

ANALISIS EKONOMI DAN PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM OFF GRID PADA UMKM COFFE SHOP DI KOTA SEMARANG

Sunan Muqtasida Masfuha^{*)}, Jaka Windarta dan Susatyo Handoko

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

^{*)}E-mail: sunanmasfuha@gmail.com

Abstrak

Distribusi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) belum tentu mencapai daerah-daerah terpencil, sehingga daerah tersebut memerlukan sumber listrik alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Maka dari itu dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian yang ditujukan untuk menganalisis perancangan PLTS dengan sistem *off grid* ditinjau dari sisi ekonomi teknik dan menguji sistem PLTS tersebut pada *coffee shop* di *remote area*. Metode penelitian yang digunakan adalah membandingkan kelayakan 4 variasi sistem PLTS dengan sistem genset dan sistem *charging*. Didapatkan hasil penelitian semua variasi memiliki nilai NPV yang bernilai negatif (<0). Dengan demikian semua variasi ini dianggap tidak layak dari segi ekonomi dan tidak memberikan profit, akan tetapi pilihan PLTS variasi 1 adalah investasi yang paling murah. Dengan alasan tersebut PLTS variasi 1 yang menggunakan panel surya Maysun 120 Wp dan baterai Shoto 150 Ah dipilih sebagai sistem yang dilakukan pengujian. Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan semua komponen dan sistem secara keseluruhan dapat bekerja dengan baik. Hal ini dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS layak untuk diimplementasikan.

Kata kunci: PLTS, off grid, analisis ekonomi teknik, remote area

Abstract

The distribution of electricity from the PLN does not necessarily reach remote areas, so these areas require alternative sources of electricity such as solar power plants. Therefore, in this final project, a research will be conducted aimed at analyzing the design of solar power plants with an off grid system in terms of technical economics and testing the solar power plants system. The research method used is to compare the feasibility of 4 variations of the solar power plants system with generator system and charging system. The research results obtained that all variations have a negative NPV value (<0). Thus, all these variations are considered unfeasible from an economic point of view and do not provide a profit, however the choice of solar power plants variation 1 is the cheapest investment. For this reason solar power plants variation 1 which uses 120 Wp Maysun solar panel and Shoto 150 Ah battery was chosen as the system to be tested. From the results of the tests carried out, it is found that all components and the system as a whole can work well. It can be concluded that the solar power plants system is feasible to be implemented.

Keywords: Solar power plant, off grid, economic feasibility analysis, remote area

1. Pendahuluan

Saat ini kebutuhan listrik terus meningkat disebabkan oleh semakin tingginya angka perkembangan teknologi. Hal ini dibuktikan dengan semakin banyaknya jenis-jenis pembangkit listrik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhannya. Namun bahan bakar yang digunakan pada mayoritas pembangkit tersebut bersumber dari energi baru tak terbarukan yang dapat habis dalam jangka waktu tertentu [1]. Maka dari itu, penggunaan energi baru terbarukan menjadi solusi untuk mengantisipasi habisnya sumber bahan bakar di masa mendatang. Pada tahun 2019

memiliki total kapasitas pembangkit nasional sebesar 69.678,85 MW dengan 15% presentase pembangkit listrik bersumber dari Energi Baru Terbarukan (EBT) [2].

Penelitian sejenis yang sebelumnya pernah dilakukan oleh Bimo yang membahas mengenai analisis secara teknis dan ekonomi dalam perencanaan PLTS yang akan diaplikasikan di Pulau Cemara [3]. Penelitian lain dilakukan oleh Jaka yang membahas energi listrik yang dapat dihasilkan dari 4 unit panel surya 100 Wp di SMA Negeri 6 Surakarta [4]. Penelitian lain juga dilakukan Jaka

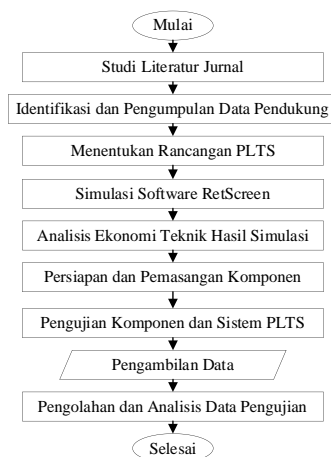
membahas analisis ekonomi dari 4 konfigurasi PLTS sistem *on grid* [5].

Pada penelitian ini, penulis berinisiasi untuk melakukan kajian mengenai salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan EBT yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Maka dari itu dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian yang ditujukan untuk merancang dan menguji pembangkit listrik tenaga surya pada UMKM Coffeshop di *remote area* dengan sistem *off grid*.

2. Metode

2.1. Perencanaan

Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Analisis Ekonomi dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Off Grid* pada UMKM di Kota Semarang” dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa berawal dari pemahaman dasar teori tentang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), seperti macam-macam PLTS, prinsip kerja PLTS serta komponen-komponen lainnya. Membaca berbagai literatur dan jurnal-jurnal terkait penelitian sebagai referensi dengan dilakukannya studi literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengumpulan data-data terkait penelitian seperti lokasi penelitian, jumlah beban pada tiap jam setiap harinya, intensitas radiasi matahari, dan lain-lain. Data-data ini digunakan untuk menentukan rancangan dan komponen-komponen yang digunakan. Perangkat lunak Retscreen digunakan sebagai alat bantu untuk mengolah data sebagai dasar analisis ekonomi teknik. Analisis yang dilakukan adalah analisis mengenai kelayakan investasi PLTS yang direncanakan jika dibandingkan dengan alternatif sumber listrik lainnya, dan akan dipilih salah satu variasi yang dinilai paling menguntungkan untuk dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan pada modul surya, SCC, baterai, inverter, dan sistem PLTS. Pengujian yang dilakukan dalam hal uji

efisiensi komponen utama PLTS. Selain pengujian pada komponen, dilakukan pula pengujian pada sistem PLTS dengan menggunakan intensitas iradiasi matahari serta temperatur sebagai parameter yang menentukan produksi energi listrik PLTS. Tahapan akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan dari data yang telah dianalisis, serta kemudian diberikan saran untuk menunjang dan mengembangkan penelitian serupa di masa mendatang.

2.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga surya di Angka Coffee yang berlokasi di Tembalang Semarang di titik koordinat - 7.068564888359462, 110.44029635468642.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian.

2.2.1. Profil Beban

Dalam penelitian ini, perkiraan beban harian di lokasi penelitian setiap harinya ditentukan dengan cara observasi manual dan periodik. Profil beban harian di lokasi penelitian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Profil beban harian pada saat hari kerja di lokasi penelitian.

Beban	Jumlah	Daya (Watt)	Total Daya (Watt)	Jam Menyala (Hour)		Total (Wh)
Grinder Latina T60	1	150	150	19.00	21.00	2 300
Heater Air Idealife	1	350	350	20.00	22.00	2 700
LED Kuning	10	4	40	18.00	02.00	6 240
Lampu LED Putih	1	9	9	18.00	02.00	8 72
Lampu Logo Router	1	5	5	18.00	02.00	10 50
Router	1	10	10	18.00	02.00	10 100
TV LED	1	45	45	20.00	00.00	3 135
Speaker	1	20	20	20.00	23.00	3 60
Stopkontak	5	15	75	19.00	23.00	4 300
Total			646			1979

2.3. Penentuan Rancangan PLTS

Rancangan penelitian tugas akhir yang telah dibuat oleh Khilmi Nafadinanto dengan judul “Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada UMKM Coffeshop di Kota Semarang Ditinjau dari Analisis Kelayakan Teknis Menggunakan Software PVsyst” dipilih untuk dianalisis dan diuji dengan mempertimbangkan hasil analisis rancangan serta kondisi lapangan.

Pada perancangan tersebut terdapat 4 variasi kombinasi komponen seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Alternatif konfigurasi komponen PLTS.

Variasi	Panel Surya	Baterai	Konfigurasi Array	Konfigurasi Baterai
1	Maysun 120Wp	Shoto 12V 150 Ah	6 modul 3 seri 2 paralel	2 buah Seri 24 V 150 Ah
2	Maysun 120Wp	Huafu 12V 80Ah	6 modul 3 seri 2 paralel	4 buah Seri paralel 24 V 160 Ah
3	Longi 350Wp	Shoto 12V 150Ah	2 modul Seri 2 paralel	2 buah Seri 24 V 150 Ah
4	Longi 350Wp	Huafu 12V 80Ah	2 modul 2 paralel	4 buah Seri paralel 24 V 160 Ah

2.3.1. Komponen Utama

A. Panel Surya

Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah panel surya tipe monocrystalline dengan merek Maysun dan Longi. Spesifikasi dari panel surya ini diperoleh dari datasheet produk seperti yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi panel surya.

Spesifikasi	Maysun 120Wp	Longi 350Wp
Daya Maksimum (P_{max})	120 Wp	350 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})	24,8 V	40,4 V
Arus Hubung Singkat (I_{sc})	6,65 A	11,16 A
Tegangan Maksimum (V_{mp})	19,2 V	34,4 V
Arus Maksimum (I_{mp})	6,25 A	10,18 A
Efisiensi Modul	21,5%	19,2%
Fuse Rating	12A	20A
Dimensi (mm x mm x mm)	1020 x 680 x 30	1755 x 1038 x 35
Harga	Rp600.000	Rp2.250.000

B. Solar Charge Controller

Solar charge controller yang digunakan harus disesuaikan dengan tegangan keluaran dan spesifikasi arus dari panel surya. Jenis solar charge controller yang digunakan yaitu Epever Tracer-3210 AN Series dengan spesifikasi pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi solar charge controller.

Spesifikasi	Nilai
Maximum Open Circuit Voltage	100 V
MPP or Operating Range	14 V – 72 V
Maximum Input Current	32,5 A
Output Voltage	12 V / 24 V
Maximum Battery Charging Current (I_{mp})	30 A
Efisiensi	98%
Harga	Rp1.150.000

C. Baterai

Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai tipe baterai merek Shoto 12 V 150 Ah dan merek Huafu 12 V 80 Ah. Spesifikasi dari kedua baterai diperoleh dari datasheet produk seperti yang terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi baterai.

Spesifikasi	Shoto	Huafu
Tegangan nominal	12 V	12 V
Kapasitas	150 Ah	80 Ah
Ref. temperature	25°C	25°C
Cycle adt DoD 50%	1600	800
Internal Resistance	4,2 mΩ	3,8 mΩ
Massa	46 kg	42,6 kg
Jumlah baterai	2 buah	4 buah
Tegangan sistem	24 V	24 V
Total kapasitas	150 Ah	160 Ah
Harga	Rp2.100.000	Rp1.100.000

D. Inverter

Inverter yang digunakan dalam pengimplementasian sistem PLTS ini adalah inverter dengan merek Suoer tipe FPC-1000B. Spesifikasi inverter tersebut ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi inverter Suoer FPC-1000B.

Spesifikasi	Nilai
Input DC	
Tegangan masukan	24 V
Rentang tegangan masukan	21 - 30 V
Arus tanpa beban	< 0.4 A
Output AC	
Tegangan keluaran	220 V
Daya keluaran	1000 W
Daya Keluaran Maksimal	2000 W
Data Umum	
Faktor daya beban	0,98
Efisiensi maksimal	94%
Dimensi	325 x 180 x 85 mm
Harga	Rp1.950.000

2.3.2. Komponen Tambahan

A. Kabel

Kabel yang akan digunakan pada perancangan ini beserta harganya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Komponen kabel PLTS.

Komponen	Merek	Jumlah	Harga Satuan	Jumlah Harga
Kabel AWG 16mm	FDR	8 m	Rp38.000	Rp304.000
Kabel PV 2x4mm	Slocable	5 m	Rp30.000	Rp150.000
Kabel Duct	-	1 m	Rp22.000	Rp22.000
Kabel AC 2x0.75mm	Eterna	5 m	Rp8.000	Rp40.000
Skun Kabel	-	20 buah	Rp1.000	Rp20.000
Konektor MC4	Bagus	2 buah	Rp39.000	Rp80.000
Terminal Blok	Vinyl	2 buah	Rp10.000	Rp20.000
Kabel grounding	Eterna	4 m	Rp25.000	Rp100.000
Total				Rp736.000

B. Komponen Proteksi

Komponen proteksi yang akan digunakan pada perancangan PLTS ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Komponen proteksi PLTS.

Komponen	Merek	Jumlah	Harga Satuan	Jumlah Harga
MCB DC 30A 50A	Chtai	3 buah	Rp65.000	Rp195.000
MCB AC 4A	Himel	1 buah	Rp32.000	Rp32.000
Relay MK2P + socket	Omron	1 buah	Rp30.000	Rp30.000
Low Voltage Disconnect	-	1 buah	Rp45.000	Rp45.000
Baterai Equalizer 24V	Taico	1 buah	Rp120.000	Rp120.000
Over Current Relay	Tomzn	1 buah	Rp100.000	Rp100.000
SPD DC	Puddpow	1 buah	Rp220.000	Rp220.000
SPD AC	Puddpow	1 buah	Rp130.000	Rp130.000
Total				Rp872.000

2.3.3. Hasil Produksi Listrik PLTS Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak PVSyst 7.1 PLTS yang dilakukan oleh Khilmi Nafadinanto di lokasi penelitian dengan berbagai variasi dapat dibuat Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan hasil PLTS variasi 1, 2, 3, dan 4.

Variasi	Energi Listrik Array (kWh)	Energi keluaran array (kWh)	Energi Terbuang (kWh)	Energi Tersuplai ke Beban (kWh)	Rasio Kinerja	Missing Energy (kWh)
1	1.280,70	1060,3	270,19	689,6	0,546	6,245
2	1.280,70	1060,3	269,86	691,0	0,548	4,813
3	1.241,70	1087,0	307,52	692,4	0,565	3,373
4	1.241,70	1088,8	308,9	693,8	0,565	2,025

2.4. Analisis Ekonomi Teknik

2.4.1. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah suatu metode ekonomi teknik yang digunakan untuk menghitung selisih antara nilai investasi dengan nilai kas bersih di masa mendatang [6]. Menghitung NPV dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$PWB = \sum_{t=0}^n Cb_t(FBP)_t \tag{1}$$

$$PWC = \sum_{t=0}^n Cc_t(FBP)_t \tag{2}$$

$$NPV = PWB - PWC \tag{3}$$

Pengambilan keputusan layak atau tidaknya suatu investasi dengan metode NPV dapat dilihat dari kriteria sebagai berikut :

Jika: $BCR \geq 1$ maka investasi layak (*feasible*)
 $BCR < 1$ maka investasi tidak layak

2.4.2. Cost of Energy (COE)

Teknik *Cost of Energy* digunakan sebagai penilai nilai energi yang dihasilkan oleh alternatif sumber listrik yang dipilih. Nilai *Cost of Energy* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$COE = \frac{\text{annualized cost}}{\text{consumption energy}} \tag{4}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Ekonomi Teknik

Kelayakan investasi PLTS yang akan dirancang di lokasi penelitian ditentukan berdasarkan nilai *Net Present Value* (NPV) [8]. Biaya total investasi masing-masing variasi didapat dari *survey* ke toko *offline* di area Kota Semarang maupun toko *online* di berbagai *e-commerce* di Indonesia sedangkan discount rate dan nilai inflasi didapat dari laman resmi Bank Indonesia. Lokasi penelitian ini adalah remote area, alternatif sumber listrik yang memungkinkan adalah PLTS, sistem genset, dan penggunaan baterai dengan *charging* dari listrik PLN. Penelitian ini akan membandingkan tiga alternatif ini dari sisi ekonomisnya.

3.1.1. PLTS

Biaya investasi untuk masing-masing komponen pada perancangan sistem PLTS dengan variasi 1, 2, 3, dan 4 di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13.

Tabel 10. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 1.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Panel Maysun Solar 120Wp	6 Modul	Rp 600.000	Rp3.600.000
SCC Epever	1 Buah	Rp1.150.000	Rp1.150.000
Baterai Shoto 12V 150Ah	2 Buah	Rp2.100.000	Rp4.200.000
Inverter 1000W	1 Buah	Rp1.950.000	Rp1.950.000
Kabel	1 set	Rp 736.000	Rp 736.000
Proteksi	1 set	Rp 872.000	Rp 872.000
Jasa dan lain-lain	1 set	Rp2.420.000	Rp2.420.000
Total			Rp14.928.000

Tabel 11. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 2.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Panel Maysun Solar 120Wp	6 modul	Rp 600.000	Rp3.600.000
SCC Epever	1 buah	Rp1.150.000	Rp1.150.000
Baterai Huaflu 12 V 80 Ah	4 buah	Rp1.100.000	Rp4.400.000
Inverter 1000W	1 buah	Rp1.950.000	Rp1.950.000
Kabel	1 set	Rp 736.000	Rp 736.000
Proteksi	1 set	Rp 872.000	Rp 872.000
Jasa dan lain-lain	1 set	Rp2.420.000	Rp2.420.000
Total			Rp15.128.000

Tabel 12. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 3.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Panel Longi 350Wp	2 Modul	Rp2.250.000	Rp4.500.000
SCC Epever	1 Buah	Rp1.150.000	Rp1.150.000
Baterai Shoto 12V 150Ah	2 Buah	Rp2.100.000	Rp4.200.000
Inverter 1000W	1 Buah	Rp1.950.000	Rp1.950.000
Kabel	1 set	Rp 736.000	Rp 736.000
Proteksi	1 set	Rp 872.000	Rp 872.000
Jasa dan lain-lain	1 set	Rp2.420.000	Rp2.420.000
Total			Rp15.828.000

Tabel 13. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 4.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Panel Longi 350Wp	2 Modul	Rp2.250.000	Rp4.500.000
SCC Epever	1 buah	Rp1.150.000	Rp1.150.000
Baterai Huaifu 12 V 80 Ah	4 buah	Rp1.100.000	Rp4.400.000
Inverter 1000W	1 buah	Rp1.950.000	Rp1.950.000
Kabel	1 set	Rp 736.000	Rp 736.000
Proteksi	1 set	Rp 872.000	Rp 872.000
Jasa dan lain-lain	1 set	Rp2.420.000	Rp2.420.000
Total			Rp16.028.000

Biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya untuk sistem PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal untuk komponen sistem PLTS [9] ditambah biaya penggantian baterai selama masa proyek, sehingga biaya operasional per tahun untuk sistem PLTS variasi 1, 2, 3, dan 4 dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Biaya operasional sistem PLTS.

Variasi	O&M Komponen	Penggantian Baterai	Total
1	Rp 93.080	Rp 672.000	Rp 765.080
2	Rp 93.080	Rp 704.000	Rp 797.080
3	Rp 102.080	Rp 672.000	Rp 774.080
4	Rp 102.080	Rp 704.000	Rp 806.080

Penghematan total investasi didapatkan dari penghematan energi listrik dan hasil penjualan baterai yang rusak. Tarif listrik sebesar Rp1.444,7 per kWh, maka penghematan PLTS tiap tahunnya dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Penghematan sistem PLTS.

Variasi	kWh / Tahun	Penghematan Listrik	Penjualan Baterai	Total Penghematan
1	689,6	Rp 996.265	Rp96.000	Rp1.092.265
2	691	Rp 998.288	Rp96.000	Rp1.094.288
3	692,4	Rp1.000.310	Rp96.000	Rp1.096.310
4	693,8	Rp1.002.333	Rp96.000	Rp1.098.333

Berdasarkan data-data di atas, didapatkan nilai NPV dan COE untuk masing-masing variasi seperti pada Tabel 16.

Tabel 16. Nilai NPV dan COE PLTS.

Variasi	NPV (Rp)	COE (Rp/kWh)
1	-2.641.203	2.532
2	-3.966.947	2.608
3	-3.727.273	2.594
4	-5.053.016	2.669

Berdasarkan Tabel 16, terlihat nilai NPV pada masing-masing variasi bernilai negatif atau kurang dari 0 sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PLTS untuk masing-masing variasi tidak layak untuk dilaksanakan.

3.1.2. Sistem Genset

Genset yang digunakan sesuai data beban di lokasi penelitian adalah genset dengan daya 1KVA dengan merek Honda tipe *silent*. Berikut adalah biaya investasi penggunaan genset.

Tabel 17. Modal awal penggunaan genset.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Genset Honda	1 set	Rp7.100.000	Rp7.100.000
Kabel	1 set	Rp 180.000	Rp 180.000
Proteksi	1 set	Rp 162.000	Rp 162.000
Jasa dan lain-lain	1 set	Rp 50.000	Rp 50.000
Total			Rp7.492.000

Berdasarkan dari hasil perhitungan dengan persamaan [10]

$$S = K \times P \times T \tag{5}$$

didapatkan penggunaan bahan bakar dalam sehari sebanyak 1,8 liter . Harga bensin saat ini adalah Rp7.650. Konsumsi bahan bakar dalam sehari sebesar Rp16.000 dan dalam setahun mencapai Rp5.060.650. Sehingga biaya untuk operasional penggunaan genset per tahun dapat ditunjukkan dalam Tabel 18 [11].

Tabel 18. O&M penggunaan genset.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Penggantian oli (250 jam)	10 kali	Rp 40.000	Rp400.000
Penggantian filter oli (250 jam)	10 kali	Rp 25.000	Rp250.000
Penggantian filter bahan bakar (500 jam)	5 kali	Rp 45.000	Rp 225.000
Penggantian filter udara (1250 jam)	2 kali	Rp 55.000	Rp 110.000
Bahan bakar	1 tahun	Rp5.060.650	Rp5.060.650
Total			Rp 6045650

Jumlah energi listrik yang dihasilkan genset dalam setahun pada penelitian ini diasumsikan sama dengan daya PLTS variasi 4 yaitu sebesar 693,8 kWh, dengan alasan penggunaan beban yang sama. Dengan tarif listrik yang berlaku Rp1.444,7/kWh, maka biaya penghematan listrik tiap tahunnya untuk sistem genset sebesar Rp1.002.333.

Hasil perhitungan nilai NPV sebesar - Rp196.883.902 dan nilai COE sebesar 13.521 Rp/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa investasi sistem genset di lokasi penelitian tidak layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV kurang dari nol (<0).

3.1.3. Sistem Charging

Sistem *charging* di sini adalah sistem dengan menggunakan baterai yang dayanya diisi menggunakan

listrik PLN sebagai sumber listrik di lokasi penelitian. Biaya investasi sistem *charging* sesuai pada Tabel 19.

Tabel 19. Modal awal sistem *charging*.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Charger Baterai Suoer	1 Modul	Rp 250.000	Rp 250.000
Baterai Shoto 12V 150Ah	2 Buah	Rp2.100.000	Rp4.200.000
Inverter 1000W	1 Buah	Rp1.950.000	Rp1.950.000
Kabel	1 Buah	Rp 514.000	Rp 514.000
Proteksi	1 set	Rp 522.000	Rp 522.000
Jasa dan lain-lain	1 set	Rp 920.000	Rp 920.000
Total			Rp 8.356.000

Daya yang digunakan untuk *charging* baterai yaitu sebesar daya beban ditambah rugi-rugi sistem yaitu sekitar 2 KWH per hari. Sehingga biaya untuk operasional penggunaan sistem ini per tahun dapat ditunjukkan dalam Tabel 20.

Tabel 20. O&M Sistem *charging* baterai.

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Komponen	1 set	Rp 32.360	Rp 32.360
Penggantian Baterai	1 set	Rp672.000	Rp 672.000
Charging baterai	1 set	Rp910.161	Rp 910.161
Total			Rp1.614.521

Jumlah energi listrik yang dihasilkan sistem ini dalam setahun pada penelitian ini dianggap sama dengan daya PLTS variasi 4 yaitu sebesar 693,8 kWh, dengan alasan penggunaan beban yang sama. Dengan tarif listrik yang berlaku Rp1.444,7/kWh, maka biaya penghematan tiap tahunnya untuk sistem ini sebesar Rp1.002.333 ditambah Rp96.000 hasil penjualan baterai Rp96.000. Sehingga total penghematan sistem *charging* pertahun Rp1.098.333. Hasil perhitungan nilai NPV sebesar - Rp27.740.435 dan nilai COE sebesar 3.977 Rp/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa investasi sistem genset di lokasi penelitian tidak layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV kurang dari nol (<0).

3.1.4. Perbandingan

Dari hasil analisis yang didapat untuk semua alternatif yang ada, kita dapat buat tabel perbandingan sebagai berikut.

Tabel 21. Perbandingan nilai NPV dan COE.

Nama Variasi	NPV (Rp)	COE (Rp/kWh)
PLTS variasi 1	-Rp 2.641.203	2.532
PLTS variasi 2	-Rp 3.966.947	2.608
PLTS variasi 3	-Rp 3.727.273	2.594
PLTS variasi 4	-Rp 5.053.016	2.669
Genset	-Rp196.883.902	13.521
Sistem <i>charging</i>	-Rp 27.740.435	3.977

Berdasarkan Tabel 21 dapat kita lihat, variasi 1 meskipun dikatakan tidak layak dari sisi ekonomi teknik, namun variasi ini adalah alternatif sumber listrik yang paling menguntungkan apabila dibandingkan dengan alternatif sumber listrik yang lain di lokasi penelitian.

3.2. Pengujian PLTS

3.2.1. Pengujian Komponen

A. Panel Surya

• Iradian dan Suhu

Pengujian iradian bertujuan untuk mengetahui intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya. Sedangkan pengujian suhu dimaksudkan untuk mengukur suhu pada permukaan modul fotovoltaik (PV). Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Data hasil pengukuran iradian dan suhu.

Waktu (WIB)	iradian (W/m ²)	Suhu (°C)
6:00	13	23,9
6:20	25	24,7
6:40	80	25,4
7:00	130	27,3
7:20	300	29,9
7:40	543,7	33,2
8:00	620,5	36,2
8:20	688,1	36,5
8:40	735,2	37,3
9:00	785,7	38,8
9:20	790,2	38,9
9:40	807,9	39,1
10:00	813	39,3
10:20	846,9	39,4
10:40	899,2	39,6
11:00	941,8	39,8
11:20	997,8	42,7
11:40	1201,2	45,1
12:00	1340,7	48,5
12:20	1306,4	49
12:40	1286,2	48,5
13:00	1138,3	49,7
13:20	1003,4	49,2
13:40	1059,9	48,2
14:00	1009,4	47,7
14:20	842	43,1
14:40	398,9	39,5
15:00	285,7	36,8
15:20	213,6	34,8
15:40	127,1	33,5
16:00	61,2	32,5
16:20	39	31,7
16:40	30	31,3
17:00	28,5	30,8

Data pada Tabel 22 menunjukkan data hasil pengujian iradian dan suhu pada modul fotovoltaik. Dapat dilihat pada tabel bahwa nilai tertinggi iradian terdapat pada pukul 12.00 WIB yaitu sebesar 1340,7 W/m². Nilai rata-rata iradian dalam satu hari dapat dihitung yaitu sebesar 597,3 W/m². Nilai suhu tertinggi suhu panel surya terdapat pada pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 49,7 °C.

• Daya Masukan

Daya masukan modul fotovoltaik dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$P = E \times A \tag{6}$$

Luas penampang panel surya adalah $1,02 \times 0,68 = 0,6936$ m². Panel surya yang digunakan sebanyak 6 buah, sehingga luas total penampang sebesar 4,1616 m². Maka dapat dihitung nilai daya masukan sesuai Tabel 23.

Tabel 23. Data hasil pengujian daya masukan.

Waktu (WIB)	Iradian (W/m ²)	Suhu (°C)	Pin (W)
6:00	13	23,9	54,10
6:20	25	24,7	104,04
6:40	80	25,4	332,93
7:00	130	27,3	541,01
7:20	300	29,9	1248,48
7:40	543,7	33,2	2262,66
8:00	620,5	36,2	2582,27
8:20	688,1	36,5	2863,60
8:40	735,2	37,3	3059,61
9:00	785,7	38,8	3269,77
9:20	790,2	38,9	3288,50
9:40	807,9	39,1	3362,16
10:00	813	39,3	3383,38
10:20	846,9	39,4	3524,46
10:40	899,2	39,6	3742,11
11:00	941,8	39,8	3919,39
11:20	997,8	42,7	4152,44
11:40	1201,2	45,1	4998,91
12:00	1340,7	48,5	5579,46
12:20	1306,4	49	5436,71
12:40	1286,2	48,5	5352,65
13:00	1138,3	49,7	4737,15
13:20	1003,4	49,2	4175,75
13:40	1059,9	48,2	4410,88
14:00	1009,4	47,7	4200,72
14:20	842	43,1	3504,07
14:40	398,9	39,5	1660,06
15:00	285,7	36,8	1188,97
15:20	213,6	34,8	888,92
15:40	127,1	33,5	528,94
16:00	61,2	32,5	254,69
16:20	39	31,7	162,30
16:40	30	31,3	124,85
17:00	28,5	30,8	118,61

Berdasarkan Tabel 23 dapat dilihat bahwa daya masukan akan semakin tinggi dari pukul 06.00 WIB sampai pukul 12.00 WIB. Hal ini dikarenakan radiasi matahari terhadap panel surya semakin meningkat seiring hari semakin siang

• **Tegangan Open Circuit dan Arus Short Circuit**

Pengukuran tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* pada panel surya bertujuan untuk menghitung daya keluaran modul fotovoltaik. Hasil data pengukuran dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24. Data hasil pengukuran tegangan *open circuit* dan arus *short circuit*.

Waktu (WIB)	Tegangan Array (V)	Arus Array (A)
6:00	62,2	0,15
6:20	62,71	0,3
6:40	62,96	0,9
7:00	63,3	1,55
7:20	65,94	3,42
7:40	65,85	5,42
8:00	66,4	7,1

Tabel 24. Lanjutan

Waktu (WIB)	Tegangan Array (V)	Arus Array (A)
8:20	66	7,21
8:40	66,08	7,19
9:00	66,1	7,7
9:20	66,02	7,92
9:40	66	8,40
10:00	66,6	8,73
10:20	65,93	8,75
10:40	65,87	8,67
11:00	66,3	9,88
11:20	66,2	8,43
11:40	65,9	7,69
12:00	66,1	7
12:20	64,7	7,94
12:40	64,21	9,28
13:00	63,3	10,88
13:20	64,16	10,03
13:40	64,7	9,92
14:00	64,8	9,06
14:20	64,86	7,85
14:40	64,2	4,21
15:00	63,7	2,79
15:20	63	2,21
15:40	61,05	1,50
16:00	59,19	0,59
16:20	58,2	0,37
16:40	56,9	0,32
17:00	55,91	0,3

Data pada Tabel 24 menunjukkan data hasil pengujian tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* pada modul fotovoltaik selama 1 hari.

• **Fill Factor**

Fill factor merupakan daya yang tersedia pada *maximum power point* (Pm) dibagi dengan tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung pendek (Isc). Nilai *fill factor* modul fotovoltaik dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 \text{Fill Factor} &= \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (7) \\
 &= \frac{18,2 \times 6,67}{21,51 \times 7,19} = 0,785
 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas didapatkan nilai *fill factor* pada panel surya yang digunakan sebesar 0,785. Nilai tersebut masih dalam kategori yang ideal dimana nilai *fill factor* yang ideal berkisar antara 0,7 sampai 0,85 [12].

• **Daya Keluaran**

Nilai daya keluaran maksimum yang dapat dikeluarkan modul fotovoltaik dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [13] :

$$P_m = V_{oc} \times I_{sc} \times \text{Fill Factor} \quad (8)$$

Daya keluaran hasil perhitungan disajikan pada Tabel 25.

Tabel 25. Data hasil perhitungan daya keluaran.

Waktu	Iradian (W/m ²)	Voc (V)	Isc (A)	FF	Pout (W)
6:00	13	62,2	0,15	0,785	7,32
6:20	25	62,71	0,30	0,785	14,77
6:40	80	62,96	0,90	0,785	44,48
7:00	130	63,3	1,55	0,785	77,01
7:20	300	65,94	3,42	0,785	177,01
7:40	543,7	65,85	5,42	0,785	280,15
8:00	620,5	66,4	7,10	0,785	370,04
8:20	688,1	66	7,21	0,785	373,51
8:40	735,2	66,08	7,19	0,785	372,93
9:00	785,7	66,1	7,70	0,785	399,50
9:20	790,2	66,02	7,92	0,785	410,42
9:40	807,9	66	8,40	0,785	435,16
10:00	813	66,6	8,73	0,785	456,37
10:20	846,9	65,93	8,75	0,785	452,81
10:40	899,2	65,87	8,67	0,785	448,26
11:00	941,8	66,3	9,88	0,785	514,16
11:20	997,8	66,2	8,43	0,785	438,04
11:40	1201,2	65,9	7,69	0,785	397,78
12:00	1340,7	66,1	7,00	0,785	363,18
12:20	1306,4	64,7	7,94	0,785	403,23
12:40	1286,2	64,21	9,28	0,785	467,71
13:00	1138,3	63,3	10,88	0,785	540,58
13:20	1003,4	64,16	10,03	0,785	505,12
13:40	1059,9	64,7	9,92	0,785	503,78
14:00	1009,4	64,8	9,06	0,785	460,82
14:20	842	64,86	7,85	0,785	399,65
14:40	398,9	64,2	4,21	0,785	212,15
15:00	285,7	63,7	2,79	0,785	139,50
15:20	213,6	63	2,21	0,785	109,29
15:40	127,1	61,05	1,50	0,785	71,88
16:00	61,2	58,37	0,59	0,785	27,03
16:20	39	59,19	0,37	0,785	17,19
16:40	30	56,9	0,32	0,785	14,29
17:00	28,5	55,91	0,30	0,785	13,17

Data pada Tabel 25 menunjukkan nilai daya maksimum tertinggi pada pukul 13.00 WIB yaitu 501,12 Watt. Daya tertinggi terjadi disebabkan karena tingginya jumlah intensitas matahari yang dapat diserap oleh modul fotovoltaik sehingga nilai Voc dan Isc juga semakin tinggi.

• Efisiensi

Efisiensi merupakan perbandingan daya keluaran dengan daya masukan modul fotovoltaik. Nilai efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{9}$$

Dengan persamaan di atas maka dapat dihitung nilai efisiensi modul fotovoltaik pada Tabel 26.

Tabel 26. Data nilai efisiensi panel surya.

Waktu	Iradian (W/m ²)	Suhu (°C)	Pin (W)	Pm (W)	Efisiensi (%)
6:00	13	23,9	54,10	7,32	13,54
6:20	25	24,7	104,04	14,77	14,19
6:40	80	25,4	332,93	44,48	13,36
7:00	130	27,3	541,01	77,01	14,24
7:20	300	29,9	1248,48	177,01	14,18
7:40	543,7	33,2	2262,66	280,15	12,38
8:00	620,5	36,2	2582,27	370,04	14,33

Tabel 26. Lanjutan

Waktu	Iradian (W/m ²)	Suhu (°C)	Pin (W)	Pm (W)	Efisiensi (%)
8:20	688,1	36,5	2863,60	373,51	13,04
8:40	735,2	37,3	3059,61	372,93	12,19
9:00	785,7	38,8	3269,77	399,50	12,22
9:20	790,2	38,9	3288,50	410,42	12,48
9:40	807,9	39,1	3362,16	435,16	12,94
10:00	813	39,3	3383,38	456,37	13,49
10:20	846,9	39,4	3524,46	452,81	12,85
10:40	899,2	39,6	3742,11	448,26	11,98
11:00	941,8	39,8	3919,39	514,16	13,12
11:20	997,8	42,7	4152,44	438,04	10,55
11:40	1201,2	45,1	4998,91	397,78	7,96
12:00	1340,7	48,5	5579,46	363,18	6,51
12:20	1306,4	49,4	5436,71	403,23	7,42
12:40	1286,2	49,9	5352,65	467,71	8,74
13:00	1138,3	49,7	4737,15	540,58	11,41
13:20	1003,4	49,2	4175,75	505,12	12,10
13:40	1059,9	48,2	4410,88	503,78	11,42
14:00	1009,4	47,7	4200,72	460,82	10,97
14:20	842	43,1	3504,07	399,65	11,41
14:40	398,9	39,5	1660,06	212,15	12,78
15:00	285,7	36,8	1188,97	139,50	11,73
15:20	213,6	34,8	888,92	109,29	12,29
15:40	127,1	33,5	528,94	71,88	13,59
16:00	61,2	32,5	254,69	27,03	10,61
16:20	39	31,7	162,30	17,19	10,59
16:40	30	31,3	124,85	14,29	11,45
17:00	28,5	30,8	118,61	13,17	11,10

Nilai rata-rata efisiensi panel surya sebesar 11,88%. Efisiensi hasil pengujian lebih rendah dari efisiensi pada *nameplate*. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan kondisi lingkungan di lokasi penelitian dengan kondisi saat STC[14], dimana kondisi saat STC adalah nilai irradian sebesar 1000 W/m² dan nilai suhu panel sebesar 25°C.

B. SCC

Nilai efisiensi didapatkan dengan dibandingkan daya keluaran dengan daya masukan. Berikut nilai efisiensi berdasarkan pengujian daya masukan dan daya keluaran *solar charge controller*.

Tabel 27. Data hasil pengujian SCC.

Waktu	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
6:00	1,58	1,48	93,56
6:20	36,82	34,09	92,57
6:40	74,73	73,46	98,29
7:00	61,82	54,97	88,91
7:20	67,16	61,24	91,19
7:40	206,64	192,00	92,92
8:00	273,62	268,84	98,25
8:20	317,52	310,80	97,88
8:40	348,44	337,21	96,78
9:00	372,52	366,28	98,32
9:20	475,35	452,62	95,22
9:40	499,33	468,59	93,84
10:00	487,08	457,74	93,98
10:20	522,65	502,76	96,19
10:40	553,19	506,77	91,61
11:00	525,57	519,79	98,90
11:20	529,74	506,90	95,69
11:40	499,95	481,62	96,33
12:00	509,71	492,89	96,70

Tabel 27. Lanjutan

Waktu	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
12:20	493,86	478,82	96,96
12:40	458,58	441,48	96,27
13:00	446,25	433,66	97,18
13:20	310,77	303,24	97,58
13:40	272,32	268,13	98,46
14:00	105,65	104,71	99,11
14:20	167,85	156,06	92,98
14:40	118,61	113,29	95,51
15:00	90,43	87,58	96,85
15:20	67,10	63,80	95,08
15:40	55,20	52,78	95,62
16:00	38,55	37,70	97,81
16:20	35,51	29,00	81,66
16:40	28,22	27,84	98,64
17:00	3,43	2,90	84,50

Berdasarkan Tabel 27, nilai efisiensi rata-rata solar charge controller sebesar 95,04%. Nilai efisiensi SCC ini cukup mendekati efisiensi *namplate* yang bernilai 98%.

C. Baterai

Pengujian pada baterai dapat menentukan kondisi dan kualitas dari baterai yang akan digunakan. Berdasarkan data pengukuran lapangan maka didapatkan data sesuai Tabel 28.

Tabel 28. Data hasil pengujian pada baterai.

Baterai	V rating (V)	CCA	SOC (%)	SOH (%)	Internal Resistance (mOhm)
Baterai 1	13,15	695	98	100	4,29
Baterai 2	13,19	670	98	100	4,11

Berdasarkan Tabel 28, 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 bernilai di atas 600 [15]. Selanjutnya untuk analisa SOC dan SOH juga masih sangat baik dikarenakan menunjukkan nilai 100%. Dapat dilihat juga bahwa nilai internal resistance dari semua baterai berada di bawah 5.5 mOhm yang menunjukkan bahwa kondisi semua baterai dalam kondisi baik.

D. Inverter

Nilai efisiensi ditentukan dengan membandingkan daya keluaran dengan daya masukan inverter. Nilai efisiensi inverter hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 29.

Tabel 29. Data hasil pengujian nilai efisiensi inverter.

Waktu (WIB)	Pin (W)	Pout (W)	Faktor Daya Beban	Efisiensi (%)
18:00	76,07	46,19	0,602	60,72
18:20	110,34	79,31	0,695	71,88
18:40	94,21	68,79	0,699	73,01
19:00	72,99	53,32	0,599	73,05

Tabel 29. Lanjutan

Waktu (WIB)	Pin (W)	Pout (W)	Faktor Daya Beban	Efisiensi (%)
19:20	118,02	86,83	0,726	73,57
19:40	112,38	84,71	0,724	75,37
20:00	112,64	84,88	0,723	75,36
20:20	122,40	87,94	0,750	71,84
20:40	122,37	95,85	0,728	78,33
21:00	126,23	89,82	0,723	71,16
21:20	152,40	122,77	0,703	80,56
21:40	563,46	496,75	0,966	88,16
22:00	554,02	491,78	0,970	88,76
22:20	553,28	486,32	0,966	87,90
22:40	558,91	491,43	0,970	87,93
23:00	556,70	489,33	0,979	87,90
23:20	546,35	485,40	0,979	88,84
23:40	528,71	463,51	0,977	87,67
0:00	547,78	489,12	0,979	89,29
0:20	541,65	456,21	0,976	84,23
0:40	97,60	68,85	0,663	70,54
1:00	97,60	68,85	0,663	70,54

Berdasarkan Tabel 29, nilai efisiensi inverter bersifat fluktuatif, mulai dari 60,72% sampai 89,29%. Hal ini dikarenakan perbedaan jenis beban yang digunakan. Nilai efisiensi tertinggi sebesar 89,29 pada pukul 00.00 WIB memiliki nilai faktor daya 0,979 (mendekati nilai STC pada *datasheet* produk yang bernilai 0,98) cukup mendekati nilai *datasheet* 94%, berbeda dengan nilai efisiensi terendah yaitu pada pukul 18.00 WIB sebesar 60,72% yang memiliki faktor daya 0,602.

3.2.2. Pengujian Sistem

A. Pembebanan

Pengujian beban ini dilakukan untuk menguji apakah inverter dapat bekerja secara optimal pada masing-masing beban yang ada di lokasi penelitian. Data pengujian beban di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 30.

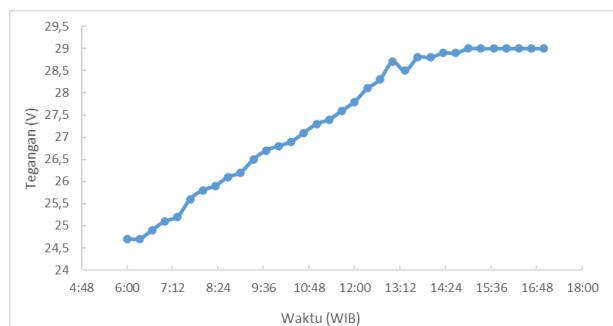
Tabel 30. Data pengujian beban.

Beban	Daya Datasheet (W)	Daya Ukur (W)	Tegangan Ukur (V)	Arus Ukur (A)	Faktor Daya
Grinder	150	75	231,9	0,39	0,828
Heater Air	350	373	229,1	1,63	1
Lampu	54	36	231,1	0,24	0,66
Router	10	11	233,8	0,08	0,541
TV	45	25	234	0,19	0,545
Speaker	20	10	230,6	0,07	0,673
Stopkontak	75	71	234,8	0,54	0,562
Beban Puncak	608	515	228,6	2,35	0,96

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 30, dapat dilihat bahwa sistem dapat bekerja pada setiap variasi beban, meskipun terdapat fluktuatif pada nilai faktor dayanya. Hal ini dikarenakan perbedaan jenis beban untuk masing-masing variasi. Beban heater memiliki faktor daya 1 karena termasuk jenis beban resistif, sedangkan beban grinder dan yang lainnya memiliki faktor daya kurang dari 1 karena termasuk jenis beban induktif.

B. Charging

Pengujian waktu pengisian baterai bertujuan untuk membuktikan hasil perancangan waktu pengisian baterai. Kondisi awal baterai tegangan nominal saat *charging* adalah 24,7 V.

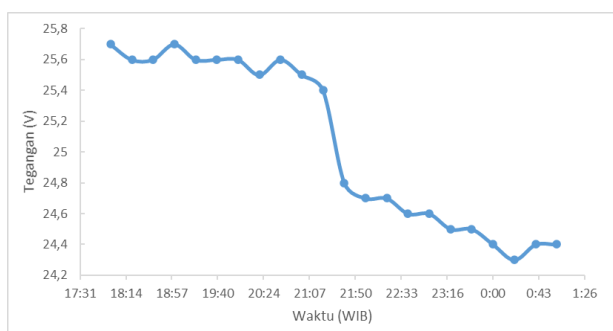


Gambar 3. Grafik tegangan baterai saat *charging* terhadap waktu.

Pada Gambar 3 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 24,7 V dan kondisi tegangan akhir baterai saat *charging* sebesar 29 V.

C. Discharging

Pemakaian baterai dilakukan pada kondisi awal kapasitas terisi penuh disaat terbebani yakni diindikasikan dengan nilai tegangan sebesar 25,7 V.



Gambar 4. Grafik tegangan baterai saat *discharging* terhadap waktu.

Sesuai dengan Gambar 4 dapat dikatakan semakin lama pemakaian baterai maka tegangan akan semakin menurun. Pada sekitar pukul 22.00 WIB terjadi penurunan tegangan yang signifikan yang disebabkan adanya beban puncak pada waktu tersebut.

4. Kesimpulan

Listrik yang dihasilkan dari PLTS berkisar antara 567-570 kWh per tahun dan masing-masing variasi perencanaan ini dianggap tidak layak karena memiliki nilai NPV kurang 0. Namun nilai investasi PLTS terutama variasi 1 masih jauh lebih hemat dan murah bila dibandingkan menggunakan sumber listrik genset maupun sistem *charging*.

Pengujian dilakukan pada komponen pembangkit listrik tenaga surya. Pengujian pada masing-masing komponen didapatkan hasil efisiensi cukup mendekati efisiensi *datasheet* untuk panel surya, SCC, dan inverter. Pada pengujian baterai juga didapatkan bahwa baterai masih dalam kondisi bagus. Pengujian sistem PLTS meliputi pengujian pembebanan, pengujian waktu *charging* dan *discharging* baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dan layak untuk diimplementasikan.

Referensi

- [1] I. Machdi, Statistik Indonesia 2021. Jakarta, Indonesia : Badan Pusat Statistik Indonesia, 2021.
- [2] D. J. Ketenagalistrikan, Statistik Ketenagalistrikan 2019, 33th ed. Jakarta, Indonesia : Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan, 2020, vol. 33, no. 9, hal. 1689–1699
- [3] B. Bagaskoro, J. Windarta, dan Denis, “Perancangan Dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Offgrid Menggunakan Perangkat Lunak Homer Di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara,” *TRANSIENT*, vol. 8, no. 2, hal. 152–157, Jun. 2019.
- [4] J. Windarta, E. Wista Sinuraya, A. Zaenal Abidin, A. Era Setyawan, dan Angghika, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis Homer Di SMA Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan,” dalam *Pros. Semin. Nas. MIPA 2019 Univ. Tidar*, 2019, hal. 21–36.
- [5] J. Windarta, S. Saptadi, Denis, D. A. Satrio, dan J. S. Silaen, “Economic Feasibility Analysis of Rooftop Solar Power Plant Design with Household-Scale On- Grid System in Semarang City,” dalam *Edelweiss Appl. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, 2021, hal. 14–20, doi: 10.33805/2576-8484.189.
- [6] M. Giatman, *Ekonomi Teknik*, 3th ed. Jakarta, Indonesia : PT RajaGrafindo Persada, 2011.
- [7] A. Gandiar, Junaidi, dan A. Hendro, “Analisis Penentuan Tarif Harga Listrik PLTS Layak untuk Pulau Kabung Bengkayang Kalimantan Barat,” *Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, hal. 1–9, 2015. Kalimantan Barat,” *Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, hal. 1–9, 2015.
- [8] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik*, 3th ed. Yogyakarta, Indonesia : Lautan Pustaka, 2019.
- [9] M. Kaltschmitt, W. Streicher, dan A. Wiese, *Renewable energy*, Heidelberg New York : Springer. 2007.
- [10] Badaruddin dan F. Hardiansyah, “Perhitungan Optimasi Bahan Bakar Solar pada Pemakaian Generator Set di BTS,” *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, vol. 6, hal. 61–79, 2015.

- [11] M. Thomas junaedi, ST dan E. Supriyadi, "Analisis Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Pelat Kapasitas 2400 Kw Dengan Aliran Berlawanan," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, hal. 67–77, 2013.
- [12] A. E. Febtiwiyanti dan S. Sidopekso, "Studi Peningkatan Output Modul Surya dengan menggunakan Reflektor," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 6, no. 2, hal. 100202, 2010, doi: 10.12962/j24604682.v6i2.919.
- [13] Technical Application Papers, ABB SACE, Bergamo, Itali, A Division of ABB, 2010, hal 1-119.
- [14] K. H. Khwee, "Pengaruh Temperatur Terhadap Kapasitas Daya Panel Surya," *ELKHA*, vol. 5, no. 2, hal. 23–26, 2013..
- [15] J. Windarta, A. Pratama, Denis, dan A. Nugroho, "Testing of Solar Power Plant Components Off-Grid Systems and Engineering Economic Analysis at Cemara Island, Brebes Regency, Indonesia," *E3S Web Conf.*, vol. 125, no. 2019, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201912510003.