

## PERENCANAAN PLTS *OFF-GRID* MENGGUNAKAN HOMER PADA GEDUNG OPERASIONAL BTP KELAS II PADANG

SEPANNUR BANDRI<sup>1</sup>, ZURIMAN ANTHONY<sup>2</sup>, TAUFAL HIDAYAT<sup>3</sup>

Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia<sup>1,2,3</sup>

Email: sepannur@itp.ac.id<sup>1</sup>

**Abstract:** *The growing demand for electrical power and the heavy reliance on fossil energy resources encourage the use of sustainable renewable energy, especially solar energy. Padang Pariaman Regency has considerable potential for solar power development, indicated by an average solar irradiation of 4.62 kWh/m<sup>2</sup>/day, so the implementation of an off-grid Solar Power Plant (PLTS) system is the right solution to support energy independence and reduce carbon emissions. The objective of this study is to analyze the planning of an off-grid photovoltaic (PV) system at the Operational Building of Balai Teknik Perkeretaapian (BTP) Kelas II Padang from technical and economic aspects and evaluate its investment feasibility. The research method includes collecting primary data in the form of building electrical load profiles and site observations, as well as secondary data in the form of solar radiation data, component specifications, electricity consumption data, interest rates, and inflation rates. Technical and economic analyses are conducted through manual calculations to determine the capacity of solar panels, batteries, and inverters, as well as economic analyses in the form of Net Present Cost (NPC) and Cost of Energy (COE) calculations, which are then validated using HOMER software simulations. The analysis results show that both methods produce relatively comparable system configurations. Technically, the off-grid solar power system is designed with a solar panel capacity of 39,4 kW based on manual calculations and 45,2 kW based on HOMER software simulations, both of which are capable of meeting daily energy needs of 169,5 kWh with the support of a battery capacity of ±340 kWh that provides autonomy time of up to 48 hours and an inverter capacity of 80 kW which is above the peak load of 52,245.50 W. From an economic aspect, manual calculations produce a Net Present Cost (NPC) value of IDR 1,606,156,628 with a Cost of Energy (COE) of IDR 1,327/kWh, while the HOMER simulation produces an NPC of IDR 1,624,727,000 with a COE of IDR 1,405/kWh. Both methods show a positive NPV value, a Profitability Index greater than one, and a Discounted Payback Period below the project life, so that the off-grid solar power system can operate optimally is declared technically and economically feasible.*

**Keyword:** *technical and economic analysis, solar energy, HOMER, Investment feasibility, off-grid solar photovoltaic system*

**Abstrak:** Meningkatnya permintaan energi listrik serta tingginya ketergantungan pada sumber energi fosil mendorong pemanfaatan energi terbarukan yang berkelanjutan, khususnya energi surya. Kabupaten Padang Pariaman memiliki potensi energi surya yang tinggi dengan rata-rata intensitas radiasi surya mencapai 4,62 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sehingga implementasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* merupakan alternatif solusi yang tepat guna mendukung kemandirian pasokan listrik dan pengurangan emisi karbon. Penelitian ini difokuskan pada analisis perencanaan sistem PLTS *off-grid* pada Gedung Operasional Balai Teknik Perkeretaapian (BTP) Kelas II Padang dari aspek teknis dan ekonomi serta mengevaluasi kelayakan investasinya. Metode penelitian mencakup pengumpulan data primer berupa profil beban listrik gedung dan observasi lokasi, serta data sekunder berupa data radiasi matahari, spesifikasi komponen, data konsumsi energi listrik, tingkat suku bunga dan tingkat inflasi. Analisis teknis dan ekonomi dilakukan melalui perhitungan manual untuk menentukan kapasitas panel surya, baterai, dan inverter, serta analisis ekonomi berupa perhitungan *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost of Energy* (COE) yang selanjutnya divalidasi menggunakan simulasi *software* HOMER. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan konfigurasi sistem yang relatif sebanding. Secara teknis, sistem PLTS *off-grid* dirancang dengan kapasitas panel surya sebesar 39,4 kW berdasarkan perhitungan manual dan 45,2 kW berdasarkan simulasi perangkat lunak HOMER, yang keduanya mampu memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 169,5 kWh dengan dukungan kapasitas baterai ±340 kWh yang

menyediakan waktu otonomi hingga 48 jam serta kapasitas inverter 80 kW yang berada di atas beban puncak 52.245,50 W. Dari aspek ekonomi, perhitungan manual menghasilkan nilai NPC sebesar Rp1.606.156.628 dengan COE Rp1.327/kWh, sedangkan simulasi HOMER menghasilkan NPC Rp1.624.727.000 dengan COE Rp1.405/kWh. Kedua metode menunjukkan nilai NPV positif, *Profitability Index* lebih besar dari satu, serta *Discounted Payback Period* di bawah umur proyek, sehingga sistem PLTS *off-grid* dinyatakan layak diterapkan secara teknis dan ekonomi.

**Kata Kunci:** analisis teknis dan ekonomi, energi surya, HOMER, kelayakan investasi, PLTS *off-grid*

## A. Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan energi listrik terus mendorong pengembangan sumber energi terbarukan yang berkesinambungan serta ramah lingkungan. Saat ini, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih sangat tinggi, sementara ketersediaannya semakin berkurang dan berdampak buruk bagi lingkungan [1]. Sehingga, pemanfaatan energi terbarukan dinilai sebagai salah satu solusi strategis untuk mendukung ketahanan energi nasional serta mengurangi emisi karbon[2].

Sejalan dengan upaya transisi energi nasional, pemerintah Indonesia melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021–2030 menargetkan peningkatan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) hingga 23% pada tahun 2025 serta porsi EBT lebih dari 50% pada rencana pembangkit baru. Dalam dokumen tersebut, pengembangan energi surya direncanakan mencapai 4.680 MWp atau sekitar 12% dari total penambahan pembangkit sebagai bagian dari upaya menuju target net zero emission tahun 2060 [3].

Sebagai upaya mendukung pencapaian target tersebut, energi surya memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan dan mudah diakses, terutama di Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa. Intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun menjadikan Indonesia sangat ideal untuk penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik yang bersih dan berkelanjutan [4]. Dalam penerapannya, sistem PLTS dapat dikonfigurasi dalam beberapa skema, seperti *on-grid*, *off-grid*, dan hybrid, yang pemilihannya perlu disesuaikan dengan karakteristik beban, tingkat keandalan yang dibutuhkan, serta tujuan pengelolaan energi pada bangunan yang dilayani [2].

Dalam konteks penelitian ini, sistem PLTS *off-grid* dinilai paling sesuai diterapkan pada bangunan yang membutuhkan keandalan pasokan listrik dan kemandirian energi. Pemilihan sistem PLTS *off-grid* pada penelitian ini didasarkan pada kemampuannya dalam menyediakan pasokan listrik secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan PLN. Selain berfungsi sebagai sumber listrik utama, sistem ini juga berperan sebagai cadangan energi yang andal saat terjadi pemadaman, sehingga menjamin kontinuitas operasional gedung perkantoran. Dengan tidak bergantung pada kebijakan jaringan listrik, termasuk mekanisme ekspor-impor energi dan fluktuasi tarif, sistem *off-grid* memberikan kendali penuh terhadap pengelolaan energi secara berkelanjutan [5].

Untuk memastikan kinerja dan kelayakan sistem, diperlukan perencanaan sistem PLTS *off-grid* yang mampu mengevaluasi kinerja teknis dan kelayakan ekonomi secara komprehensif. Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*), yang banyak dimanfaatkan dalam perencanaan sistem energi terbarukan. HOMER memungkinkan analisis berbagai konfigurasi sistem berdasarkan profil beban, potensi radiasi matahari, spesifikasi dan biaya komponen, serta kondisi operasional, sehingga dapat diperoleh desain sistem yang paling andal dan optimal sepanjang umur proyek [6].

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas perencanaan sistem PLTS *off-grid* pada bangunan umum [7], gedung kampus [8], serta lingkungan pedesaan [9]. Namun demikian, kajian yang secara khusus membahas perencanaan sistem PLTS *off-grid* pada gedung perkantoran dengan mempertimbangkan data beban listrik aktual harian masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian yang lebih aplikatif dan kontekstual agar hasil perencanaan sesuai dengan kondisi operasional gedung perkantoran.

Gedung Operasional Balai Teknik Perkeretaapian (BTP) Kelas II Padang dipilih sebagai lokasi penelitian PLTS karena berfungsi sebagai pusat kegiatan administrasi dan operasional perkantoran yang didominasi oleh penggunaan peralatan listrik seperti komputer, laptop, printer, dan perangkat pendukung lainnya yang beroperasi secara rutin pada jam kerja, sehingga membentuk pola beban listrik harian yang relatif stabil dan terukur. Karakteristik beban tersebut menjadikan gedung ini representatif untuk kajian perencanaan sistem PLTS *off-grid* berbasis profil beban aktual. Selain itu, kondisi fisik bangunan dan ketersediaan area yang memadai untuk instalasi modul surya, lokasi ini juga didukung oleh potensi radiasi matahari sebesar 4,62 kWh/m<sup>2</sup>/hari berdasarkan data NASA *Prediction of Worldwide Energy Resources* (POWER), sehingga gedung ini dapat digunakan sebagai objek penelitian yang representatif dalam perencanaan sistem PLTS.

Hingga saat ini, Gedung Operasional BTP Kelas II Padang masih sepenuhnya bergantung pada pasokan listrik dari jaringan PLN. Ketergantungan tersebut berisiko menimbulkan gangguan operasional ketika terjadi pemadaman, mengingat aktivitas gedung berlangsung rutin dengan kebutuhan daya yang relatif stabil, serta berimplikasi pada beban biaya listrik bulanan yang relatif signifikan [10].

Berdasarkan kondisi tersebut, implementasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* dinilai sebagai solusi strategis untuk meningkatkan kemandirian energi, keandalan pasokan listrik serta efisiensi biaya operasional jangka panjang bagi gedung perkantoran pemerintah. Namun, penerapan sistem ini memerlukan kajian teknis dan ekonomi yang komprehensif dengan mempertimbangkan kondisi aktual lokasi.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perencanaan sistem PLTS *off-grid* dengan menggunakan data beban listrik aktual harian serta data konsumsi energi listrik sebagai dasar perancangan. Analisis dilakukan melalui perhitungan manual dan simulasi menggunakan *software* HOMER untuk mengevaluasi aspek teknis dan ekonomi sistem, khususnya pada konfigurasi panel surya, baterai dan inverter. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam perencanaan dan evaluasi penerapan sistem PLTS *off-grid* pada gedung perkantoran pemerintah.

## B. Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis teknis dan ekonomi dalam perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* pada gedung perkantoran. Analisis dilakukan berdasarkan data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui observasi lapangan dan studi literatur. Data beban listrik aktual dan data konsumsi energi listrik digunakan sebagai dasar analisis teknis untuk menentukan kapasitas panel surya, baterai, dan inverter, sedangkan data radiasi matahari serta spesifikasi teknis komponen digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara menyeluruh. Selanjutnya, analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan investasi sistem PLTS *off-grid* menggunakan parameter *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost of Energy* (COE), serta dilanjutkan dengan analisis kelayakan investasi melalui perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Break Even Point* (BEP), dan *Discounted Payback Period* (DPP). Untuk memvalidasi hasil perhitungan manual, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER sebagai alat optimasi dan perbandingan konfigurasi sistem, sehingga diperoleh rancangan sistem PLTS *off-grid* yang optimal dan layak diterapkan.

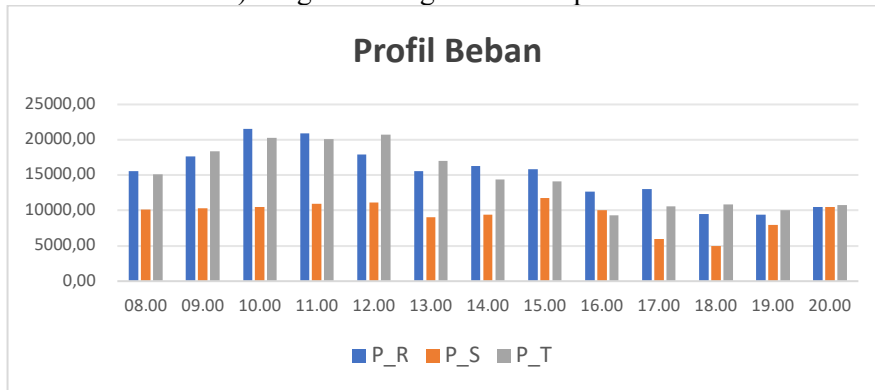
Data Radiasi matahari yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari NASA *Prediction of Worldwide Energy Resources* (POWER) dengan resolusi bulanan dan tahunan, mencakup periode waktu 01 Januari 2024 hingga 31 Desember 2024 (UTC). Lokasi pengambilan data berada pada koordinat Latitude -0,7821 dan Longitude 100,2898 (Gedung Operasional Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Padang, Kecamatan Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman).

Tabel 1 Data Radiasi Matahari Tahun 2024

Bulan	Temperatur (°C)	Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Clearness Index
Jan	27,75	4,29	0,42
Feb	28,44	4,42	0,42

Bulan	Temperatur (°C)	Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Clearness Index
Mar	28,27	4,81	0,46
Apr	28,57	4,86	0,48
Mei	28,68	4,28	0,45
Jun	28,31	4,58	0,5
Jul	28,32	5,03	0,54
Agt	27,96	4,36	0,44
Sep	27,7	4,59	0,45
Okt	27,63	5,26	0,51
Nov	27,22	4,63	0,46
Des	27,31	4,34	0,44
<b>Maksimum</b>	<b>28,68</b>	<b>5,26</b>	<b>0,54</b>
<b>Minimum</b>	<b>27,22</b>	<b>4,28</b>	<b>0,42</b>
<b>Rata - Rata</b>	<b>28,01</b>	<b>4,62</b>	<b>0,46</b>

Pengukuran profil beban listrik secara langsung pada *Main Distribution Panel* (MDP) Gedung Operasional Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Padang guna memperoleh gambaran aktual mengenai pola konsumsi energi dan karakteristik beban harian. Pengukuran dilakukan pada sistem kelistrikan tiga fasa dengan interval pencatatan setiap satu jam selama periode pengamatan menggunakan alat ukur Tang Ampere, sehingga diperoleh data tegangan dan arus pada masing-masing fasa secara berkala. Data yang dikumpulkan meliputi tegangan fasa ke netral ( $V_{RN}$ ,  $V_{SN}$ ,  $V_{TN}$ ), tegangan antar fasa ( $V_{RS}$ ,  $V_{ST}$ ,  $V_{TR}$ ), serta arus pada setiap fasa ( $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$ ). Metode ini bertujuan untuk mengetahui variasi beban harian, mengidentifikasi beban puncak, serta mengevaluasi keseimbangan antar fasa. Hasil pengukuran kemudian diolah menjadi profil daya per jam (kW). Berikut merupakan tabel hasil pengukuran yang dilakukan dengan teknik pengambilan sampel selama 5 hari berturut – turut (07 Juli 2025 s.d 11 Juli 2025) dengan rentang waktu dari pukul 08.00 s.d 20.00 WIB.



Gambar 1 Profil Beban

Profil beban listrik menunjukkan variasi harian yang dipengaruhi aktivitas operasional, dengan beban puncak sebesar 52.245,50 W pada pukul 10.00, beban rata-rata 39.280,29 W, dan beban terendah 25.243,19 W. Data ini menjadi dasar perencanaan kapasitas inverter, baterai, dan modul surya pada sistem PLTS *off-grid* agar mampu memenuhi beban puncak secara andal serta menjaga kontinuitas suplai energi.

Sebelum dilakukan tahap perencanaan sistem, data konsumsi energi listrik Gedung Operasional Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Padang dianalisis berdasarkan tagihan listrik yang tersedia. Data tagihan listrik tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan energi dan perencanaan kapasitas sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* yang akan dirancang.

Tabel 2 Konsumsi Energi Listrik di Gedung Operasional BTP Kelas II Padang

<b>Id Pelanggan</b>	1310-5236-9403	
<b>Tahun</b>	2025	
<b>Bulan Tagihan</b>	<b>Tagihan (Rp.)</b>	<b>kWh</b>
Januari	4.298.705	2.705
Februari	9.408.352	5.914
Maret	8.915.537	5.240
April	8.915.537	5.240
Mei	8.915.537	5.240
Juni	8.915.537	5.240
Juli	8.915.537	5.240
Agustus	8.915.537	5.240
September	8.915.537	5.240
Oktober	8.915.537	5.240
November	8.915.537	5.240
Desember	8.915.537	5.240
<b>Total</b>	<b>102.862.427</b>	<b>61.019</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>8.571.869</b>	<b>5.085</b>

Berdasarkan data tagihan listrik bulanan Gedung Operasional BTP Kelas II Padang dalam kurun waktu selama 12 bulan dari bulan Januari 2025 hingga bulan Desember 2025 total konsumsi energinya sebesar 61.019 kWh. Konsumsi energi maksimum berada di bulan Februari 2025 yang mencapai 5.914 kWh dan konsumsi energi minimum berada di bulan Januari 2025 dengan besaran 2.705 kWh.

Estimasi konsumsi energi listrik harian dapat dihitung dengan membagi rata-rata konsumsi bulanan dengan jumlah hari dalam satu bulan (diasumsikan 30 Hari), maka perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$\text{konsumsi harian} = \frac{\text{rata - rata konsumsi bulanan}}{\text{jumlah hari dalam satu bulan}} \quad (1)$$

$$\text{konsumsi harian} = \frac{5.085 \text{ kWh}}{30 \text{ Hari}} = 169,5 \text{ kWh/hari} \quad (2)$$

Analisis teknis merupakan tahap awal yang krusial dalam perancangan sistem PLTS *off-grid*. Tahap ini meliputi evaluasi profil beban, konsumsi energi harian, potensi radiasi matahari, serta penentuan kapasitas komponen utama seperti panel surya, baterai, dan inverter berdasarkan perhitungan teknis dan rujukan penelitian terdahulu. Analisis yang akurat terhadap profil beban dan konsumsi energi memungkinkan perancangan sistem PLTS yang mampu beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan.

#### 1. Perhitungan PV Area

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{AV} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{out}} m^2 \quad (3)$$

Dimana:

$PV \text{ Area}$  = Luas Area Panel Surya ( $m^2$ )

$E_L$  = Kebutuhan Energi Harian (kWh/hari)

$G_{AV}$  = Radiasi Matahari Harian (kWh/  $m^2$ /hari)

$TCF$  = *Temperature Correction Factor* (%)

$\eta_{PV}$  = Efisiensi Panel Surya (%)

$\eta_{out}$  = Efisiensi keluaran (%) asumsi 0,95

Menurut [11], setiap kenaikan suhu sebesar  $1^\circ C$  dari kondisi standar operasi panel surya akan berdampak pada penurunan daya keluaran sekitar 0,5%. Maka:

$$P \text{ saat temperature naik} = 0,5\% \times P_{MAX} \times \text{kenaikan temperatur } (^\circ C)$$

$$P_{MAX} \text{ saat naik menjadi } t^\circ C = P_{MAX} - P \text{ saat temperature naik}$$

$$TCF = \frac{P_{Max} \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}C}{P_{Max}} \quad (4)$$

2.Perhitungan Daya yang Dibangkitkan PLTS

$$P_{wattpeak} = PV \text{ Area} \times PSI \times \eta_{PV} \text{ (watt)} \quad (5)$$

Dimana:

$PV \text{ Area}$  = Luas Area Panel Surya ( $m^2$ )

$PSI$  = Peak Solar Insolation (PSI)

$\eta_{PV}$  = Efisiensi Panel Surya (%)

3.Perhitungan Jumlah Panel Surya

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{MPP}} \text{ (unit)} \quad (6)$$

Dimana:

$P_{wattpeak}$  = Daya yang dibangkitkan (Wp)

$P_{MPP}$  = Daya Maksimum Keluaran Panel Surya (Wp)

4.Perhitungan Kapasitas Solar Charge Controller

$$\text{Kapasitas SCC} = \frac{\text{Demand Watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \quad (7)$$

Dimana:

$\text{Demand Watt}$  = Daya Masing – Masing Array Panel Surya

$\text{Safety Factor}$  = Faktor Keamanan, ditentukan sebesar 1,25

$\text{System Voltage}$  = Tegangan Sistem, ditentukan sebesar 48V

5.Perhitungan Kapasitas Baterai

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{E_L \times n}{DOD \times P_{BATT}} \text{ (unit)} \quad (8)$$

$$E_{BATT} = \text{Jumlah Baterai} \times V_{BATT} \times I_{BATT} \times DOD \quad (9)$$

6.Perhitungan Kapasitas Inverter

$$\text{Kapasitas Inverter} = \text{Beban Puncak} \times \text{Safety Factor} \quad (10)$$

Dimana:

Beban Puncak = Diperoleh dari hasil pengukuran langsung

$\text{Safety Factor}$  = Faktor Keamanan, ditentukan sebesar 1,25

Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan finansial sistem PLTS off-grid dengan mempertimbangkan seluruh biaya sepanjang umur proyek, seperti investasi awal, biaya penggantian komponen, operasional dan pemeliharaan, serta parameter ekonomi seperti Net Present Value (NPV), Cost of Energy (COE), dan indikator lainnya untuk menggambarkan biaya investasi dan energi yang dihasilkan secara menyeluruh [12].

1.Net Present Cost (NPC)

Net Present Cost (NPC) merupakan total biaya seumur hidup proyek, dihitung dalam nilai saat ini. Biaya ini meliputi biaya investasi awal, biaya penggantian komponen, nilai sisa di akhir proyek dan biaya operasional & pemeliharaan [13].

$$NPC = CC + \text{Replacement Cost} + OM_{PV} \text{ Cost} - \text{Salvage Value} \quad (11)$$

Dimana:

$NPC$  = Biaya Seumur Hidup Proyek

$CC$  = Biaya Investasi Awal

$OM_{PV}$  = Nilai Saat Ini Biaya Tahunan Selama Umur Proyek

$\text{Replacement Cost}$  = Biaya Penggantian Komponen

$\text{Salvage Value}$  = Nilai Sisa di Akhir Proyek

## 2. Cost of Energy (COE)

*Cost of Energy* (COE) adalah perhitungan biaya energi pada sistem PLTS ditentukan berdasarkan *Net Present Cost* (NPC), *Capital Recovery Factor* (CRF), serta jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dalam satu tahun (kWh/Tahun). *Capital Recovery Factor* (CRF) merupakan faktor pengali yang digunakan untuk menghitung nilai tahunan dari biaya investasi awal [14].

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (12)$$

Sedangkan *Cost of Energy* (COE) merupakan jumlah pengeluaran biaya per kWh saat sistem menghasilkan energi listrik [15].

$$COE = \frac{NPC \times CRF}{AKWH} \quad (13)$$

Dimana:

$COE$  = *Cost of Energy* / Biaya Energi (Rp/kWh)

NPC = Biaya seumur hidup proyek

AKWH = Konsumsi listrik dalam satu tahun (kWh/tahun)

Analisis kelayakan investasi dilakukan setelah konfigurasi optimal ditetapkan, metode yang digunakan yaitu menghitung *Net Present Value* (NPV), *Break Even Point* (BEP), dan *Discounted Payback Period* (DPP) untuk menilai kelayakan ekonomi sistem secara lebih komprehensif [9].

### 1. Net Present Value

*Net Present Value* (NPV) merupakan metode yang digunakan untuk menilai kelayakan proyek dengan membandingkan nilai kini seluruh arus kas masuk terhadap nilai kini arus kas keluar selama umur proyek atau dapat disebut *Net Cash Flow* (NCF). Nilai NPV yang positif menunjukkan bahwa proyek dinilai layak karena manfaat ekonomi yang diperoleh melebihi biaya yang dikeluarkan [16].

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{NCF^t}{(1+r)^t} \quad (14)$$

Dimana:

$NCF^t$  = Arus Kas Bersih pada periode t

r = Tingkat Diskonto

t = Periode Waktu (Tahun)

N = Umur Proyek

### 2. Profitability Index (PI)

*Profitability Index* adalah metode yang digunakan untuk membandingkan total arus kas bersih dalam nilai sekarang dengan besarnya investasi awal [16].

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{CC} \quad (15)$$

Dimana:

$NCF_t$  = Arus Kas Masuk

i = Tingkat Diskonto

n = Umur Proyek

CC = Biaya Investasi Awal

Kriteria dalam menentukan apakah suatu usulan investasi dapat diterima atau ditolak adalah sebagai berikut:

- Investasi dinyatakan layak apabila nilai *Profitability Index* (PI) lebih besar dari satu (> 1).

- Investasi dinyatakan tidak layak apabila nilai *Profitability Index* (PI) lebih kecil dari satu (< 1).

### 3. Discounted Payback Period (DPP)

Metode Periode Pengembalian dengan Diskonto (*Discounted Payback Period/DPP*) adalah teknik analisis yang digunakan untuk menilai kelayakan suatu investasi dengan memperhitungkan nilai waktu dari uang [16].

$$DPP = t + \frac{(C - NCF^t \text{ Kumulatif})}{NCF^t} \quad (16)$$

Dimana:

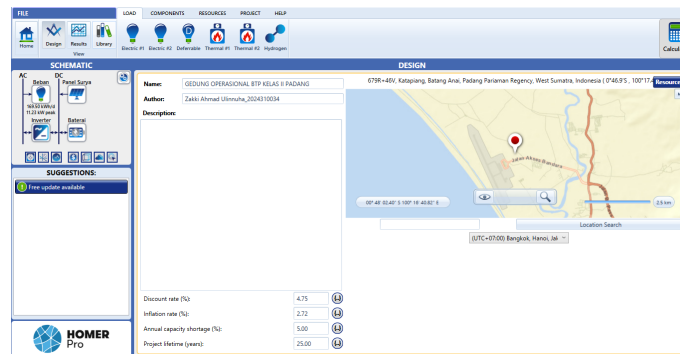
t= Tahun Sebelum Arus Kas Menjadi Positif

C= *Capital Cost* / Biaya Investasi Awal

$NCF^t \text{ Kumulatif}$  = Akumulasi Arus Kas Sebelum Melewati Investasi Awal

$NCF^t$  = Arus Kas Tahun Berikutnya

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources*) merupakan salah satu perangkat lunak yang banyak dimanfaatkan dalam analisis kelayakan energi, khususnya energi baru terbarukan. HOMER merupakan perangkat lunak simulasi yang dikembangkan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) di Amerika Serikat dan digunakan untuk merancang serta mengoptimalkan sistem energi terdistribusi, terutama sistem tenaga hibrida yang menggabungkan sumber energi baru terbarukan seperti matahari, angin, dan biomassa, dengan unit penyimpanan energi serta generator berbahan bakar fosil [17].



Gambar 2 HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources)

## C. Hasil dan Pembahasan

### Hasil Analisis Teknis

Hasil analisis teknis menunjukkan bahwa kebutuhan daya dan energi listrik Gedung Operasional Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Padang dapat dipenuhi melalui perencanaan sistem PLTS *off-grid* dengan kapasitas terpasang yang disesuaikan terhadap profil beban harian. Luas area pemasangan panel surya sebesar 171,337 m<sup>2</sup> menunjukkan bahwa ketersediaan area atap gedung masih mencukupi untuk mendukung pemasangan sistem fotovoltaik tanpa memerlukan perluasan lahan tambahan.

Kapasitas PLTS yang direncanakan sebesar 39,407 kWp diperoleh berdasarkan perhitungan kebutuhan energi harian dan potensi radiasi matahari lokasi penelitian. Nilai energi harian yang dihasilkan sebesar 183,321 kWh/hari menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu mencukupi kebutuhan beban listrik gedung secara mandiri. Penentuan jumlah panel surya, konfigurasi array, serta kapasitas inverter dan baterai dilakukan dengan mempertimbangkan faktor keamanan, efisiensi sistem, serta kontinuitas pasokan listrik selama periode radiasi matahari rendah. Adapun beberapa tahapan analisis sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Analisis Teknis

Parameter Perhitungan	Hasil
Perhitungan PV Area	171,337 m <sup>2</sup>
Perhitungan Daya yang Dapat Dibangkitkan PLTS	39.407,424 Wp
Perhitungan Jumlah Panel Surya	64 Unit
Perhitungan Array Panel Surya	2 seri, 4 paralel, Daya/array= 4.965 Wp

Perhitungan Kapasitas Solar Charge Controller	74,95 Ampere
Perhitungan Kapasitas Baterai	83 unit, 339,968 kWh
Perhitungan Kapasitas Inverter	65,306 kW
Perhitungan Energi yang Dihasilkan PLTS	183,321 kWh/Hari

### Hasil Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui besarnya biaya yang harus dikeluarkan selama umur proyek serta biaya energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS off-grid. Perhitungan ini mempertimbangkan seluruh komponen biaya sejak investasi awal hingga akhir masa operasi sistem, sehingga dapat menggambarkan kelayakan finansial sistem secara menyeluruh.

Nilai Net Present Cost (NPC) sebesar Rp1.606.156.628 mencerminkan total biaya siklus hidup sistem PLTS selama umur proyek 25 tahun. Sementara itu, Cost of Energy (COE) sebesar Rp1.327/kWh menunjukkan biaya produksi listrik per satuan energi yang dihasilkan sistem. Nilai COE tersebut dapat digunakan sebagai indikator untuk membandingkan keekonomian PLTS off-grid terhadap sumber energi listrik konvensional maupun alternatif energi lainnya.

Tabel 4 Hasil Analisis Ekonomi

Parameter Perhitungan	Hasil
Biaya Investasi Awal (Capital Cost)	Rp. 1.006.344.000
Tingkat Diskonto Riil (Real Discount Rate)	1,98%
Biaya Penggantian (Replacement Cost)	Rp.554.994.115
Biaya Operasional & Pemeliharaan	Rp. 196.935.220
Nilai Sisa di Akhir Proyek (Salvage Value)	Rp.152.116.707
Net Present Cost (NPC)	Rp.1.606.156.628
Cost of Energy (COE)	Rp.1.327/kWh

### Hasil Analisis Software HOMER

Penggunaan software HOMER Pro dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil perencanaan sistem PLTS off-grid yang lebih realistis melalui pemodelan berbasis simulasi waktu nyata (*time series*). Berbeda dengan perhitungan manual yang menggunakan nilai rata-rata, HOMER mempertimbangkan variasi beban dan radiasi matahari setiap jam, efisiensi komponen, serta batasan operasional baterai dan inverter. Oleh karena itu, hasil simulasi HOMER digunakan sebagai alat optimasi dan pembandingan terhadap hasil perhitungan manual.

Tabel 5 Hasil Analisis Teknis Software HOMER

Parameter Perhitungan Teknis	Hasil
Kapasitas Panel Surya	45,2 kW
Jumlah Panel Surya	±72 Unit
Energi yang Dihasilkan	189 kWh/Hari
Jumlah Baterai	83 Unit
Kapasitas Baterai	340 kWh
Hari Otonom	48,1
Kapasitas Inverter	80 kW
Jumlah Inverter	8 Unit Inverter 10kW

Tabel 6 Hasil Analisis Ekonomi Software HOMER

Parameter Perhitungan Ekonomi	Hasil
Biaya Investasi Awal (Capital Cost)	1.021.801.157
Net Present Cost (NPC)	1.624.727.000
Cost of Energy (COE)	1.405/kWh

Operating Cost	30.796.070/Tahun
----------------	------------------

### Perbandingan Hasil Analisis Teknis Perhitungan Manual dengan Software HOMER

Kinerja teknis sistem fotovoltaik (PV) *off-grid* yang dirancang dievaluasi menggunakan dua pendekatan, yaitu perhitungan manual dan simulasi menggunakan software HOMER. Perbandingan parameter teknis utama disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Hasil Analisis Teknis

Parameter	Analisis Teknis Perhitungan Manual	Analisis Software HOMER
Panel Surya		
Kapasitas Panel Surya	39,407 kW	45,2 kW
Jumlah Panel Surya	64 Unit	±72 Unit
Energi yang Dihasilkan	188,321 kWh	189 kWh
Baterai		
Kapasitas Baterai	339,968 kWh	340 kWh
Jumlah Baterai	83 Unit	83 Unit
Hari Otonom	48 Jam	48,1 Jam
Inverter		
Kapasitas Inverter	65,306 kW	80 kW
Jumlah Inverter	8 Unit Inverter 10kW	8 Unit Inverter 10kW

Berdasarkan Tabel 7, kapasitas terpasang PV yang diperoleh dari simulasi HOMER (45,2 kW) lebih tinggi dibandingkan dengan perhitungan manual (39,407 kW). Perbedaan ini terutama disebabkan oleh pendekatan pemodelan yang digunakan di HOMER yang mempertimbangkan variasi radiasi matahari setiap jam, kerugian sistem, efisiensi komponen, dan batasan pengoperasian baterai. Akibatnya, jumlah modul PV yang dibutuhkan dalam simulasi HOMER juga lebih banyak.

Kapasitas baterai yang diperoleh dari kedua metode menunjukkan nilai yang relatif sama, yakni sekitar 340 kWh, dengan masa otonomi sekitar 48 jam. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penyimpanan energi telah disesuaikan ukurannya untuk menjaga keandalan pasokan selama periode radiasi matahari rendah. Sedangkan kapasitas inverter yang ditentukan oleh HOMER lebih besar dibandingkan perhitungan manual, hal ini mencerminkan dimasukkannya kondisi beban puncak, efisiensi inverter, dan margin keselamatan dalam proses simulasi.

Secara keseluruhan, hasilnya menunjukkan bahwa desain berbasis HOMER memberikan representasi kinerja sistem yang lebih konservatif dan realistis. Oleh karena itu, konfigurasi sistem PLTS *off-grid* yang dipilih dan direkomendasikan dalam penelitian ini mengacu pada hasil simulasi menggunakan software HOMER, sedangkan perhitungan manual berfungsi sebagai pendekatan awal untuk memperkirakan kapasitas sistem awal.

### Perbandingan Hasil Analisis Ekonomi Perhitungan Manual dengan Software HOMER

Tabel 8 Perbandingan Hasil Analisis Ekonomi

Parameter	Analisis Ekonomi Perhitungan Manual	Analisis Software HOMER
<i>Capital Cost</i>	Rp.1.006.344.000	Rp.1.021.801.157
<i>Net Present Cost</i>	Rp.1.606.156.628	Rp.1.624.727.000
<i>Cost of Energy</i>	Rp.1.327/kWh	Rp.1.405/kWh
<i>Operating Cost</i>	Rp.10.063.440/Tahun	Rp.30.796.070/Tahun

Perbedaan hasil analisis ekonomi antara perhitungan manual dan simulasi HOMER, khususnya pada *Capital Cost*, *Net Present Cost* (NPC), dan *Cost of Energy* (COE), dipengaruhi oleh perbedaan jumlah komponen yang digunakan. Terdapat perbedaan jumlah

panel surya antara kedua perhitungan memengaruhi besarnya investasi awal, biaya energi per kWh, serta biaya seumur hidup sistem PLTS.

Lalu, terdapat perbedaan mendasar dalam perhitungan biaya tahunan (*operating cost*) antara perhitungan manual dan analisis menggunakan HOMER. Pada perhitungan manual, biaya operasional umumnya hanya mencakup biaya operasi dan pemeliharaan rutin (O&M) tahunan. *Operating cost* yang dihasilkan oleh HOMER bersifat lebih komprehensif karena mencakup biaya operasi dan pemeliharaan tahunan dan biaya penggantian komponen yang dirata-ratakan selama umur proyek. Dengan memasukkan seluruh komponen biaya tersebut, nilai *operating cost* dari HOMER mencerminkan kondisi biaya operasional sistem PLTS secara lebih realistis selama masa operasi sistem.

### Perbandingan Hasil Analisis Kelayakan Investasi Perhitungan Manual dengan Software HOMER

Tabel 9 Perbandingan Hasil Analisis Kelayakan Investasi

Parameter	Analisis Kelayakan Investasi Perhitungan Manual	Analisis <i>Software</i> HOMER
NPV	Rp.809.674.075	Rp.388.465.383
PI	1,805	1,380
DPP	12,327 Tahun	16,802 Tahun

Diketahui pada Tabel 9, bahwa *Net Present Value* (NPV) masing-masing perhitungan bernilai positif yang artinya investasi dianggap layak untuk dilakukan. Namun, terdapat perbedaan nilai dikarenakan besaran *Net Cash Flow* (NCF) antara perhitungan manual yang mengasumsikan biaya operasional tahunan dengan nilai 1% dari biaya investasi awal sedangkan perhitungan software HOMER menggunakan penjumlahan biaya O&M, *replacement*, dan biaya operasional lain tiap komponen yang disimulasikan per tahun lalu didiskontokan.

Hasil perhitungan *Profitability Index* (PI) pada masing-masing metode menunjukkan nilai lebih besar dari satu ( $>1$ ), yang mengindikasikan bahwa kedua alternatif perhitungan tersebut layak untuk diterapkan dari sisi kelayakan investasi. Sedangkan hasil perhitungan *Discounted Payback Period* (DPP) menunjukkan selisih nilai antara kedua metode perhitungan, yaitu 12,327 tahun dan 16,802 tahun, dipengaruhi oleh perbedaan nilai *operating cost*, di mana semakin besar biaya operasi yang diasumsikan, semakin lama periode pengembalian investasi yang dihasilkan. Meskipun demikian, kedua metode menunjukkan bahwa periode pengembalian investasi masih berada di bawah umur proyek yang ditetapkan, yaitu 25 tahun, sehingga dinyatakan layak secara ekonomi.

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil analisis teknis perhitungan manual menghasilkan kapasitas PLTS *off-grid* sebesar 39,407 kW dengan 64 unit panel surya, energi harian sekitar 188,321 kWh, kapasitas baterai 339,968 kWh (83 unit), waktu otonomi 48 jam, dan kapasitas inverter 80 kW. Sementara itu, simulasi menggunakan *software* HOMER merekomendasikan kapasitas panel surya yang lebih besar, yaitu 45,2 kW dengan  $\pm 72$  unit panel dan energi sekitar 189 kWh/hari, namun menunjukkan kapasitas baterai dan inverter yang relatif sama. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa HOMER menggunakan pendekatan yang lebih komprehensif dan konservatif, sedangkan perhitungan manual memberikan estimasi awal yang cukup representatif. Oleh karena itu, konfigurasi sistem PLTS *off-grid* yang dipilih dalam penelitian ini mengacu pada hasil simulasi software HOMER.

Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa perhitungan manual menghasilkan nilai NPC sebesar Rp1.606.156.628 dengan COE Rp1.327/kWh, sedangkan simulasi HOMER menghasilkan NPC sebesar Rp1.624.727.000 dengan COE Rp1.405/kWh. Perbedaan ini dipengaruhi oleh asumsi jumlah komponen dan metode perhitungan biaya siklus hidup sistem yang lebih detail pada HOMER.

Analisis kelayakan investasi menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan NPV positif,  $PI > 1$ , serta DPP di bawah umur proyek 25 tahun, sehingga sistem PLTS *off-grid* pada Gedung Operasional BTP Kelas II Padang dinyatakan layak secara teknis dan ekonomis.

#### Daftar Pustaka

- [1] D. T. Laksono *et al.*, “Simulasi dan Perancangan PLTS Offgrid 3 kW Menggunakan Software PVsyst,” 2025.
- [2] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “ANALISIS EKONOMI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO,” 2019.
- [3] PLN, “Diseminasi RUPTL 2021-2030,” 2021. Accessed: Apr. 30, 2025. [Online]. Available: [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf)
- [4] V. R. T. Manullang, A. Nugroho, and E. W. Sinuraya, “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER DI DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS DIPONEGORO,” 2020. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [5] Y. S. Handayani, M. Hendy Jaza, A. Kurniawan, and B. Istijono, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat OFF-GRID System Pada Gedung LAB Terpadu II Fakultas Teknik Universitas Bengkulu,” *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, vol. 14, no. 1, pp. 102–111, May 2024, doi: 10.33369/jamplifier.v14i1.34626.
- [6] Suwarno *et al.*, “Renewable energy conversion systems for global emission neutralization,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 39, no. 1, p. 79, Jul. 2025, doi: 10.11591/ijeecs.v39.i1.pp79-88.
- [7] R. Wahyu, Z. Tharo, and Rahmiani, “JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering) Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Pada Gedung Serbaguna Pondok Pesantren Sejahtera,” 2024, doi: 10.31289/jesce.v6i2.12618.
- [8] A. Y. Fauzsan, W. K. Wardani, N. Soelami, K. Friansa, G. B. Persada, and S. Wira Buana, “Journal Of Community Development and Disaster Management Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid Pada Gedung Perkuliahan,” vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.37680/jcd.v7i1.6965.
- [9] V. R. Kossi, “PERENCANAAN PLTS TERPUSAT (OFF-GRID) DI DUSUN TIKALONG KABUPATEN MEMPAAWAH,” 2018.
- [10] Prasetio Edo, K. Dhuha, and R. Fadli, “Analysis Of Rooftop Photovoltaic (PV) System Effectiveness for Building Electricity Bill Reduction,” vol. 5, pp. 51–59, 2025, doi: 10.57152/ijeere.v5i1.
- [11] R. Foster, M. Ghassemi, and A. Cota, “SOLAR ENERGY Renewable Energy and the Environment,” 2010.
- [12] M. Wibowo, A. Septian, and O. Abdul Rojak, “Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid pada Kios Coffee,” *Jurnal Impresi Indonesia*, 2025.
- [13] M. N. Huda and I. H. Kurniawan, “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (Tenaga Angin Dan Tenaga Surya) Di Daerah Widuri Kabupaten Pemalang Menggunakan Perangkat Lunak Homer Hybrid Power Generation System Design (Wind Power And Solar Power) In The Widuri Area Pemalang District Using Homer Software,” 2023.
- [14] L. Ika Rahmawati, G. K. Gandhiadi, and N. M. Asih, “Optimalisasi Harga Penjualan Perumahan dengan Metode Goal Programming (Studi Kasus: Golden Gindi Residence Kota Bima Nusa Tenggara Barat),” vol. 3, no. 2, 2013.
- [15] F. Nurul Husna and D. B. Santoso, “Simulasi PLTS Off-Grid Rumah Tangga di Karawang Menggunakan Homer Pro,” 2025.
- [16] S. Widhiastuti *et al.*, “MODEL KEPUTUSAN INVESTASI,” 2024.
- [17] O. Mestre *et al.*, “HOMER : a homogenization software-methods and applications,” 2013.