

# DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PLTS *OFF-GRID* SKEMA HIBRIDA SEBAGAI ALTERNATIF SUPLAI DAYA LISTRIK BEBAN SATU FASA

Restu Nurohmah<sup>1</sup>, Toto Tohir<sup>1</sup>, Sofyan Muhammad Ilman<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Bandung; Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, 40559; 022 – 2013789

Received: 18 Juli 2024

Accepted: 5 Oktober 2024

Published: 12 Oktober 2024

## Keywords:

PLTS;

*Off-grid*;

Hibrida.

## Correspondent Email:

[sofyan.muhammad@polban.ac.id](mailto:sofyan.muhammad@polban.ac.id)

**Abstrak.** Suplai daya listrik saat ini sebagian besar disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), yang sumber utamanya adalah bahan bakar fosil, yang ketersediaannya semakin lama semakin berkurang sementara permintaan energi listrik terus meningkat. Sehingga perlu adanya alternatif suplai daya listrik energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan untuk dapat menekan pemakaian beban listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* skema hibrida suplai dari PLN ke PLTS ini dapat digunakan sebagai alternatif suplai daya listrik pada malam hari. Metode yang dilakukan adalah dengan algoritma skema peralihan daya dari PLN ke PLTS dan sebaliknya yang berdasarkan waktu secara *real time* dua puluh empat jam dan indikator dari tegangan pada baterai. Hasil yang diperoleh adalah sistem skema hibrida mampu melakukan peralihan daya pukul 06.00-17.00 suplai daya listrik bersumber dari PLN, ketika pukul 17.00-05.00 suplai daya listrik bersumber dari PLTS (dengan energi yang tersimpan dalam baterai) dan sistem dapat mendeteksi besarnya tegangan pada baterai baik jika  $>11V$ .

**Abstract.** The current electrical power supply is mostly provided by the State Electricity Company (PLN), whose main source is fossil fuels, the availability of which is decreasing over time while the demand for electrical energy continues to increase. So there is a need for alternative renewable energy electricity supplies that are more environmentally friendly to reduce electricity consumption. The aim of this research is to design and implement an *off-grid* Solar Power Generation (PLTS) system, a hybrid supply scheme from PLN to PLTS that can be used as an alternative supply of electrical power at night. The method used is a power switching scheme algorithm from PLN to PLTS and vice versa which is based on twenty-four hour *real time* and an indicator of the voltage on the battery. The results obtained are that the hybrid scheme system is able to carry out power switching at 06.00-17.00, the electric power supply comes from PLN, when at 17.00-05.00 the electric power supply comes from PLTS (with energy stored in the battery) and the system can detect the amount of voltage in the battery properly. if  $>11V$ .

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang memiliki peran penting dalam menunjang

kebutuhan manusia. Pada saat ini kebutuhan akan energi tersebut di seluruh dunia terus meningkat setiap tahunnya karena adanya penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi,

dan konsumsi energi. Untuk memasok penyediaan energi listrik khususnya di Indonesia, bahan bakar fosil masih diandalkan saat ini. Namun seiring zaman, bahan bakar fosil akan semakin menipis dan persediannya. Untuk menekan pemakaian energi bahan bakar fosil pemerintah terus mendorong untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi baru terbarukan seperti geothermal, tenaga air, bioenergi, tenaga surya, tenaga angin dan lain sebagainya. Tahun 2050 pemerintah menargetkan pertumbuhan energi terbarukan mencapai 31% [1][2][3].

Penggunaan energi alternatif sebagai pembangkit listrik saat ini sedang ramai diperbincangkan salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Sistem pembangkit tersebut dapat digunakan berbagai hal salah satunya adalah sebagai catu daya dalam penggunaan motor induksi tiga fasa [4]. Selain dalam penggunaan sendiri, pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) dapat di kombinasi dengan penyimpanan energi dalam bentuk baterai yang terintegrasi dengan mikrogrid dan berbagai macam pembangkitan seperti pembangkit listrik tenaga angin. Dengan adanya stasiun penyimpanan energi listrik dalam di sebuah baterai fluktuatif pembangkitan pada jaringan dapat terjaga dengan baik [5][6][7]. Dalam integrasi berbagai EBT pada sistem grid, masalah dapat muncul ketika pembangkitan listrik berbasis tenaga surya mendominasi. Sistem grid yang terpasang akan kehilangan energi inersia yang menyebabkan fluktuatif pada sistem yang diakibatkan penetrasi dari EBT tersebut, maka solusi menanggulangnya adalah dengan penggunaan teknologi kontrol berbasis kontrol cerdas untuk melihat parameter fluktuatif sistem yang ditanamkan pada konverter daya atau dengan penggunaan superkapasitor yang dikombinasikan dengan baterai [8][9][10][11]. Saat ini penggunaan PLTS skala kecil sudah banyak digunakan terutama pada area perumahan untuk mencukupi atau menekan biaya langganan listrik dengan dipasangnya *rooftop photovoltaic (PV)* atau PV atap yang terpasang pada rumah-rumah dan dapat dikombinasikan dengan stasiun pengisian energi listrik untuk kendaraan listrik [12][13]. Sistem tersebut lebih dikenal dengan sistem hibrid, yang artinya sebagian energi listrik dihasilkan dari penyedia listrik dalam hal ini adalah PLN dan sebagian dari

PLTS yang energi tersebut disimpan dalam baterai yang sewaktu-waktu akan digunakan tergantung dari skema pembebanannya [14][15].

Pada penelitian ini bertujuan untuk perancangan sistem yang kemudian diimplementasikan skema catu daya listrik berbasis hibrid yang mana energi listrik berasal dari listrik PLN dan PLTS *off grid* secara bergantian yang bergantung dengan waktu atau jam. Metode yang digunakan dalam peralihan catu daya berdasarkan waktu yaitu, ketika pagi hari pukul 06.00-17.00 WIB sumber energi listrik berasal dari PLN dan pukul 17.00-05.00 WIB menggunakan energi listrik yang berasal dari baterai. Ketika pagi hingga sore hari PLTS akan melakukan pengisian daya listrik ke baterai melalui perangkat *solar charger controller* dan untuk mengubahnya ke sistem listrik bolak-balik (AC) menggunakan inverter satu fasa untuk kebutuhan beban-beban listrik. Dalam algoritma peralihan daya listrik menggunakan perhitungan waktu secara *real time* yang dikombinasikan dengan pembacaan tegangan pada baterai, ketika waktu peralihan tiba maka sistem akan memeriksa terlebih dahulu kondisi tegangan baterai, jika kondisi baterai dalam keadaan tegangan *drop* maka peralihan akan gagal, kemudian jika kondisi tegangan baterai baik maka kontroler berupa mikrokontroler arduino uno akan memerintahkan sistem *automatic transfer switch (ATS)* berupa relay untuk diaktifkan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit yang sumber pembangkitan energi listrik berasal dari intensitas cahaya matahari. Pembangkit tersebut terdiri dari beberapa modul surya yang tergabung menjadi satu baik secara seri atau paralel tergantung kebutuhan beban. Modul surya yang terdiri dari beberapa sel surya yang tergabung menjadi satu kesatuan. Dengan demikian maka daya yang dihasilkan akan jauh lebih besar dibandingkan hanya berbentuk per sel surya. Daya listrik yang dihasilkan oleh modul surya berupa arus searah (DC), sedangkan untuk kebutuhan sistem jaringan atau grid skala besar, sistem berupa arus bolak balik (AC), maka besaran daya listrik yang dihasilkan

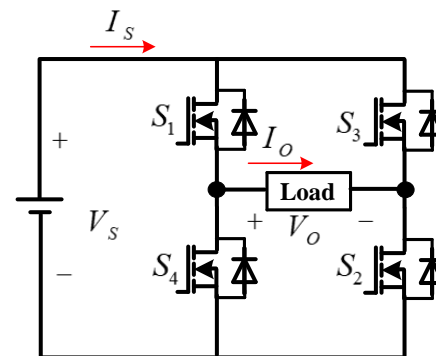
oleh PLTS tersebut harus dilakukan konversi daya menggunakan konverter daya yang diubah dari sistem DC menjadi sistem AC agar dapat digunakan atau di sinkronkan ke dalam sistem jaringan yang ada dalam hal ini sistem AC [16].

## 2.2 Baterai

Baterai merupakan perangkat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia dan kemudian mengubahnya menjadi energi listrik untuk menghasilkan arus listrik yang diperlukan untuk digunakan memberi daya pada perangkat yang diperlukan. Baterai memiliki banyak jenis, yaitu baterai jenis zinc carbon, alkali, silver oxide, nickel cadmium, metal hydride, dan lithium. Keunggulan dari baterai ini adalah pengisian (pengubahan energi listrik menjadi energi kimia) dan pengosongan (pengubahan energi kimia menjadi energi listrik) dapat dilakukan secara efisien secara bergantian tanpa mempengaruhi kapasitas baterai secara signifikan. Meskipun kepadatan energinya relatif rendah, baterai ini dapat bekerja pada rentang suhu yang luas dan harganya murah [17].

## 2.3 Inverter

Inverter merupakan konverter daya yang dapat mengubah listrik DC menjadi listrik AC dengan metode pensaklaran. Jenis saklar yang dipakai dalam konverter tersebut adalah komponen semikonduktor berupa MOSFET atau IGBT. Inverter memiliki dua jenis yaitu, inverter satu fasa dan tiga fasa. Untuk sistem satu fasa maka terminal keluaran dari inverter terdapat dua buah yaitu fasa dan netral sedangkan untuk inverter tiga fasa memiliki tiga buah terminal. Pada Gambar 1 merupakan rangkaian dari inverter satu fasa tipe jembatan penuh.



Gambar 1. Rangkaian Inverter Satu Fasa Jembatan Penuh

Gambar 1 merupakan rangkain dasar dari inverter satu fasa jembatan penuh. Pada inverter tersebut memiliki tegangan sumber berupa sumber tegangan DC yang dinyatakan dalam  $V_s$ , empat saklar jenis semikonduktor yaitu MOSFET dinyatakan dalam  $S_1, S_2, S_3, S_4$ , untuk terminal beban dinyatakan pada  $V_o$ , untuk  $I_s$  merupakan arus input dari inverter dan  $I_o$  merupakan arus keluaran dari inverter. Inverter tersebut disebut sebagai inverter satu fasa jembatan penuh karena memiliki empat buah MOSFET. Sisi keluaran  $V_o$  akan menghasilkan tegangan AC ketika saklar-saklar tersebut berkerja. Prinsip kerja dari saklar tersebut adalah komplementari yang artinya saklar  $S_1$  dan  $S_4$  tidak dapat bekerja secara bersamaan, begitu juga saklar  $S_3$  dan  $S_2$  [18].

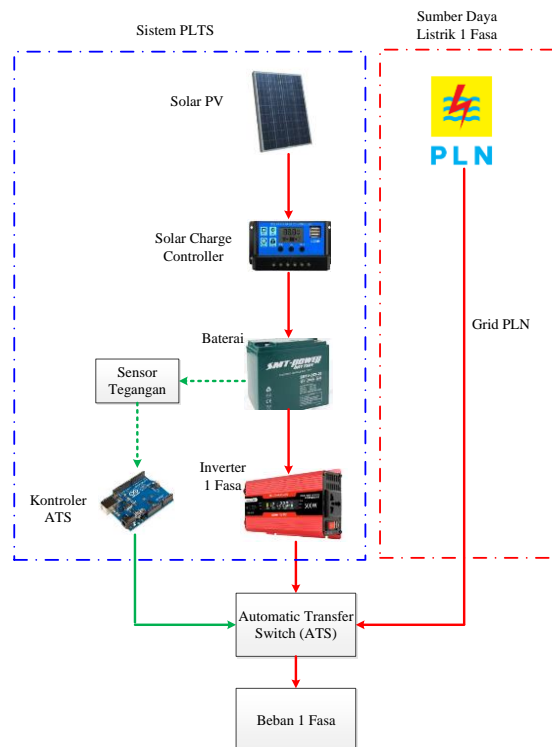
## 3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dibagi menjadi dua yaitu, perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Pada perancangan *hardware* memuat arsitektur sistem secara keseluruhan, tabel pembebanan, perhitungan dalam menentukan kuantitas panel surya, perhitungan jumlah baterai, perhitunga kapasitas arus pada *solar charge controller* (SCC), kemudian untuk perancanagn *software* meliputi perancangan algoritma dari ATS yang akan digunakan.

### 3.1 Perancangan Hardware

Dalam perancangan *hardware* ini memuat arsitektur dari sistem yang akan didesain yaitu sistem PLTS *off grid* dengan skema hibrida. Sistem tersebut akan memenuhi kebutuhan daya listrik beban satu fasa atau beban listrik

yang ada dirumah tinggal. Gambar 2. Merupakan arsitektur dari keseluruhan sistem.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Keseluruhan

Gambar 2 diatas merupakan sistem keseluruhan dari skema hibrid. Terdapat pembangkit listrik tenaga surya dan sistem listrik dari PLN. Dalam skema ini kerja dari masing-masing sistem akan bergantian untuk memasok kebutuhan daya listrik ke beban satu fasa. Mulai dari pagi-sore kebutuhan daya listrik akan dipasok dari PLN dan untuk kebutuhan sore-pagi hari akan dipasok dari baterai yang sebelumnya ketika pagi-sore hari solar PV akan melakukan pengisian daya ke baterai yang kemudian energi listrik tersebut disimpan dalam baterai yang nantinya akan digunakan pada malam hari. *Solar charger controller (SCC)* sebuah perangkat yang digunakan untuk melakukan pengisian daya ke baterai, untuk baterai sendiri berfungsi sebagai penyimpanan energi listrik, perangkat inverter yang merupakan pengkonversi daya sistem DC menjadi AC untuk kebutuhan beban satu fasa. Kontroler ATS yang dikendalikan oleh mikrokontroler jenis arduino uno yang dimana ditanamkan sebuah program waktu secara *real time* untuk mengaktifkan ATS tersebut dengan kriteria tegangan baterai dalam kondisi baik. Tabel 1.

berikut merupakan daftar beban yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Daftar Beban Satu Fasa

Beban	Jumlah	Daya (Watt)	Waktu Pemakaian (Pukul)	Energi (Wh)
Lampu LED	1	8	17.00-01.00	64
Lampu Pijar	1	25	22.00-06.00	200
Kipas	1	45	20.00-00.00	180
Total Energi: 444 Wh				

Tabel 1 merupakan daftar jenis beban yang dipakai dalam penelitian ini. Beban yang digunakan merupakan jenis satu fasa. Berdasarkan Tabel 1 tersebut maka, dapat ditentukan besarnya daya solar PV yang digunakan dengan menggunakan panel surya 120 Wp dimana nilai efisiensinya 60%. Maka besarnya total energi yang dihasilkan selama 1 hari dengan persamaan berikut.

$$Total\ energi\ Beban = \frac{Energi\ Beban}{60\%} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) beban yang dirancang, maka diperoleh Total Energi Beban Pemakaian Harian sebesar 740 Wh atau sama dengan 0,74 kWh. Untuk menentukan kuantitas atau jumlah solar PV adalah dengan persamaan berikut.

$$\sum PV = \frac{Total\ Energi\ Beban\ (Wh)}{Wp\ Panel \times Jam\ Matahari} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) untuk menentukan jumlah modul panel surya mendapati hasil 0,88  $\approx$  1 buah. Sehingga kuantitas panel surya yang dibutuhkan guna memenuhi kebutuhan daya dari beban selama satu hari nilai yang dibulatkan adalah 1 unit modul panel surya dengan kapasitas daya 120 Wp.

Pada penelitian ini menggunakan baterai dengan tegangan 12 V dan arusnya yaitu 20 Ah, maka kuantitas atau jumlah baterai dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$\sum Baterai = \frac{Total\ Energi\ Beban\ (Wh)}{Energi\ Baterai} \quad (3)$$

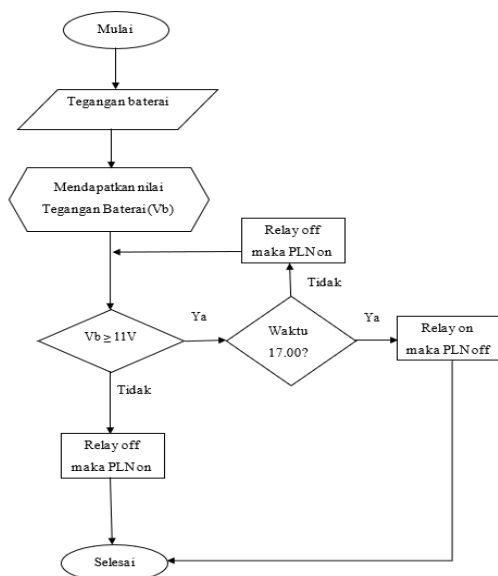
Persamaan (3) merupakan penentuan jumlah baterai yang dipakai pada sistem ini. Energi Baterai merupakan perkalian dari tegangan pada baterai dengan kapasitas arus (Ah) pada baterai tersebut. Dari persamaan (3) maka untuk mencukupi kebutuhan energi selama satu hari adalah 4 unit baterai dengan spesifikasi 12V, 20 Ah. Untuk menentukan kapasitas arus SCC maka ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Arus SCC} = \frac{\text{Daya max PV} \times \text{faktor keamanan}}{\text{Tegangan open circuit PV (VOC)}} \quad (4)$$

berdasarkan persamaan (4) yang telah dilakukan untuk penggunaan SCC dihasilkan sebesar 7,81 A dengan faktor keamanan 1,25, maka SCC yang dapat digunakan adalah sebesar 10 A.

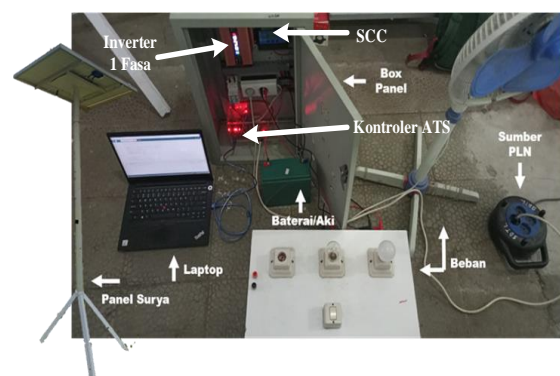
### 3.1 Perancangan Software

Pada perancangan perangkat lunak ini yang bertujuan untuk mengendalikan sistem ATS pada sistem. Dimana ATS berfungsi sebagai perangkat peralihan daya listrik dari PLN ke PLTS. Pengaturan ATS menggunakan perangkat mikrokontroler jenis arduino uno yang berdasarkan waktu jam dan kondisi tegangan pada baterai. Gambar 3. Merupakan *flowchart* algoritma dari pengendalian ATS.



Gambar 3. Flowchart Kendali ATS untuk Skema Hibrida

Gambar 3. menunjukkan algoritma dari pengendalian ATS untuk sistem Hibrida. Tahap awal kontroler membaca tegangan pada baterai dengan menggunakan sensor tegangan, kemudian program mendeteksi tegangan yang terukur pada baterai, jika tegangan diatas 11V maka syarat pertama untuk baterai sudah baik, jika tegangan mengalami *drop* dibawah 11V maka otomatis sistem akan tidak merespon perintah. Lalu syarat kedua adalah waktu berdasarkan jam, kontroler menghitung waktu jam secara *real time* (24 jam). Untuk pagi hari pukul 06.00-17.00 WIB maka ATS dalam keadaan *off* yang artinya sumber energi listrik berasal dari PLN dan ketika pukul 17.00-05.00 WIB maka ATS dalam keadaan *on* yang artinya sumber energi listrik berasal dari sistem PLTS yang energi listrik telah tersimpan dalam baterai tersebut. Gambar 4 merupakan implementasi dari keseluruhan sistem.



Gambar 4. Implementasi Sistem Keseluruhan

Gambar 4 merupakan implementasi secara keseluruhan yang terdapat perangkat solar PV, SCC, inverter, kontroler, panel box, dan beban-beban satu fasa.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil pengujian sistem PLTS *off-grid* skema hibrida sebagai alternatif suplai daya listrik beban satu fasa secara keseluruhan yang dilakukan di laboratorium SDTL Politeknik Negeri Bandung.

### 4.1 Pengujian ATS (Automatic Transfer Switch)

Pada pengujian ATS (Automatic Transfer Switch) dilakukan selama 24 jam dimulai pukul 06.00-05.00 WIB. Pengujian sumber daya

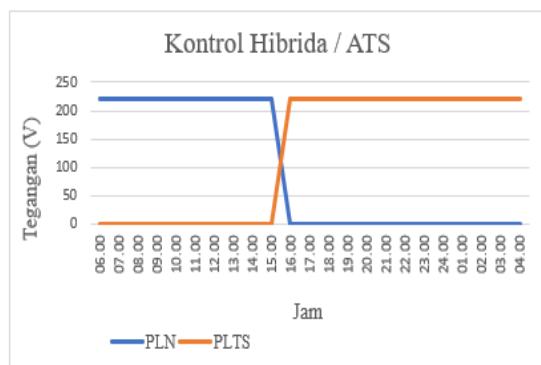


listrik sistem satu fasa dari PLN ke PLTS, untuk menguji ATS peralihan dari PLN ke PLTS. Berikut hasil pengujian yang diperoleh.

Tabel 2. Pengujian ATS

Jam	Suplai Daya		Tegangan (V)	
	Sistem PLN	Sistem PLTS	PLN	PLTS
06.00	ON	OFF	220	0
07.00	ON	OFF	220	0
08.00	ON	OFF	220	0
09.00	ON	OFF	220	0
10.00	ON	OFF	220	0
11.00	ON	OFF	220	0
12.00	ON	OFF	220	0
13.00	ON	OFF	220	0
14.00	ON	OFF	220	0
15.00	ON	OFF	220	0
16.00	ON	OFF	220	0
17.00	OFF	ON	0	220
18.00	OFF	ON	0	220
19.00	OFF	ON	0	220
20.00	OFF	ON	0	220
21.00	OFF	ON	0	220
22.00	OFF	ON	0	220
23.00	OFF	ON	0	220
24.00	OFF	ON	0	220
01.00	OFF	ON	0	220
02.00	OFF	ON	0	220
03.00	OFF	ON	0	220
04.00	OFF	ON	0	220
05.00	OFF	ON	0	220

Tabel 2. diperoleh hasil pengujian terlihat bahwa pengujian ini difungsikan sebagai pengatur waktu dan juga *relay* difungsikan sebagai ATS sebagai sakelar otomatis untuk peralihan suplai daya sistem satu fasa dari PLN ke PLTS sesuai yang dikehendaki yaitu pada pukul 06.00-17.00 suplai daya listrik bersumber dari PLN dan pukul 17.00-05.00 suplai daya listrik bersumber dari sistem PLTS. Selanjutnya dapat dilihat pada grafik Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kontrol Hibrida atau ATS

Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada saat pukul 17.00 sistem melakukan peralihan sumber daya sistem satu fasa dari PLN ke PLTS.

#### 4.2 Pengujian *Change Over* ketika Kondisi Tegangan Baterai Drop

Pengujian *change over* baterai akan mengevaluasi sensor tegangan terhadap baterai atau aki yang digunakan untuk peralihan sumber daya listrik sistem satu fasa dari PLN ke PLTS. Berikut hasil pengujian yang diperoleh.

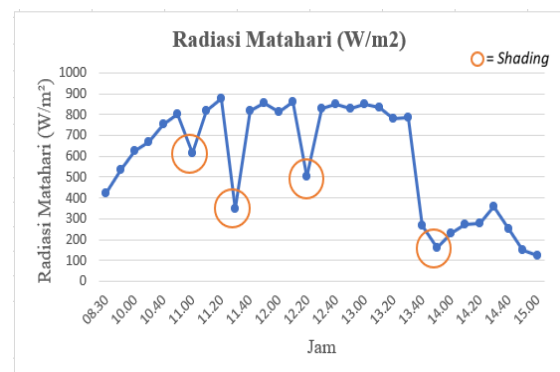
Tabel 3. Pengujian *Change Over* ketika Kondisi Tegangan Baterai Drop

No.	Kondisi Baterai	Tegangan Baterai (V)	<i>Change Over</i>
1.	Baterai dalam keadaan baik	$\geq 11$	Berhasil
2.	Baterai dalam keadaan drop	$\leq 11$	Gagal

Tabel 3 merupakan hasil pengujian *change over* baterai menggunakan sensor tegangan apabila baterai dalam keadaan baik maka *change over* baterai berhasil dan apabila baterai dalam keadaan drop maka *cange over* baterai gagal. Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa pada saat tegangan  $\geq 11$  volt peralihan suplai daya dari PLN ke PLTS sistem beban satu fasa berhasil, dan pada saat tegangan  $\leq 11$  volt peralihan suplai daya dari PLN ke PLTS sistem beban satu fasa tidak berhasil.

#### 4.3 Pengujian radiasi matahari

Pengujian radiasi matahari dilakukan untuk mengetahui. Dengan menggunakan alat ukur *Solar Power Meter*. Pengujian dilakukan pada tanggal 07 Juni 2024 pukul 08.30 – 15.10 WIB. Berikut hasil pengujian yang diperoleh.

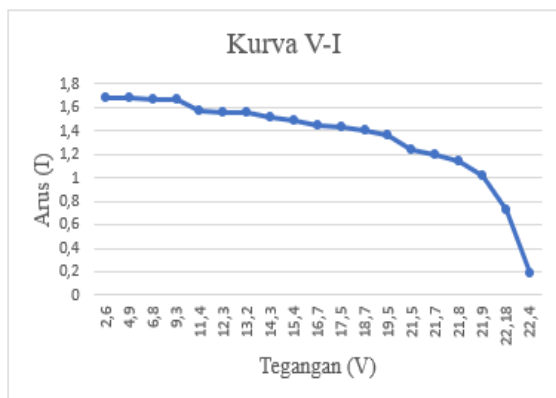


Gambar 6. Pengujian Radiasi Matahari

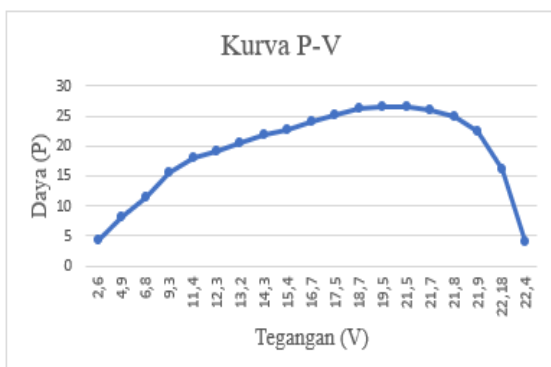
Terlihat pada grafik Gambar 6. bahwa pengujian radiasi matahari yang dilakukan pada tanggal 07 Juni 2024 pukul 08.30 – 15.10 WIB. Nilai radiasi matahari tertinggi  $875,0 \text{ W/m}^2$  dan terendah  $79,6 \text{ W/m}^2$ . Selanjutnya dapat dilihat pada grafik Gambar 3. dapat dilihat bahwa nilai maksimum radiasi matahari pada saat pengujian didapatkan nilai sebesar  $875,0 \text{ W/m}^2$  pada saat pukul 11.20. Terlihat pada grafik pada saat pengukuran mengalami beberapa kali penurunan nilai radiasi matahari hal tersebut dapat diakibatkan karena *shading*.

#### 4.4 Pengujian Karakteristik *photovoltaic* (PV)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik *photovoltaic* (PV) yang digunakan. Pengujian dilakukan pada tanggal 14 Juni 2024 pukul 11.30. Panel surya yang digunakan yaitu jenis monokristalin dengan daya 120 Wp. Pengujian ini menggunakan variabel rheostat yang merubah besaran tahanan dengan rentang nilai  $20 \Omega - 200 \Omega$ . Berikut hasil pengujian yang diperoleh.



Gambar 7. Grafik Kurva V-I



Gambar 8. Grafik Kurva P-V

Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dilihat bahwa pengujian karakteristik dari *Photovoltaic* (PV) yang mana hasil dari pengujian karakteristik *Photovoltaic* (PV) agar dapat diketahui daya maksimum. Dari gambar tersebut dilihat bahwa arus maksimum pada saat pengujian dalam 1,68 Ampere dan tegangan 22,4 Volt. Nilai arus, tegangan, dan daya yang dimiliki *Photovoltaic* (PV) berubah-ubah tergantung dari sinar matahari.

#### 5. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa Kesimpulan yaitu:

- Telah dihasilkan rancangan sistem PLTS *off-grid* skema hibrida yang dapat melakukan peralihan sumber daya sistem satu fasa dari PLN ke PLTS berdasarkan kriteria waktu atau jam yang mana pagi hingga sore suplai daya listrik bersumber dari PLN dan sore-pagi suplai daya listrik bersumber dari sistem PLTS dengan kriteria pembacaan tegangan pada baterai yang memiliki beban satu fasa.
- Sistem berhasil diimplementasikan skema hibrida yaitu perpindahan suplai daya PLN ke PLTS *off-grid*, sehingga pada saat pukul 06.00-17.00 suplai daya listrik bersumber dari PLN dan ketika pukul 17.00-05.00 suplai daya listrik bersumber dari PLTS.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Politeknik Negeri Bandung, khususnya pada Laboratorium Pengendalian Daya dan Mesin Listrik (PDML) terkait yang telah memberi dukungan dan fasilitas terhadap penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. Hidayat and F. Li, "Implementation of renewable energy sources for electricity generation in Indonesia," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Nov. 2011, no. 9, pp. 1–4. doi: 10.1109/PES.2011.6039326.
- [2] O. T. W. Y. A. S. Mujiyanto, "Policies and Strategies for Renewable Energy Development in Indonesia," in *5th International Conference on Renewable Energy Research and*

- Applications*, Nov. 2016, vol. 5, pp. 7–9.
- [3] B. D. Siregar, B. Sudiarto, and R. Setiabudy, "Economic analysis of renewable energy power plant in Sumatra, Indonesia," in *2nd IEEE International Conference on Innovative Research and Development, ICIRD 2019*, Jun. 2019, no. figure 1, pp. 5–8. doi: 10.1109/ICIRD47319.2019.9074768.
  - [4] C. R. Harahap, R. A. Nasution, and F. X. A. Setyawan, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sumber Panel Surya," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 11, no. 3, Aug. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3424.
  - [5] T. Sutikno, W. Arsadiando, A. Wangsupphaphol, A. Yudhana, and M. Facta, "A Review of Recent Advances on Hybrid Energy Storage System for Solar Photovoltaics Power Generation," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 42346–42364, Apr. 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3165798.
  - [6] X. Li, D. Hui, and X. Lai, "Battery energy storage station (BESS)-based smoothing control of photovoltaic (PV) and wind power generation fluctuations," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 464–473, Apr. 2013, doi: 10.1109/TSTE.2013.2247428.
  - [7] X. Guo, R. Gong, H. Bao, and Q. Wang, "Hybrid stochastic and interval power flow considering uncertain wind power and photovoltaic power," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 85090–85097, Jul. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2924436.
  - [8] F. Blaabjerg, Y. Yang, K. A. Kim, and J. Rodriguez, "Power Electronics Technology for Large-Scale Renewable Energy Generation," *Proc. IEEE*, vol. 111, no. 4, pp. 335–355, Jan. 2023, doi: 10.1109/JPROC.2023.3253165.
  - [9] A. Bharatee, P. K. Ray, and A. Ghosh, "A Power Management Scheme for Grid-connected PV Integrated with Hybrid Energy Storage System," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 954–963, Jun. 2022, doi: 10.35833/MPCE.2021.000023.
  - [10] D. J. Petrovic, M. M. Lazic, B. V. Jovanovic Lazic, B. D. Blanusa, and S. O. Aleksic, "Hybrid Power Supply System with Fuzzy Logic Controller: Power Control Algorithm, Main Properties, and Applications," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 923–931, Jul. 2022, doi: 10.35833/MPCE.2020.000069.
  - [11] Y. Zha, J. Lin, G. Li, Y. Wang, and Yizhang, "Analysis of Inertia Characteristics of Photovoltaic Power Generation System Based on Generalized Droop Control," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 37834–37839, Mar. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3059678.
  - [12] E. Yao, P. Samadi, V. W. S. Wong, and R. Schober, "Residential Demand Side Management Under High Penetration of Rooftop Photovoltaic Units," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1597–1608, Aug. 2016, doi: 10.1109/TSG.2015.2472523.
  - [13] G. H. Reddy, S. R. Depuru, S. Gope, B. V. Narayana, and M. N. Bhukya, "Simultaneous Placement of Multiple Rooftop Solar PV Integrated Electric Vehicle Charging Stations for Reliability Benefits," *IEEE Access*, vol. 11, no. November, pp. 130788–130801, Nov. 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3335093.
  - [14] W. B. Rahmatulloh, "Rancang Bangun PLTS Menggunakan Sistem Hybrid Pada Rumah Tangga Untuk Mengurangi Ketergantungan Energi Listrik Dari PLN Dalam penelitian ini , saya mengambil judul ini," *J. Ilm. Tek. Elektro, Sains dan Inform.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–15, Oct. 2024.
  - [15] D. Riyanto, M. Muhsin, and J. S. Habiby, "Penerapan PLTS 200 WP Pada Rumah Hunian Masyarakat Pedesaan Sebagai Listrik Hybrid," *Semin. Nas. Fortei Reg.*, vol. 7, pp. 21–27, Oct. 2021.
  - [16] C. Muzakkir, F. Fitriah, and M. I. Arsyad, "Study of Hybrid Electrical System Planning in the Research and Community Service Institute Building," *Telecommun. Comput. Electr. Eng. J.*, vol. 1, no. 2, p. 123, Oct. 2023, doi: 10.26418/telectrical.v1i2.70516.
  - [17] F. D. Setiaji, "Analisis dan Pengukuran Rangkaian Pengisi Baterai pada Beberapa Produk Lampu Baca," *J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 18, no. 01, pp. 65–79, Apr. 2019, doi: 10.31358/techne.v18i01.186.
  - [18] N. Mohan, *POWER ELECTRONICS*. New York, US: John Wiley & Sons, 1995.