif mengikuti besarnya intensitas energi matahari yang masuk.

#### 3.3.4. Discharging

Pengujian pemakaian dilakukan dengan kondisi beban semua terpasang dimana nilai total beban adalah 1110 Watt. Pemakaian energi listrik penulis batasi sampai tingkat kedalaman pemakaian baterai sebesar 50%. Berikut Tabel 15. data pengujian proses discharging baterai:

Tabel 15. Data Hasil Pengujian Proses Discharging Baterai

Jam	Discharging Voltage (Volt)					Discharging Current (Ampere)
	Battery 1	Battery 2	Battery 3	Battery 4	Parallel Battery	
18:00	12,61	12,68	12,63	12,44	25,27	50,1
18:15	12,36	12,46	12,4	12,43	24,83	51
18:30	12,24	12,37	12,28	12,33	24,65	52,3
18:45	12,15	12,27	12,21	12,24	24,45	52,7
19:00	12,01	12,2	12,14	12,16	24,31	52,8
19:15	11,96	12,08	12,02	12,05	24,07	53,3

Dari Tabel 15. diatas menunjukkan bahwa waktu yang dihabiskan untuk discharging ketika beban penuh yaitu sekitar 1 jam 15 menit. Sedangkan berdasarkan pada hasil simulasi pada Gambar 4 untuk lama untuk baterai discharging yaitu selama 2,3 jam atau sekitar 2 jam 18 menit. Perbedaan hasil pengujian dengan hasil simulasi ini dikarenakan pada simulasi beban maksimal yang disuplai yaitu sebesar 1,04kW, berbeda dengan pengujian yaitu beban puncak keseluruhan sebesar 1,11kW. Selain itu

perbedaan juga disebabkan karena rugi-rugi yang terdapat dalam baterai ataupun kurang presisinya pengukuran.

#### 4. Kesimpulan

PLTS kapasitas 1230Wp dengan sistem *hybrid* dapat diimplementasikan dan beroperasi dengan baik di SMA Negeri 3 Surakarta dengan komponen utama yaitu 3 buah panel surya dengan merk Astronergy Monocrystalline 410Wp yang dirangkai seri dan 1 inverter *hybrid* dimana didalamnya sudah terintegrasi SCC atau *solar charge controller*, inverter 2400 watt, dan ATS atau *Automatic Transfer Switch* dan juga terdapat 4 buah baterai 100Ah SMT POWER. Pengujian komponen PLTS yaitu berupa pengujian panel surya memiliki nilai efisiensi sebesar 12,26%, kemudian efisiensi Solar Charge Controller sebesar 86,71%, dan efisiensi inverter sebesar 80,64%. Penggunaan Inverter 2400 Watt sudah sangat aman untuk menyuplai beban maksimal yaitu sebesar 1110 Watt. Pengujian pembebanan dilakukan dengan menyuplai beban maksimal dimana didapatkan daya beban sebesar 1088,6 Watt dengan faktor daya 0,71. Hal ini menunjukkan bahwa PLTS layak dan mampu untuk menyuplai beban maksimal. Pengujian *Charging* dilakukan untuk mengetahui berapa lama baterai dapat terisi penuh menggunakan PLTS yang terpasang. Didapatkan total waktu *charging* sampai baterai semua terisi penuh selama 6,5 jam. Pengujian *Disharging* dilakukan untuk mengetahui berapa lama baterai dapat menyuplai beban maksimal yang terpasang. Didapatkan total waktu *discharging* baterai yaitu selama kurang lebih 1,5 jam.

#### Referensi

- [1]. S. Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia 2019," 2019.
- [2]. B. Bagaskoro, J. Windarta, and Denis, "Listrik Tenaga Surya Sistem *Offgrid* Menggunakan Cemara," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 8, no. 2, pp. 152–157, 2019.
- [3]. B. Ramadhani, "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts". *Energising Development (EnDev) Indonesia Deutsche*, 2018.
- [4]. E.T.Wulandari, "Pentingnya Pengaruh Fasilitas Belajar Terhadap Prestasi Belajar Siswa", *Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar, Makassar*, hal. 258-261, 2018.
- [5]. Peraturan Pemerintah Nomor 79. Tahun 2014 Tentang "Kebijakan Energi Nasional", 2014.
- [6]. I. Nugroho, and Jamaaluddin, "Sistem ATS *Hybrid* dengan Daya PLTS dan PLN untuk Pompa Hidroponik Berbasis Iot", *Procedia of Engineering and Life Science Vol. 1 No.1 March 2021*.
- [7]. "NASA Prediction of Worldwide Energy Resources." [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 15-Juni-2021].
- [8]. Z. Syamsudin, S. Hidayat, and M. N. Effendi, "Perencanaan Penggunaan PLTS di Stasiun Kereta Api Cirebon Jawa Barat" *Jurnal Energi & Kelistrikan Vol. 9 No. 1, Januari, 2017*.
- [9]. Hasanah, A. W., Hariyati, R., & Qosim, M. N., "Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN", *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 17–26. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.394>, 2019.
- [10]. Alhogbi, B. G., "Sustainable Chemistry and Pharmacy", *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 21–25. <http://www.elsevier.com/locate/scp>, 2017.
- [11]. National Electrical Code, "Article 690-Solar Photovoltaic Systems," pp.623–638, 2014.
- [12]. R. Muhammad, "Analisa Kesalahan Alat Pengaman Listrik (Sekering) Terhadap Instalasi Motor Listrik Pompa Anti Heeling Di Mv. Oriental Ruby," pp. 7-20, 2018.
- [13]. Sunarto, "Analisa Pengaruh Resistansi Elektroda Pembumian pada Sistem TT Terhadap Bahaya Tegangan Sentuh," *Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung*, 2011.
- [14]. S. Hidayat, A. Hariyanto, and T. Darmana, "Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Penggunaan Modul Surya Sederhana Untuk Pompa Air Rumah Tangga," 10(1), 42–52, 2021.
- [15]. Standar Nasional Indonesia 0225:2011, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*, 2011.