

## Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* pada Kios *Coffee*

Maslah Wibowo\*, Angga Septian, Juhana, Ojak Abdul Rojak  
Universitas Pamulang, Indonesia  
Email: [maslahwibowo0@gmail.com](mailto:maslahwibowo0@gmail.com)\*

---

### Abstrak

Sumber energi listrik yang efisien sangat penting untuk operasional kios kopi, agar peralatan elektronik dapat berfungsi dengan baik. Salah satu solusi alternatif yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan CO<sub>2</sub> adalah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aspek teknis dan ekonomi penerapan PLTS off-grid pada kios kopi, guna memastikan efisiensi energi dan kelayakan investasi. Sistem yang diterapkan pada atap kios kopi ini dirancang agar tidak mengganggu mobilitas kios yang sering berpindah lokasi. Hasil perhitungan teknis menunjukkan estimasi beban tahunan sebesar 304,77 kWh dengan penggunaan panel surya 350 Wp, charge controller 14A 51 Volt, inverter 1000 Watt, dan tiga unit baterai 12V 100Ah. Simulasi menggunakan PVSyst menghasilkan total energi tahunan sebesar 522,26 kWh, dengan energi yang disuplai ke beban mencapai 304,77 kWh/tahun. Evaluasi ekonomi menunjukkan biaya investasi awal sebesar Rp 10.775.000, biaya operasi tahunan Rp 107.750, dan penggantian baterai sebesar Rp 4.200.000. LCC sebesar Rp 14.367.367 dengan CoE Rp 6.531/kWh. Hasil analisis menunjukkan NPV positif Rp 3.138.724, Profitability Index 1,29, dan Discounted Payback Period 3 tahun 7 bulan, yang menunjukkan bahwa investasi PLTS off-grid pada kios kopi layak dilakukan.

**Kata Kunci :** *PLTS off-grid, PVSyst, investasi, NPV, PI, DPP.*

---

### Abstract

*Electricity is essential for the operation of coffee kiosks to ensure that various electronic equipment functions properly. One alternative energy source that is environmentally friendly and does not generate CO<sub>2</sub> emissions is the off-grid Solar Power System (PLTS). This study aims to analyze the technical and economic aspects of implementing an off-grid PLTS on coffee kiosks to ensure energy efficiency and investment feasibility. The system is designed to be installed on the roof of the coffee kiosk, ensuring mobility without disrupting its relocation. Technical calculations show an estimated annual load of 304.77 kWh, with the use of 350 Wp solar panels, a 14A 51 Volt charge controller, a 1000 Watt inverter, and three 12V 100Ah batteries in parallel. Simulation using PVSyst resulted in a total annual energy production of 522.26 kWh, with 206.39 kWh deemed unusable, and 304.77 kWh supplied to the load. The initial investment for the PLTS system is Rp 10,775,000, with annual operating costs of Rp 107,750 and battery replacement costs of Rp 4,200,000. The Levelized Cost of Energy (CoE) is Rp 6,531/kWh. Economic analysis shows a positive NPV of Rp 3,138,724, a Profitability Index of 1.29, and a Discounted Payback Period of 3 years and 7 months, indicating the investment in off-grid PLTS for coffee kiosks is feasible.*

**Keywords :** *PLTS off-grid, PVSyst, NPV, PI, DPP.*

---

## PENDAHULUAN

Sumber energi sangat penting untuk pelaku usah apalagi pengorasiannya secara *mobile* maka dibutuhkan sumber energi yang fleksibel, dengan itu untuk memenuhi hal tersebut dimanfaatkan energi terbarukan seperti energi surya (Windarta et al., 2021). Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dikembangkan teknologi energi baru terbarukan yang ramah lingkungan

(Joewono et al., 2018). Analisis teknis dan ekonomi pada PLTS *off-grid* adalah solusi evaluasi sistem yang berdampak pada kelayakan dan efektivitas PLTS pada saat diimplementasikan untuk pelaku usaha yang beroperasi secara *mobile* (Herliyanso & Rozak, 2020). Sinar matahari yang potensinya sangat melimpah di Indonesia sepanjang tahun dengan potensi radiasi sinar matahari dengan rata-rata 4.8 kWh/m<sup>2</sup>/hari (Windarta et al., 2021).

Saat ingin membangun PLTS *off-grid* harus diperhitungkan daya yang ingin dibangkitkan dan juag memerlukan biaya untuk komponen-komponennya. Maka, diperlukan analisis teknis dan ekonomi untuk menentukan layak atau tidak pembangunan pembangkit listrik tenaga surya tersebut melalui simulasi (Winardi et al., 2019). Berkaitan dengan kajian terdahulu mengenai analisa teknis dan ekonomi sudah ada beberapa kajian yang telah dilakukan, diantaranya melakukan analisis perencanaan aspek teknis dan biaya PLTS *Off-grid* menggunakan perhitungan manual (Rahman, 2021). Melakukan perhitungan teknis dan ekonom menggunakan *Software PVSyst* dan perhitungan manual (Irfan, 2017). Melakukan analisis teknis menggunakan *Software PVSyst* (Dani & Erivianto, 2022).

Adapun metode yang digunakan untuk menganalisa teknis menggunakan rumus menentukan spesifikasi komponen dan menggunakan perangkat lunak *PVSyst 7.4*, serta melakukan perhitungan ekonomi dengan mencari nilai *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), dan *Discounted Payback Periode* (DPP).

Penelitian terdahulu oleh Junaedi et al. (2020) mengkaji aspek teknis dan biaya PLTS *off-grid* menggunakan perhitungan manual. Meskipun memberikan wawasan yang penting dalam hal perencanaan komponen dan biaya, penelitian ini kurang memberikan pemahaman mendalam terkait penerapan teknologi dan optimasi biaya yang diperlukan untuk sistem yang lebih fleksibel, seperti pada aplikasi *mobile*. Selain itu, pendekatan manual dalam perhitungan cenderung memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan perhitungan, sehingga membatasi tingkat akurasi dan efisiensi dalam menganalisis kelayakan ekonomi dari sistem PLTS *off-grid*.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Amin et al. (2021) menggunakan perangkat lunak *PVSyst* untuk perhitungan teknis dan ekonomi PLTS *off-grid*, namun hanya berfokus pada aspek teknis dengan sedikit penekanan pada analisis ekonomi yang lebih rinci. Meskipun *PVSyst* memungkinkan simulasi yang lebih akurat dalam perhitungan teknis, penelitian ini tidak cukup menggali lebih dalam mengenai implikasi ekonomi dari investasi dalam PLTS *off-grid*, yang menjadi salah satu aspek penting bagi pelaku usaha yang menggunakan energi surya untuk operasi *mobile* mereka.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kelayakan teknis dan ekonomi pembangunan PLTS off-grid untuk pelaku usaha yang beroperasi secara mobile dengan menggunakan simulasi dan perhitungan ekonomi yang komprehensif. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan bagi pelaku usaha, investor, dan pengambil kebijakan untuk membuat keputusan yang lebih baik terkait implementasi teknologi energi terbarukan, khususnya energi surya, guna mendukung keberlanjutan operasional usaha dan efisiensi biaya energi jangka panjang.

## **METODE PENELITIAN**

### **Analisa Teknis**

Analisis teknis dilakukan berdasarkan kapasitas PLTS yang dirancang, pemanfaatan, dan penentuan spesifikasi komponen yang digunakan, orientasi panel surya dan daya yang dihasilkan oleh pembangkit. Beberapa faktor yang mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya, antara lain radiasi matahari di lokasi penelitian, kemiringan dan arah panel surya, temperatur, dan kinerja teknis setiap komponen yang digunakan (Green et al., 1990).

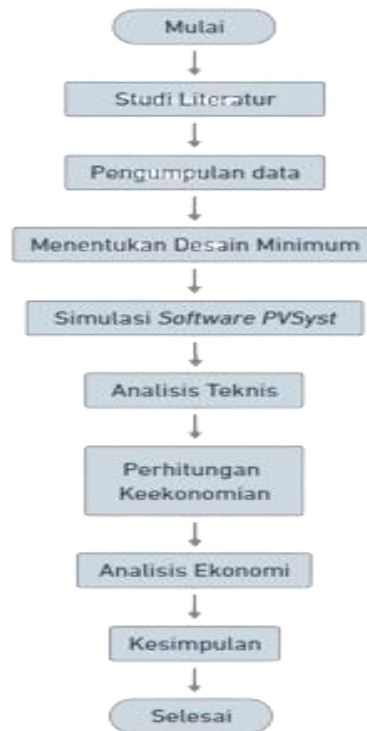
### **Analisa Ekonomi**

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengevaluasi apakah suatu proyek layak diinvestasikan dengan menilai opsi-alternatif yang paling menguntungkan. Investasi teknis dalam proyek diukur dengan umur ekonomisnya dalam satuan tahun. Seiring dengan hal ini, nilai mata uang dapat berubah dari waktu ke waktu, mengakibatkan fluktuasi dan ketidakseimbangan nilai. Oleh karena itu, diperlukan suatu proses ekuivalensi nilai mata uang untuk mengatasi perbedaan tersebut (Windarta et al., 2021).

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 yang harus disuplai dalam sehari, intensitas radiasi matahari, dan lain-lain. Data-data ini digunakan untuk menentukan desain dan komponen-komponen yang digunakan. Perangkat lunak *PVSyst 7.4* ini sebagai alat bantu untuk mengolah data sebagai dasar analisa teknis. Analisis yang dilakukan yaitu apakah energi yang dihasilkan mampu menyuplai beban. Kemudian dilakukan perhitungan

# Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid pada Kios Coffee

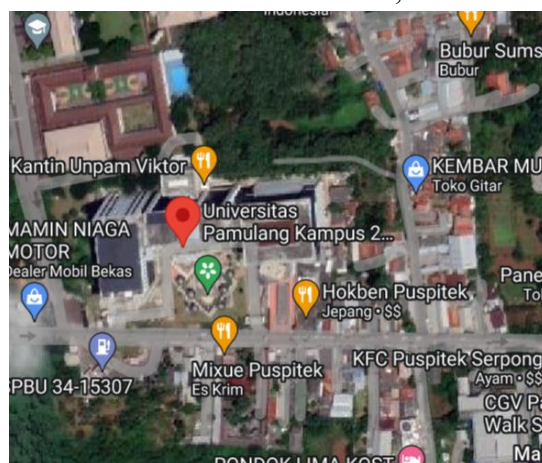
keekonomian sebagai dasar analisis ekonomi yang mana analisa yang dilakukan mengenai kelayakan investasi PLTS berdasarkan tiga parameter yaitu *NPV*, *PI*, dan *DPP*.



Gambar 1. Diagram Alir

## Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan oleh penelitian ini adalah berada di Universitas Pamulang Kampus 2 di titik koordinat  $-6.346249, 106.691463$ .



Gambar 2. Lokasi Penelitian

## Potensi Radiasi Matahari

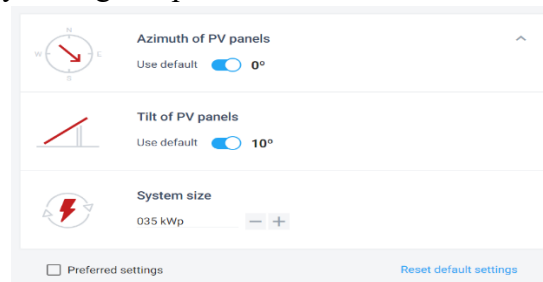
Penelitian ini menggunakan data radiasi matahari dari *software PVsyst* yang terhubung dengan *Meteonorm 8.1*, dengan rata-rata tahunan 4,83 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan minimum 4,23 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

**Tabel 1. Irradiasi Matahari dan Temperatur**

| Bulan            | Irradiasi (kWh/m <sup>2</sup> /day) | Suhu (°C)   |
|------------------|-------------------------------------|-------------|
| Januari          | 4.23                                | 25.6        |
| Februari         | 4.96                                | 25.5        |
| Maret            | 4.90                                | 26.0        |
| April            | 4.84                                | 26.0        |
| Mei              | 4.65                                | 26.5        |
| Juni             | 4.70                                | 25.8        |
| Juli             | 4.73                                | 25.7        |
| Agustus          | 4.93                                | 26.0        |
| September        | 5.13                                | 25.9        |
| Oktober          | 5.50                                | 26.6        |
| November         | 4.82                                | 25.9        |
| Desember         | 4.57                                | 25.8        |
| <b>Rata-rata</b> | <b>4.83</b>                         | <b>25.9</b> |

### Orientasi Panel

Orientasi panel menggunakan sudut kemiringan 10° dan sudut azimuth 0°, dengan panel surya menghadap ke utara.



**Gambar 3. Sudut kemiringan dan Azimuth**

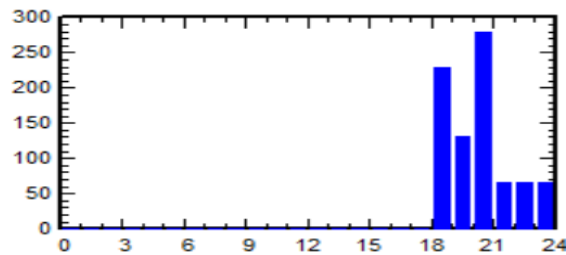
Sumber: <https://globalsolaratlas.info>

### Profile Beban

Pada penelitian ini, estimasi beban harian mencapai 853 Wh. Profil beban harian di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Estimasi Beban**

| Beban        | Unit | Daya (Watt) | Waktu (Jam) | Total (Wh) |
|--------------|------|-------------|-------------|------------|
| L. Luar      | 5    | 10          | 6           | 300        |
| Mesin Pres   | 1    | 300         | 0,5         | 150        |
| GrinderKopi  | 1    | 200         | 0,5         | 100        |
| Kipas Angin  | 1    | 65          | 3           | 195        |
| L. Dalam     | 1    | 15          | 6           | 90         |
| <b>Total</b> |      |             |             | <b>853</b> |



Gambar 4. Grafik Pemakaian Sehari

### Penentuan Jumlah Panel

Kenaikan temperatur udara  $1^{\circ}\text{C}$  pada panel surya berakibat pada daya yang dihasilkan panel surya berkurang sebesar  $0.5\%$ , dinyatakan dengan rumus 1[9]:

$$P^{\circ\text{C}} = 0,5\% \text{ per } ^{\circ\text{C}} \times P_{\text{mpp}} \times \Delta t \quad (1)$$

Daya keluaran maksimum panel surya saat suhu naik dihitung dengan rumus 2:

$$P_{\text{mpp}} = P_{\text{MPP}} - P^{\circ\text{C}} \quad (2)$$

Nilai faktor koreksi suhu (*Temperature Correction Factor/TCF*) dihitung dengan rumus 3:

$$\text{TCF} = \frac{P_{\text{mpp}} \text{ } ^{\circ\text{C}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (3)$$

$$\text{PV area} = \frac{E_b}{G_{\text{SR}} \times \text{TCF} \times \eta_{\text{PV}} \times \eta_{\text{out}}} \quad (4)$$

Perhitungan daya yang dihasilkan oleh PLTS dan jumlah panel surya dihitung dengan rumus 5 & 6[9]:

$$P_{\text{wp}} = \text{PV area} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \quad (5)$$

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{P_{\text{wp}}}{P_{\text{mpp}}} \quad (6)$$

### Kapasitas *Charge Controller*

Kapasitas *Charge Controller* dapat ditentukan dengan rumus 7&8[10]:

$$\text{SCC (I)} = V_{\text{oc}} \text{ Modul} \times S_f \quad (7)$$

$$\text{SCC (V)} = I_{\text{sc}} \text{ Modul} \times S_f \quad (8)$$

### Kapasitas Inverter

Kapasitas inverter diperhitungkan dengan rumus 9[9]:

$$\text{Clv} = D_w \times S_f \quad (9)$$

### Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai ditentukan dengan rumus 10[9]:

$$C = \frac{D_N \times E_{day}}{V_s \times DoD \times \eta_{bat}} \quad (10)$$

### **Lifetime Komponen**

Setiap alat dan komponen elektronik maupun mekanik memiliki umur pakai, yaitu waktu alat dapat bekerja normal sebelum rusak. Umur ini bervariasi tergantung jenis dan produsen. Biasanya, pengujian dilakukan pada sebagian kecil unit untuk memperkirakan umur pakai rata-rata. Umur pakai yang panjang penting untuk menjaga kinerja sistem secara efisien, serta mengurangi biaya pemeliharaan dan penggantian.

### **Simulasi Software PV Syst 7.4**

Proses simulasi perancangan PLTS untuk studi kasus Kios *Coffee* dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak *PV Syst* sebagai alat bantu analisis [11]. Beberapa faktor yang memengaruhi output simulasi PLTS meliputi potensi sinar matahari, nilai iradiasi, suhu lokasi, kecepatan angin, posisi dan orientasi panel surya, spesifikasi komponen, serta data beban harian pada tempat pemasangan. Simulasi juga akan menunjukkan jumlah daya listrik yang dihasilkan, daya listrik yang disuplai ke beban di lokasi, serta kerugian sistem[1].

### **Perhitungan Keekonomian**

Untuk melakukan analisis ekonomi PLTS ini, penting untuk mengetahui biaya investasi awal dari komponen. Biaya investasi awal PLTS Kios *Coffee* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut[12]:

**Tabel 3. Biaya Investasi Awal**

| No           | Komponen                | Jumlah | Harga (RP) | Jumlah Harga (RP) |
|--------------|-------------------------|--------|------------|-------------------|
| 1            | PV 350Wp Monokristalin  | 1      | 2.000.000  | 2.000.000         |
| 2            | Solar Charge Controller | 1      | 500.000    | 500.000           |
| 3            | Baterai 100 Ah 12V      | 3      | 1.400.000  | 4.200.000         |
| 4            | Inverter                | 1      | 1.000.000  | 1.000.000         |
| 5            | MCB 2 Pole DC 14A       | 3      | 155.000    | 465.000           |
| 6            | MCB 2 Pole DC 45A       | 1      | 200.000    | 200.000           |
| 7            | MCB 1 Pole AC 2A        | 1      | 80.000     | 80.000            |
| 8            | Fuse 14x51mm            | 2      | 40.000     | 80.000            |
| 9            | Fuse Holder             | 2      | 100.000    | 200.000           |
| 10           | Kabel PV-1F             | 10m    | 40.000/m   | 400.000           |
| 11           | Kabel Instalasi         | 10m    | 100.000/5m | 200.000           |
| 12           | Mounting PV             | 3      | 150.000    | 450.000           |
| 13           | Biaya Tak Terduga       |        | 1.000.000  | 1.000.000         |
| <b>TOTAL</b> |                         |        |            | <b>10.775.000</b> |

### **Biaya (O&M)**

Biaya pemeliharaan dan operasional untuk sistem PLTS diperkirakan berkisar antara 1% hingga 2% dari total biaya investasi yang telah dikeluarkan [13].

$$M = 1\% \times \text{Total Investasi} \quad (11)$$

Biaya pergantian baterai 1 kali selama 5 tahun mengeluarkan biaya Rp 4.200.000 dan Biaya O&M per tahunnya ialah Rp 107.750.

### **LCC**

Biaya siklus hidup (LCC) yaitu pengeluaran selama operasional PLTS, biaya investasi awal, pemeliharaan, dan operasional. Dihitung dengan persamaan 12 [14]:

$$LCC = C + Mpw + Rpw \quad (12)$$

### **Faktor Diskonto**

Faktor diskonto menghitung nilai uang masa depan ke nilai saat ini, berdasarkan suku bunga bank. Dihitung dengan persamaan 13 [15]:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (13)$$

### **CRF**

Faktor pemulihan modal digunakan untuk mengubah arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi pembayaran tahunan yang sama besar. Dihitung dengan persamaan 14 [14]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (14)$$

### **CoE**

Biaya energi untuk menilai kelayakan proyek PLTS dan dipengaruhi oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF), dan kWh produksi tahunan. Dihitung dengan persamaan 15 [14]:

$$CoE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (15)$$

### **Biaya PLTS dan PLN**

Biaya yang dikeluarkan jika menggunakan listrik PLN dengan tarif yang sudah ditentukan dan menggunakan PLTS dengan tarif hasil perhitungan CoE maka persamaan yang digunakan sebagai berikut:

Untuk menentukan kelayakan ekonomi menggunakan tiga parameter yaitu

### ***Net Present Value***

NPV yaitu selisih antara aliran kas bersih saat ini dan investasi awal yang dihitung dengan faktor diskonto. Dihitung dengan persamaan 16 [15]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \quad (16)$$

Proyek layak dilaksanakan jika  $NPV > 0$ .

Proyek tidak layak jika  $NPV < 0$ .

### ***Profitability Index***

*Profitability Index* adalah rasio antara total kas bersih saat ini dan investasi awal. Dihitung dengan persamaan 17 [15]:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{II} \quad (17)$$

Investasi dianggap layak jika  $PI > 1$ .

Investasi dianggap tidak layak jika  $PI < 1$ .

### ***Discounted Payback periode***

Merupakan periode pengembalian uang yang dihitung dengan menggunakan *discount factor*. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa tahun alur kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal. Berikut persamaan yang dapat digunakan 18 [15]:

$$DPP = YBR + \frac{\text{Investment Cost}}{NPV_{\text{kumulatif}}} \quad (18)$$

Investasi proyek dinilai layak jika DPP lebih singkat dari umur proyek.

Investasi proyek dinilai tidak layak jika DPP lebih panjang dari umur proyek.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Jumlah Panel PV**

Daya yang dibangkitkan adalah 233,91W dan dibulatkan menjadi 250W dikarenakan daya yang dibangkitkan lebih kecil dari modul kapasitas 350Wp yang sudah tersedia maka jumlah modul yang digunakan cukup dengan 1 modul berkapasitas 350Wp sudah sangat cukup untuk membangkitkan daya 250W tersebut.

### ***Charge Controler***

Hasil yang sudah didapat maka *controler* yang digunakan minimum 14A dan 51 Volt, dengan tipe MPPT yang efesiensinya lebih tinggi dari PWM.

### **Inverter**

Nilai kapasitas daya terus-menerus untuk inverter adalah 500 Watt, digunakanlah inverter jenis *pure sine wave inveter* berkapasitas 1000 Watt dengan daya terus-menerus 500 Watt.

### **Baterai**

Penentuan kapasitas baterai dan jumlah baterai sangat penting, hari otonomi yang digunakan yaitu 3 hari dengan sistem 12Volt 100Ah dan efisiensi 95%, DoD yang dipakai 80%. Didapatlah 274,67Ah akan tetapi dipasaran tidak menyediakan dengan kapasitas tersebut maka digunakan dengan kapasitas di atasnya yaitu 300Ah. Sesuai dengan sistem yang digunakan 12Volt 100Ah oleh baterai diperlukan 3 unit dihubungkan dengan cara *parallel* agar nilai arus bertambah dan nilai volt tetap.

### **Lifetime Komponen Utama**

**Tabel 4. Lifetime Komponen**

|             |               |
|-------------|---------------|
| Panel Surya | 25 Tahun      |
| SCC         | 10 Tahun      |
| Baterai     | 3 Tahun       |
| Inverter    | 10 – 15 Tahun |

Sumber: <https://powmr.com>  
<https://www.solar-international.net/>

Dengan begitu dapat ditentukan bahwa sebagian besar komponen utama tidak melakukan penggantian selama umur proyek yaitu 5 tahun, hanya saja pada tabel tersebut ada komponen yang harus melakukan penggantian komponen yaitu baterai karena masa umur pakai hanya 3 tahun.

### **Hasil Simulasi**

Menunjukkan adanya *available solar energy (E\_Avail)* yaitu keseluruhan energi yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS sebesar 522,26 kWh/tahun. *Unused energy (EUnused)* adalah energi yang tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 206,39 kWh/tahun. *Energy supplied to the user (E\_User)* adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 304,77 kWh/tahun. *Energy need of the user (E\_Load)* adalah energi yang dibutuhkan oleh beban sebesar 304,77 kWh/tahun.

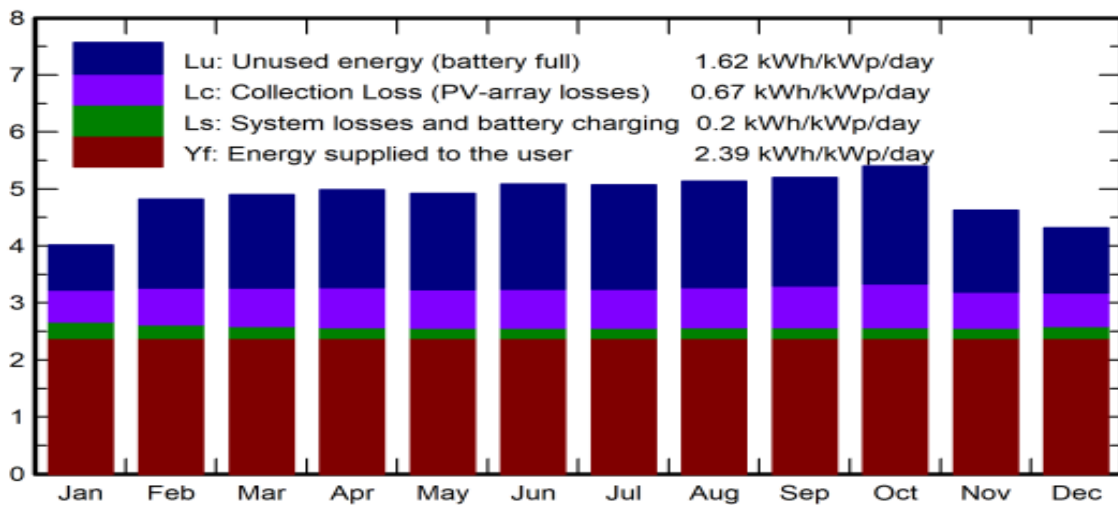
**Tabel 5. Hasil Produksi Energi**

| Month       | GlobHor<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | GlobEff<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | E_Avail<br>(kWh) | EUnused<br>(kWh) | E_Miss<br>(kWh) | E_User<br>(kWh) | E_Load<br>(kWh) | SolFrac<br>(ratio) |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| January     | 131.0                            | 120.7                            | 35.98            | 8.48             | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| February    | 138.9                            | 131.3                            | 39.73            | 15.17            | 0.000           | 23.38           | 23.38           | 1.000              |
| March       | 152.0                            | 148.3                            | 44.49            | 17.66            | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| April       | 145.1                            | 146.1                            | 43.79            | 17.94            | 0.000           | 25.05           | 25.05           | 1.000              |
| May         | 144.0                            | 149.1                            | 44.94            | 18.28            | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| June        | 141.1                            | 149.6                            | 45.08            | 19.30            | 0.000           | 25.05           | 25.05           | 1.000              |
| July        | 146.5                            | 154.1                            | 46.49            | 19.79            | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| August      | 152.8                            | 156.2                            | 46.93            | 20.23            | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| September   | 153.9                            | 152.3                            | 45.76            | 19.89            | 0.000           | 25.05           | 25.05           | 1.000              |
| October     | 170.6                            | 163.7                            | 49.12            | 22.38            | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| November    | 144.7                            | 135.0                            | 40.83            | 15.00            | 0.000           | 25.05           | 25.05           | 1.000              |
| December    | 141.6                            | 129.7                            | 39.14            | 12.27            | 0.000           | 25.88           | 25.88           | 1.000              |
| <b>Year</b> | <b>1762.1</b>                    | <b>1736.2</b>                    | <b>522.26</b>    | <b>206.39</b>    | <b>0.000</b>    | <b>304.77</b>   | <b>304.77</b>   | <b>1.000</b>       |

Produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS *off grid* dalam 1 tahun di setiap bulannya. Lu (*unused energy*) adalah nilai energi yang diproduksi pada PLTS dimana energi tersebut tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 1,62 kWh/kWp/hari.

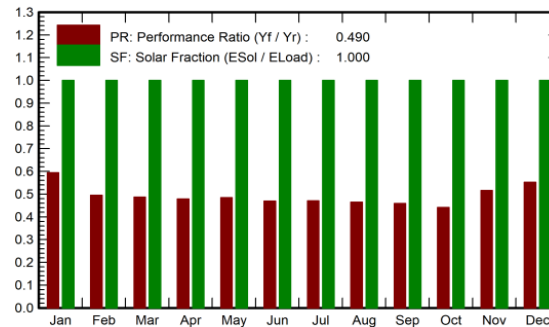
Pada Gambar 6. Grafik Produksi Energi Listrik, Lc (*collection loss*) adalah rugi-rugi pada modul surya mencakup instalasi kabel, *module quality* dan *mismatch*, sebesar 0,67 kWh/kWp/hari. Lc didapatkan dari hasil perbandingan antara energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Yr) dengan energi yang diproduksi oleh modul surya dengan memperhitungkan rugi-rugi (Ya).

Ls (*system losses*) adalah rugi-rugi sistem PLTS dan pengisian baterai sebesar 0,2 kWh/kWp/hari. Yf (*Energy supplied*) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 2,39 kWh/kWp/hari.



**Gambar 5. Grafik Produksi Energi Listrik**

Jumlah energi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan September dan Oktober yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan September sebesar 5,13 kWh/m<sup>2</sup> /hari dan pada bulan Oktober sebesar 5,50 kWh/m<sup>2</sup> /hari, sedangkan jumlah energi terendah yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan Januari yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Januari sebesar 4,23 kWh/m<sup>2</sup> /hari.

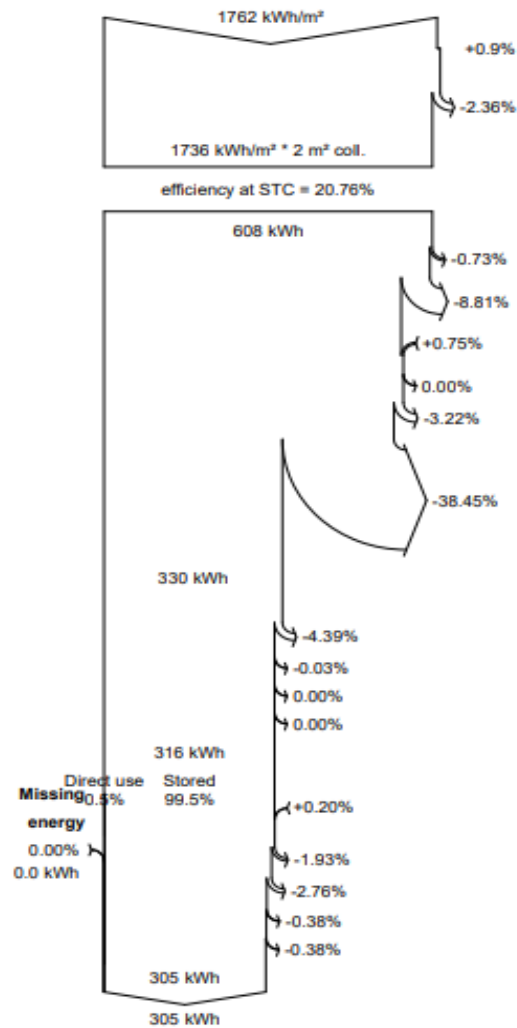


**Gambar 6. Performance Ratio and Solar Fraction**

Menunjukkan *performance ratio* (PR) sebesar 0,49 atau dengan persentasi sebesar 49%. PR adalah perbandingan antara energi yang disuplai ke beban (Yf) dengan energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Yr). *Solar fraction* (SF) sebesar 1,000 atau dengan persentasi sebesar 100%. SF adalah perbandingan antara jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dengan total energi yang dibutuhkan oleh beban.

*Performace ratio* (PR) tertinggi terdapat pada bulan Januari dan Desember yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan oleh system PLTS dapat disuplai ke beban dan PR terendah terdapat pada bulan September dan Oktober yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan sistem PLTS tertinggi tetapi tidak dapat disuplai ke beban. *Solar fraction* (SF) mencapai 100% yang menandakan bahwa energi yang dibutuhkan oleh beban terpenuhi oleh jumlah energi yang dihasilkan sistem PLTS.

# Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid pada Kios Coffee



**Gambar 7. Loss Diagram**

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik dari PLTS. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi hasil akhir produksi energi listrik PLTS adalah orientasi panel surya, efisiensi dan radiasi yang diterima panel surya.

## Orientasi Panel

**Tabel 6. Iradiasi matahari pada bidang datar dan panel surya**

| Bulan        | GlobHor (kWh/m <sup>2</sup> ) | GlobInc (kWh/m <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Januari      | 131.0                         | 124.5                         |
| Februari     | 138.9                         | 135.0                         |
| Maret        | 152.0                         | 151.8                         |
| April        | 145.1                         | 149.4                         |
| Mei          | 144.0                         | 152.6                         |
| Juni         | 141.1                         | 152.5                         |
| Juli         | 146.5                         | 157.1                         |
| Agustus      | 152.8                         | 159.3                         |
| September    | 153.9                         | 155.9                         |
| Oktober      | 170.6                         | 167.5                         |
| November     | 144.7                         | 138.7                         |
| Desember     | 141.6                         | 133.8                         |
| <b>Tahun</b> | <b>1762.1</b>                 | <b>1778.1</b>                 |

Tingkat insolasi matahari, yang juga dikenal sebagai radiasi matahari yang diterima pada bidang datar di lokasi penelitian, tercatat mencapai 1762,1 kWh/m<sup>2</sup>. Angka ini menggambarkan potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari sinar matahari yang jatuh pada permukaan tanah. Untuk pembangkit listrik tenaga surya yang dirancang, orientasi panel surya dipasang dengan sudut kemiringan 10° dan sudut *azimuth* 0°. Penataan ini tidak hanya penting untuk efisiensi sistem, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan radiasi yang diterima oleh panel surya sebesar 16 kWh/m<sup>2</sup>. Peningkatan ini setara dengan 0,9% dari total potensi insolasi matahari di wilayah tersebut. Oleh karena itu, dengan penyesuaian orientasi yang tepat, total radiasi yang diterima oleh panel surya menjadi 1.778,1 kWh/m<sup>2</sup>, sehingga menunjukkan potensi optimal dari sistem pembangkit listrik tenaga surya yang direncanakan.

## Efisiensi dan Radiasi yang diterima Panel

**Tabel 7. Radiasi Efektif pada panel dan keluaran panel saat STC**

| Bulan        | EArrNom (kWh/m <sup>2</sup> ) | GlobEff (kWh/m <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Januari      | 120.7                         | 42.27                         |
| Februari     | 131.3                         | 46.00                         |
| Maret        | 148.3                         | 51.96                         |
| April        | 146.1                         | 51.16                         |
| Mei          | 149.1                         | 52.24                         |
| Juni         | 149.6                         | 52.41                         |
| Juli         | 154.1                         | 53.98                         |
| Agustus      | 156.2                         | 54.72                         |
| September    | 152.3                         | 53.36                         |
| Oktober      | 163.7                         | 57.34                         |
| November     | 135.0                         | 47.27                         |
| Desember     | 129.7                         | 48.29                         |
| <b>Tahun</b> | <b>1762.1</b>                 | <b>1778.1</b>                 |

Tingkat radiasi yang diterima *array* pada lokasi penelitian adalah sebesar 1.736,2 kWh/m<sup>2</sup> sehingga dengan *array* seluas 1,687 m<sup>2</sup>, potensi energi listrik dari radiasi yang diterima sebesar 2.929 kWh, kemudian dengan nilai efisiensi panel sebesar 20,76%, energi listrik yang dihasilkan *array* adalah sebesar 608 kWh.

### Temperatur

Terlihat bahwa temperatur susunan sel surya tertinggi pada bulan Oktober yaitu sebesar 44,86°C menghasilkan nilai rugi-rugi terbesar sebesar 3,882 kWh, sedangkan temperatur susunan sel surya terendah pada bulan Januari yaitu sebesar 38,68°C, menghasilkan kerugian produksi listrik minimum sebesar 3,370 kWh. Dapat dilihat bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pembangkitan daya PLTS. Semakin tinggi suhu dalam susunan sel surya, semakin besar kerugian yang mungkin terjadi.

**Tabel 8. Temperatur dan rugi – rugi**

| <b>Bulan</b> | <b>TArrey °C</b> | <b>TemLss kWh</b> |
|--------------|------------------|-------------------|
| Januari      | 38.68            | 3.370             |
| Februari     | 41.01            | 3.761             |
| Maret        | 41.88            | 4.614             |
| April        | 42.74            | 4.640             |
| Mei          | 43.07            | 4.594             |
| Juni         | 42.98            | 4.679             |
| Juli         | 42.95            | 4.779             |
| Agustus      | 43.38            | 5.003             |
| September    | 43.56            | 4.865             |
| Oktober      | 44.86            | 5.398             |
| November     | 41.57            | 3.882             |
| Desember     | 40.57            | 3.574             |
| <b>Tahun</b> | <b>42.23</b>     | <b>53.159</b>     |

### Analisa Teknis

Hasil dari perhitungan teknis komponen utama yaitu Panel Surya yang digunakan sebesar 350Wp dengan kapasitas *charger controler* (SCC) 14A dan 51 Volt MPPT, sedangkan kapasitas inverter yang diperlukan 1000 Watt dengan 500 Watt secara terusmenerus, dan baterai 3 unit dihubungkan secara *parallel* berkapasitas 12Volt 100Ah per unit baterai.

Produksi energi pada PLTS Kios Coffee secara keseluruhan sangat besar sedangkan kapasitas baterai yang digunakan terlalu kecil maka energi sebesar 206,39 kWh/tahun tidak dapat digunakan akan tetapi energi yang disuplai ke beban 304,77 kWh/Tahun dan energi yang dibutuhkan beban 304,77 kWh/tahun ini menunjukkan bahwa kebutuhan beban telah terpenuhi 100%.

Dengan perbandingan anatar energi yang disuplai beban ( $Y_f$ ) dengan energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tandapa adanya rugi – rugi ( $Y_r$ ) maka didapat *Performa rasio* sebesar 49%.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik yaitu orientasi panel dengan sudut kemiringan  $10^\circ$  dan sudut *azimuth*  $0^\circ$  yang mengalami peningkatan sebesar 0,9%, kemudian radiasi yang diterima panel surya 2.929 kWh dengan luas  $1,687 \text{ m}^2$  dan efisiensi 20,76% maka radiasi mengalami penurunan menjadi 608 kWh, dan temperatur pada bulan oktober mencapai  $44,86^\circ\text{C}$  hal tersebut mengalami penurunan sebesar 8.81% dikarenakan melebihi nilai suhu  $25^\circ\text{C}$  pada STC.

### ***Life Cycle Cost***

PLTS Kios *Coffee* beroperasi selama 5 tahun. Tingkat diskonto yang digunakan sebesar  $i = 6\%$  penentuan diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit Bank Indonesia per 23 Nopember 2023 sehingga LCC yang didapat sebesar Rp 14.367.367. Sedangkan faktor diskonto pada tahun ke satu yaitu 0,9434.

### **Biaya Energi**

Biaya energi yang didapat per kWh sebesar Rp 11.191 Per kWh dengan pemuliahan modal sebesar 0,2327. Sehingga perbandingan biaya menggunakan PLTS dengan biaya menggunakan PLN yaitu energi listrik yang terhubung dengan PLN maka adanya biaya pemasangan sebesar Rp 975.000 dengan daya 900VA dan berdasarkan website <https://pln.co.id> tarif per kWh sebesar Rp 1.352. Sedangkan tarif energi listrik menggunakan PLTS mengacu pada perhitungan biaya energi sebesar Rp 11.191, semua daya konsumsi berdasarkan kebutuhan kios *coffee* yaitu 304,77 kWh/Tahun.

### **Analisa Kelayakan Invesatasi**

Arus kas masuk tahunan untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dihitung dengan mengalikan estimasi kebutuhan beban kWh tahunan PLTS dengan biaya energi per kWh. Dengan estimasi beban kWh tahunan sebesar 304,77 kWh/tahun dan biaya energi sebesar Rp 11.191/kWh, arus kas masuk tahunan yang dihasilkan mencapai Rp 3.410.761. Di sisi lain, arus kas keluar tahunan untuk PLTS sebesar Rp 107.750/tahun, yang berasal dari biaya pemeliharaan dan operasional tahunan sistem. Dengan demikian, analisis arus kas ini memberikan gambaran yang jelas tentang keuangan dan kelayakan ekonomi dari proyek PLTS yang sedang direncanakan.

Tabel. 9 Pengelolaan arus kas

| Periode | Net Cashflow (Rp) | DF      | PVNCF Kuml (RP) |
|---------|-------------------|---------|-----------------|
| 0       | -10.775.000       | 1       | -10.775.000     |
| 1       | 3.303.011         | 0,9434  | 3.116.048       |
| 2       | 3.303.011         | 0,89    | 6.055.716       |
| 3       | 3.303.011         | 0,83962 | 8.828.988       |
| 4       | 3.303.011         | 0,79209 | 11.445.282      |
| 5       | 3.303.011         | 0,74726 | 13.913.484      |

### NPV

Tabel 9 menunjukkan bahwa total nilai sekarang arus kas bersih yang merupakan hasil perkalian antara arus kas bersih dan faktor diskonto adalah sebesar Rp 13.913.724 dan investasi awal sebesar Rp 10.775.000.\

Hasil dari perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp 3.138.484 lebih besar dari 0. Menunjukkan bahwa investasi PLTS *off grid* pada Kios *Coffee* layak untuk dilaksanakan.

### *Profitability Index*

Dengan total nilai sekarang arus kas bersih sebesar Rp 13.913.484 dan biaya Rp 10.775.000.

Hasil perhitungan PI yang bernilai  $1,29 > 1$ . Menunjukkan bahwa investasi PLTS *Off grid* Pada Kios *Coffee* layak untuk dilaksanakan.

### *Discounted Payback Periode*

Table 9 menunjukan pada tahun ke-3, nilai sekarang arus kas bersih kumulatif mendekati nilai investasi awal dengan kekurangan sebesar Rp1.946.012, sedangkan pada tahun ke-4 nilai arus kas bersih sebesar Rp2.616.294.

Dihasilakan DPP 3 tahun 7 bulan, menunjukan bahwa PLTS *Off grid* pada Kios *Coffee* layak dilaksanakan, karena DPP hasilnya memiliki nilai lebih kecil atau lebih singkat dari pada umur proyek yaitu 5 tahun.

### Hasil Analisi Ekonomi

Nilai investasi awal dari PLTS Pada *Kios Coffee* yaitu sebesar Rp.10.775.000 dengan biaya O&M 1% dari investasi awal yaitu Rp. 107.750/Tahun dan penggantian berupa baterai 3 unit Rp. 4.200.000 dengan satu kali penggantian. Suku bunga yang digunakan 6% mengacu kepada tingkat suku bunga kredit Bank Indonesia per 23 Nopember 2023 dengan

beroperasi selama 5 tahun didapat biaya siklus hidup sebesar Rp. 14.367.367 dan biaya energy yang dipeoleh per kWh adalah Rp. 11.191/kWh.

Kelayakan investasi menggunakan 3 parameter yaitu *Net Present Value* (NPV) Hasil dari perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp 3.138.484 lebih besar dari 0, Menunjukkan bahwa investasi PLTS *off grid* pada Kios *Coffee* layak untuk dilaksanakan. *Profitability Index* Hasil perhitungan bernilai  $1,29 > 1$ , Menunjukkan bahwa investasi layak untuk dilaksanakan, dan *Discounted Payback Periode* diperoleh 3 tahun 7 bulan bahwa proyek layak dilaksanakan, karena pengembalian uang lebih cepat dari pada umur proyek yaitu 5 tahun.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik tenaga surya *off grid* pada kios *coffee*, dapat disimpulkan: (1) hasil perhitungan teknis menunjukkan bahwa sistem menggunakan panel surya 350 Wp, *charge controller* 14A dan 51 Volt MPPT, inverter 1000 Watt, dan tiga unit baterai 12V 100Ah yang dihubungkan paralel. Hasil simulasi menggunakan *software PVSyst* versi 7.4 dengan sudut kemiringan  $10^\circ$  dan *azimuth*  $0^\circ$  menunjukkan total energi tahunan sebesar 522,26 kWh, dengan 206,39 kWh yang tidak dapat digunakan. Energi yang disuplai ke beban adalah 304,77 kWh per tahun, sesuai dengan kebutuhan beban, yang menunjukkan pemenuhan 100%. Performa rasio sistem ini adalah 49%, yang dihitung dari perbandingan energi yang disuplai ke beban ( $Y_f$ ) dengan energi yang seharusnya dihasilkan oleh modul surya tanpa rugi-rugi ( $Y_r$ ). (2) Nilai investasi awal PLTS pada kios kopi adalah Rp. 10.775.000, dengan biaya operasi dan pemeliharaan tahunan sebesar Rp. 107.750 dan satu kali penggantian baterai sebesar Rp. 4.200.000. Selama 5 tahun operasi dengan suku bunga 6%, total biaya siklus hidup adalah Rp. 14.367.367, dan biaya energi Rp. 11.191 per kWh. Evaluasi kelayakan investasi menunjukkan bahwa NPV positif sebesar Rp. 3.138.484, *Profitability Index* 1,29, dan *Discounted Payback Period* 3 tahun 7 bulan, yang semuanya mengindikasikan bahwa investasi PLTS off-grid pada kios kopi layak untuk dilaksanakan.

## REFERENSI

Referensi ume

- A. E. A. Nafeh, "Design and Economic Analysis of a Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt," no. April 2009, 2022, doi: 10.2174/1876387100902010033.
- Amin, M., Hartanto, S., & Wijaya, A. (2021). Perhitungan teknis dan ekonomi menggunakan software PVSyst pada sistem PLTS off-grid. *Jurnal Teknologi Energi*, 15(2), 78-88.
- B. M. Pangaribuan, I. Ayu, D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, "Desain Plts Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat," Vol. 7, No. 2, 2025.
- Dani, A., & Erivianto, D. (2022). Studi sistem pembangkit listrik tenaga surya off grid skala rumah tangga pada daerah Bagan Deli menggunakan Pvsyst. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(9), 961-972. <https://doi.org/10.36418/jist.v3i9.496>
- E. Engineering and E. Engineering, "An Economic Analysis of Solar PV System in," no. June, 2014.
- G. H. Sihotang, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak Ganda Hartawan Sihotang."
- Green, M., Emery, K., & Hishikawa, Y. (1990). Proceeding of the 21st IEEE Photovoltaic Specialists Conference. *IEEE Publications*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8547909>
- Herliyanso, D., & Rozak, O. A. (2020). Perencanaan sistem PLTS off grid sebagai suplai daya listrik perpustakaan Universitas Pamulang. *E-Jurnal Otomasi Kelistrikan dan Energi Terbarukan*, 5, 20-29.
- Irfan, M. (2017). Perencanaan teknis dan ekonomis pembangkit listrik tenaga surya sistem on-grid. *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sultan Syarif Kasim Riau*, 77, 18-19.
- Joewono, A., Sitepu, R., Angka, P. R., Agustino, F., & Nico, L. (2018). Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga hybrid. *Prosiding Seminar Nasional Seri 8*, 3(2), 10-18.
- Junaedi, A., Rahman, S., & Pratama, D. (2020). Analisis perencanaan aspek teknis dan biaya PLTS off-grid menggunakan perhitungan manual. *Jurnal Energi Terbarukan*, 11(3), 101-109.
- M. K. W. S. dan A. Wiese, *Renewable energy*. Heidelberg New York: Springer, 2007.
- Rahman, R. (2021). Analisis perencanaan pembangkit listrik tenaga surya offgrid untuk rumah tinggal di Kota Banjarbaru. *Jurnal EEICT (Electric, Electronic, Instrumentation, Control, Telecommunication)*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.31602/eeict.v4i1.4540>

## Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid pada Kios Coffee

- Shrivastava, A., Sharma, R., Saxena, M. K., Shanmugasundaram, V., & Rinawa, M. L. (2023). Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST. *Materials Today: Proceedings*, 80, 3385-3392.
- Windarta, J., Handoko, S., Irfani, K. N., Masfuha, S. M., & Itsnareno, C. H. (2021). Analisis teknis dan ekonomis pembangkit listrik tenaga surya off-grid menggunakan software PVSyst untuk usaha mikro kecil dan menengah (UMKM) coffeeshop remote area. *Teknik*, 42(1), 290-298. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i3.40242>
- Winardi, B., Nugroho, A., & Dolfina, E. (2019). Perencanaan dan analisis ekonomi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpusat untuk desa mandiri. *Jurnal Tekno*, 16(2), 1-11. <https://doi.org/10.33557/jtekno.v16i1.603>
- Y. dan J. Kariongan, "Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp. 3763–3773, 2022, [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/3453>