

Studi analisis pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* untuk mengurangi efek pemadaman listrik

Basri Noor Cahyadi^{1*}, Zulfatman², Nur Alif Mardiyah³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang
Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65144, Indonesia
¹*basrinoorc@umm.ac.id, ²zulfatman@umm.ac.id, ³nuralif@umm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini akan mengkaji kelayakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off-grid* dengan studi kasus di Masjid Muhammad Cheng Hoo, Malang Selatan. Tujuan utama studi ini untuk mengatasi gangguan pemadaman listrik. Masjid ini memiliki beban utama seperti pompa air yang menyuplai air bersih untuk kebutuhan masyarakat sekitar. Metode penelitian meliputi survei lapangan, analisis beban, simulasi energi menggunakan perangkat lunak PVsyst, dan analisis ekonomi. Hasil simulasi menunjukkan kapasitas optimal PLTS sebesar 5,5 kWp dengan nilai *performance ratio* (PR) 0,54 dan *solar fraction* (SF) 0,92. Analisis ekonomi menunjukkan biaya investasi awal sebesar Rp 115.700.000 dengan nilai *net present value* (NPV) sebesar Rp 59.412.192, *payback period* (PBP) 16,4 tahun, dan *return on investment* (ROI) sebesar 51,4% senilai dengan Rp 59.459.800,-. Semua nilai indikator tersebut telah memenuhi kriteria kelayakan, sehingga hasil studi kelayakan pembangunan dikatakan layak untuk masuk dalam proses pembangunan. Kontruksi PLTS yang diusulkan menggunakan model *carport* dengan material kayu untuk menghindari fenomena korosi yang disebabkan oleh hembusan udara dari laut. Implementasi PLTS ini diharapkan dapat mengurangi biaya operasional listrik, mengurangi dampak pemadaman, mendukung transisi energi terbarukan, serta meningkatkan keandalan pasokan listrik.

Kata kunci: PLTS *off-grid* , *payback period*, PVsyst, *return on investment*, *solar fraction*

ABSTRACT

This study examines the feasibility of developing an off-grid solar power plant (PLTS) using the case of Muhammad Cheng Hoo Mosque in South Malang. The main objective is to address power outage disruptions. The mosque's primary loads include a water pump that supplies clean water to the surrounding community. The research methods consist of field surveys, load analysis, energy simulation using PVsyst software, and economic analysis. Simulation results indicate an optimal PLTS capacity of 5.5 kWp with a performance ratio (PR) of 0.54 and a solar fraction (SF) of 0.92. The economic analysis shows an initial investment cost of Rp 115,700,000, a net present value (NPV) of Rp 59,412,192, a payback period (PBP) of 16.4 years, and a return on investment (ROI) of 51.4% (equivalent to Rp 59,459,800). These indicators meet the feasibility criteria, confirming that the proposed solar power development is viable for implementation. The proposed PLTS construction adopts a carport model with wooden materials to prevent corrosion caused by sea breezes. Implementing this system is expected to reduce electricity operating costs, minimize the impact of power outages, support the renewable energy transition, and enhance the reliability of the power supply.

Keywords: solar panel *off-grid* , *payback period*, PVsyst, *return on investment*, *solar fraction*

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan. Berdasarkan data, Indonesia memiliki total potensi energi matahari yang mencapai 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp, yang tersebar merata di seluruh wilayah [1]. Namun, pemanfaatan energi surya di Indonesia saat ini masih tergolong rendah dibandingkan dengan potensi yang tersedia yaitu sebesar 140 MW terhitung pada bulan Maret 2024 [2]. Sebagai bagian dari komitmen global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, Indonesia telah menetapkan target mencapai 23% bauran energi dari sumber terbarukan pada tahun 2025 dan terus meningkat hingga 31% pada tahun 2050, sesuai dengan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) [3]. Dalam upaya mencapai target

tersebut, pemerintah menargetkan kapasitas pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpasang sebesar 0,87 GW pada tahun 2025, dengan penambahan sekitar 50 MWp per tahun.

Di sisi lain, masih terdapat wilayah di Indonesia yang mengalami gangguan listrik seperti di wilayah Malang selatan, dimana kejadian ini sering muncul diakibatkan adanya pohon tumbang [4]. Gangguan listrik ini sering mengganggu aktivitas masyarakat, sebagaimana salah satunya dirasakan oleh pengurus masjid Muhammad Cheng Hoo. Akibat dari gangguan tersebut suplai air bersih yang berasal dari sumur bor untuk masyarakat sekitar menjadi terganggu, dimana terdapat 20 kepala keluarga yang bergantung pada air bersih tersebut. Selain itu, masjid ini berfungsi sebagai tempat peristirahatan bagi wisatawan yang berkunjung ke kawasan wisata pantai di Malang selatan. Oleh karena itu, penyediaan listrik dan air bersih menjadi kebutuhan utama untuk mendukung kenyamanan para pengunjung. Untuk mengurangi efek pemadaman listrik di wilayah tersebut, peneliti bermaksud membuat kajian pemanfaatan panel surya untuk mengurangi dampak pemadaman.

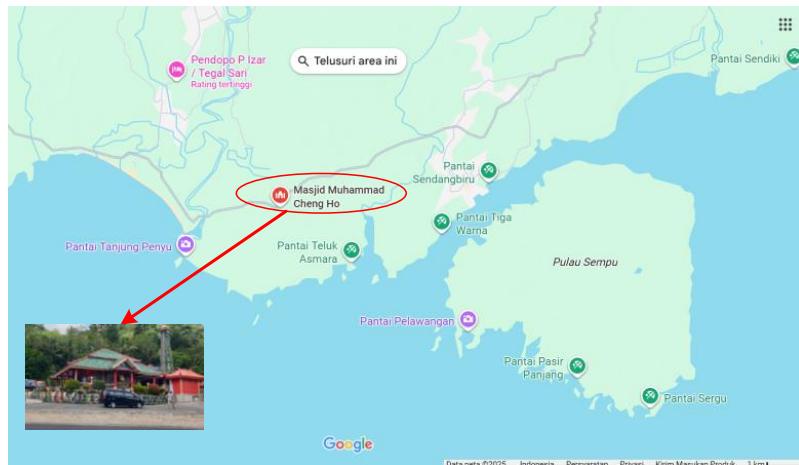
Pada pelaksanaan studi analisis PLTS terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja pembangkit, seperti kapasitas beban yang berjalan, *shading*, sudut kemiringan, intensitas matahari, dan suhu. Dari penelitian sebelumnya, telah dilakukan pembahasan dengan menganalisa performa PLTS dari sudut kemiringan dimana modul *photovoltaic* akan menghasilkan energi yang optimal ketika berada di sudut 15° dan sudut azimut 0° [5]-[6]. Pada analisa performa PLTS beberapa peneliti terdahulu menggunakan beberapa aplikasi atau *software* dalam membantu menganalisis. Pada studi perencanaan PLTS *rooftop* dengan menggunakan *software* PVsyst didapat bahwa nilai *performance ratio* (PR) adalah 70% dengan total penghematan sebesar 26,2% setiap bulannya [7]-[9]. Pada pelaksanaan perencanaan desain PLTS untuk hotel dengan kapasitas 119,5 kWp digunakan aplikasi Helioscope, dimana pada hasil simulasi didapat bahwa nilai *payback period* adalah sebesar 13,89 tahun dengan nilai *performance ratio* sebesar 82,1% [10], [11]. Penggunaan aplikasi untuk menganalisis kelayakan pembangunan PLTS dapat menghindari kesalahan-kesalahan dalam menentukan kapasitas inverter, jumlah *string* atau *array* modul *photovoltaic*, dan tipe instalasi yang nantinya kesalahan-kesalahan tersebut dapat meningkatkan *losses energy* [12]. Pada penelitian terdahulu untuk menganalisis ekonomi terhadap kebutuhan beban gedung dan tarif digunakan metode *net present value* (NPV) dan untuk skenario menggunakan *net-metering* (NM), dan *feed-in-tariff* (FIT). Pada metode tersebut didapat bahwa parameter-parameter yang digunakan sangat mempengaruhi nilai NPV [13]. Selain itu, analisis berdasarkan nilai *return of investment* (ROI) juga dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kelayakan pembangunan PLTS *off-grid* di Pakistan [14].

Berdasarkan tipe inverter sistem PLTS terbagi menjadi tiga sistem yaitu *off-grid*, *on-grid*, dan *hybrid*. Pemilihan sistem PLTS itu bergantung pada kebutuhan dan juga kondisi lingkungan. Pada penelitian sebelumnya sistem PLTS *off-grid* mampu mengurangi biaya listrik bulanan sebesar 60% tetapi diperlukan investasi awal yang cukup besar [15]. Selain untuk perumahan PLTS *off-grid* juga digunakan untuk menyuplai energi listrik di area-area tertentu seperti perkebunan dan *charging station* [16]-[19].

Dari beberapa penelitian terdahulu didapat bahwa studi analisis PLTS di Masjid Cheng Hoo akan dilakukan dengan menggunakan *software* PVsyst dengan beban lampu penerangan masjid, kipas angin, pompa air, dan kotak kontak untuk *charge handphone*. NPV, ROI dan *payback period* (PBP) digunakan untuk menganalisis pembangkit dari segi ekonomi. Sedangkan dari segi performa energi yang dihasilkan dianalisis menggunakan *solar fraction* (SF) dan PR. Studi kelayakan pembangunan PLTS ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan energi Masjid Cheng Hoo dan mengurang dampak terjadinya pemadaman listrik PLN. Selain itu, studi kelayakan ini dilakukan karena adanya potensi energi matahari yang cukup optimal di wilayah Malang selatan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Masjid Muhammad Cheng Hoo yang terletak di daerah Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Lokasi masjid cukup strategis di daerah wisata pantai Malang Selatan. Studi kelayakan PLTS dimulai dari survei lapangan, membuat perhitungan beban, membuat analisis energi dengan software PVsyst, dan yang terakhir adalah analisa ekonomi. Untuk data cuaca Lokasi Masjid seperti iradiasi diambil dari *data base meteronorm*.



Gambar 1. Lokasi Masjid Muhammad Cheng Hoo

2.1 PVsyst

Aplikasi PVsyst 7.3 digunakan oleh perusahaan Engineering Procurement and Contructions (EPC) dan Operation & Maintenance (O&M) bidang PLTS untuk melakukan analisis dan perancangan sistem pembangkit. Dengan didukung oleh model matematis, program ini dapat melakukan proyeksi produksi energi, menganalisis karakteristik komponen sistem pembangkit, dan melakukan evaluasi ekonomi. Perangkat lunak ini sangat membantu dalam pengembangan dan penerapan sistem PV yang efisien dan hemat biaya [20].

2.2 Analisis Ekonomi

Prinsip ekonomi teknik diperlukan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi proyek keteknikan. Mereka juga dapat membantu dalam membuat keputusan tentang masalah institusi atau perusahaan yang berdampak finansial di masa depan [21].

2.2.1 Net Present Value (NPV)

Net Present Value merupakan alat manajemen yang efektif untuk mengukur suatu program kerja. Peran utamanya adalah untuk mengonfirmasi kelayakan finansial suatu investasi dalam jangka waktu yang panjang, dengan melihat arus kas masuk bersih dan arus kas keluar yang didiskon yang akan dihasilkan suatu proyek selama siklus hidupnya dan mengubahnya menjadi PVI indeks untuk perbandingan. Suatu aliran uang investasi terdiri dari aliran masuk maupun aliran keluar. Aliran uang yang menguntungkan disebut *present worth of benefit* (PWB), sedangkan jika yang diperhitungkan aliran uang keluar saja disebut *present worth of cost* (PWC). Dengan menggunakan tingkat bunga yang tepat, NPV dapat diperoleh dari PWB-PWC [22]. Berikut adalah persamaan perhitungan nilai NPV.

$$R_t = \sum_{t=1}^n \text{Cash in Flow}_n - LCC_n \quad (1)$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Keterangan:

- R_t = Arus kas bersih
- i = Tingkat diskon dari nilai investasi
- n = Umur pakai sistem
- Cash in Flow_n = Biaya masuk saat operasi
- LCC_n = Biaya yang keluar selama operasi

Berikut ini adalah kriteria yang digunakan untuk menentukan apakah usulan investasi layak diterima atau tidak:

- Proyek layak dilaksanakan jika nilai NPV yang diperoleh adalah positif, karena ini menunjukkan bahwa perhitungan investasi proyek telah mencapai kondisi yang mampu menghasilkan keuntungan-keuntungan selama periode yang ditetapkan.
- Jika nilai NPV yang diperoleh adalah negatif, proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena menunjukkan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan dalam jangka waktu yang ditetapkan.

2.2.2 Payback Period

Analisis *payback period* (PP) pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui berapa lama (periode) investasi akan dapat kembali apabila kondisi pengembalian pokok terjadi [23]. Berikut adalah perhitungan analisis payback period.

$$PP = n + \frac{a - b}{c - b} \times 1 \quad (3)$$

Keterangan:

a = Jumlah investasi awal

b = Akumulasi aliran kas pada tahun ke-n

c = Jumlah kumulatif aliran kas pada tahun ke n+1

n = *The lifetime of the system*

2.2.3 Return on Investment (ROI)

Return on investment (ROI) atau pengembalian investasi untuk panel surya adalah ukuran berapa banyak uang yang Anda hemat atau hasilkan dari pemasangan panel surya dibandingkan dengan biaya pemasangan. ROI dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$ROI = \frac{\text{Laba bersih selama masa pakai}}{\text{biaya investasi}} \times 100\% \quad (4)$$

ROI pada pembangunan PLTS memiliki nilai bervariasi tergantung pada kondisi pembangkit, termasuk lokasi, efisiensi, dan kapasitas pembangkit. Rata-rata ROI tahunan memiliki nilai sebesar 4% per tahun, nilai tersebut dianggap sebagai pengembalian yang baik [14], [24].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perencanaan PLTS

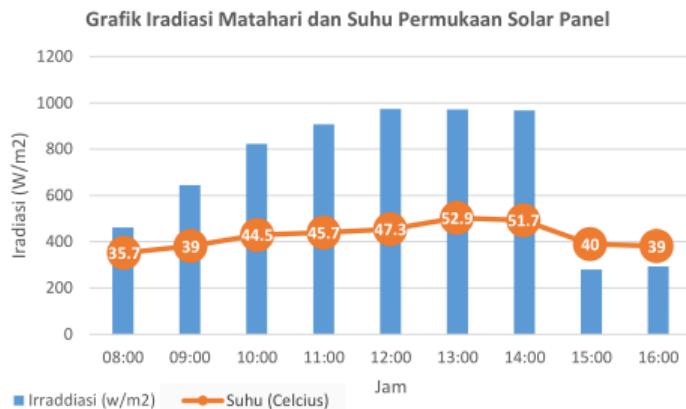
Masjid Muhammad Cheng Hoo dibangun dilahan parkir dengan model kontruksi *carpot*. Material dari kontruksi PLTS terbuat dari kayu, hal ini disebabkan karena kondisi lingkungan yang merupakan wilayah pantai laut selatan pulau Jawa. Adapun data lokasi spesifik dari PLTS Masjid Cheng Hoo sebagai berikut:

- Koordinat : -8.435310357263809, 112.65635435775994
- Ketinggian : 21 meter diatas permukaan laut
- Zona waktu : UTC+07, Asia/Jakarta (WIB)
- *Global Horizontal Irradiation* (GHI) : 2038.5 kWh/m²/tahun
- *Diffuse Horizontal Irradiation* (DIF) : 786,9 kWh/m²/tahun
- *Direct Normal Irradiation* : 1666 kWh/m²/tahun
- Temperatur maksimum: 25,3°C
- Kecepatan angina rata-rata: 2,6 Knot
- Luas area parkir: 696 m²

3.1.1 Potensi Energi Matahari

Pengukuran potensi energi PLTS dilakukan dengan cara pengukuran langsung di lokasi dengan menggunakan alat ukur *irradiance* meter Fluke IRR1-SOL. Posisi pengukuran dilakukan sesuai dengan sudut modul PV yang akan dipasang yaitu 12° dengan azimuth 255°. Rata-rata iradiasi harian didapat sebesar 702 w/m² dengan suhu permukaan solar panel sebesar 40°C. Gambar 2 menunjukkan grafik

irradiance di Masjid Cheng Hoo berdasarkan waktu. Terdapat penurunan energi yang signifikan pada jam 15:00 karena kondisi cuaca lagi tertutup awan.



Gambar 2. Grafik potensi energi matahari pada Masjid Cheng Hoo

3.1.2 Profil Beban

Daya PLN yang terpasang pada Masjid Cheng Hoo adalah sebesar 3500 VA dengan tarif sebesar Rp 1.200 VA per kWh. Berdasarkan hasil survei rata-rata biaya penggunaan listrik yang dikeluarkan oleh pengurus masjid adalah sebesar Rp. 700.000 dengan penggunaan energi sekitar 583 kwh per bulan. Berikut adalah profile beban pada Masjid Cheng Hoo.

Tabel 1. Profil beban Masjid Muhammad Cheng Hoo

Jenis Beban	Jumlah	Daya Beban (Watt)	Durasi Penyalakan (jam)		Energi Total per Hari (Wh)
			Siang	Malam	
Lampu	12	18	0	5	1080
Amplifier	1	200	1	1	400
Kipas Angin	4	30	3	2	600
Repeater	1	5	12	12	120
Lampu Luar / Parkiran	4	30	0	12	1440
Pompa Air	1	1500	4	3	10500
Kotak Kontak	4	200	1	1	1600
Total					15740

Berdasarkan profile beban diatas, beban energi terbesar terjadi pada pompa air yaitu mencapai 10.500 Wh/hari, kondisi seperti ini disebabkan karena selain menyuplai kebutuhan masjid air bersih juga disalurkan ke warga sekitar untuk memenuhi kebutuhan harian. Berdasarkan pembagian jam kerja penggunaan peralatan Masjid didapat bahwa total beban pada siang hari sebesar 7.420 Wh/hari dan pada malam hari sebesar 8.320 Wh/hari. Sehingga, untuk mencukupi kebutuhan energi Masjid diperlukan sistem PLTS *off-grid* dengan menambahkan baterai sebagai cadangan energi pada malam hari.

3.1.3 Menentukan Kapasitas Baterai

Berdasarkan profil beban yang ditunjukkan pada Tabel 1, didapat bahwa total beban yang perlu disuplai adalah sebesar 8320 Wh. Jika tegangan baterai yang akan digunakan sebesar 51,2V, maka arus baterai dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = \frac{\text{Beban Malam Hari Wh/hari}}{\text{Tegangan Baterai}} = \frac{8320}{51,2} = 162,5 \text{ Ah} \quad (5)$$

Untuk menjaga kinerja baterai, maka kinerja baterai akan dibatasi sampai 80% dari kapasitas dan untuk menjaga kinerja sistem PLTS maka diberikan cadangan kapasitas sebesar 30%. Sehingga dari

persamaan (7) didapat bahwa kapasitas baterai yang diperlukan adalah sebesar 14,3 kWh dengan tegangan baterai 51,2 V.

$$C_f = \frac{C}{\eta} \times (1 + R) = \frac{162,5}{0,8} \times (1 + 0,3) = 264 \text{ Ah} \quad (6)$$

Berdasarkan ketersediaan baterai yang sesuai dengan inverter, maka kapasitas baterai yang digunakan adalah sebesar 280 Ah. Maka kapasitas baterai yang ada

$$C_f = 280 \times 51,2 = 14,3 \text{ kWh} \quad (7)$$

Keterangan:

η = Efisiensi baterai

R = Cadangan kapasitas baterai

C_f = Kapasitas baterai final

3.1.4 Menentukan Kapasitas PLTS

Dari data beban diatas dan kapasitas baterai maka kapasitas PLTS yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya PLTS}_{total} = \text{Daya}_{Charge} \times \text{Daya}_{siang} \quad (8)$$

Daya_{Charge} merupakan daya PLTS yang digunakan untuk mengisi baterai secara penuh pada siang hari. Jika durasi operasi PLTS adalah 5 Jam dan efisiensi sistem inverter 90% maka Daya_{Charge} yang didapat adalah sebesar 3,18 kWp.

$$\text{Daya}_{siang} = \frac{\text{Beban siang}}{(5 \times 0,9)} = 1,65 \text{ kWp} \quad (9)$$

Sehingga kapasitas PLTS yang diperlukan adalah sebesar:

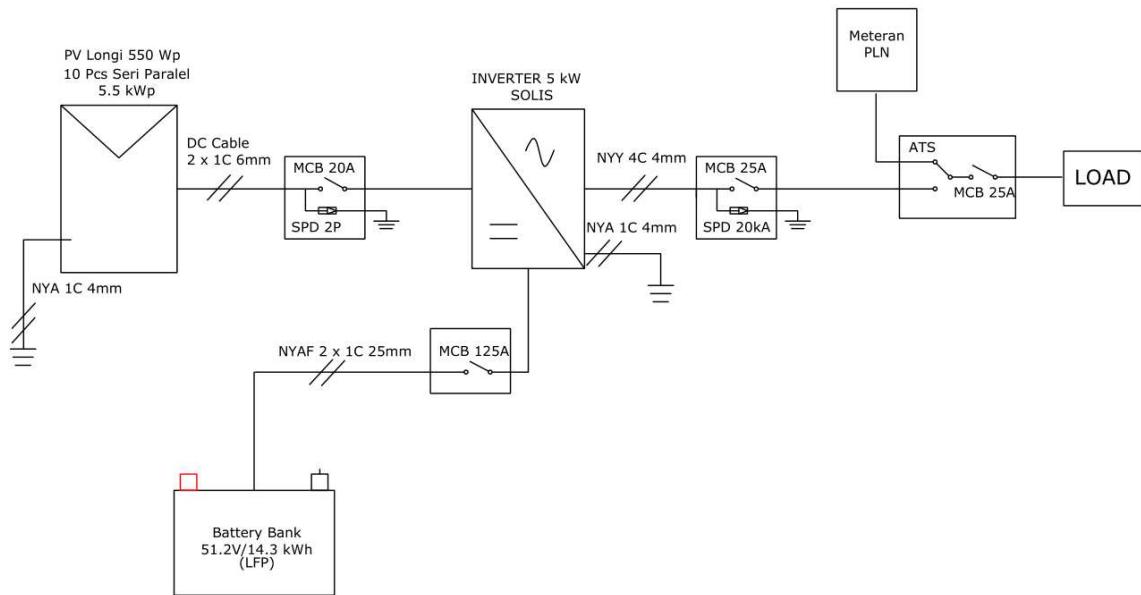
$$\text{Daya PLTS}_{total} = 3,18 \times 1,65 = 4,83 \text{ kW} \approx 5 \text{ kW} \quad (10)$$

Jika modul PV yang digunakan memiliki daya masing masing modul sebesar 550 Wp dengan tegangan maksimal 50VDC maka jumlah kebutuhan PV adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Modul PV} = \frac{5.000}{550} = 9,09 \approx 10 \text{ unit} \quad (11)$$

3.1.5 Desain Single Line Diagram PLTS

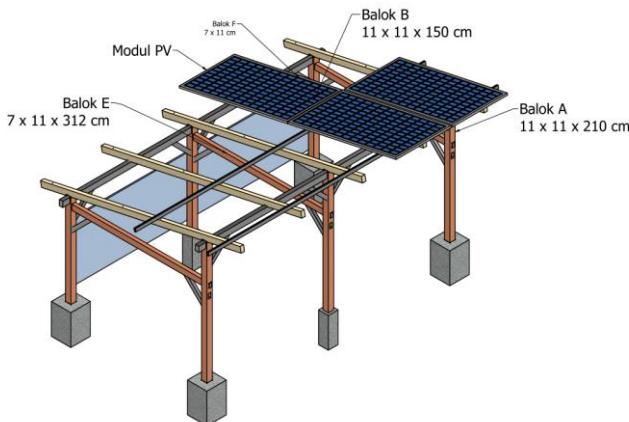
Berdasarkan kebutuhan energi maka sistem PLTS yang diusulkan adalah sistem *PLTS off-grid*. Berikut adalah *single line diagram* (SLD) sistem PLTS *off-grid* yang diusulkan. Pada SLD sistem PLTS tersebut terdiri dari 10 unit panel surya 550 Wp yang disusun seri-paralel dengan total kapasitas 5,5kWp, proteksi gangguan hubung singkat dan beban lebih berupa MCB DC dengan rating arus sebesar 20A, inverter (konverter DC-AC) dengan daya sebesar 5kW, baterai dengan kapasitas 14,4kWh, tegangan 51,2V berjenis *lithium iron phosphate* (LFP), keluaran dari inverter terdapat proteksi berupa MCB 25A, dan *automatic transfer switch* (ATS).



Gambar 3. SLD Sistem PLTS off-grid

3.1.6 Desain Konstruksi PLTS

Kontruksi kayu dipilih karena mampu bertahan terhadap korosi air laut. Gambar 4. menunjukkan desain rencana kontruksi PLTS.



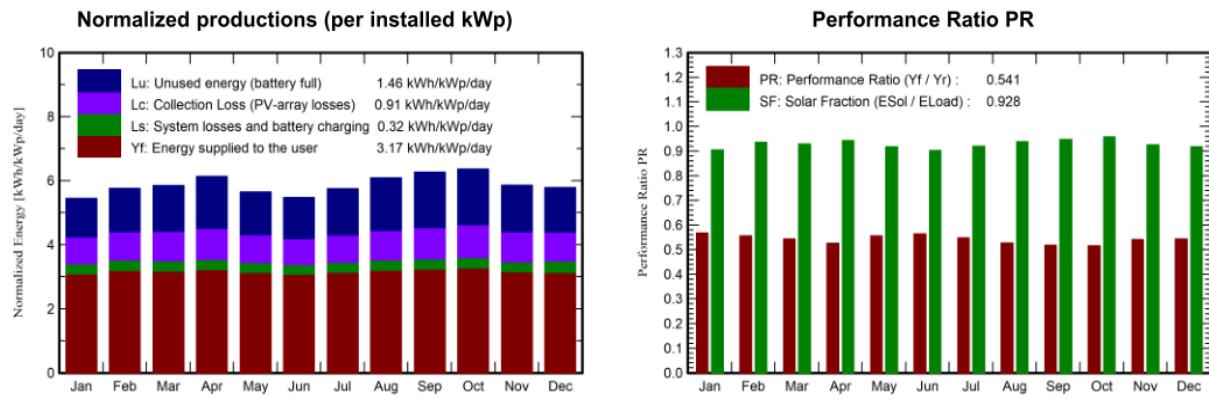
Gambar 4. Konstruksi PLTS Carpot

3.2 Analisa Performa Pembangkit

Simulasi *PVSyst* dilakukan dengan menggunakan model *stand-alone*, dimana kapasitas inverter yang digunakan adalah sebesar 5kW dan baterai tipe LFP dengan kapasitas 14,3kWh. Berikut adalah detail parameter yang digunakan dalam simulasi *PVSyst*:

- Data cuaca = Meteonorm 8.1 (2016 – 2021)
- Kemiringan PLTS = 12°
- Sudut azimuth = -55°
- Modul PV = 550 Wp
- Jumlah string = 2 jalur
- Jumlah modul setiap series = 5 unit

Periode pada simulasi *PVSyst* dimulai dari bulan Januari sampai Desember dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5.

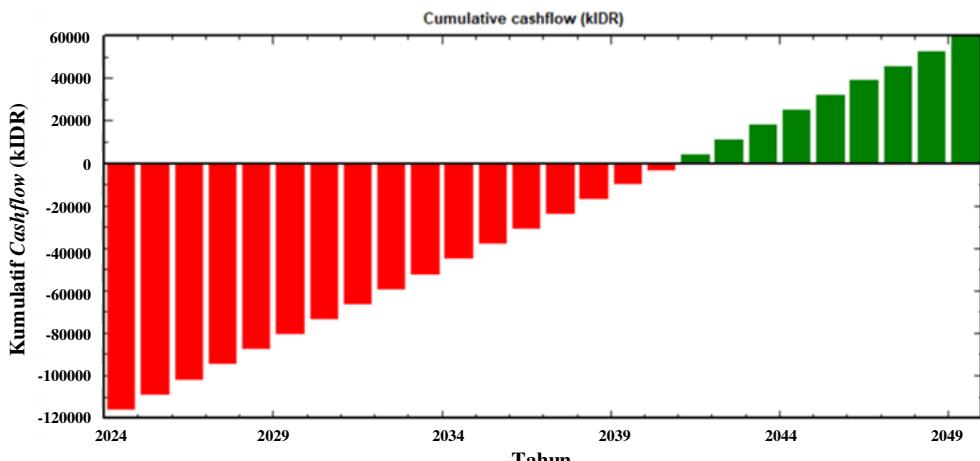
**Gambar 5.** Hasil simulasi performa pembangkit

Gambar 5 menunjukkan distribusi produksi energi yang dinormalisasi untuk setiap kWp yang terpasang dalam sistem PV selama satu tahun. Jumlah energi yang hilang karena baterai sudah penuh adalah sebesar 1,46 kWh/hari. Jumlah energi yang hilang karena disebabkan oleh *shading* adalah sebesar 0,91 kWh/hari. Jumlah energi yang hilang karena kerugian pada sistem pengisian baterai adalah sebesar 0,32 kWh/hari. Sedangkan energi yang mampu diserap oleh beban secara optimal adalah sebesar 3,17 kWh/hari, sehingga nilai *performance ratio (PR)* PLTS adalah 0,54. Nilai PR tersebut menunjukkan bahwa terdapat masalah pada sistem pembangkit karena memiliki nilai efisiensi yang rendah dimana standar efisiensi PLTS adalah antara 0,75 – 0,9. Penurunan nilai PR dapat disebabkan karena jumlah energi yang hilang terlalu besar yaitu sebesar 2,69 kWh/hari, dimana jumlah energi hilang terbesar disebabkan oleh baterai yang sudah penuh. Untuk meningkatkan efisiensi PLTS tersebut bisa dilakukan dengan menambahkan kapasitas baterai. Disisi lain *solar fraction (SF)* atau rasio antara energi yang disuplai oleh sistem PV terhadap total kebutuhan energi memiliki nilai sebesar 0,92. Nilai SF tersebut cukup baik karena energi yang terserap oleh beban adalah sebesar 92% dari energi yang dihasilkan oleh PV.

3.3 Analisa Ekonomi

Biaya investasi awal pembangunan PLTS *off-grid* 5,5 kWp di Masjid Cheng Hoo adalah sebesar Rp. 115.700.000. Biaya tersebut mencakup pembelian komponen PLTS, biaya kontruksi, gaji pekerja, pembelian baterai, dan pengiriman material ke lokasi. Dengan kapasitas pembangkit 5,5 kWp maka nominal investasi pembangkit per kWh di dapat sebesar Rp 23.140.000, dimana harga tersebut termasuk mahal yang disebabkan karena adanya pembelian baterai. Sedangkan biaya operasional tahunan yaitu sebesar Rp. 500.000, biaya tersebut merupakan gaji perawatan atau pembersihan PLTS sebanyak dua kali dalam satu tahun. Pada analisa ekonomi dengan menggunakan PVsyst periode simulasi dibuat selama 25 tahun dengan nilai inflasi 2% per tahun. Untuk tarif listrik per kWh yang dibebankan pada Masjid Muhammad Cheng Hoo sebesar Rp 1.200 per kWh, tarif tersebut merupakan tarif golongan sosial. Dari nilai tersebut harga jual listrik yang ditetapkan sebesar Rp 1.200 per kWh dengan tipe tarif tetap atau tidak ada kenaikan harga jual untuk tiap tahunnya. Berikut adalah hasil simulasi *cash flow* dengan menggunakan *software PVsyst*.

Dari Gambar 6 didapat bahwa nilai PBP adalah sebesar 16,4 tahun, durasi ini tergolong cukup lama jika dibandingkan dengan umur PLTS yaitu antara 20 – 25 tahun. Untuk nilai ROI adalah sebesar 51,4%, dimana pengurus Masjid akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp 59.459.800 pada tahun ke-17 sampai ke-25.



Gambar 6. Grafik cashflow investasi

Tabel 2. Hasil analisa kelayakan investasi PLTS dengan menggunakan PVsyst

No	Analisis kelayakan	Kriteria kelayakan	Hasil analisis	Kesimpulan
1	Net Present Value (NPV)	Layak (NPV>0) Tidak Layak (NPV<0)	Rp 59.412.192	Investasi PLTS sangat layak karena nilai NPV lebih besar dari 0
2	Internal Rate of Return (IIR)	Laya (IIR > rata-rata bunga pinjaman bank (8,5%)) Tidak Layak (IIR < rata-rata bunga pinjaman bank) [25]	3,51%	Nilai IIR dibawah rata-rata bunga pinjaman bank maka berdasarkan data tersebut investasi dianggap tidak layak. Tetapi jika dibandingkan dengan nilai inflasi (2,75% per tahun), maka investasi PLTS dikatakan layak.
3	Payback Periode (PBP)	Layak (PBP <= masa optimal PLTS) Tidal Layak (PBP > masa optimal PLTS)	16,4 Tahun	Dikarenakan nilai PBP lebih kecil dari masa optimal pembangkit, maka investasi dikatakan layak
4	Levelized Cost of Energy (LCOE)	Layak (LCOE < tarif listrik per kWh) Tidak Layak (LCOE > tarif listrik per kWh)	Rp 826 per kWh	Dikarenakan nilai LCOE < tarif listrik (Rp 1.200 per kWh), maka investasi PLTS dikatakan layak
5	Operational Expenses (OPEX)	Layak (OPEX < biaya investasi per tahun) Tidak Layak (OPEX > biaya investasi per tahun)	Rp 640.605 per tahun	Dikarenakan nilai OPEX < nilai investasi per tahun (Rp 4.820.000), maka investasi PLTS dikatakan layak

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis ekonomi dan performa PLTS *off-grid* dengan kapasitas 5,5kWp di Masjid Muhammad Cheng Hoo, maka dapat disimpulkan bahwa biaya investasi awal sebesar Rp 115.700.000 dan dengan biaya operasional per tahun sebesar Rp 640.605. Dari hasil analisis PR menunjukkan bahwa sistem PLTS tidak layak untuk dibangun, tetapi kondisi ini bisa diperbaiki dengan menambahkan kapasitas baterai sebesar 14,3kWh sehingga total baterai yg digunakan sebesar 28,6 kWh. Penurunan nilai PR pada pembangkit disebabkan karena banyak energi yang hilang karena baterai sudah penuh. Sedangkan, dari hasil analisis ekonomi didapatkan bahwa PLTS Masjid Cheng Hoo layak untuk dibangun. Berdasarkan hasil kedua analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem dapat dilanjutkan ke tahap pembangunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang atas program pendanaan penelitian dan pengabdian masyarakat tahun 2024 dengan nomor SK: 1/P2M-HDL/F1-IMM/VI/2024.

REFERENSI

- [1] A. Pribadi, "Punya Potensi Pasar Besar, Penggiat PLTS di Indonesia Diminta Tak Keluar Gelanggang," *esdm*, Jul. 26, 2023. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/punya-potensi-pasar-besar-penggiat-plts-di-indonesia-diminta-tak-keluar-gelanggang> (accessed Dec. 23, 2024).
- [2] N. A. Wahyudi, "Kapasitas Terpasang PLTS Masih Rendah, AESI: TKDN & Izin PLN Jadi Kendala," *Ekonomi Bisnis*, 2023. https://ekonomi.bisnis.com/read/20231113/44/1713942/kapasitas-terpasang-plts-masih-rendah-aesi-tkdn-izin-pln-jadi-kendala?utm_source=chatgpt.com (accessed Dec. 22, 2024).
- [3] D. L. Pristiandaru, "4 PLTS Terbesar di Indonesia Halaman all - Kompas.com," *Lestari*, 2023. https://lestari.kompas.com/read/2023/12/26/100000486/4-plts-terbesar-di-indonesia?page=all&utm_source=chatgpt.com (accessed Dec. 22, 2024).
- [4] A. Yani, "Pohon Tumbang Picu Pemadaman di Malang Selatan, Tiang Listrik Ikut Roboh - Radar Malang," *Radar Malang*, 2024. <https://radarmalang.jawapos.com/peristiwa/814446739/pohon-tumbang-picu-pemadaman-di-malang-selatan-tiang-listrik-ikut-roboh> (accessed Nov. 14, 2024).
- [5] R. Pido, R. H. Boli, M. Rifal, W. Rauf, N. S. Dera, and R. R. Day, "ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP OPTIMASI DAYA PANEL SURYA," *RADIAL J. Perad. Sains, Rekayasa dan Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 234–240, Dec. 2022, doi: 10.37971/RADIAL.V10I2.287.
- [6] R. Siahaan, I. W. Kusuma, and I. B. Adnyana, "Pengaruh Sudut B dan W pada PLTS di PT Indonesia Power," *J. Mettek J. Ilm. Nas. dalam Bid. Ilmu Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 62–69, Apr. 2020, doi: 10.24843/METTEK.2020.V06.I01.P08.
- [7] R. Rafli, J. Ilham, and S. Salim, "Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 8–15, Jan. 2022, doi: 10.37905/JJEEE.V4I1.10790.
- [8] A. halomoan Sitorus, N. Hidayati, T. H. Nufus, and A. E. Yuliana, "Simulasi Software PVsyst 7.3 pada Rancangan Sistem PLTS On-Grid 48,4 kWp di Gedung Perpustakaan PNJ Serta Analisa Aspek Tekno-Ekonomi dan Carbon Saving," *J. Mek. Terap.*, vol. 4, no. 3, pp. 156–166, Dec. 2023, doi: 10.32722/JMT.V4I3.5996.
- [9] Z. Serat, S. A. Z. Fatemi, and S. Shirzad, "Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVsyst Software," *Arch. Adv. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 63–76, Jul. 2023, doi: 10.47852/BONVIEWAES32021177.
- [10] K. P. Pratama, I. Iftadi, and A. Ramelan, "Technical Design and Financial Projection of Solar Power Plant on Grid 119.5 kWp in Sendang Sari Hotel," *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 10–14, May 2023, doi: 10.20961/JEEICT.5.1.68869.
- [11] F. Anwar and T. Rijanto, "Analisis Perencanaan Plts On Grid Menggunakan Helioscope (Studi Kasus PLTS On Grid 40 KWp Di Gedung Asrama Putri Universitas Airlangga)," vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.455.
- [12] E. Arvin Karuniawan and K. Kunci-Energi, "Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 100–105, Oct. 2021, doi: 10.22441/JTE.2021.V12I3.001.
- [13] R. Górniewicz and R. Castro, "Optimal design and economic analysis of a PV system operating under Net Metering or Feed-In-Tariff support mechanisms: A case study in Poland," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 42, p. 100863, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.SETA.2020.100863.
- [14] K. F. Uddin, J. Iqbal, and S. Amjad, "Return on Investment (ROI) Analysis of Off-grid Solar Photovoltaic System in Residential Sector of Pakistan," *J. Sustain. Environ.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, Jun. 2022, doi: 10.58921/JSE.01.01.014.
- [15] R. Rahman, P. Teknik Elektro, I. Kalimantan, and M. Banjarmasin, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Offgrid Untuk Rumah Tinggal Di Kota Banjarbaru," *EEICT (Electric, Electron. Instrumentation, Control. Telecommun.)*, vol. 4, no. 1, Apr. 2021, doi: 10.31602/EEICT.V4I1.4540.
- [16] B. E. Kodo, F. J. Likadja, and E. R. Mauboy, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) OffGrid pada Area Perkebunan Desa Bismarak," *JTekEL J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 40–47, Jun. 2024, Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: <https://elektro.ejournal.web.id/index.php/elektro/article/view/115>
- [17] A. Setyawan and A. Ulinuha, "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA OFF GRID UNTUK SUPPLY CHARGE STATION," *Transmisi*, vol. 24, no. 1, pp. 23–28, Feb. 2022, doi: 10.14710/TRANSMISI.24.1.23-28.

- [18] M. Naim, S. Pengajar, T. Mesin, and A. T. Sorowako, “RANCANGAN SISTEM KELISTRIKAN PLTS OFF GRID 1000 WATT DI DESA LOEHA KECAMATAN TOWUTI,” *VERTEX ELEKTRO*, vol. 12, no. 1, pp. 17–25, Aug. 2020, doi: 10.26618/JTE.V12I1.4013.
- [19] A. Gilang Mahesa, K. Hie Khwee, J. Teknik Elektro, F. Teknik, and U. H. Tanjungpura Jalan Hadari Nawawi, “STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM HYBRID SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF,” *J. Electr. Eng. Energy, Inf. Technol.*, vol. 9, no. 2, Oct. 2021, doi: 10.26418/J3EIT.V9I2.49873.
- [20] M. Baqir and H. K. Channi, “Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software,” *Mater. Today Proc.*, vol. 48, pp. 1332–1338, 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.09.029.
- [21] M. D. R. Apriano, K. Karnoto, and E. W. Sinuraya, “ANALISIS EKONOMI PADA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DIGEDUNG RUMAH SAKIT MEDIKA DRAMAGA BOGOR,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 399–404, Sep. 2021, doi: 10.14710/TRANSIENT.V10I3.399-404.
- [22] H. Xu, “Using the Net Present Value Rule to Make Value-Creating Investment Decisions,” *Proc. Int. Conf. Chem. Mater. Food Eng.*, vol. 22, Aug. 2015, doi: 10.2991/CMFE-15.2015.153.
- [23] X. C. Ngo and N. Y. Do, “The Impact of Electrical Energy Consumption on the Payback Period of a Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System: A case Study from Vietnam | Ngo | International Journal of Renewable Energy Development,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 11, no. 2, pp. 581–589, 2024, Accessed: Dec. 26, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijred/article/view/42981>
- [24] O. Zebua *et al.*, “Analisis Kelayakan Ekonomi dan Self-Consumption dari PLTS On-grid dan Hibrid Kapasitas 1328 kWp,” *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 41–49, Jan. 2024, doi: 10.23960/ELC.V18N1.2617.
- [25] A. Y. R. Purnama, “Suku Bunga Dasar Kredit,” *OTORITAS JASA KEUANGAN*, 2024. <https://ojk.go.id/id/kanal/perbankan/Pages/Suku-Bunga-Dasar.aspx> (accessed Dec. 29, 2024).

