

PERANCANGAN DAN STUDI KELAYAKAN PLTS OFF-GRID UNTUK SPKLU DI KANTOR PT.PLN (PERSERO) UP3 PALU MENGGUNAKAN HOMER PRO

Muh. Firman¹, Muh. Aristo Indrajaya², Irwan Mahmudi³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako¹²³
muhfirmanszs@gmail.com¹

ABSTRACT

The number of electric vehicle users in Indonesia continues to increase in line with efforts to reduce greenhouse gas emissions from the transportation sector. However, electric vehicle charging is still largely supplied by electricity generated from fossil fuel-based energy sources. Therefore, the utilization of renewable energy, particularly through Solar Power Plants (SPP), is required. Palu City has significant solar energy potential, with an average solar irradiation of 5.1 kWh/m²/day, making it suitable to support the operation of Electric Vehicle Charging Stations (EVCS). This study aims to design an off-grid solar power system as a zero-emission energy source for an EVCS. The system design and optimization were carried out using HOMER Pro version 3.18.3 to determine the optimal configuration of photovoltaic panels and battery storage, followed by an economic feasibility analysis. The results indicate that the optimal system consists of a 105 kWp solar PV array, 9 MPPT units, and 27 battery units. Economic analysis shows that the project is feasible, with a Net Present Value (NPV) of IDR 868,926,819,51, a Payback Period (PP) of 9.12 years, and a Cost of Energy (COE) of IDR 2,004/kWh over a project lifetime of 25 years.

Keywords: *Electric Vehicle, Electric Vehicle Charging Station (EVCS), Off-Grid Solar Power Plant, HOMER Pro, Economic Analysis.*

INTISARI

Jumlah pengguna kendaraan listrik di Indonesia terus meningkat seiring upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi. Namun, pengisian daya kendaraan listrik masih didominasi listrik yang sebagian besar berasal dari energi fosil. Oleh karena itu, diperlukan pemanfaatan energi terbarukan, salah satunya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Kota Palu memiliki potensi energi surya yang baik dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar 5,1 kWh/kWp/hari sehingga berpotensi mendukung operasional Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU). Penelitian ini bertujuan merancang sistem PLTS off-grid sebagai pemasok energi SPKLU bebas emisi. Perancangan dan optimasi sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak Homer Pro versi 3.18.3 untuk menentukan konfigurasi optimal panel surya dan baterai, kemudian dianalisis kelayakan ekonominya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem optimal terdiri atas PLTS berkapasitas 105 kWp, 9 unit MPPT, dan 27 unit baterai. Analisis ekonomi menunjukkan proyek layak direalisasikan dengan nilai Net Present Value (NPV) sebesar Rp 868.926.819,51, Payback Period (PP) selama 9,12 tahun, dan Cost of Energy (COE) sebesar Rp 2.004/kWh pada umur proyek 25 tahun.

Kata Kunci: Kendaraan Listrik, SPKLU, PLTS Off-grid, Homer Pro, Analisis Ekonomi.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan sebagai bagian dari upaya transisi menuju sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan kendaraan

listrik diharapkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil serta menekan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sektor transportasi. Sejalan dengan meningkatnya penggunaan kendaraan listrik, kebutuhan terhadap infrastruktur

pendukung berupa Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) juga semakin meningkat [1].

Berdasarkan data PT PLN (Persero), hingga tahun 2024 telah tersedia lebih dari 1.500 unit SPKLU yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia untuk mendukung operasional kendaraan listrik [2]. Meskipun demikian, sebagian besar energi listrik yang digunakan untuk pengisian daya kendaraan listrik masih berasal dari sistem pembangkitan yang didominasi oleh bahan bakar fosil. Kondisi tersebut menyebabkan kendaraan listrik belum sepenuhnya bebas emisi karena emisi tetap dihasilkan pada proses pembangkitan energi listrik [3].

Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil adalah pemanfaatan sumber energi terbarukan, khususnya energi surya. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang cukup besar dengan tingkat penyinaran matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun. Kota Palu merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi energi surya yang baik dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 5,1 kWh/m²/hari sehingga berpotensi untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas optimal sistem PLTS off-grid yang mampu memenuhi kebutuhan energi SPKLU secara mandiri serta mengevaluasi kelayakan ekonominya menggunakan parameter Net Present Cost (NPC), Net Present Value (NPV), Payback Period (PP), dan Cost of Energy (COE). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan SPKLU berbasis energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dan mendukung percepatan implementasi kendaraan listrik di Indonesia.

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit yang memanfaatkan energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik pada sel surya. Teknologi ini menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi selama proses pembangkitan listrik [5].

Dalam perancangan pembangkit listrik tenaga surya, diperlukan perhitungan kapasitas optimal sistem menggunakan persamaan:

$$Kapasitas\ Optimal(kWp) = \frac{E_{Load} \times SF}{PSH} \quad (2.1)$$

Dimana:

Kapasitas Optimal(kWp) :Kapasitas daya puncak panel surya (kWp).

E_{Load} :Kebutuhan energi harian (kWh/hari).

SF (Safety Factor) : Faktor keamanan.

PSH (Peak Sun Hours) :Rata-rata jam penyinaran matahari per hari.

B. Sistem PLTS Off-Grid

PLTS off-grid merupakan sistem pembangkit listrik yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung dengan jaringan listrik utama. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai untuk digunakan saat kebutuhan beban tidak dapat dipenuhi oleh radiasi matahari. Sistem ini umumnya terdiri atas panel surya, *solar charge controller* (SCC), baterai, dan inverter [6].

C. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

SPKLU merupakan infrastruktur yang berfungsi menyediakan energi listrik untuk pengisian baterai kendaraan listrik. Pertumbuhan penggunaan kendaraan listrik menyebabkan kebutuhan SPKLU terus meningkat. Integrasi PLTS dengan SPKLU menjadi salah satu alternatif

untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus mengurangi emisi karbon pada sektor transportasi [7].

Pabrik Pembuat	Spesifikasi
Didistribusikan Oleh	NANJING POWERCORE Tech Co.,Ltd
Level Pengisian	PT Powerindo Prima Perkasa
No. Seri Telusur	LEVEL 3
Tipe/Model	NKR – AD – DC
Conector charger	CCS2, CHAdMO
Output voltage range	CCS2:150-1000VDC CHAdMO:150-500VDC
Max output current	200 A DC (CCS2) 125 A DC (CHAdMO)
Jenis Arus / Jumlah Ph /Freq	DC+AC/3P+1N/50HZ
Indeks Proteksi	IP 55
Max output power	60 kW DC
Tahun Pembuatan	2021
Standar	IEC 61851

Gambar 2.1 Spesifikasi SPKLU

D. HOMER Pro

HOMER Pro merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi, optimasi, dan analisis sistem energi. HOMER Pro mampu mengevaluasi berbagai konfigurasi sistem berdasarkan aspek teknis dan ekonomi sehingga dapat menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal dan layak untuk diterapkan [8].

E. Jumlah Panel Surya

Jumlah panel surya yang akan digunakan pada perancangan PLTS pada Gedung BNNP Sulawesi Tengah, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{\text{Kapasitas total}}{\text{Daya maksimum panel surya}} \quad (2.2)$$

Parameter	Spesifikasi
Produsen	LONGI Hi-MO 5m
Model Type	LR5-72HPH 545-565M
Nominal Maximum Power (Pmax)	550 Wp
Jenis Modul	Monocrystalline
Dimensi	2278 mm x 1134 mm
Efisiensi	21,3%
Optimum Operating Voltage (Vmpp)	41,95 V
Optimum Operating Current (Impp)	13,12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	49,80 V
Short Circuit Current (ISC)	13,82 A
System Voltage (Vmax)	1500 V
Lifetime	25 Tahun

Gambar 2.2 Spesifikasi Panel Surya

F. Konfigurasi PV

menentukan jumlah panel seri dan paralel menggunakan persamaan:

$$\text{Max panel seri} = \frac{V_{\text{max mppt}}}{V_{\text{oc}}} \quad (2.3)$$

$$\text{Total string} = \frac{\text{Total panel}}{\text{Jumlah panel per string}}$$

G. Baterai

Baterai merupakan perangkat penyimpan energi yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan berfungsi menyimpan energi hasil produksi panel surya untuk digunakan saat dibutuhkan. Dalam sistem PLTS, baterai berperan penting dalam menjamin ketersediaan listrik ketika intensitas matahari rendah atau pada malam hari [9].

Energi efektif yang dapat disimpan dalam baterai dihitung dengan rumus:

$$C = \frac{Et \times N}{Vs \times DoD \times \eta} \quad (2.4)$$

Dimana:

C : Kapasitas Baterai

N : Jumlah hari otonomi

Et : Energi Total

Vs : Tegangan Sistem Baterai

DoD : Depth of Discharge

η : Efisiensi baterai

Parameter	Spesifikasi
Produsen	BlueSun
Model Type	BSM48280W
Nominal Voltage	51,2 V
Maximum Capacity	14,336 kWh
Charge Voltage	58,4 V
Maximum Charge Current	138 A
Maximum Discharge Current	200 A
Dimensi	448 mm x 904 mm x 274 mm
Lifetime	13 tahun

Gambar 2.3 Spesifikasi Panel Surya

H. SCC

Solar Charge Controller (SCC) merupakan komponen yang mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai serta melindungi baterai dari pengisian berlebih (overcharging). Selain menjaga proses pengisian tetap aman, SCC juga berperan

dalam memperpanjang umur pakai baterai pada sistem PLTS.

Jumlah SCC/MPPT dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{total MPPT} = \frac{Kapasitas Baterai Total}{V_b \times PSH \times \eta_{MPPT}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$I_{total MPPT}$: Total arus MPPT yang dibutuhkan (A)

V_b : Tegangan nominal baterai (Volt)

GHI : Peak Sun Hour (kWh/kWp/Day)

η_{MPPT} : Efisiensi MPPT (%)

Parameter	Spesifikasi
Produsen	Victron Energy
Model Type	Isolated Smartsolar MPPT RS 450/200
Battery Voltage	48 V (variable: 36 V – 62 V)
Maximum PV input Voltage	450 V
MPPT operating voltage range	80 – 450 V
Maximum Charge Current	200 A
Maximum Charge Power	11.5 kW (at 57.6 V)
Jumlah Tracker	4
Maximum PV array size per tracker	7.2 kWp (450 V x 20 A)
Efficiency	96%
Dimensi	487 mm x 434 mm x 146 mm
Lifetime	13 tahun

Gambar 2.4 Spesifikasi Panel Surya

I. Analisis Kelayakan Ekonomi

Pada penelitian ini ada beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis kelayakan sistem PLTS diantara-Nya adalah:

a. Net Present Value (NPV)

NPV merupakan metode analisis ekonomi yang digunakan untuk menilai kelayakan suatu investasi berdasarkan selisih antara nilai sekarang dari pendapatan dan biaya selama umur proyek. Proyek dinyatakan layak apabila memiliki nilai NPV positif, sedangkan NPV negatif menunjukkan proyek tidak layak untuk dilaksanakan [10]. Berikut persamaan untuk menghitung nilai NPV:

$$NCF = \text{kas masuk} - \text{kas keluar} \quad (2.6)$$

Untuk mengetahui nilai arus kas bersih *net cash flow* (NCF).

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2.7)$$

Untuk mengetahui faktor diskon (DF)

Menghitung NPV dapat dilakukan dengan rumus berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \quad (2.8)$$

NCF_t : jumlah aliran kas bersih tahun ke-1 s/d ke-n

II : *initial investment* (investasi awal)

I : interest (tingkat suku bunga)

n : lifetime (umur proyek)

Berikut parameter untuk menentukan suatu proyek layak diwujudkan atau tidak berdasarkan analisis NPV:

b. Payback period (PP)

Payback Period adalah metode yang digunakan untuk menentukan waktu yang diperlukan dalam mengembalikan investasi awal suatu proyek. Proyek dinyatakan layak apabila nilai Payback Period lebih pendek dari umur proyek, sedangkan nilai yang lebih panjang menunjukkan proyek tidak layak secara finansial [11].

c. Cost of Energy (COE)

Cost of Energy merupakan biaya produksi energi listrik per kilowatt-hour (kWh) yang dihasilkan oleh sistem. Nilai COE diperoleh berdasarkan perbandingan antara total biaya siklus hidup sistem (*Life Cycle Cost/LCC*), yang meliputi investasi awal serta biaya operasi dan pemeliharaan, dengan total energi yang dihasilkan selama umur proyek.

Perhitungan COE dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$LCC = II + O\&M + \text{Biaya Pemulihan} \quad (2.9)$$

$$\text{Energi yang dihasilkan} = \text{Energi Tahunan} \times \text{Waktu Operasi (t)} \quad (2.10)$$

$$COE = LCC / \text{Total Energi yang Dihasilkan (kWh)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

LCC : Biaya Siklus Hidup

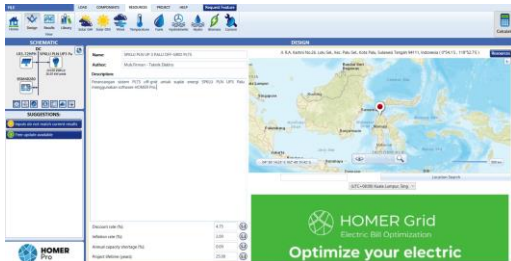
II : Investasi Awal

O&M : Biaya Operasi dan Perawatan

COE : Biaya Energi per kWh

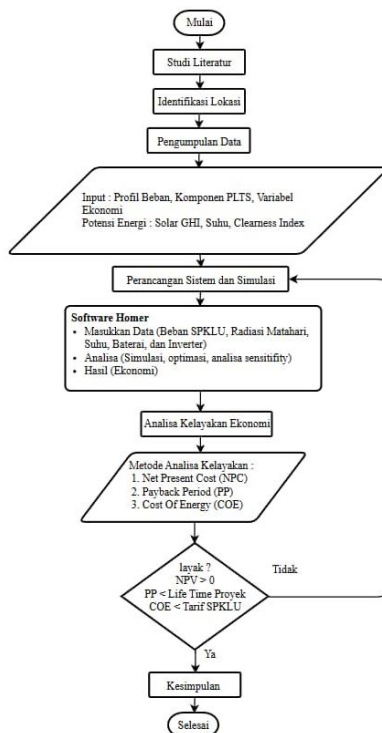
III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

B. Alur Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

C. Tahapan Penelitian

1. Studi literatur terkait PLTS off-grid, SPKLU, dan HOMER Pro.
2. Identifikasi lokasi serta pengumpulan data beban SPKLU, radiasi matahari, temperatur, dan parameter ekonomi.
3. Perancangan dan simulasi sistem PLTS off-grid menggunakan HOMER Pro 3.18.3.

4. Analisis kelayakan ekonomi berdasarkan nilai NPC, NPV, PP, dan COE,
5. Evaluasi hasil simulasi dan penarikan kesimpulan mengenai kelayakan sistem.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Perkiraan Beban Harian SPKLU

Perkiraan beban harian SPKLU dilakukan untuk menentukan kebutuhan energi listrik sebagai acuan perancangan sistem PLTS *off-grid*. Data diperoleh melalui observasi pengisian daya kendaraan listrik selama satu minggu di PT PLN (Persero) UP3 Palu.

No	Senin (kWh)	Selasa (kWh)	Rabu (kWh)	Kamis (kWh)	Jumat (kWh)	Sabtu (kWh)	Minggu (kWh)	Total dalam 1 minggu (kWh)	Rata-rata harian (kWh)
1	174.9	316.3	311.7	289.5	238.5	119	75.2	1,526	218

Gambar 4.1 Beban Harian SPKLU

Hasil pengamatan selama tujuh hari menunjukkan bahwa kebutuhan energi harian SPKLU tertinggi terjadi pada hari Selasa sebesar 316,3 kWh/hari dan terendah pada hari Minggu sebesar 76,2 kWh/hari. Rata-rata kebutuhan energi harian yang diperoleh sebesar 218 kWh/hari, yang selanjutnya digunakan sebagai beban pada simulasi dan optimasi sistem PLTS off-grid menggunakan HOMER Pro 3.18.

B. Data Iradiasi Matahari

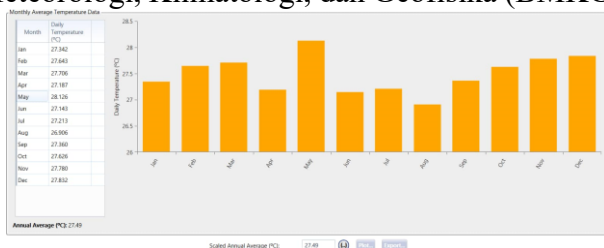
Data radiasi matahari diperoleh dari basis data satelit NASA yang terintegrasi pada HOMER Pro 3.18.3 dengan memasukkan koordinat lokasi penelitian di SPKLU PLN UP3 Palu. Hasil pengolahan data menunjukkan rata-rata radiasi matahari tahunan sebesar 5,1 kWh/m²/hari pada periode 2015–2024.



Gambar 4.2 Iradiasi Matahari

C. Data Temperatur Udara

Selain dipengaruhi oleh iradiasi matahari, performa panel surya juga dipengaruhi oleh temperatur udara lingkungan sekitar. Gambar 4.2 menampilkan data temperatur udara Kota Palu tahun 2025 yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).



Gambar 4.3 Temperatur Udara

D. Sizing Komponen Utama Sistem PLTS

1. Kebutuhan Daya Peak PV

Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan daya puncak minimum panel surya yang diperoleh sebesar 50,4 kWp. Kapasitas ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam simulasi HOMER Pro dengan rentang kapasitas PV 50–110 kW pada interval 5 kW untuk memperoleh konfigurasi sistem yang optimal.

2. Kapasitas Panel Surya



Gambar 4.4 Kapasitas Panel Surya

Untuk memenuhi kapasitas terpasang sebesar 105 kWp, dibutuhkan 191 unit panel surya dengan daya berkapasitas 550 Wp namun untuk menghindari risiko ketidakseimbangan tegangan (voltage mismatch) yang dapat menurunkan efisiensi dan membahayakan perangkat, maka ditetapkan penggunaan sebanyak 192 modul panel surya.

3. Kapasitas Baterai



Gambar 4.5 Total Kapasitas Baterai

Pada gambar 4.10 untuk komponen baterai, dapat dilihat jumlah baterai yang digunakan sebanyak 27 buah dengan konfigurasi 3 buah paralel dan 9 buah seri dengan total energi yang masuk ke baterai sebesar 37,626 kWh/tahun dan energi yang keluar sebesar 30,197 kWh/tahun.

4. Konfigurasi Modul PV

Guna mengoptimalkan kinerja inverter, susunan seri dan paralel dari Jumlah modul PV harus didesain sedemikian rupa dan disesuaikan dengan spesifikasi inverter dan panel surya.

$$Max\ panel\ seri = \frac{V_{max\ mppt}}{V_{oc}} = \frac{450}{50,2} = 8,96 \approx 8\ modul/string$$

$$Total\ string = \frac{Total\ panel}{8} = \frac{192}{8} = 24\ string$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka perancangan instalasi panel surya untuk sistem PLTS ini menggunakan konfigurasi 24 string paralel, di mana masing-masing string terdiri dari 8 modul panel surya yang saling dihubungkan secara seri.

7. MPPT

Maka diperoleh nilai total arus MPPT yang dibutuhkan yaitu :

$$I_{total\ MPPT} = \frac{387.000}{(51,2 \times 5,1 \times 96\%)} = \frac{387.000}{265,4208}$$

$$I_{total\ MPPT} = 1.543,83A$$

Dikarenakan untuk total baterai dibagi menjadi 3 *string*, maka I_{MPPT} untuk masing-masing *string* yaitu:

$$I_{total\ MPPT} = (1.458,06\ A) / 3$$

$$I_{total\ MPPT} = 514,61\ A / string$$

Rating MPPT yang digunakan Adalah 200 A, sehingga jumlah MPPT per *string* yaitu:

$$jumlah\ MPPT\ per\ string = \frac{514,61\ A}{200\ A} = 2,57 \approx 3$$

jadi jumlah MPPT dengan rating 200 A yang dibutuhkan untuk masing-masing *string* adalah 3 buah dan total MPPT yang dibutuhkan adalah 9 unit.

E. Aspek Ekonomi

1. Investasi Awal

Nilai investasi (*Capital Cost*) dari perancangan PLTS untuk SPKLU di Kantor PLN UP3 Palu dengan sistem PLTS *Off-grid* dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut:

Komponen	Kode Produk	Harga Satuan	Jumlah	Total
Baterai	BSM48280W	Rp 22.350.000	27	Rp 603.450.000
MPPT	SmartSolar MPPT RS 450/200	Rp 38.000.000	9	Rp 342.000.000
Panel Surya	LONGI Hi-MO 5m	Rp 1.340.500	192	Rp 257.376.000
Pemasangan 24%				Rp 269.264.807
Total				Rp 1.491.504.240

Gambar 4.6 Tabel total nilai investasi PLTS

2. Biaya Operasional dan Perawatan

Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) diasumsikan sebesar 1% dari total biaya pembelian komponen dan dimasukkan ke dalam simulasi HOMER. Hasil simulasi menunjukkan bahwa biaya operasional dan pemeliharaan sistem sebesar Rp12.013.636,36 per tahun.

Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
B- BLUESUN	Rp65.066.575.14	Rp71.777.208.64	Rp9.454.500.00	Rp0.00	-Rp11.610.365.35	Rp134.687.918.44
D- LONGI Hi-MO 550Wp	Rp17.612.167.59	Rp0.00	Rp2.559.136.36	Rp0.00	Rp0.00	Rp20.171.303.95
System	Rp82.678.742.74	Rp71.777.208.64	Rp12.013.636.36	Rp0.00	-Rp11.610.365.35	Rp154.859.222.39

Gambar 4.7 Biaya Operasional dan Perawatan

3. Biaya Pemulihan Sistem (*Recovery Cost*)

Biaya penggantian MPPT dan baterai dialokasikan setiap 10 tahun sekali. dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut:

	10	11	12	13	14	15	16	17
BLUESUN								
Capital	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500
Operating	0	0	0	0	0	0	0	0
Salvage								
Replacement	-Rp945.450.000							
BLUESUN Total	0	-Rp945.450.000	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500
BLUESUN Total	0	-Rp945.450.000	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500
LONGI Hi-MO 550Wp								
Capital	0	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
Operating	0	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
LONGI Hi-MO 550Wp Total	0	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
LONGI Hi-MO 550Wp Total	0	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
Nominal Total	0	-Rp957.483.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636

Gambar 4.8 Biaya pemulihan tahun ke 10

	18	19	20	21	22	23	24	25
BLUESUN								
Capital	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500
Operating	0	0	0	0	0	0	0	0
Salvage								
Replacement	-Rp945.450.000							
BLUESUN Total	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp945.450.000	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500
BLUESUN Total	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp945.450.000	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500	-Rp9.454.500
LONGI Hi-MO 550Wp								
Capital	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
Operating	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
LONGI Hi-MO 550Wp Total	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
LONGI Hi-MO 550Wp Total	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136	-Rp2.559.136
Nominal Total	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp977.483.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636	-Rp12.013.636

Gambar 4.9 Biaya pemulihan tahun ke 20

4. Tarif Pengisian Energi Listrik dan Biaya Layanan SPKLU di Indonesia

Tarif energi listrik untuk SPKLU di Indonesia ditetapkan sebesar Rp2.466/kWh berdasarkan Permen ESDM No. 1 Tahun 2023. Selain itu, SPKLU dengan fasilitas *fast charging* dapat mengenakan biaya layanan maksimal sebesar Rp25.000 per pengisian sesuai Keputusan Menteri ESDM Nomor 182.K/TL.04/MEM.S/2023.

5. Umur Proyek (*lifetime*)

Penentuan umur proyek mengacu pada *lifetime* komponen panel surya yang mencapai 25 tahun. Oleh karena itu, sistem dirancang agar dapat beroperasi secara optimal selama periode tersebut.

F. Analisis Kelayakan Ekonomi

1. Net Present Value (NPV)

Tahun	NCF	DF	PV	Kumulatif PV
1	Rp 163.319.983,64	0.9546	Rp 155.905.256,4	Rp 155.905.256,4
2	Rp 163.319.983,64	0.9113	Rp 148.833.501,1	Rp 304.738.757,5
3	Rp 163.319.983,64	0.8700	Rp 142.088.385,8	Rp 446.827.143,3
4	Rp 163.319.983,64	0.8305	Rp 135.637.245,4	Rp 582.464.389,7
5	Rp 163.319.983,64	0.7929	Rp 129.496.415	Rp 711.960.804,7
6	Rp 163.319.983,64	0.7569	Rp 123.616.895,6	Rp 835.577.700,3
7	Rp 163.319.983,64	0.7226	Rp 118.015.020,2	Rp 953.592.720,5
8	Rp 163.319.983,64	0.6898	Rp 112.658.124,7	Rp 1.066.250.845,2
9	Rp 163.319.983,64	0.6585	Rp 107.546.209,2	Rp 1.173.797.054,4
10	Rp 163.319.983,64	0.6287	Rp 102.679.273,7	Rp 1.276.476.328,1
11	Rp 163.319.983,64	0.6002	Rp 98.024.654,18	Rp 1.374.500.982,28
12	Rp 163.319.983,64	0.5729	Rp 93.566.018,63	Rp 1.468.067.000,91
13	Rp 163.319.983,64	0.5470	Rp 89.336.031,05	Rp 1.557.403.031,96
14	Rp 163.319.983,64	0.5222	Rp 85.285.695,46	Rp 1.642.688.727,42
15	Rp 163.319.983,64	0.4985	Rp 81.415.011,84	Rp 1.724.103.739,26
16	Rp 163.319.983,64	0.4759	Rp 77.723.980,21	Rp 1.801.827.719,47
17	Rp 163.319.983,64	0.4543	Rp 74.196.268,57	Rp 1.876.023.988,04
18	Rp 163.319.983,64	0.4337	Rp 70.831.876,9	Rp 1.946.855.864,94
19	Rp 163.319.983,64	0.4140	Rp 67.614.473,23	Rp 2.014.470.338,17
20	Rp 163.319.983,64	0.3952	Rp 64.544.057,53	Rp 2.079.014.395,7
21	Rp 163.319.983,64	0.3773	Rp 61.620.629,83	Rp 2.140.635.025,53
22	Rp 163.319.983,64	0.3602	Rp 58.827.858,11	Rp 2.199.462.883,64
23	Rp 163.319.983,64	0.3439	Rp 56.165.742,37	Rp 2.255.628.626,01
24	Rp 163.319.983,64	0.3283	Rp 53.617.950,63	Rp 2.309.246.576,64
25	Rp 163.319.983,64	0.3134	Rp 51.184.482,87	Rp 2.360.431.059,51

Gambar 4.10 Tabel arus kas Kumulatif

Berdasarkan gambar 4.10, total arus kas kumulatif hingga akhir periode proyek pada tahun ke-25 tercatat sebesar Rp 2.360.431.059,51. Dengan mempertimbangkan nilai investasi awal sebesar Rp 1.491.504.240, maka nilai Net Present Value (NPV) dari perencanaan PLTS dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$NPV = \text{Rp } 2.360.431.059,51 - \text{Rp } 1.491.504.240$$

$$NPV = \text{Rp } 868.926.819,51$$

Sesuai dengan kriteria evaluasi investasi, apabila nilai $NPV > 0$, maka proyek tersebut dinyatakan layak (*feasible*) untuk dilaksanakan.

2. Payback Period (PP)

Payback period adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biaya investasi suatu proyek. Lama waktu pengembalian investasi tersebut dihitung menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$PP = \frac{1.489.690.909,09}{163.319.983,64}$$

$$PP = 9,12 \text{ tahun}$$

3. Cost of Energy (COE)

Hasil simulasi HOMER Pro 3.18.3 menunjukkan nilai Cost of Energy (COE) sebesar Rp2.004/kWh. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan tarif pengisian listrik SPKLU sebesar Rp2.466/kWh, sehingga sistem PLTS off-grid yang dirancang dinyatakan layak dan ekonomis untuk diterapkan.

V. KESIMPULAN

Perancangan sistem PLTS off-grid untuk mendukung operasional SPKLU dilakukan dengan menggunakan data beban harian SPKLU, data iradiasi matahari Kota Palu, serta simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro 3.18.3. Sistem dirancang untuk menyuplai kebutuhan energi SPKLU DC Fast Charging secara mandiri tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN. Berdasarkan hasil simulasi, sistem yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan

energi rata-rata SPKLU sebesar 218 kWh/hari dengan memanfaatkan potensi energi surya di wilayah Kota Palu.

Berdasarkan hasil optimasi sistem, kapasitas optimal komponen utama PLTS off-grid yang diperoleh terdiri atas panel surya LONGI Hi-MO 550 Wp sebanyak 192 unit dengan total kapasitas terpasang sebesar 105 kWp, MPPT Victron Energy SmartSolar MPPT RS 450/200 sebanyak 9 unit, serta baterai lithium BlueSun BSM48280W sebanyak 27 unit dengan kapasitas nominal total sebesar 387 kWh. Sistem PLTS yang dirancang mampu menghasilkan energi listrik sebesar 156.368 kWh/tahun dengan rata-rata produksi energi harian sebesar 428 kWh/hari.

Hasil evaluasi kelayakan finansial menunjukkan bahwa sistem PLTS off-grid yang dirancang layak untuk direalisasikan. Berdasarkan hasil analisis ekonomi diperoleh nilai Net Present Cost (NPC) sebesar Rp 2.850.772.750,70, nilai Net Present Value (NPV) sebesar Rp 868.926.819,51, nilai Payback Period (PP) selama 9,12 tahun, serta nilai Cost of Energy (COE) sebesar Rp 2.004/kWh yang lebih rendah dibandingkan tarif pengisian listrik SPKLU sebesar Rp 2.466/kWh. Selain itu, sistem memerlukan investasi awal sebesar Rp 1.491.504.240 dengan umur proyek selama 25 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] GAIKINDO. (2024, May 30). Indonesian Automobile Industry Data 2020–2024. GAIKINDO. https://files.gaikindo.or.id/my_files/index.php?page=14.
- [2] PT PLN (PERSERO). (2024, August 15). PLN Terus Genjot Penambahan Charging Station Kendaraan Listrik di Berbagai Daerah. PT PLN (PERSERO). <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2024/08/pln-terus-genjot-penambahan-charging-station-kendaraan-listrik-di-berbagai-daerah>.
- [3] Kementerian ESDM. (2025, February 3). Kinerja Sektor ESDM 2024: Lampui Target, Penuhi Kebutuhan Domestik, dan Tingkatkan Ketahanan Energi. Kementerian ESDM. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kinerja-sektor-esdm-2024-lampui-target-penuhi-kebutuhan-domestik-dan-tingkatkan-ketahanan-energi->.
- [4] Global Solar Atlas. (2025, June 1). Project Detail Jalan Kartini, Palu, Central Sulawesi, Indonesia. Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-0.901603,119.87895,11&m=site&s=-0.901603,119.87895>.
- [5] Helmi, M. (2024). Perencanaan Pemasangan PLTS Rooftop Sistem On-Grid untuk Umkm Jasa Laundry. Jurnal Desiminasi Teknologi, 12(1). <https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3515>
- [6] Ning Zhafarina, I., Listrik, T., & Teknik Elektro -Politeknik Negeri Sriwijaya, J. (2024). PEMBANGUNAN INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) OFF-GRID KAPASITAS 6 KWP DI YAYASAN AZ-ZAWIYAH TANJUNG BATU, OGAN ILIR, SUMATERA SELATAN. JURNAL TELISKA, 17, 36–44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11086076>.
- [7] Wahyudi, K., Makai, K., & Sukmono, Y. (2024). Implementasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) Sebagai Infrastruktur Penunjang Electrical Vehicle dalam Mendukung Net Zero Emission. 2(2).
- [8] Wibowo, A., Triwiyatno, A., Alvin, Y., & Soetrisno, A. (2024). Perancangan Mikrogrid di Pulau Tunda Menggunakan Aplikasi HOMER Pro. JPPII, 2(4), 252–256. <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24583>.

- [9] Duanaputri, R., Heryanto, I., Eryk, /, Firas Sajidan, M., Hakim, M. F., & Lukita Wardani, A. (2023). Sistem Monitoring Online Dan Analisis Performansi Plts Panel Surya Monocrystalline 100 Wp Berbasis Web. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(1).
<https://doi.org/10.33795/elposys.v10i1.715>
- [10] Dwi Budiarta, A., Handoko, S., & Ajub, Z. A. (2021). Analisis Ekonomi Teknik Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid Pada Atap Kandang Ayam Closed House di Tualung Kabupaten Serdang Bedagai. *TRANSIENT*, 10(2).
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>.
- [11] Rafli, Ilham, J., & Salim, S. (2022). Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1).
<https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.10790>.