



# Techno-Economic Assessment of a Grid-Connected Hybrid Solar PV System for Mosque Electrification Using HOMER: A Case Study in Aceh Tamiang

Sumawijaya Suyatno<sup>1\*</sup>, Muhammad Syahril<sup>2</sup>, Faris Ahmad Mizanus Sabri<sup>3</sup>, Syahiir Kamil<sup>4</sup>, Fazri Amir<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Technology, Universitas Samudra, Langsa 24416, Indonesia

## INFORMASI ARTIKEL

### Riwayat Artikel:

Dikirim 20 Januari 2026  
Direvisi dari 06 April 2026  
Diterima 06 Juni 2026  
Dipublikasi 30 Juni 2026

### Keyword's:

Solar PV,  
Hybrid Power System,  
HOMER Pro Simulation,  
Renewable Energy Integration, Mosque  
Electrical Load

### DOI:

doi.org/10.55377/jurutera.v13i01.13952.

## ABSTRACT

*The demand for electrical energy in public facilities such as mosques continues to increase along with the growing use of electrical equipment, while dependence on conventional grid electricity remains high. This study aims to design and analyze the technical performance and economic feasibility of a hybrid photovoltaic (PV) power system for a mosque in Aceh Tamiang Regency using HOMER Pro software. The research method includes load data collection, solar radiation data analysis, system configuration design, and optimization-based simulation. The simulation results indicate that the hybrid PV system, consisting of 0.5 kW solar panels, 2 kWh lead-acid batteries, and a 1.2 kW inverter, is capable of producing 992 kWh/year with a renewable energy contribution of 64.4%. The system achieves a Net Present Cost (NPC) of Rp20,893,360 and a Levelized Cost of Energy (LCOE) of Rp2,039.62/kWh. In addition, the system is able to supply the electrical load without unmet energy demand (unmet load = 0). These results demonstrate that the proposed hybrid PV system is technically and economically feasible for application in religious facilities and supports sustainable renewable energy utilization.*

## ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik pada fasilitas umum seperti masjid memerlukan pasokan yang andal dan semakin berkelanjutan. Penelitian ini merancang dan mengevaluasi sistem hybrid PV-baterai yang terhubung dengan jaringan PLN pada sebuah masjid di Kabupaten Aceh Tamiang menggunakan HOMER Pro. Konfigurasi sistem terdiri atas PV 0,5 kW, dua unit baterai lead-acid masing-masing 1 kWh, converter 1,2 kW, dan jaringan PLN dengan strategi dispatch Cycle Charging. Profil beban diskalakan menjadi rata-rata 1,40 kWh/hari dengan daya puncak 0,20 kW, sedangkan rata-rata GHI tahunan sebesar 4,20 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Hasil simulasi menunjukkan produksi PV 651 kWh/tahun, pembelian energi dari grid 341 kWh/tahun, renewable fraction 64,4%, AC Primary Load sekitar 511 kWh/tahun, dan Grid Sales 449 kWh/tahun. Baterai memiliki kapasitas nominal 2,0 kWh, kapasitas yang dapat digunakan 1,2 kWh, dan autonomy sekitar 20,6 jam. Nilai NPC sebesar Rp20.893.360 dan LCOE sebesar Rp2.039,62/kWh. Karena harga pembelian listrik grid dalam model adalah Rp1.000/kWh dan harga jual kembali energi ke grid ditetapkan Rp0/kWh, sistem belum kompetitif berdasarkan harga energi semata, tetapi memberikan manfaat teknis berupa peningkatan pemanfaatan energi terbarukan dan keandalan suplai.

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik pada fasilitas umum, termasuk masjid, terus meningkat seiring bertambahnya penggunaan sistem pencahayaan, perangkat audio, pompa air, dan peralatan pendukung kegiatan ibadah. Ketergantungan pada jaringan listrik konvensional mendorong perlunya alternatif penyediaan energi yang lebih berkelanjutan dan andal [1].

Indonesia memiliki potensi energi surya yang tinggi dan PLTS berbasis fotovoltaik berkembang sebagai teknologi modular dengan emisi operasional yang rendah [2]. Namun, karakter energi surya yang intermiten menyebabkan sistem PLTS tanpa dukungan jaringan atau penyimpanan memerlukan strategi pengelolaan energi yang tepat. Kajian pada bangunan publik dan fasilitas ibadah di Indonesia menunjukkan bahwa profil beban, tarif listrik, konfigurasi sistem, dan kebijakan ekspor energi sangat memengaruhi hasil tekno-ekonomi [12], [13].

Penerapan sistem PLTS hibrid yang mengombinasikan PV, baterai, dan jaringan PLN dapat meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus mempertahankan keandalan suplai. Studi pada sistem grid-connected di lingkungan perguruan tinggi dan sistem hibrid menunjukkan bahwa strategi optimasi berbasis HOMER dapat digunakan untuk membandingkan konfigurasi berdasarkan biaya dan kontribusi energi terbarukan [14], [15].

Perancangan PLTS hibrid memerlukan analisis teknis dan ekonomi yang konsisten antara data beban, sumber daya surya, kapasitas komponen, strategi dispatch, dan parameter biaya. HOMER Pro banyak digunakan untuk simulasi, optimasi, dan evaluasi sistem energi terdistribusi, termasuk analisis biaya energi dan Net Present Cost (NPC) [4], [16].

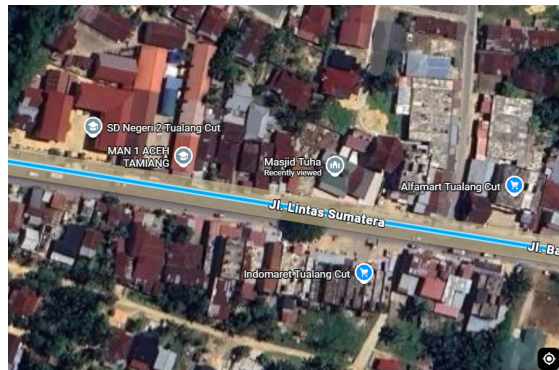
Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis kinerja teknis serta aspek tekno-ekonomi sistem PLTS hibrid pada Masjid Tuha di Kabupaten Aceh Tamiang menggunakan HOMER Pro. Fokus analisis meliputi profil beban, sumber daya surya, konfigurasi PV-baterai-grid, keandalan suplai, aliran energi ke dan dari jaringan, serta indikator NPC dan LCOE.

## 2. Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah pemodelan dan simulasi tekno-ekonomi (*techno-economic simulation*). Keseluruhan alur simulasi numerik ini mengadopsi prinsip kerja *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. Tahap *pre-processing* mencakup pengumpulan data beban kelistrikan masjid serta pengunduhan data potensi radiasi matahari (GHI) dari basis data *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). Tahap *processing* merupakan eksekusi simulasi dan optimasi iteratif menggunakan perangkat lunak HOMER Pro dengan strategi *dispatch Cycle Charging* (CC). Tahap *post-processing* mencakup analisis data kuantitatif kinerja teknis (produksi energi PV, *renewable fraction*, *unmet load*) serta indikator ekonomi (*Net Present Cost* / NPC dan *Levelized Cost of Energy* / LCOE).

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Agustus–Oktober 2025 dengan mengambil studi kasus di Masjid Tuha, Kabupaten Aceh Tamiang, Provinsi Aceh. Pemilihan lokasi didasarkan pada kebutuhan pasokan energi berkelanjutan untuk fasilitas umum ibadah serta potensi keterdamparan energi surya di daerah tersebut. Koordinat geografis lokasi yang dimasukkan ke dalam pemodelan HOMER Pro berada pada kisaran 4,279° LU dan 97,897° BT. Data sumber daya surya dan variabel temperatur lingkungan diperoleh secara otomatis melalui integrasi basis data NREL dan NASA POWER pada perangkat lunak simulasi.



.Gambar 1. Lokasi Penelitian di Masjid Tuha Kabupaten Aceh Tamiang

## 2.2 Tahapan Penelitian

Secara rinci, alur tahapan pelaksanaan penelitian ini diilustrasikan pada **Gambar 2** dan dijelaskan sebagai berikut:

1. **Studi Literatur:** Melakukan kajian komprehensif terhadap penelitian terdahulu mengenai pemodelan sistem energi terbarukan terdistribusi dan penerapan algoritma HOMER Pro untuk menetapkan kerangka teori dan batasan studi.
2. **Pengumpulan Data:** Menginventarisasi peralatan listrik masjid untuk membangun profil beban harian (rerata *baseline* 1,62 kWh/hari dan *scaled* 1,40 kWh/hari dengan interval 60 menit), serta mengunduh data potensi radiasi matahari (GHI) dari basis data NREL.
3. **Perancangan Sistem PLTS:** Merancang konfigurasi arsitektur sistem PLTS *hybrid* yang menginterkoneksi komponen PV (0,5 kW), dua unit baterai *lead-acid* (masing-masing 1 kWh), *converter* (1,2 kW), dan jaringan PLN pada *bus bar* AC dan DC.
4. **Simulasi dan Analisis Kinerja:** Mengeksekusi komputasi optimasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro berbasis strategi *dispatch Cycle Charging* (CC) untuk mengukur produksi energi PV, aliran listrik *grid*, *renewable fraction*, *unmet load*, dan daya otonomi baterai.
5. **Evaluasi dan Penyusunan Rekomendasi:** Menganalisis parameter kelayakan tekno-ekonomi seperti *Net Present Cost* (NPC) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) untuk menyusun rekomendasi konfigurasi sistem yang paling optimal dan andal.



**Gambar 2.** Tahapan Penelitian

## 2.3. Bahan dan Alat

Panel surya yang digunakan dalam simulasi adalah Generic Flat Plate PV dengan kapasitas 0,5 kW. Parameter HOMER Pro meliputi biaya modal Rp4.000.000, biaya penggantian Rp4.000.000, biaya O&M Rp0/tahun, umur teknis 25 tahun, dan derating factor 85%. PV ditempatkan pada DC bus dan terhubung ke sistem melalui converter.

Converter/inverter berfungsi mengubah energi DC dari PV dan baterai menjadi AC untuk beban serta mengatur aliran daya dengan jaringan. Kapasitas converter yang dimodelkan adalah 1,2 kW dengan biaya modal Rp3.625.000, biaya penggantian Rp3.625.000, umur 15 tahun, efisiensi inverter 95%, dan efisiensi rectifier 95%.

Sistem penyimpanan terdiri atas dua unit baterai lead-acid 12 V dengan kapasitas nominal 1 kWh per unit yang dikonfigurasi sebagai dua string paralel, sehingga kapasitas nominal total 2,0 kWh. Parameter model meliputi minimum state of charge 40%, efisiensi round-trip 80%, dan umur operasi 5 tahun. Dengan batas minimum state of charge 40%, kapasitas energi yang dapat digunakan adalah sekitar 1,2 kWh.

HOMER Pro digunakan untuk simulasi, optimasi, dan analisis tekno-ekonomi sistem hybrid. Perangkat lunak ini mengevaluasi keseimbangan energi, keandalan suplai, konfigurasi komponen, NPC, LCOE, dan indikator renewable fraction (**Tabel 1**). Penggunaan HOMER dalam studi bangunan publik dan sistem energi hybrid juga telah dilaporkan pada penelitian terdahulu [12], [14], [15], [16].

**Tabel 1.** Parameter utama simulasi HOMER Pro

| Parameter      | Nilai input HOMER Pro                                                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Profil beban   | Baseline 1,62 kWh/hari; scaled 1,40 kWh/hari; peak 0,20 kW; time step 60 min                                |
| Solar resource | NREL database; GHI rata-rata 4,20 kWh/m <sup>2</sup> /hari                                                  |
| PV             | 0,50 kW; CAPEX Rp4.000.000; replacement Rp4.000.000; O&M Rp0/tahun; lifetime 25 tahun; derating 85%; DC bus |
| Battery        | 2 × 1 kWh lead-acid; 12 V; minimum SOC 40%; round-trip efficiency 80%; lifetime 5 tahun                     |
| Converter      | 1,20 kW; CAPEX Rp3.625.000; replacement Rp3.625.000; lifetime 15 tahun; inverter/rectifier efficiency 95%   |
| Grid           | Grid purchase Rp1.000/kWh; grid sellback Rp0/kWh; simple rates                                              |
| Dispatch       | Cycle Charging (CC)                                                                                         |

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan **Tabel 1**, total kebutuhan energi hasil penjumlahan peralatan adalah 1.384 Wh/hari atau 1,384 kWh/hari. Nilai ini berasal dari lima lampu LED, satu lampu LED tambahan, satu pompa air, dan satu sistem mikrofon/sound. Profil beban kemudian dimasukkan ke HOMER Pro dan diskalakan sehingga menghasilkan rata-rata tahunan 1,40 kWh/hari, setara dengan sekitar 511 kWh/tahun pada profil simulasi.

**Tabel 2.** Daya Beban

| No | Beban          | Daya (Watt) | Durasi (Jam) | Jumlah (Unit) | Total Daya (Wh/hari)       |
|----|----------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|
| 1  | Lampu LED      | 9           | 12           | 5             | 540                        |
| 2  | Lampu LED      | 12          | 12           | 1             | 144                        |
| 3  | Pompa Air      | 125         | 4            | 1             | 500                        |
| 4  | Mikrofon/Sound | 50          | 4            | 1             | 200                        |
|    | <b>Total</b>   | —           | —            | —             | <b>1.384 Wh (1,38 kWh)</b> |

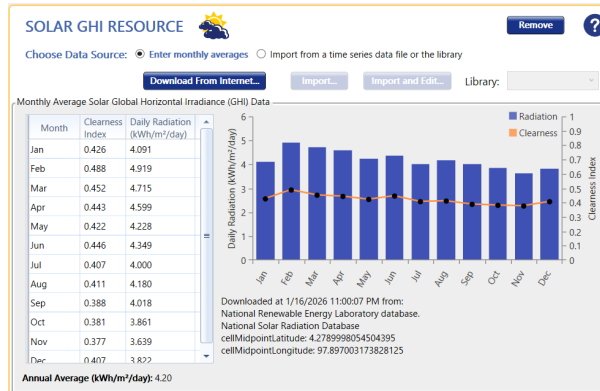
Output HOMER Pro menunjukkan bahwa beban listrik memiliki rata-rata terskalakan 1,40 kWh/hari dengan daya puncak 0,20 kW. Nilai baseline sebelum scaling tercatat 1,62 kWh/hari. Perbedaan antara nilai tabel 1,384 kWh/hari dan profil simulasi 1,40 kWh/hari merupakan hasil scaling profil beban di HOMER Pro.

Konfigurasi sistem terdiri atas PV 0,5 kW, dua unit baterai lead-acid masing-masing 1 kWh (total 2,0 kWh), converter 1,2 kW, dan jaringan PLN. Strategi dispatch yang digunakan adalah Cycle Charging (CC). Konfigurasi ini memungkinkan PV melayani beban secara langsung atau mengisi baterai, sedangkan jaringan PLN menyediakan energi saat sumber terbarukan dan penyimpanan tidak mencukupi.

*Renewable fraction* hasil optimasi sebesar 64,4%. Nilai ini menunjukkan proporsi kebutuhan beban yang dipenuhi oleh energi terbarukan, bukan persentase PV terhadap seluruh energi yang dibangkitkan. Dengan demikian, indikator ini harus dibedakan dari porsi produksi PV terhadap total pembangkitan.

**Gambar 3** menampilkan data Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) bulanan yang digunakan dalam HOMER Pro dari basis data NREL. Radiasi harian berkisar antara 3,639 hingga 4,919 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dengan rata-rata tahunan 4,20 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Nilai clearness index bulanan berada pada kisaran 0,377–0,488. Variasi tersebut menunjukkan perubahan kondisi atmosfer sepanjang tahun dan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi estimasi produksi energi PV.

Hasil sumber daya surya menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki potensi energi matahari yang memadai untuk sistem PV skala kecil. Namun, kecukupan sumber daya harus dianalisis bersama profil beban dan konfigurasi penyimpanan karena produksi PV bersifat intermiten.



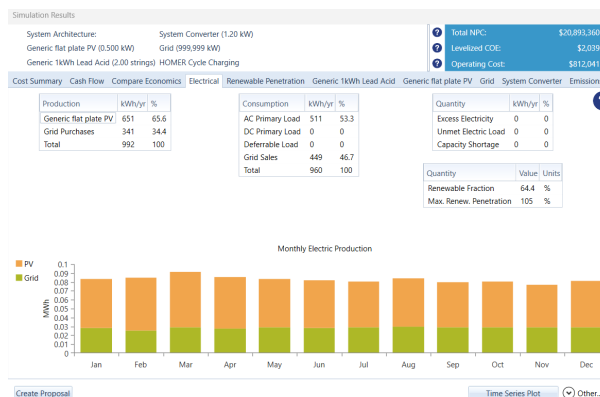
**Gambar 3.** Diagram data Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) bulanan

Data GHI bulanan pada **Gambar 3** menunjukkan nilai tertinggi pada Februari sebesar 4,919 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan terendah pada November sebesar 3,639 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Rata-rata tahunan sebesar 4,20 kWh/m<sup>2</sup>/hari menjadi dasar input sumber daya surya pada simulasi HOMER Pro dan berpengaruh terhadap estimasi produksi PV 651 kWh/tahun.



**Gambar 4.** Diagram menunjukkan data sumber daya suhu (Temperature Resource)

Hasil optimasi HOMER Pro menunjukkan produksi energi PV sebesar 651 kWh/tahun. Energi yang dibeli dari jaringan PLN sebesar 341 kWh/tahun. Dengan demikian, 992 kWh/tahun merupakan jumlah energi PV yang dibangkitkan ditambah energi grid yang dibeli, dan tidak boleh disebut sebagai energi yang seluruhnya dikonsumsi oleh beban.



**Gambar 5.** Produksi energi listrik bulanan sistem PLTS hybrid masjid berdasarkan hasil simulasi HOMER Pro

AC Primary Load tercatat sekitar 511 kWh/tahun, sedangkan energi yang dijual ke jaringan (*Grid Sales*) mencapai 449 kWh/tahun. Grid Sales berbeda dari excess electricity; nilai tersebut merupakan energi yang diekspor

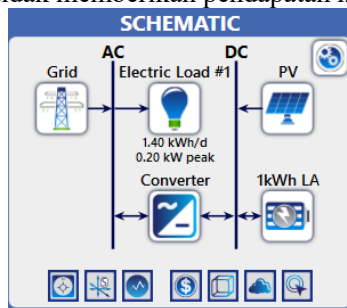
ke jaringan sesuai konfigurasi grid. Karena harga jual kembali (*grid sellback price*) pada model ditetapkan Rp0/kWh, energi yang dijual ke grid tidak memberikan pendapatan dalam simulasi. Perbedaan antara 992 kWh/tahun energi PV+grid dan 511 kWh/tahun beban serta 449 kWh/tahun ekspor adalah sekitar 32 kWh/tahun dan merepresentasikan rugi-rugi serta aliran energi lain dalam sistem.

*Renewable fraction* sebesar 64,4% harus dibedakan dari kontribusi PV terhadap total energi yang dibangkitkan. Porsi PV terhadap jumlah PV generation dan grid purchase adalah  $651/(651+341) = 65,6\%$ , sedangkan *renewable fraction* 64,4% menggambarkan porsi kebutuhan beban yang dilayani oleh energi terbarukan. Perbedaan basis perhitungan ini menjelaskan mengapa kedua indikator tidak identik. Produksi PV bulanan berfluktuasi mengikuti variasi radiasi matahari. Jaringan PLN berfungsi sebagai sumber tambahan sehingga kontinuitas beban tetap terjaga ketika produksi PV tidak mencukupi.

Secara teknis, konfigurasi yang dihasilkan HOMER Pro mampu memenuhi beban dengan unmet load = 0 dan autonomy sekitar 20,6 jam. Dari sisi tekno-ekonomi, hasilnya perlu dibaca bersama tarif listrik dan asumsi grid sellback karena LCOE sistem lebih tinggi daripada harga listrik grid yang digunakan dalam model.

Energi PV sebesar 651 kWh/tahun dan pembelian grid sebesar 341 kWh/tahun memberikan pasokan energi yang cukup untuk melayani AC *Primary Load* sebesar 511 kWh/tahun. Sistem juga mengekspor 449 kWh/tahun ke grid. Dengan demikian, parameter suplai, konsumsi, dan ekspor harus dibahas sebagai indikator terpisah.

Hasil optimasi menunjukkan *unmet electric load* = 0 kWh/tahun. Indikator ini menunjukkan bahwa model mampu memenuhi beban sesuai batas keandalan yang ditetapkan. Grid Sales sebesar 449 kWh/tahun tidak boleh disamakan dengan excess electricity dan tidak memberikan pendapatan karena *grid sellback price* dimodelkan nol.



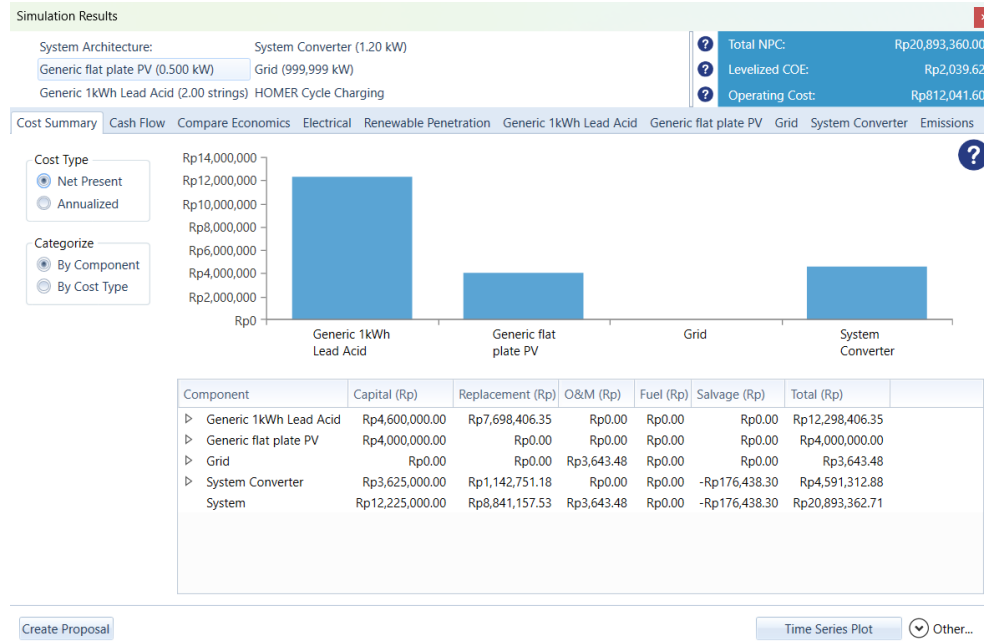
Gambar 6. Diagram skematik sistem energi terbarukan.

Gambar 6 menunjukkan konfigurasi sistem PLTS hybrid yang terdiri dari PV 0,5 kW, dua unit baterai lead-acid masing-masing 1 kWh, converter 1,2 kW, dan jaringan PLN. Beban rata-rata yang digunakan dalam HOMER adalah 1,40 kWh/hari dengan daya puncak 0,20 kW. Energi PV dapat melayani beban secara langsung atau disimpan pada baterai, sedangkan PLN menjadi sumber tambahan.



Gambar 7. Produksi Listrik Bulanan oleh Sistem PLTS.

PV 0,5 kW menghasilkan 651 kWh/tahun atau sekitar 1,78 kWh/hari. Nilai ini lebih besar daripada rata-rata beban 1,40 kWh/hari karena sebagian energi PV digunakan untuk pengisian baterai atau diekspor ke jaringan. Analisis ini menunjukkan bahwa ukuran PV tidak hanya dipengaruhi oleh kebutuhan beban rata-rata, tetapi juga oleh pola waktu beban dan strategi *dispatch*.



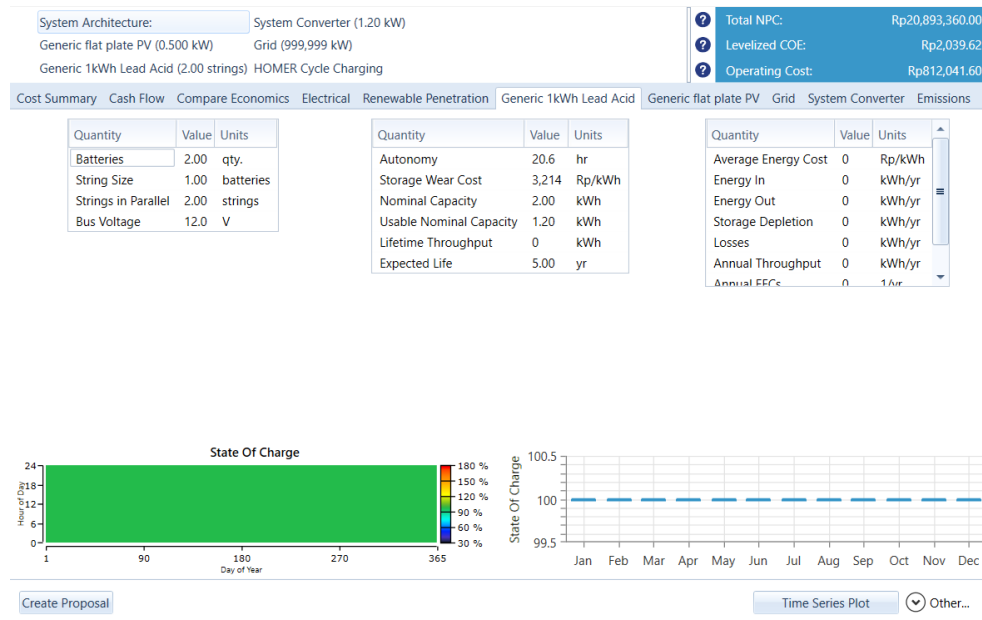
**Gambar 8.** Grafik distribusi biaya pada masing-masing komponen.

Hasil analisis ekonomi menunjukkan NPC sebesar Rp20.893.360 dan biaya operasi tahunan sekitar Rp812.042. LCOE sebesar Rp2.039,62/kWh. Harga pembelian listrik grid pada model adalah Rp1.000/kWh, sedangkan harga jual kembali ke grid ditetapkan Rp0/kWh. Karena LCOE lebih tinggi daripada harga listrik grid yang diasumsikan, sistem tidak dapat disebut kompetitif secara biaya energi murni. Nilai ekonominya lebih tepat diposisikan pada peningkatan porsi energi terbarukan, keandalan suplai, dan potensi manfaat lingkungan. Temuan ini sejalan dengan studi PLTS masjid di Indonesia yang menunjukkan bahwa kelayakan ekonomi sangat sensitif terhadap tarif dan kebijakan ekspor energi [13].

Komponen biaya awal terdiri dari PV sekitar Rp4.000.000, baterai dua unit sekitar Rp4.600.000, dan converter sekitar Rp3.625.000, sehingga total CAPEX sekitar Rp12,2 juta, sesuai output HOMER Pro. Baterai merupakan salah satu komponen biaya utama karena memiliki penggantian berkala dengan umur model 5 tahun. Oleh karena itu, pengaruh umur dan biaya penggantian baterai perlu diperhatikan dalam evaluasi ekonomi jangka panjang.

Sistem penyimpanan terdiri dari dua unit baterai lead-acid 1 kWh pada dua string paralel dengan tegangan nominal 12 V. Total kapasitas nominal adalah 2,0 kWh. Baterai digunakan untuk menyimpan sebagian energi PV dan menjaga kontinuitas suplai ketika produksi PV menurun.

Batas minimum state of charge sebesar 40% menghasilkan kapasitas energi yang dapat digunakan sekitar 1,2 kWh dari kapasitas nominal 2,0 kWh. HOMER Pro juga menunjukkan autonomy sekitar 20,6 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa baterai memberikan cadangan energi yang berarti terhadap beban skala kecil, walaupun ketahanannya tetap bergantung pada pola beban dan siklus operasi.



**Gambar 9.** Grafik data penyimpanan baterai lead-acid

Model baterai menggunakan efisiensi round-trip sebesar 80% dan umur operasi 5 tahun. Oleh karena itu, baterai tidak hanya dinilai dari kapasitas nominal, tetapi juga dari kapasitas yang dapat digunakan, efisiensi penyimpanan, dan kebutuhan penggantian selama umur proyek. Parameter tersebut dimasukkan secara eksplisit dalam simulasi agar hasil dapat direplikasi. Secara keseluruhan, baterai berfungsi sebagai elemen penyangga energi yang membantu mengurangi ketergantungan sesaat pada grid dan meningkatkan fleksibilitas operasi sistem. Namun, karena harga jual energi ke grid dimodelkan nol, penyimpanan sebaiknya tidak dinilai sebagai sumber pendapatan dari ekspor energi.



**Gambar 10.** Grafik data penyimpanan rasio keluaran energi terbarukan terhadap beban listrik

**Gambar 10** memperlihatkan rasio keluaran energi terbarukan terhadap beban dan pembangkitan secara temporal. Renewable fraction tahunan tetap 64,4%, sedangkan indikator rasio produksi PV terhadap total pembangkitan mencapai sekitar 65,6%. Kedua indikator memiliki basis perhitungan yang berbeda sehingga tidak boleh dipertukarkan.

Rasio instantaneous renewable output divided by load berfluktuasi mengikuti perubahan produksi PV dan beban. Pada periode produksi PV tinggi, rasio dapat melampaui satu, sedangkan pada malam hari atau periode radiasi rendah kontribusi PV turun dan grid/baterai mengambil peran lebih besar. Rasio instantaneous renewable output divided by generation menunjukkan dominasi PV pada saat energi terbarukan menjadi sumber pembangkitan utama. Indikator ini bersifat temporal dan bukan pengganti renewable fraction tahunan.

Indikator one minus instantaneous nonrenewable divided by load menunjukkan perubahan kontribusi sumber non-terbarukan terhadap beban dari waktu ke waktu. Interpretasi indikator harus mengikuti konteks waktu dan tidak dapat langsung dianggap sebagai persentase energi tahunan. Dengan demikian, surplus energi pada saat tertentu dapat muncul dan tercermin melalui ekspor 449 kWh/tahun ke jaringan. Namun, karena grid sellback price dimodelkan Rp0/kWh, ekspor tersebut tidak menambah pendapatan ekonomi. Optimalisasi sistem sebaiknya diarahkan pada keseimbangan antara porsi energi terbarukan, kapasitas penyimpanan, dan pemanfaatan langsung energi PV.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Sistem PLTS hybrid menghasilkan renewable fraction sebesar 64,4%. Dengan konfigurasi PV 0,5 kW, dua baterai lead-acid masing-masing 1 kWh, converter 1,2 kW, dan jaringan PLN, sistem dapat memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber utama sekaligus mempertahankan keandalan suplai; (2) Hasil simulasi menunjukkan produksi PV sebesar 651 kWh/tahun dan pembelian energi dari grid sebesar 341 kWh/tahun. AC Primary Load mencapai sekitar 511 kWh/tahun, sedangkan Grid Sales sebesar 449 kWh/tahun. Nilai 992 kWh/tahun merupakan penjumlahan PV generation dan grid purchase, bukan konsumsi beban; (3) Sistem mencapai unmet electric load = 0 kWh/tahun dengan daya puncak beban 0,20 kW dan autonomy sekitar 20,6 jam. Hal ini menunjukkan keandalan suplai sesuai batas model yang digunakan; (4) NPC sistem sebesar Rp20.893.360 dan LCOE sebesar Rp2.039,62/kWh. Dengan harga pembelian grid Rp1.000/kWh dan harga jual kembali Rp0/kWh pada model, sistem belum kompetitif secara biaya energi murni; manfaat utamanya berada pada peningkatan renewable fraction, keandalan, dan pemanfaatan energi surya. (5) Baterai memiliki kapasitas nominal total 2,0 kWh dan kapasitas yang dapat digunakan sekitar 1,2 kWh dengan minimum state of charge 40%, efisiensi round-trip 80%, serta umur model 5 tahun. Parameter tersebut berperan dalam menjaga kontinuitas suplai dan memengaruhi biaya siklus hidup sistem. Hasil ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan skenario sensitivitas pada penelitian lanjutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2022. Paris: IEA Publications, 2022.
2. Kementerian ESDM, Potensi dan Peta Jalan Energi Surya Indonesia. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE, 2021.
3. A. Chauhan and R. Saini, "A review on integrated renewable energy system based power generation for stand-alone applications," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 7, pp. 5342–5354, 2012.
4. HOMER Energy LLC, HOMER Pro User Manual. Boulder, CO, USA, 2023.
5. A. Luque and S. Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2nd ed. Chichester: Wiley, 2011.
6. T. Markvart and L. Castaner, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Oxford: Elsevier, 2012.
7. M. R. Patel, Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
8. D. Linden and T. Reddy, Handbook of Batteries, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
9. HOMER Energy, HOMER Pro User Guide, 2023.
10. S. Bahramara, M. P. Moghaddam, and M. R. Haghifam, "Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 62, pp. 609–620, 2016.
11. National Renewable Energy Laboratory (NREL), National Solar Radiation Database (NSRDB), U.S. Department of Energy, Golden, CO, USA.
12. P. Anugrah and R. W. Pratama, "Techno-Economic Simulation of On-grid PV System at a New Grand Mosque in Bukittinggi using HOMER," Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol. 11, no. 1, pp. 8–13, 2022, doi: 10.25077/jnte.v11n1.985.2022.

- 
13. Suparwoko and F. A. Qamar, “Techno-economic analysis of rooftop solar power plant implementation and policy on mosques: an Indonesian case study,” *Scientific Reports*, vol. 12, article 4823, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-08968-6.
  14. A. S. M. M. T. M. Indra Mahlia et al., “Techno-Economic Analysis and Optimisation of Campus Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System Using HOMER Grid,” *Sustainability*, vol. 14, no. 13, 7735, 2022, doi: 10.3390/su14137735.
  15. L. Subekti, C. F. Nugraha, M. Arrofiq, A. A. Muthahhari, B. E. Prasetyo, and Q. A’yun, “A Techno-Economic Analysis for Raja Ampat Off-Grid System,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 42–50, 2024, doi: 10.25077/jnte.v13n1.1180.2024.
  16. S. Yadav, P. Kumar, and A. Kumar, “Techno-economic assessment of hybrid renewable energy system with multi energy storage system using HOMER,” *Energy*, vol. 297, 131231, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.131231.