

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON GRID PADA MASJID AL HIKMAH CUNDA UNTUK MENGOPTIMALKAN PEMANFAATAN ENERGI SURYA

Kausar Khawarizmi¹, Teuku Hasannuddin², Fauzan³, Zulfikar⁴, Yassir⁵, Teuku Zulfadli⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: ksrkhrzm@gmail.com¹, teukuhasannuddin@pnl.ac.id², fauzan@pnl.ac.id³, zulfikar@pnl.ac.id⁴, yassir@pnl.ac.id⁵, teukuzulfadli@pnl.ac.id⁶

Kausar Khawarizmi

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: ksrkhrzm@gmail.com

Abstrak – Kebutuhan energi listrik pada fasilitas peribadatan, khususnya masjid, terus mengalami peningkatan seiring dengan intensitas penggunaan berbagai peralatan listrik dalam kegiatan operasional sehari-hari. Tujuan penelitian yaitu merencanakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan konfigurasi *On-Grid* yang akan dipasang di *rooftop* Masjid Al-Hikmah Cunda, Kota Lhokseumawe. Perancangan tersebut dilakukan sebagai upaya memanfaatkan potensi radiasi matahari di wilayah setempat sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik dari jaringan PLN. Berdasarkan hasil survei dan pendataan beban listrik, kebutuhan energi masjid pada periode siang hari mencapai 34.235 Wh atau sekitar 34,235 kWh per hari, dengan rata-rata waktu pemakaian peralatan 0,657 jam per hari. Sementara itu, total daya listrik yang terpasang pada masjid mencapai 5.705 W. Berdasarkan kondisi tersebut, sistem PLTS dirancang menggunakan 15 unit modul fotovoltaik GCL-P/72-400 dengan kapasitas masing-masing 400 Wp, sehingga diperoleh kapasitas total sebesar 6,0 kWp. Sistem tersebut kemudian dihubungkan dengan jaringan listrik eksisting melalui *grid-tie inverter* Solinteg MHS-6K-30 dengan kapasitas 6 kW. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst versi 8.1.0 dengan perencanaan PLTS mampu menghasilkan energi listrik 9.761,5 kWh per tahun, juga energi yang disalurkan pada jaringan listrik mencapai 9.478,7 kWh per tahun. Kinerja sistem menunjukkan hasil yang sangat baik, yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata *Performance Ratio* (PR) sebesar 82,7% serta *final yield* sekitar 5 kWh/kWp/hari. Kehilangan energi utama didominasi oleh *collector loss* sebesar 0,73 kWh/kWp/hari. Estimasi biaya investasi awal untuk realisasi fisik sistem ini diperkirakan sebesar Rp70.450.000,-. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan PLTS *on-grid* dapat beroperasi secara optimal dan andal dalam menopang kebutuhan listrik harian masjid.

Kata-kata kunci: *PLTS On-Grid, Masjid Al-Hikmah Cunda, PVSyst 8.1.0, Performance Ratio, Energi Terbarukan, Inverter Grid-Tie.*

Abstract – The demand for electrical energy in places of worship, particularly mosques, continues to rise due to the increasing use of various electrical appliances in daily operations. This study aims to design an on-grid solar power generation system (PLTS) to be installed on the rooftop of the Al-Hikmah Cunda Mosque in Lhokseumawe City. The design seeks to harness the local solar radiation potential while reducing reliance on the national grid (PLN). Based on surveys and electrical load data, the mosque's energy consumption during the day reaches 34,235 Wh (34.235 kWh) per day, with an average appliance usage duration of 0.657 hours per day. The total installed electrical capacity at the mosque is 5,705 W. Given these conditions, the solar power system is designed using 15 GCL-P/72-400 photovoltaic modules, each with a capacity of 400 Wp, resulting in a total capacity of 6.0 kWp. The system is connected to the existing electrical grid via a 6 kW Solinteg MHS-6K-30 grid-tie inverter. Simulations conducted using PVSyst software (version 8.1.0) indicate that the proposed system can generate 9,761.5 kWh of electricity annually, with 9,478.7 kWh per year fed into the electrical grid. The system demonstrates excellent performance, evidenced by an average Performance Ratio (PR) of 82.7% and a final yield of approximately 5 kWh/kWp/day. The primary energy loss is attributed to collector loss, amounting to 0.73 kWh/kWp/day. The estimated initial investment cost for the physical implementation of this system is IDR 70,450,000. This research demonstrates that the implementation of an on-grid solar photovoltaic (PV) system can operate optimally and reliably in supporting the daily electricity needs of a mosque.

Keywords: *On-Grid Solar Power Plant, Al-Hikmah Cunda Mosque, PVSyst 8.1.0, Performance Ratio, Renewable Energy, Grid-Tie Inverter.*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan fundamental yang menunjang berbagai aktivitas masyarakat, termasuk pada fasilitas ibadah seperti masjid. Sampai saat ini, sistem ketenagalistrikan di Indonesia masih memiliki ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan, sementara ketersediaannya semakin terbatas dan pemanfaatannya menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

Indonesia merupakan negara tropis yang terletak di wilayah khatulistiwa dengan potensi energi surya yang besar, dengan rata-rata radiasi matahari harian sebesar 4,5–5,1 kWh/m². Provinsi Aceh diperkirakan memiliki potensi energi surya mencapai 7.881 MW [1], tetapi pemanfaatannya sebagai sumber pembangkitan energi listrik masih relatif rendah. Besarnya potensi tersebut menjadikan energi surya sebagai sumber energi alternatif yang strategis untuk dikembangkan melalui PLTS, khususnya pada bangunan yang memiliki tingkat konsumsi energi listrik cukup tinggi, seperti masjid.

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan PLTS pada bangunan publik dan fasilitas ibadah telah dilakukan. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid Dengan Sistem DC Coupling Berkapasitas 17 kWp Pada Gedung Graha Cendekia Yogyakarta [2]. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol [3]. Perancangan dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Pada Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi [4]. Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid pada PT. Daikin Air Conditioning Makassar [5]. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid pada Gedung Asrama Putra Politeknik Negeri Lhokseumawe [6].

Berdasarkan data pemakaian, konsumsi listrik masjid mencapai 3.435 kWh per bulan atau sekitar 114,5 kWh per hari dengan operasi selama 24 jam, sedangkan beban siang hari sebesar 34,27 kWh yang digunakan untuk penerangan, sistem pendingin, pengeras suara, dan pompa air. Meskipun beban puncak terjadi pada malam hari, aktivitas siang hari seperti persiapan ibadah, pengajian, dan perawatan fasilitas tetap membutuhkan pasokan listrik yang stabil. Pada periode siang tersebut, potensi energi surya berada pada kondisi optimal, sehingga sistem PLTS *On-Grid* sangat sesuai untuk diterapkan sebagai sistem pendukung keandalan operasional.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis kebutuhan energi listrik harian Masjid Al-Hikmah Cunda pada periode siang hari; (2) menentukan kapasitas optimal PLTS *On-Grid* yang disesuaikan dengan potensi area atap (*rooftop*) masjid; dan (3) melakukan simulasi perencanaan PLTS *On-Grid* menggunakan perangkat lunak PVSyst 8.1.0 guna mengetahui dan mengevaluasi kinerja teknis sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau disingkat dengan PLTS merupakan sistem pembangkit yang mengonversikan energi dari radiasi matahari menjadi listrik. Proses perubahan energi tersebut berlangsung pada modul surya yang terdapat dalam panel surya. Modul surya tersusun atas sel-sel fotovoltaik (PV) pada umumnya menggunakan lapisan tipis silikon (Si) murni atau material semikonduktor lainnya [7].

Berdasarkan penerapan dan konfigurasi sistemnya, PLTS dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu:

a) Sistem PLTS *Off-Grid*

PLTS *Off-Grid* merupakan panel surya yang tidak tersambung dengan listrik PLN dan menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi. Sistem ini pada umumnya diterapkan untuk menyediakan energi listrik pada wilayah belum ada jaringan listrik [8].

b) Sistem PLTS *On-Grid*

PLTS *On-Grid* adalah panel surya yang terhubung secara langsung pada jaringan listrik PLN dan tidak menggunakan baterai. Energi listrik yang diproduksi oleh panel surya dapat langsung disalurkan ke jaringan listrik [9].

c) Sistem PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* merupakan sistem pembangkit dioperasikan secara terintegrasi bersama pembangkit listrik konvensional serta dilengkapi baterai yang berfungsi sebagai media penyimpanan dan penstabil sistem [9].

B. Energi Matahari

Indonesia adalah negara tropis yang terletak di kawasan khatulistiwa yang memiliki potensi energi surya cukup besar. Sebagian besar wilayah Indonesia memperoleh paparan radiasi matahari relatif stabil dengan intensitas tinggi, dengan rata-rata radiasi matahari harian berkisar antara 4,5–5,1 kWh/m² [10]. Intensitas cahaya matahari dapat dihitung dengan persamaan:

$$I = I_0 \times \cos(\theta) \times \left(\frac{1}{d^2}\right) \quad (1)$$

Dimana I adalah intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan bumi (W/m²), I_0 adalah intensitas cahaya matahari di luar atmosfer (1361 W/m²), $\cos(\theta)$ adalah sudut zenit matahari, dan d adalah jarak bumi-matahari [11].

C. Radiasi Matahari

Indonesia terletak pada garis khatulistiwa menerima radiasi matahari melimpah dengan rata-rata 4,5–5,1 kWh/m²/hari [10]. Untuk mendesain PLTS secara akurat, diperlukan pemahaman tentang posisi matahari, yaitu Deklinasi Matahari (δ) dan Sudut Waktu (H).

a) Deklinasi Matahari merupakan sudut yang terbentuk antara bidang khatulistiwa Bumi dan garis yang menghubungkan pusat Bumi dengan Matahari, yang bergantung pada hari ke- N dalam setahun [11]:

$$\delta = 23,44^\circ \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (N-81)\right) \quad (2)$$

- b) Sudut Waktu (H) menunjukkan pergeseran posisi matahari berdasarkan waktu lokal (LST) [7]:

$$H = 15^\circ \times (LST - 12) \quad (3)$$

D. Panel Surya

Panel surya atau modul fotovoltaik (Photovoltaic) merupakan komponen utama pada sistem PLTS memiliki berfungsi mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Terdapat dua jenis utama modul surya:

- Monocrystalline* (Si), dibuat menggunakan proses *Czochralski* dengan efisiensi sekitar 24% [12].
- Polycrystalline*, dibuat dari peleburan silikon dengan efisiensi sekitar 18% namun biaya lebih murah [12].

E. Inverter

Inverter adalah komponen dalam sistem PLTS yang berfungsi mengonversi tegangan keluaran arus DC dari panel surya menjadi tegangan arus AC. Pada PLTS *On-Grid* digunakan *Grid Tied Inverter* (GTI) yang secara otomatis dapat mensinkronkan tegangan DC dari panel PV dengan tegangan jala-jala PLN [13].

F. Faktor Koreksi Suhu

Efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh suhu. Setiap kenaikan 1°C di atas suhu standar (25°C), daya keluaran panel akan turun sekitar 0,5% [14]. Berdasarkan data BMKG, suhu maksimum di Lhokseumawe mencapai $35,3^\circ\text{C}$, sehingga terjadi kenaikan suhu sebesar $10,3^\circ\text{C}$. Faktor koreksi suhu dihitung dengan:

$$TCF = \frac{P_{\max} t^\circ}{P_{\text{nom}}} \quad (4)$$

Dengan $P_{\max}(t^\circ)$ adalah daya keluaran pada suhu aktual dan P_{nom} adalah daya nominal pada STC. Nilai TCF yang diperoleh digunakan untuk mengoreksi kapasitas panel agar sesuai dengan kondisi lapangan.

G. Sudut Kemiringan Panel Surya

Agar panel menerima iradiasi maksimal, sudut kemiringan (β) harus dioptimalkan. Untuk wilayah tropis seperti Lhokseumawe (lintang $\phi \approx 5^\circ$ LU), pendekatan praktisnya adalah [12]:

$$\beta = \phi \pm k \quad (5)$$

dimana k adalah konstanta koreksi:

- $k = 0^\circ$ untuk optimasi tahunan (rata-rata sepanjang tahun).
- $k = +10^\circ$ s.d. $+15^\circ$ untuk musim hujan (matahari lebih rendah).
- $k = -10^\circ$ s.d. -15° untuk musim kemarau (matahari lebih tinggi).

H. PV Area dan Rugi-rugi Sistem (Losses)

PV Area adalah luas total permukaan panel fotovoltaik yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik harian. Nilai *PV Area* dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut. [15]:

$$PV \text{ Area} = \frac{E_l}{G_{va} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (6)$$

Dimana E_l adalah Konsumsi energi harian (kWh/hari), G_{va} adalah Iradiasi rata-rata (kWh/m²/hari), η_{PV} adalah Efisiensi modul surya, serta η_{out} adalah Efisiensi keluaran sistem (diasumsikan 0,85 atau 85%).

Rugi-rugi sistem (*system losses*) pada PLTS umumnya sekitar 15% dari total daya terpasang, yang terdiri dari *Collector Loss* ($\pm 10\%$) akibat debu, suhu tinggi, dan efek bayangan (*shading*). Sedangkan *System Loss* ($\pm 5\%$) akibat rugi-rugi kabel, konektor, dan inefisiensi *inverter* [13].

I. Performance Ratio

Performance Ratio (PR) adalah indikator efisiensi sistem PLTS yang membandingkan energi aktual dengan energi teoritis. Nilai PR yang baik berada pada rentang 70-85% [15]. PR dapat dihitung dengan persamaan:

$$PR = \frac{E_{Grid}}{P_{\text{peak}} \times G_{inc}} \quad (7)$$

III. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Masjid Al-Hikmah Cunda, Desa Uteunkot, Kecamatan Muara Dua, Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh, dengan koordinat geografis $5^\circ 10' 22.49''$ LU dan $97^\circ 07' 48.00''$ BT. Lokasi ini dipilih karena memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi dengan nilai insolasi rata-rata 4,9 kWh/m²/hari berdasarkan *database* *Meteonorm* dalam *software* *PVSyst* 8.1.0. Penelitian dilaksanakan pada periode April hingga Agustus 2026.

B. Teknik Pengumpulan Data

Teknik Pengumpulan data melalui dua metode:

- Observasi Langsung**
Pengamatan dan inventarisasi seluruh peralatan listrik di Masjid Al-Hikmah Cunda, meliputi daya masing-masing perangkat (W), jumlah unit, dan lama pemakaian rata-rata per hari. Pengukuran dilakukan pada periode siang hari (pukul 08.00–18.00 WIB) karena sistem PLTS *On-Grid* hanya beroperasi saat matahari bersinar.
- Wawancara (Interview)**
Wawancara dengan pengurus masjid untuk memperoleh data spesifikasi peralatan, pola penggunaan listrik, serta informasi terkait kebutuhan operasional harian masjid.

Hasil inventarisasi beban listrik pada siang hari disajikan pada Tabel 1.

TABEL I
Data Beban Listrik Masjid Al-Hikmah Cunda pada Siang Hari

Peralatan	Daya (W)	Kuantitas	Total Daya (W)	Waktu Pemakaian (Jam)	Konsumsi Energi (Wh)
Lampu LED 30W	30	25	750	10	7.500
Lampu LED 9W	9	8	72	10	720
Kipas Angin 80W	80	9	720	3,5	2.520
Kipas Angin 90W	90	4	360	3,5	1.260
Kipas Angin Gantung 45W	45	10	450	3,5	1.575
AC 670W	670	1	670	6	4.020
Speaker Dalam 60W	60	18	1.080	2	2.160
Speaker Dalam 30W	30	6	180	2	360
Speaker Luar 50W	50	8	400	2	800
Pompa Air 750W	750	1	750	6	4.500
Pompa Celup 750W	750	1	750	6	4.500
Amplifier 240W	240	3	720	2	1.440
Booster 480W	480	3	1.440	2	2.880
Total	2.614	89	8.342	58,5	34.235

C. Prosedur Simulasi Menggunakan PVSyst 8.1.0

Simulasi perencanaan sistem PLTS *On-Grid* dilakukan melalui tahapan berikut:

- Pembuatan Proyek Baru
Memilih jenis sistem *Grid-Connected* pada menu *Project Design*.
- Input Data Lokasi
Memasukkan koordinat lokasi (5°10'22.49" LU, 97°07'48.00" BT) dan memilih sumber data meteorologi (*Meteonorm*).
- Penentuan Orientasi Modul
Menentukan sudut kemiringan panel dan azimuth berdasarkan hasil optimasi awal.
- Konfigurasi Sistem
Memilih spesifikasi modul surya dan *grid-tie inverter* yang sesuai dengan target kapasitas, serta menentukan rangkaian seri-paralel.
- Analisis Horizon
Memasukkan data halangan bayangan di sekitar lokasi yang berpotensi mengurangi intensitas radiasi yang diterima panel.
- Menjalankan Simulasi (*Run Simulation*)
Mengeksekusi simulasi untuk memperoleh laporan kinerja sistem berupa produksi energi tahunan, distribusi kehilangan energi dan *Performance Ratio*.

D. Analisis Data

Setelah data diperoleh dari hasil simulasi selanjutnya dilakukan analisis secara deskriptif dan komparatif untuk menentukan parameter utama kinerja sistem, meliputi total produksi energi tahunan

(kWh/tahun), energi yang disalurkan ke jaringan (*E-Grid*), *Performance Ratio* (PR), *final yield* (kWh/kWp/hari), serta distribusi kehilangan energi yang terdiri atas *collector loss* dan *system loss*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Kebutuhan Beban dan Kapasitas PLTS

Berdasarkan data beban pada Tabel I, total konsumsi energi harian pada siang hari adalah 34.235 Wh (34,235 kWh). Rata-rata waktu pemakaian peralatan listrik dihitung dari total waktu pemakaian dibagi jumlah peralatan:

$$t_{rata-rata} = \frac{58,5}{89} \approx 0,657 \text{ jam}$$

Namun karena waktu pemakaian bervariasi, pendekatan yang digunakan adalah rata-rata tertimbang, sehingga diperoleh 6 jam per hari sebagai waktu operasi efektif. Dengan demikian, total daya terpasang yang harus disuplai adalah:

$$P_{terpasang} = \frac{E_{harian}}{t_{rata-rata}} = \frac{34.235 \text{ Wh}}{6 \text{ jam}} = 5.705 \text{ W}$$

Faktor daya sistem ($\cos \phi$) berkisar antara 0,83 hingga 0,85 yang menunjukkan dominasi beban induktif (kipas angin, pompa air, dan peralatan audio).

a) Temperature Correction Factor (TCF)

Berdasarkan data temperatur maksimum di wilayah Cunda sebesar 35,3 °C, terdapat peningkatan suhu sebesar 10,3 °C dibandingkan dengan kondisi standar sebesar 25 °C. Setiap peningkatan temperatur sebesar 1 °C pada panel surya dapat menyebabkan penurunan daya keluaran sebesar 0,5%:

$$TCF = 1 - (10,3 \times 0,005) = 1 - 0,0515$$

$$TCF = 0,9485$$

b) PV Area (Luas Panel yang Dibutuhkan)

Spesifikasi panel surya dipilih 400 Wp berdasarkan luas area yang tersedia di atap masjid dan kebutuhan daya masjid pada siang hari. PV Area dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$PV \text{ Area} = \frac{E_l}{G_{va} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}}$$

Dengan E_l sebesar 34,235 kWh/hari, $G_{va} = 4,9$ kWh/m²/hari, η_{pv} sebesar 20,28% sebesar 0,2028, TCF sebesar 0,9485, serta η_{out} sebesar 0,85.

$$PV \text{ Area} = \frac{34,235}{4,9 \times 0,2028 \times 0,9485 \times 0,85}$$

$$PV \text{ Area} = \frac{34,235}{4,9 \times 0,2028 \times 0,806225}$$

$$PV \text{ Area} = \frac{34,235}{0,801} = 42,7 \text{ m}^2$$

c) Daya Puncak PLTS (Wattpeak)

Besarnya daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{wattpeak} = PV \text{ Area} \times PSI \times \eta_{PV}$$

Dimana PSI adalah 1.000 W/m². Maka:

$$P_{wattpeak} = 42,7 \times 1000 \times 0,2028 = 6.023,16 \text{ W}$$

$$P_{wattpeak} \approx 8,66 \text{ kWp}$$

d) Jumlah Panel Surya

Jumlah panel surya yang diperlukan dapat ditentukan berdasarkan perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan dalam satuan watt dan daya nominal masing-masing panel surya, yaitu:

$$n \text{ PV Module} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{nom}}$$

$$n \text{ PV Module} = \frac{6.023,16}{400} = 15,06 \approx 15 \text{ panel}$$

Sehingga total kapasitas terpasang = 15 × 400
= 6.000 Wp (6,0 kWp).

e) Spesifikasi Inverter dan Tegangan String

Spesifikasi inverter yang digunakan adalah inverter dengan kapasitas daya 6 kW dengan tegangan input 48 V sesuai dengan tegangan terbuka panel surya yaitu 37- 48V. Jumlah string yang terbentuk dari 15 panel adalah 15 string dengan tegangan string 48V..

f) Sudut Kemiringan Panel Surya

Berdasarkan lintang lokasi ($\phi = 5^\circ$ LU) dan optimasi tahunan ($k = 0^\circ$), sudut kemiringan panel ditetapkan:

$$\beta = \phi + k = 5^\circ + 0^\circ = 5^\circ$$

B. Hasil Simulasi PVSyst 8.1.0

Simulasi dilakukan melalui tahapan input data lokasi, orientasi modul, konfigurasi sistem, dan run simulation. Hasil simulasi dirangkum pada Tabel 2.

TABEL II
Balance and Main Results Simulasi PVSyst

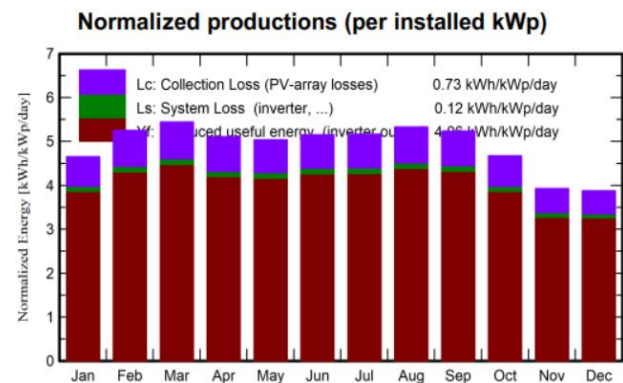
Parameter	Nilai	Satuan
GlobHor	1.791,8	kWh/m ²
EArray	9.761,5	kWh
TAmb	27,43	°C
DiffHor	900,23	kWh/m ²
GlobEff	1.751,8	kWh/m ²
GlobInc	1.789,9	kWh/m ²
Performance Ratio (PR)	82,7	%
E-Grid	9.478,7	kWh/tahun

Berdasarkan Tabel 2, total energi yang dihasilkan pada array adalah 9.761,5 kWh, dengan energi yang berhasil diinjeksikan ke jaringan PLN sebesar 9.478,7 kWh/tahun. Selisih 282,8 kWh/tahun merupakan kehilangan pada sisi inverter dan jaringan dari PV ke inverter. Nilai *reference yield* (energi referensi) dihitung berdasarkan GlobInc:

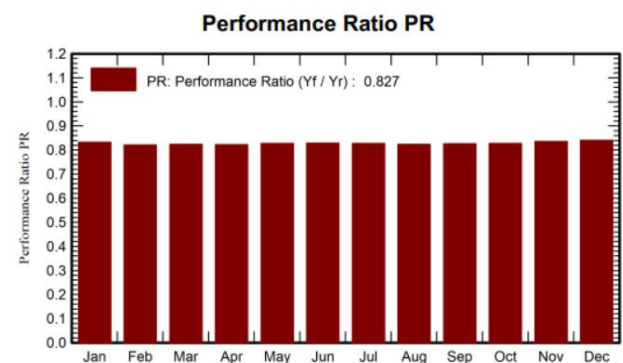
$$Y_r = \frac{GlobInc}{G_{ref}} = \frac{1.789,9}{365 \times 1.000} = 4,904 \text{ kWh/kWp/hari}$$

Nilai *final yield* (energi aktual) dihitung dari E-Grid dibagi kapasitas terpasang:

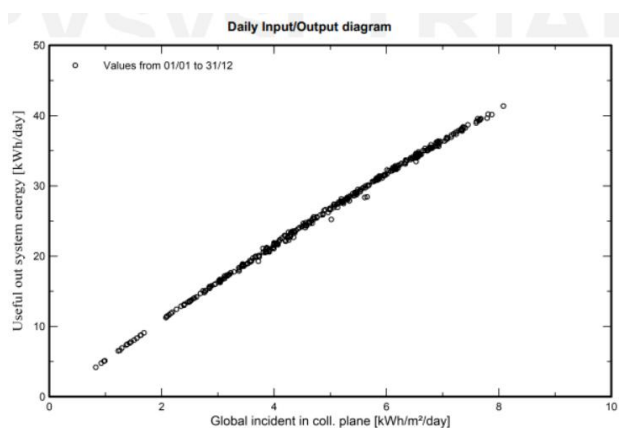
$$Y_f = \frac{E - \text{Grid}}{P_{peak} \times 365} = \frac{9.478,7}{6,0 \times 365} = 4,056 \text{ kWh/kWp/hari}$$



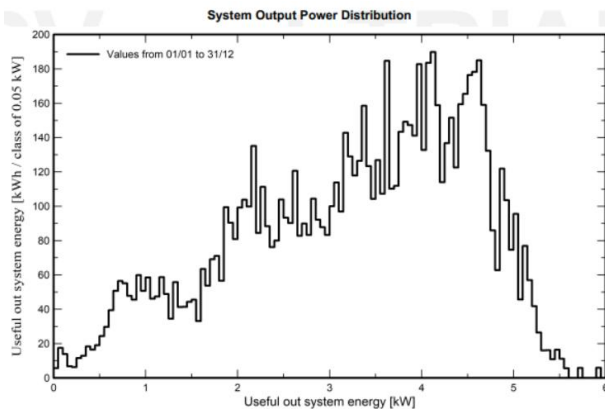
Gbr. 1 Grafik *normalized production (per instaled kWp)*



Gbr. 2 Grafik *performance ratio*



Gbr. 3 Grafik *daily input/output diagram*



Gbr. 4 Grafik system output power distribution

Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi energi sistem bervariasi sepanjang tahun dengan puncak produksi terjadi pada awal dan akhir tahun, di mana kehilangan energi didominasi oleh *collector loss* sebesar 0,73 kWh/kWp/hari akibat faktor lingkungan seperti suhu, debu, dan bayangan, sementara *system loss* hanya tercatat 0,12 kWh/kWp/hari dari rugi-rugi teknis inverter dan kabel. Secara keseluruhan, sistem memperoleh *Performance Ratio* (PR) rata-rata sebesar 88,26% yang tergolong sangat baik karena berada dalam rentang standar PLTS On-Grid (70–85%) serta konsisten sepanjang tahun, menandakan keandalan sistem yang stabil. Hubungan linear antara radiasi matahari harian dengan energi keluaran membuktikan efisiensi sistem mendekati kondisi ideal, sementara distribusi daya keluaran yang paling sering berada pada kisaran 2–5 kW mengindikasikan bahwa sistem lebih dominan beroperasi pada daya menengah hingga tinggi secara stabil.

C. Estimasi Biaya Pemasangan PLTS On Grid

Estimasi biaya pemasangan PLTS *On-Grid* dilakukan untuk mengetahui besarnya investasi awal yang dibutuhkan dalam merealisasikan sistem yang telah dirancang. Perhitungan biaya meliputi komponen utama sistem PLTS, yaitu modul surya, inverter, konstruksi pemasangan, sistem proteksi, kabel, aksesoris instalasi, serta biaya pemasangan. Estimasi ini hanya digunakan sebagai gambaran kebutuhan investasi awal dan tidak mencakup biaya operasi, pemeliharaan maupun analisis kelayakan ekonomi. Estimasi yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil perencanaan sistem PLTS On-Grid dengan kapasitas sekitar 6 kWp menggunakan 15 modul surya berkapasitas 400 Wp dan satu unit inverter grid-tie 6 kW, diperoleh estimasi biaya investasi sebesar Rp70.450.000 atau dibulatkan menjadi Rp70.500.000. Estimasi tersebut meliputi pengadaan panel surya, inverter, struktur penyangga, kabel DC dan AC, *combiner box*, sistem proteksi, *grounding*, *monitoring system*, biaya instalasi, pengujian, serta cadangan biaya sebesar 5%. Nilai tersebut merupakan estimasi awal (*engineering estimate*) yang dapat berubah mengikuti harga pasar, lokasi pemasangan, dan vendor yang dipilih.

TABEL III
Rencana Biaya Pemasangan PLTS *On-Grid*

No	Uraian Komponen / Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Modul Surya GCL-P/72-400 (400 Wp)	15	Unit	1.600.000	24.000.000
2	Inverter <i>On-Grid</i> Solinteg MHS-6K-30 (6 kW)	1	Unit	16.500.000	16.500.000
3	Rangka Dudukan Atap Rooftop	15	Set	450.000	6.750.000
4	Kabel Solar DC PV Cable 4mm ²	100	Meter	22.000	2.200.000
5	Kabel Power AC (NYY/NYM 4x6mm ²) & Aksesoris	1	Paket	2.500.000	2.500.000
6	Combiner Panel DC/AC (MCB DC, SPD, Fuse, Enclosure IP65)	1	Set	4.500.000	4.500.000
7	Sistem Pembumian / <i>Grounding System</i>	1	Paket	2.000.000	2.000.000
8	Jasa Instalasi, Wiring & Montase Atap	1	Paket	6.000.000	6.000.000
9	Pengurusan SLO & Penggantian KWh EXIM PLN	1	Paket	3.500.000	3.500.000
10	Testing, Comisioning & Mobilisasi Material	1	Paket	2.500.000	2.500.000
TOTAL ESTIMASI BIAYA INVESTASI (RAB):					Rp70.450.000

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan energi listrik harian Masjid Al-Hikmah Cunda pada siang hari adalah sebesar 34.235 Wh (34,235 kWh), dengan rata-rata waktu pemakaian peralatan listrik selama 6 jam per hari, sehingga diperoleh total daya terpasang sebesar 5.711 W.
2. Kapasitas optimal sistem PLTS on-grid yang dibutuhkan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya pada *rooftop* Masjid Al-Hikmah Cunda adalah 15 unit panel surya berkapasitas 400 Wp bermerk GCL-P/72-400 (*GCL System Integration*), sehingga total kapasitas terpasang mencapai 6.000 Wp.
3. Sistem interkoneksi PLTS On Grid dengan jaringan PLN eksisting dirancang menggunakan 1 unit *grid-tie inverter* Solinteg MHS-6K-30, yang berfungsi mengonversi energi DC dari panel surya menjadi AC dan menyalurkannya langsung ke jaringan listrik PLN. Hasil simulasi menunjukkan energi yang berhasil diinjeksikan ke jaringan (E-Grid) sebesar 9.478,7 kWh/tahun.
4. Simulasi PLTS On Grid menggunakan software PVSyst 8.1.0 dilakukan melalui tahapan pembuatan proyek grid-connected, input data lokasi (koordinat

5°10'22.49"N, 97°07'48.00"E), orientasi modul, konfigurasi sistem, analisis horizon, hingga run simulation. Hasil dari simulasi ditunjukkan sistem PLTS berpotensi menghasilkan energi sebesar 9.479 kWh/tahun, dengan Performance Ratio (PR) rata-rata 88,26% yang tergolong baik karena berada pada rentang standar PLTS (70-85%), final yield sekitar 5 kWh/kWp/hari, serta kehilangan energi yang didominasi oleh *collector loss* (0,73 kWh/kWp/hari) dibandingkan *system loss* (0,12 kWh/kWp/hari). Hal ini membuktikan bahwa sistem PLTS *on-grid* yang direncanakan mampu bekerja secara stabil dan optimal sesuai kapasitas desainnya, sekaligus mendukung keandalan operasional kelistrikan Masjid Al-Hikmah Cunda.

REFERENSI

- [1] Tarmizi, T., Fathurrahman, F., & Yunida, Y. (2024). Implementasi Rancang Bangun dan Instalasi Sistem PLTS untuk Penerangan pada Balai Pengajian Darul Hidayah Desa Deunong Aceh Besar. *Jurnal Pengabdian Rekayasa dan Wirausaha (JPRW)*, 1(2), 6-10.
- [2] Hani, S., Santoso, G., Subandi, S., & Arifin, N. (2020). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid Dengan Sistem DC Coupling Berkapasitas 17 kWp pada Gedung. *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, 5(2502), 156-163.
- [3] Hutajulu, A. G., RT Siregar, M., & Pambudi, M. P. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 23-33. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i1.7333>.
- [4] Sartika, N., Fajri, A. N. R., & Kamelia, L. (2023). Perancangan dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Atap Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 25(1), 1-9. <https://doi.org/10.14710/transmisi.25.1.1-9>.
- [5] Rasyid A. S .R., & Hidayatullah, R. (2024). Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid pada PT. Daikin Air Conditioning Makassar. *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(7).
- [6] Al Husain, D. K., Maimun, M., & Aiyub, S. (2025). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid pada Gedung Asrama Putra Politeknik Negeri Lhokseumawe. *Jurnal TEKTRON*, 9(2), 113-120.
- [7] Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>.
- [8] Setyawan, A., & Ulinuha, A. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid untuk Supply Charge Station. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 24(1), 23-28. <https://doi.org/10.14710/transmisi.24.1.23-28>.
- [9] Rahmatulloh, W. B., & Andriawan, A. H. (2024). Rancang Bangun PLTS Menggunakan Sistem Hybrid pada Rumah Tangga untuk Mengurangi Ketergantungan Energi Listrik dari PLN. *J. Ilm. Tek. Elektro, Sains dan Inform*, 2(3), 1-15.
- [10] Triandini, L. S., Yushardi, Y., & Sudarti, S. (2024). Misteri Matahari: Energi, Suhu, dan Fenomena Terkait. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2).
- [11] Padil, A. (2013). Dasar-Dasar Ilmu Falak dan Tataordinat: Bola Langit dan Peredaran Matahari. *Al-Daulah: Jurnal Hukum Pidana dan Ketatanegaraan*, 2(2), 195-214.
- [12] Samsurizal, Mauriraya, K. T., Fikri, M., Pasra, N., & Christiono. (2021). *Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, pp. 1-53.
- [13] Mansur, A. (2021). Analisa Kinerja PLTS On Grid 50 kWp Akibat Efek Bayangan menggunakan Software PVSYST. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 23(1), 28-33. <https://doi.org/10.14710/transmisi.23.1.28-33>.
- [14] Foster, R., Ghassemi, M. & Cota, A. (2010). *Solar Energy: Renewable Energy and the Environment*. CRC Press.
- [15] Yaman, Y., Maulana, R., & Basyir, M. (2025). Design of an Off-Grid Solar Power System for a Residential-Scale 1300 VA Application. *INTI Journal*, 2025(1), 1-7. <https://doi.org/10.61453/INTIJ.202509>.