

STUDI EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 17 KWP PADA GEDUNG PLTD SERA

Naufal Azhar Fikriawan¹, Muhammad Ismail Yusuf², Ayong Hiendro³
nauvalazhfikriawan@gmail.com¹, ismail.yusuf@ee.untan.ac.id², ayong.hiendro@ee.untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik di Indonesia mendorong pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja PLTS atap berkapasitas 17,04 kWp di ULPLTD Sei Raya berdasarkan standar IEC 61724-1 serta menganalisis kelayakan investasinya menggunakan metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Period (DPP). Data penelitian meliputi produksi energi listrik, lama penyinaran matahari, spesifikasi sistem, serta biaya investasi dan operasional. Data lama penyinaran matahari diolah menggunakan metode Angstrom-Prescott dengan radiasi ekstraterrestrial 36 MJ/m²/hari dan lama penyinaran maksimum 12 jam untuk memperoleh nilai Reference Yield (YR). Hasil penelitian menunjukkan rata-rata YR 4,85 kWh/kWp/hari pada bulan Mei dan 5,83 kWh/kWp/hari pada bulan Juni, Final Yield (YF) sebesar 3,56 kWh/kWp/hari, dan Performance Ratio (PR) yang menunjukkan sistem bekerja dengan baik sesuai standar IEC 61724-1. Analisis ekonomi menghasilkan sebesar Rp160.386.354 PI sebesar 2,06, dan DPP selama 9 tahun, sehingga investasi PLTS dinyatakan layak karena memenuhi kriteria NPV > 0, PI > 1, dan DPP lebih kecil dari umur proyek 30 tahun.

Kata Kunci: PLTS, IEC 61724-1, Final Yield, Performance Ratio, Kelayakan Investasi

ABSTRACT

The increasing demand for electrical energy in Indonesia has encouraged the utilization of Solar Power Plants (SPP) as one of the renewable energy sources. This study aims to evaluate the performance of a 17.04 kWp rooftop solar photovoltaic (PV) system at ULPLTD Sei Raya based on the IEC 61724-1 standard and to assess its investment feasibility using the Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), and Discounted Payback Period (DPP) methods. The research data include electrical energy production, sunshine duration, PV system specifications, and investment and operational costs. Sunshine duration data were processed using the Angstrom–Prescott method with an extraterrestrial solar radiation value of 36 MJ/m²/day and a maximum sunshine duration of 12 hours to obtain the Reference Yield (YR). The results show that the average Reference Yield (YR) was 4.85 kWh/kWp/day in May and 5.83 kWh/kWp/day in June, while the average Final Yield (YF) was 3.56 kWh/kWp/day. The Performance Ratio (PR) indicates that the PV system operates satisfactorily in accordance with the IEC 61724-1 standard. The economic analysis resulted in a Net Present Value (NPV) of Rp160,386,354, a Profitability Index (PI) of 2.06, and a Discounted Payback Period (DPP) of 9 years. Therefore, the rooftop PV system investment is considered feasible as it satisfies the investment criteria of NPV > 0, PI > 1, and DPP shorter than the 30-year project lifetime.

Keywords: Solar Power Plant (SPP), IEC 61724-1, Final Yield, Performance Ratio, Investment Feasibility.

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan listrik saat ini merupakan suatu keharusan dasar bagi manusia di setiap wilayah. Setiap aktivitas manusia di setiap daerah bergantung pada ketersediaan listrik, dan jumlah listrik yang dibutuhkan terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan pertumbuhan populasi. Menurut Badan Pusat Statistik, rasio elektrifikasi di Indonesia telah mencapai 99,63%, dengan kapasitas listrik terpasang sebesar 74,218 MW, dan konsumsi listrik di Indonesia 87% berasal dari energi fosil, di mana 33% berasal dari minyak atau gas alam, dan 54% dari batu bara. Sementara itu, pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) baru mencapai sekitar 13%. Saat ini, batu bara dan minyak mentah,

yang merupakan sumber energi tidak terbarukan, adalah konsumsi energi terbesar di dunia. Penggunaan bahan bakar fosil ini pasti akan menyebabkan pencemaran lingkungan, akibat emisi berbahaya yang dihasilkan dapat mengkontaminasi lingkungan alami dan menyebabkan perubahan iklim [1].

Karena itu, Indonesia mulai beralih ke energi baru terbarukan (EBT) untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Diproyeksikan bahwa kapasitas kelistrikan negara akan mencapai 135 GW pada tahun 2025, dengan 45 GW harus berasal dari pembangkit energi baru terbarukan. Diantara banyaknya sumber energi alternatif, energi matahari merupakan salah satu bentuk langsung dari energi terbarukan. Dengan adanya Gerakan Nasional Sejuta Surya Atap Menuju Gigawatt Fotovoltaik adalah salah satu inisiatif inovatif yang diluncurkan oleh Kementerian ESDM [2].

Indonesia mempunyai sumber energi matahari yang melimpah dan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh Indonesia. Khususnya di Pontianak yang terletak di garis khatulistiwa yang intensitas penyinaran matiharinya cukup tinggi, maka mempunyai peluang untuk mengembangkan PLTS untuk kebutuhan listrik. Hal tersebut memperlihatkan potensi yang melimpah dalam melakukan perkembangan dan pemanfaatan PLTS di kemudian hari [3].

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Sera salah satu unit di PLN yang bergerak di bidang pembangkit listrik tenaga diesel ikut mengambil peran dalam mendukung program baruan EBT dengan membangun PLTS. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sera ini memanfaatkan skema penggabungan dua atau lebih sumber energi listrik yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban pada gedung PLTD sera, dengan demikian dapat menutupi kelemahan masing-masing Artinya, PLTS dipasang pada atap gedung dan di back up dengan PLN. PLTS tipe On grid Zero Export memerlukan tegangan PLN untuk dapat bekerja normal. Walaupun PLTS tipe On Grid Zero Export berhenti beroperasi jika tegangan dari PLN hilang, namun berdasar penelitian terdahulu, penggunaan sistem On Grid Zero Export lebih menekan biaya dibandingkan sistem off-grid [4].

PLTS di PLTD Sera digunakan sebagai alternatif pasokan energi untuk kebutuhan pengoperasian di perusahaan PLTD Sera sehingga berpotensi mengurangi biaya listrik tahunan. Meskipun system PLTS di PLTD Sera telah beroperasi, hingga saat ini belum dilakukan evaluasi secara komprehensif terhadap kinerja teknis maupun kelayakan ekonominya selama masa operasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem PLTS berdasarkan aspek teknis dan aspek ekonomi. Analisis aspek teknis dilakukan menggunakan standar IEC 61724-1 melalui parameter Final Yield (YF), Reference Yield (YR) dan Performance Ratio (PR) untuk mengetahui tingkat efisiensi aktual sistem PLTS. Sementara itu, analisis aspek ekonomi dilakukan menggunakan metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Period (DPP) guna mengetahui tingkat kelayakan investasi sistem PLTS yang telah dibangun. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengembangan PLTS pada masa mendatang.

METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini dilakukan melalui tahapan pengumpulan data, pengolahan data, serta analisis performansi dan kelayakan investasi system Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Analisis performansi dilakukan menggunakan parameter Performance Ratio (PR) untuk mengetahui tingkat kinerja system PLTS berdasarkan energi listrik yang dihasilkan terhadap energi radiasi matahari yang diterima panel surya.

Selanjutnya analisis investasi dilakukan menggunakan metode Net Present Value (NPV), Payback Period (PP), dan Profitability Index (PI) guna mengetahui tingkat kelayakan ekonomi investasi PLTS berdasarkan biaya investasi, biaya oprasional, dan manfaat ekonomi yang diperoleh selama umuer proyek.

Melalui metodologi penelitian yang digunakan, diharapkan hasil dapat memberikan gambaran mengenai tingkat performansi system PLTS serta tingkat kelayakan investasi PLTS secara teknis dan ekonomis pada objek penelitian yang dikaji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skema Panel Surya

Sistem PLTS On-Grid Zero Export dapat dilihat pada Gambar 2.1 yang terletak pada atap perusahaan ULPLTD dengan kapasitas 17,04 kWp. PLTS ini dipasang secara seri yang di konfigurasi secara flush mount. Sistem PLTS menggunakan 24 buah modul surya dengan berkapasitas 710 Wp berjenis monocrystalline hasil DC dari panel kemudian dialirkan menuju dc fuse sebagai pengaman terhadap arus lebih dan korleting pada sisi DC, setelah melewati DC fuse arus dihubungkan ke DC SPD untuk melindungi sistem dari lonjakan tegangan akibat petir atau gangguan listrik pada jalur DC. Energi DC selanjutnya masuk ke inverter untuk dikonversi menjadi listrik AC dengan kapasitas 15 kW untuk mengubah arus DC menjadi AC, pada sisi keluaran inverter dipasang AC SPD sebagai proteksi terhadap surge atau lonjakan tegangan pada jalur AC setelah itu listrik dialirkan ke MCB AC sebagai pengaman arus lebih sekaligus pemutus rangkaian apabila terjadi gangguan pada sisi beban.

Evaluasi Kesesuaian Konfigurasi Inverter terhadap Modul

Evaluasi kesesuaian konfigurasi inverter terhadap modul dilakukan untuk memastikan bahwa parameter kelistrikan modul fotovoltaik yang digunakan telah sesuai dengan spesifikasi teknis inverter. Parameter yang dievaluasi meliputi kapasitas daya, tegangan kerja, arus kerja, serta rasio kapasitas DC terhadap AC (DC/AC ratio). Kesesuaian parameter tersebut sangat penting untuk menjamin inverter dapat bekerja pada rentang operasinya secara optimal, aman, dan efisien.

Pada sistem PLTS yang diteliti digunakan 24 modul fotovoltaik N-Type TOPCon Monocrystalline Silicon dengan daya maksimum 710 Wp per modul. Modul disusun menjadi 2 string, dengan masing-masing string terdiri atas 12 modul yang dihubungkan secara seri. Konfigurasi tersebut menghasilkan kapasitas terpasang sebesar 17,04 kWp Adapun spesifikasi modul fotovoltaik yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 1 Spesifikasi Modul Fotovoltaik

Parameter	Spesifikasi
Tipe Modul	N-Type TOPConMonocrystalline Silicon
Daya Maksimum (Pmx)	710 Wp
Teknologi Sel	Monocrystalline / Half Cell
Tegangan daya maksimum (Vmp)	40,9 V
Arus daya maksimum (Imp)	17,36 A
Jumlah sel	132 sel
Efisiensi Modul	±22,9%
Tegangan Sistem Maksimum	1500 V DC
Dimensi Modul	2384 x 1303 x 33mm
Berat Modul	±32,9 kg

Sementara itu, sistem menggunakan inverter ICA Solar SNV-GT1532DM tipe On-Grid (Grid-Tie) dengan kapasitas keluaran nominal 15 kW. Inverter ini memiliki dua kanal MPPT (Maximum Power Point Tracking), sehingga masing-masing string dihubungkan ke satu MPPT untuk memperoleh proses pelacakan daya maksimum secara optimal.

Spesifikasi inverter disajikan pada Tabel 2

Tabel 2 Spesifikasi Inverter

Parameter	Spesifikasi
Merek	Ica Solar
Model	SNV-GT1532DM
Jenis Inverter	On-Grid (Grid-Tie)
Daya keluaran nominal	15 kW
Tegangan DC maksimum (PV array open-circuit)	1000 Vdc
Tegangan DC nominal	620 Vdc
Rentang tegangan MPPT	250-950 Vdc
Arus operasi maksimum PV	21 Adc x 2MPPT
Arus hubung singkat maksimum PV	23 Adc x 2 MPPT
Tegangan keluaran AC	3/N/PE, 400 Vac / 230 Vac
Frekuensi jaringan	50Hz

Evaluasi Tegangan String

Berdasarkan konfigurasi sistem, masing-masing string atas 12 modul yang disusun secara seri. Dengan tegangan daya maksimum (V_{mp}) setiap modul sebesar 40,9, maka tegangan kerja setiap string dapat dihitung dengan persamaan (2.1):

$$V_{string} = N_s \times V_{mp}$$

$$V_{string} = 12 \times 40,9$$

$$V_{string} = 490,8 \text{ V}$$

Spesifikasi inverter ICA Solar SNV-GT1532DM pada Tabel 4.2 memiliki rentang tegangan MPPT sebesar 250-850 V. Maka tegangan string berada dalam rentang kerja MPPT inverter. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi 12 modul seri telah memenuhi persyaratan tegangan masukan inverter sehingga proses pelacakan titik daya maksimum (MPPT) dapat berlangsung dengan baik.

Evaluasi Arus Masukan Inverter

Arus masukan inverter dengan jumlah 1 paralel dengan arus maksimum daya modul 17,36 A dihitung menggunakan persamaan (2.2).

$$I_{PV} = N_p \times I_{mp}$$

$$I_{PV} = 1 \times 17,36$$

$$I_{PV} = 17,36 \text{ A}$$

Spesifikasi inverter pada Tabel 4.2 memiliki batas maksimum arus masukan sebesar 21 A karena 17,36 A lebih kecil dari pada 21 A maka arus yang masuk ke inverter masih berada di bawah batas maksimum. Dengan demikian, inverter mampu menerima arus dari kedua string tanpa mengalami pembatasan arus (current limiting).

Evaluasi Kapasitas Inverter (DC/AC Ratio)

Perbandingan kapasitas modul PV terhadap kapasitas inverter dihitung menggunakan persamaan (2.3).

$$AC \text{ Ratio}/DC = \frac{P_{PV}}{P_{inv}}$$

$$AC/DC = \frac{15}{17,04}$$

$$AC/DC = 0,88$$

$$AC/DC = 88 \%$$

Total kapasitas modul surya yang terpasang pada sistem 17,04 kWp, sedangkan inverter yang digunakan memiliki nominal 15 kW, sehingga diperoleh rasio AC/DC sebesar 88% dari kapasitas modul surya. Rasio tersebut merupakan hal yang umum pada sistem PLTS karena modul surya jarang menghasilkan daya puncak sesuai kapasitas terpasangnya akibat pengaruh kondisi operasi di lapangan. Faktor-faktor seperti intensitas

radiasi matahari, bayangan (shading), debu pada permukaan panel yang menyebabkan daya keluaran modul umumnya berada di bawah kapasitas nominalnya.

Analisis Refrance Yield

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah lama penyinaran matahari (sunshine duration) harian bulan Mei dan Juni 2026 yang diperoleh dari BMKG. Data ini digunakan untuk mengestimasi potensi energi surya dalam bentuk refrence yield.

Estimasi radiasi matahari global dilakukan menggunakan metode Angstrom-Prescott yaitu model empiris yang menghubungkan lama penyinaran matahari dengan radiasi matahari global. Data Lama penyinaran matahari yang diperoleh oleh BMKG dapat dilihat pada Tabel 4.1 yang akan dikonversikan menjadi refrence yield.

Tabel 4. 3 Lama Penyinaran Matahari

<i>Tanggal</i>	<i>Lama Penyinaran Matahari</i>	<i>Tanggal</i>	<i>Lama Penyinaran Matahari</i>
01-06-2026	7,8	01-05-2026	3,9
02-06-2026	6,4	02-05-2026	4,6
03-06-2026	7,5	03-05-2026	4,1
04-06-2026	7,8	04-05-2026	8,0
05-06-2026	8,0	05-05-2026	1,5
06-06-2026	7,6	06-05-2026	6,8
07-06-2026	3,9	07-05-2026	5,9
08-06-2026	0,3	08-05-2026	5,9
09-06-2026	7,7	09-05-2026	3,9
10-06-2026	3,9	10-05-2026	4,6
11-06-2026	3,2	11-05-2026	8,0
12-06-2026	0,0	12-05-2026	6,6
13-06-2026	7,3	13-05-2026	4,6
14-06-2026	0,8	14-05-2026	8,0
15-06-2026	6,9	15-05-2026	6,9
16-06-2026	1,0	16-05-2026	5,6
17-06-2026	8,0	17-05-2026	7,3
18-06-2026	6,1	18-05-2026	0,0
19-06-2026	7,2	19-05-2026	7,1
20-06-2026	6,2	20-05-2026	8,0
21-06-2026	7,5	21-05-2026	4,8
22-06-2026	6,9	22-05-2026	4,9
23-06-2026	7,9	23-05-2026	7,5
24-06-2026	7,7	24-05-2026	5,4
25-06-2026	7,7	25-05-2026	2,9
26-06-2026	7,6	26-05-2026	6,4
27-06-2026	4,4	27-05-2026	7,0
28-06-2026	0,0	28-05-2026	8,0
29-06-2026	8,0	29-05-2026	5,1
30-06-2026	5,8	30-05-2026	5,5

Berikut hasil perhitungan refrence yield (YR) dengan data pada Tabel 4.1 yang digunakan tanggal 01 Juni 2026 dapat dihitung dengan persamaan 2.4:

$$H = 36 \left(0,25 + 0,50 \frac{7,8}{12} \right)$$

$$H = 36 (0,25 + 0,50 \times 0,65)$$

$$H = 36 \times 0,575 = 20,70 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}$$

$$1 \text{ kWh/m}^2 = 3,6 \text{ MJ/m}^2$$

$$Y_R = \frac{20,70}{3,6} = 5,75 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan Refrence Yield (YR) diperoleh nilai potensi radiasi surya harian selama periode pengamatan pada bulan Mei - Juni 2026. Perhitungan dilakukan dengan memanfaatkan data lama penyinaran matahari (sunshine duration) untuk

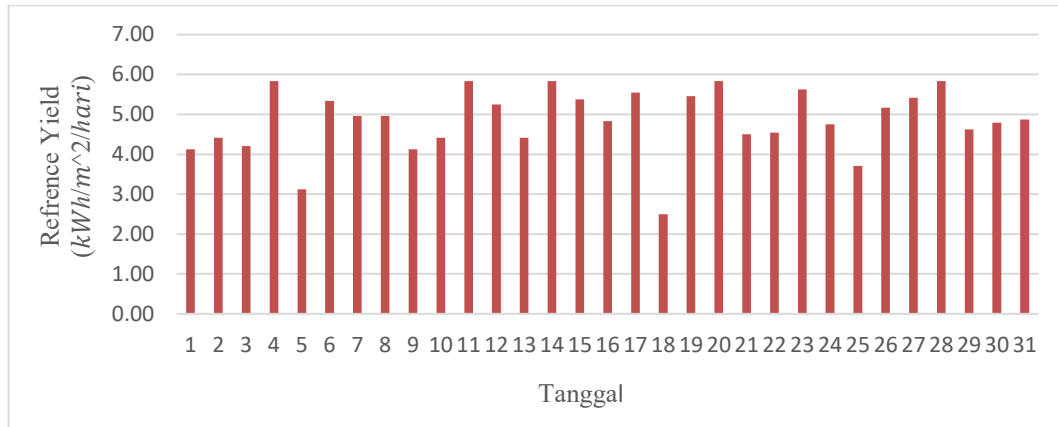
memperoleh radiasi surya global harian, yang selanjutnya dikonversikan ke satuan kWh/m²/hari sebagai nilai Refrence Yield (YR). Nilai YR yang dihasilkan mencerminkan besarnya energi radiasi matahari yang tersedia dan dapat dimanfaatkan oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Hasil perhitungan Refrence Yield (YR) untuk setiap hari selama periode penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 4 Reference Yield (YR) Bulan Mei

Tanggal	SS (jam)	H(MJ/m ² /hari)	YR (kWh/m ² /hari)
01-05-2026	3,9	14,85	4,13
02-05-2026	4,6	15,90	4,42
03-05-2026	4,1	15,15	4,21
04-05-2026	8	21,00	5,83
05-05-2026	1,5	11,25	3,13
06-05-2026	6,8	19,20	5,33
07-05-2026	5,9	17,85	4,96
08-05-2026	5,9	17,85	4,96
09-05-2026	3,9	14,85	4,13
10-05-2026	4,6	15,90	4,42
11-05-2026	8	21,00	5,83
12-05-2026	6,6	18,90	5,25
13-05-2026	4,6	15,90	4,42
14-05-2026	8	21,00	5,83
15-05-2026	6,9	19,35	5,38
16-05-2026	5,6	17,40	4,83
17-05-2026	7,3	19,95	5,54
18-05-2026	0	9,00	2,50
19-05-2026	7,1	19,65	5,46
20-05-2026	8	21,00	5,83
21-05-2026	4,8	16,20	4,50
22-05-2026	4,9	16,35	4,54
23-05-2026	7,5	20,25	5,63
24-05-2026	5,4	17,10	4,75
25-05-2026	2,9	13,35	3,71
26-05-2026	6,4	18,60	5,17
27-05-2026	7	19,50	5,42
28-05-2026	8	21,00	5,83
29-05-2026	5,1	16,65	4,63
30-05-2026	5,5	17,25	4,79
31-05-2026	5,7	17,55	4,88

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.2, nilai Refrence Yield (YR) pada bulan Mei 2026 berkisaran antara 2,50-5,83 kWh/m²/hari dengan nilai rata-rata 4,85 kWh/m²/hari. Nilai tertinggi terjadi pada tanggal 4,11, 14 20, dan 28 Mei 2026, sedangkan nilai terendah tercatat pada 18 Mei 2026. Total Refrence Yield selama periode pengamatan mencapai 150,21 kWh/m²/hari.

Refrence Yield merupakan parameter yang menggambarkan besarnya energi radiasi matahari yang tersedia pada bidang modul fotovoltaik dan dinyatakan dalam satuan jam ekuivalen pada intensitas radiasi matahari sebesar 1 kWh/m²/hari. Oleh karena itu, nilai YR digunakan sebagai acuan untuk menevaluasi potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan oleh sistem PLTS sebelum mempertimbangkan pengaruh efisiensi modul, suhu operasi, inverter maupun rugi-rugi sistem lainnya.



Gambar 4. 1 Grafik YR Pada Bulan Mei

Hasil grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan adanya fluktuasi nilai YR selama periode pengamatan. Nilai YR tinggi mengindikasikan kondisi matahari baik sehingga memberikan peluang produksi energi listrik yang lebih besar. Sebaliknya, nilai YR yang rendah menunjukkan berkurangnya energi surya yang tersedia akibat kondisi cuaca, seperti meningkatnya tutupan awan atau curah hujan. Dengan demikian, variasi nilai YR lebih mencerminkan perubahan kondisi lingkungan daripada kinerja sistem PLTS itu sendiri.

Dalam evaluasi kinerja PLTS, nilai refrence yield menjadi parameter dasar untuk mengetahui indikator kinerja lainnya, seperti Final Yield (YF) dan Performace ratio (PR). Oleh karena itu, rata-rata YR sebesar 4,85 kWh/m²/hari menunjukkan bahwa selama bulan Mei 2026 potensi radiasi surya dilokasi penelitian tergolong baik. Nilai ini menjadi acuan penting dalam menilai apakah energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS elah sesuai dengan potensi energi surya yang tersedia atau masih mengalami kehilangan energi (losses) akibat factor teknis maupun operasional.

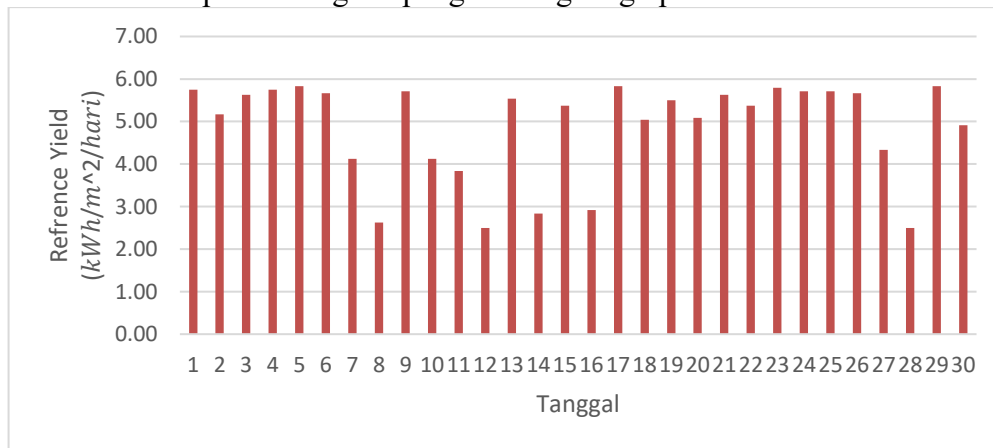
Tabel 4. 5 Reference Yield (YR) Bulan Juni.

Tanggal	SS (jam)	H(MJ/m ² /hari)	YR (kWh/m ² /hari)
01-06-2026	7,8	20,70	5,75
02-06-2026	6,4	18,60	5,17
03-06-2026	7,5	20,25	5,63
04-06-2026	7,8	20,70	5,75
05-06-2026	8	21,00	5,83
06-06-2026	7,6	20,40	5,67
07-06-2026	3,9	14,85	4,13
08-06-2026	0,3	9,45	2,63
09-06-2026	7,7	20,55	5,71
10-06-2026	3,9	14,85	4,13
11-06-2026	3,2	13,80	3,83
12-06-2026	0	9,00	2,50
13-06-2026	7,3	19,95	5,54
14-06-2026	0,8	10,20	2,83
15-06-2026	6,9	19,35	5,38
16-06-2026	1	10,50	2,92
17-06-2026	8	21,00	5,83
18-06-2026	6,1	18,15	5,04
19-06-2026	7,2	19,80	5,50
20-06-2026	6,2	18,30	5,08
21-06-2026	7,5	20,25	5,63
22-06-2026	6,9	19,35	5,38
23-06-2026	7,9	20,85	5,79

24-06-2026	7,7	20,55	5,71
25-06-2026	7,7	20,55	5,71
26-06-2026	7,6	20,40	5,67
27-06-2026	4,4	15,60	4,33
28-06-2026	0	9,00	2,50
29-06-2026	8	21,00	5,83
30-06-2026	5,8	17,70	4,92

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.3 nilai Refrence Yield (YR) selama bulan Juni 2026 berada pada rentang 2,50-5,83 kWh/m²/hari, dengan nilai rata-rata 4,88 kWh/m²/hari. Nilai tertinggi sebesar 5,83 kWh/m²/hari /hari terjadi pada tanggal 4, 17, dan 29 Juni 2026, sedangkan nilai terendah sebesar 2,50 kWh/m²/hari terjadi pada tanggal 12 dan 28 Juni 2026. Total Refrence Yield selama periode pengamatan mencapai 146,29 kWh/m²/hari.

Nilai Refrence Yield menunjukkan besarnya energi radiasi matahari yang tersedia untuk dikonversikan menjadi energi listrik oleh sistem PLTS. Oleh karena itu, parameter ini digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi potensi energi surya yang diterima sistem sebelum mempertimbangkan pengaruh rugi-rugu pada modul fotovoltaik.



Gambar 4. 2 Grafik YR Pada Bulan Juni

Hasil grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa Sebagian besar hari pada bulan Juni 2026 memiliki nilai YR diatas 5,00 kWh/m²/hari, yang mengindikasikan ketersediaan radiasi matahari yang relative tinggi. Namun demikian, pada beberapa hari terjadi penurunan nilai YR secara signifikan, seperti pada tanggal 8, 12, 14 dan 28 Juni, dengan nilai berkisar antara 2,50-2,91 kWh/m²/hari. Penurunan tersebut sejalan dengan rendahnya lama penyinaran matahari (SS) yang menunjukkan bahwa kondisi cuaca seperti tutupan awan atau hujan menyebabkan berkurangnya radiasi surya yang diterima permukaan modul.

Rata-rata Refrence Yield sebesar 4,88 kWh/m²/hari menunjukkan bahwa potensi energi surya pada bulan Juni tergolong baik untuk mendukung operasi sistem PLTS. Nilai rata-rata ini juga lebih tinggi dibandingkan bulan Mei yang memiliki rata-rata 4,85 kWh/m²/hari, sehingga menunjukkan bahwa ketersediaan radiasi matahari pada bulan Juni lebih baik. Dengan potensi radiasi yang lebih besar, sistem PLTS diharapkan mampu menghasilkan energi listrik yang lebih tinggi, selama tidak terjadi penurunan kinerja akibat rugi-rugi pada komponen sistem.

Dalam mengevaluasi nilai Refrence Yield (YR) menjadi parameter dasar untuk menghitung Final Yield (YF) dan Perfomance Ratio (PR). Oleh karena itu besarnya nilai YR pada bulan Juni menjadi acuan dalam menilai apakah energi listrik yang dihasilkan sistem telah sesuai dengan potensi radiasi matahari yang tersedia atau masih terdapat

kehilangan energi akibat factor teknis maupun kondisi oprasional. Semakin tinggi nilai YR, semakin besar pula potensi produksi energi litrik yang dapat dicapai oleh sistem PLTS apabila seluruh komponen bekerja secara optimal.

Energi Yang Dihasilkan

Berdasarkan hasil pengamatan selama beberapa hari, diperoleh data energi sebagai berikut:

Tabel 4. 6 E-Today 21/05/2026

Tanggal	Jam	Energi Today (kWh)	Kondisi cuaca
20/05/2026	08.00	6,4	Cerah
	09.00	8,2	Cerah
	10.00	8,4	Cerah
	11.00	11,2	Cerah
	12.00	12,5	Cerah
	13.00	11,7	Cerah
	14.00	5,8	Cerah
	15.00	4,3	Cerah
	16.00	4,4	Cerah
Total E today		72,9	

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.4 tanggal 20 Mei 2026, PLTS berkapasitas 17,04 kWp menghasilkan energi listrik sebesar 72,9 kWh. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Final Yield sebesar 4,28 kWh/kWp/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap 1 kWp kapasitas terpasang mampu menghasilkan energi sebesar 4,28 kWh per hari. Produksi energi tertinggi terjadi pada pukul 12.00 WIB sebesar 12,5 kWh, sedangkan produksi terendah terjadi pada pukul 15.00 WIB sebesar 4,3 kWh. Kondisi cuaca cerah sepanjang periode pengamatan mendukung tingginya produksi energi yang dihasilkan sistem PLTS.

Tabel 4. 7 E- Today 21/05/2026

Tanggal	Jam	Energi Today (kWh)	Kondisi cuaca
21/05/2026	08.00	6,2	Cerah
	09.00	2,2	Berawan
	10.00	6,1	Berawan
	11.00	8,2	Cerah
	12.00	11,2	Cerah
	13.00	7,2	Cerah
	14.00	1,3	Mendung
	15.00	1	Mendung
	16.00	0,7	Mendung
Total E Today		44,1	

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.5 sistem PLTS menghasilkan energi listrik sebesar, 44,1 kWh dengan nilai Final Yield sebesar 2,59 kWh/kWp/hari.

Produksi energi tertinggi terjadi pada pukul 12.00 WIB sebesar 11,2 kWh, sedangkan produksi terendah terjadi pada pukul 16.00 sebesar 0,7 kWh. Penurunan produksi energi disebabkan oleh perubahan kondisi cuaca dari cerah menjadi berawan dan mendung pada siang hingga sore hari. Kondisi mendung menyebabkan intensitas radiasi matahari yang diterima modul surya berkurang sehingga daya keluaran PLTS menurun secara signifikan.

Tabel 4. 8 E – Today 22/05/2026

Tanggal	Jam	Energi Today (kWh)	Kondisi cuaca
22/05/2026	08.00	7,6	Cerah
	09.00	7,4	Cerah
	10.00	7,2	Cerah
	11.00	10,6	Cerah
	12.00	13,2	Cerah
	13.00	6,2	Cerah
	14.00	6,5	Cerah
	15.00	7,1	Cerah
	16.00	1,6	Berawan
Total E today		67,4	

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.6 sistem PLTS menghasilkan energi sebesar 67,4 kWh dengan nilai Final Yield sebesar 3,96 kWh/kWp/hari. Produksi energi tertinggi terjadi pada pukul 12.00 WIB sebesar 13,2 kWh sedangkan energi terendah terjadi pada pukul 16.00 sebesar 1,6 kWh. Akibat kondisi cuaca berawan. Secara umum, kondisi cuaca didominasi oleh cuaca cerah sepanjang hari sehingga sistem PLTS mampu bekerja optimal fluktuasi produksi yang relative stabil.

Tabel 4. 9 E – Today 08/06/2026

Tanggal	Jam	Energi Today (kWh)	Kondisi cuaca
08/06/2026	08.00	1,2	Mendung
	09.00	2,1	Mendung
	10.00	5,4	Berawan
	11.00	5	Berawan
	12.00	6,8	Cerah Berawan
	13.00	6,7	Cerah Berawan
	14.00	6,1	Berawan
	15.00	2,2	Mendung
	16.00	2	Berawan
Total		37,5	

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.7 sistem PLTS menghasilkan energi sebesar 37,5 kWh dengan nilai Final Yield sebesar 2,20 kWh/kWp/hari. Produksi energi tertinggi terjadi pada pukul 12.00-13.00 WIB sebesar 6,7-6,8 kWh, sedangkan produksi terendah terjadi pada pukul 08.00 WIB sebesar 1,2 kWh.

Rendahnya produksi energi pada hari ini disebabkan oleh dominasi kondisi cuaca mendung dan berawan sepanjang hari. Sehingga intensitas radiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik tidak optimal.

Tabel 4. 10 E – Today 09/06/2026

Tanggal	Jam	Energi Today (kWh)	Kondisi cuaca
09/06/2026	08.00	5,4	Cerah
	09.00	10,4	Cerah
	10.00	10,4	Cerah
	11.00	12,7	Cerah
	12.00	10,6	Cerah
	13.00	14,6	Cerah
	14.00	8,5	Cerah
	15.00	4,6	Cerah
	16.00	4,4	Cerah
Total		81,6	

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.8 sistem PLTS menghasilkan energi listrik sebesar 81,6 kWh dengan nilai Final Yield sebesar 4,79 kWh/kWp/hari. Produksi energi tertinggi terjadi pada pukul 13.00 WIB sebesar 14,6 kWh, sedangkan produksi terendah terjadi pada pukul 16.00 WIB sebesar 4,4 kWh. Kondisi cuaca cerah sepanjang hari menyebabkan intensitas radiasi matahari optimal sehingga PLTS mampu beroperasi mendekati kondisi ideal.

Analisis Final Yield

Final Yield (YF) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah energi listrik AC yang berhasil dihasilkan oleh sistem PLTS per satuan kapasitas terpasang (kWp) dalam satu hari. Nilai ini menggambarkan produktivitas nyata sistem setelah memperhitungkan seluruh rugi-rugi yang terjadi, seperti rugi-rugi pada modul surya, inverter, kabel, suhu, serta kondisi cuaca. Semakin tinggi nilai Final Yield, semakin besar energi listrik yang dihasilkan oleh setiap kWp kapasitas PLTS. Adapun hasil Final Yield dari hasil energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 11 Final Yield

Tanggal	Energi (kWh)	Final Yield (kWh/kWp)	Kondisi
20/05/2026	72,9	4,28	Cerah
21/05/2026	44,1	2,59	Mendung
22/05/2026	67,4	3,96	Cerah
08/06/2026	37,5	2,20	Mendung
09/06/2026	81,6	4,79	Cerah
Rata-rata		3,56	

Berdasarkan data pada Tabel 4.9, rata-rata Final Yield sebesar 3,56 kWh/kWp/hari menunjukkan bahwa setiap kWp kapasitas PLTS menghasilkan energi listrik rata-rata sebesar 3,56 kWh per hari selama periode pengamatan. Nilai ini cukup wajar untuk sistem PLTS di wilayah tropis seperti Indonesia. Perbedaan nilai Final Yield antara cerah dan mendung menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari sangat memengaruhi produksi energi listrik. Pada kondisi cerah, nilai Final Yield berada pada kisaran 3,96-4,79 kWh/kWp, sedangkan pada kondisi mendung turun menjadi 2,20-2,59 kWh/kWp.

Analisis Performance Ratio (PR)

Evaluasi kinerja sistem PLTS dilakukan menggunakan parameter Performance Ratio (PR) sesuai dengan metode dijelaskan dalam IEC 61724-1:2021 Performance Ratio merupakan indikator yang menunjukkan kemampuan sistem fotovoltaik dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan mempertimbangkan berbagai rugi-rugi yang terjadi selama proses konversi energi. Hasil perhitungan Performance Ratio pada periode pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 12 Performance Ratio

Tanggal	Kondisi	YR (kWh/kWp)	YF (kWh/kWp)	PR (%)
20/05/2026	Cerah	5,83	4,28	73,34
21/05/2026	Mendung	4,50	2,59	57,51
22/05/2026	Cerah	4,54	3,96	87,09
08/06/2026	Mendung	2,63	2,20	83,84
09/06/2026	Cerah	5,71	4,79	83,89

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.10, diperoleh nilai Reference Yield (YR) sebesar 2,63–5,83 kWh/kWp, Final Yield (YF) sebesar 2,20–4,79 kWh/kWp, dan Performance Ratio (PR) sebesar 57,51–87,09%. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh kondisi cuaca selama pengamatan. Pada kondisi cerah, nilai YR dan YF cenderung lebih tinggi karena radiasi matahari yang diterima modul lebih besar dibandingkan saat cuaca mendung. Nilai PR tertinggi sebesar 87,09% diperoleh pada 22 Mei 2026, sedangkan nilai terendah sebesar 57,51% terjadi pada 21 Mei 2026. Secara keseluruhan, rata-rata nilai PR

sebesar 77,13% menunjukkan bahwa sistem PLTS 17,04 kWp di ULPLTD Sei Raya memiliki kinerja yang baik dalam mengonversi energi surya menjadi energi listrik selama periode pengamatan.

Walaupun IEC 61724-1 tidak menetapkan batas resmi untuk katagori baik atau buruk, nilai PR pada kisaran 75-85% umumnya dilaporkan dalam berbagai penelitian sebagai performa yang baik untuk sistem PV yang beroperasi dalam kondisi normal. Nilai ini mengindikasikan bahwa sistem mampu menghasilkan energi listrik secara efektif dengan rugi-rugi yang masih dalam batas wajar.

Analisis Biaya Investasi PLTS

1. Komponen Biaya Investasi

Rekapitulasi biaya investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya berkapasitas 17,04 kWp yang sudah terpasang di ULPLTD Sei Raya:

a. Komponen Utama

Tabel 4. 13 Komponen Utama

No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Total (Rp)
1	Solar Panel	710 Wp	24	Pcs	2.552.000
2	Inverter	15 kW	1	Pcs	31.250.000

b. Panel DC

Tabel 4. 14 Komponen Panel DC

No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Total (Rp)
3	Fuse DC	18 A	24	Pcs	690.000
4	Terminal	2P	12	Pcs	1.860.000
5	MCB DC	1000V 16A 2P	2	Pcs	437.000
6	Terminal Viking DC	16 mm	100	Pcs	400.000
7	NFB	20 A	1	Pcs	475.000
8	Surge Arrester	1000V 2P	4	Pcs	1.140.000
9	Box Panel DC	60x80x40	1	Pcs	1.205.500

c. Panel AC

Tabel 4. 15 Komponen Panel AC

No	Komponen	Total (Rp)
10	CT 100/5	60.375
11	PT 380V	54.050
12	Meter Analog 0-400V	92.800
13	Meter Analog 0-100A	60.375
14	MCB 3P 16A	707.250
15	MCB 1P 16A	150.000
16	Fuse 18A	690.000
17	Terminal Fuse AC	2.120.000
18	NFB 20A	946.450
19	Terminal Viking AC	400.000
20	Surge Arrester 380 VAC	5.520.000
21	Box Panel AC	2.520.000
22	Kabel Duct	690.000
23	Omega Rail	63.250

d. Kabel & Struktur

Tabel 4. 16 Komponen Kabel & Struktur

No	Komponen	Total (Rp)
24	Kabel NYAF 10mm	4.140.000
25	Kabel NYAF 16 mm	6.468.000
26	Skun 10	35.000
27	Skun 16	45.000

e. Struktur Dudukan Panel

Tabel 4. 17 Struktur Dudukan Panel

No	Komponen	Total (Rp)
28	Besi Siku 40x40x4	2.990.000
29	Besi Siku 50x50x5	4.880.000
30	Besi Siku 30x30x3	1.150.000
31	Dynabolt 16x85	708.400

f. Instalasi

Tabel 4. 18 Instalasi

No	Komponen	Total (Rp)
32	Instalasi	5.208.000

g. Rekapitulasi Total Biaya

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Total Biaya

No	Komponen	Total (Rp)
33	Total biaya sebelum PPN	138.404.450
34	PPN 11% x Total biaya sebelum PPN	15.224.490
34	Total Investasi PLTS + PPN 11%	153.628.940

2. Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS

Biaya pemeliharaan dan oprasional per tahun untuk PLTS pada umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Dari acuan tersebut maka pada penelitian ini untuk biaya pemeliharaan dan oprasiional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal.

$$O\&M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi}$$

$$O\&M = 1\% \times 153.628.940$$

$$O\&M = \text{Rp.}1.536.289,40 \approx 1.536.289$$

Total biaya pemeliharaan dan operasional untuk PLTS di ULPLTD Sei Raya adalah sebesar 1.536.289 (satu juta lima ratus tiga puluh enam ribu dua ratus delapan puluh sembilan rupiah) setiap tahunnya. Untuk jadwal pemeliharaan dapat dilihat dalam Tabel 4.18.

Tabel 4. 20 Jadwal Pemeliharaan

No	Bagian Pemeliharaan	Jenis	Pemeliharaan	Waktu
1	PLTS	Solar Panel	Pembersihan permukaan solar panel	1 minggu
			Pemeriksaan pemasangan instalasi	2 minggu
		Inverter	Pembersihan permukaan inverter	2 minggu
			Pemeriksaan pemasangan instalasi	2 minggu
2	Bagian Sipil	Lingkungan sekitar PLTS	Pembersihan sampah organik dan non organik	2 kali/minggu

Pada bagian pemeliharaan pada PLTS dengan jenis peralatan pada solar panel akan dilakukan dengan cara membersihkan permukaan solar panel dengan kain lembut yang diakibatkan oleh partikel debu yang disebabkan oleh cerobong asap dari PLTD itu sendiri, dikarenakan sistem PLTS berada di lokasi ULPLTD Sei Raya dan akan dilakukan setiap minggu. Pembersihan ini bertujuan untuk mencegah menumpuknya debu dipermukaan solar panel karena dapat berpengaruh terhadap hasil produksi energi listrik dari solar panel. Pemeliharaan ini juga dilakukan untuk mengantisipasi lumut yang dikhawatirkan menempel pada permukaan panel. Pemeriksaan pemasangan instalasi harus diperiksa secara berkala setiap 2 minggu sekali oleh teknisi, hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa sambungan tersebut bersih, aman dan dalam keadaan baik.

Pemeliharaan pada PLTS dengan jenis peralatan inverter sama halnya dengan melakukan pemeliharaan pada solar panel, yaitu dilakukan dengan cara membersihkan permukaan inverter dengan kain lembut yang akan dilakukan setiap 2 minggu sekali. Kemudian melakukan pemeriksaan instalasi setiap 2 minggu sekali oleh teknisi atau team electric untuk memastikan bahwa sambungan tersebut masih dalam keadaan optimal dan tidak terjadi fault dalam operasional inverter.

Untuk bagian pemeliharaan pada bagian sipil PLTS dilakukan dengan cara membersihkan lingkungan sekitar PLTS dari sampah-sampah organik maupun non organik, terutama pada bagian atap yang berlumut yang disebabkan oleh curah hujan dan panas mengingat iklim tropis di Indonesia. Pemeliharaan dilakukan 2 kali setiap minggu dengan tujuan agar lingkungan sekitar PLTS dalam keadaan bersih.

Menghitung Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

Biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS di ULPLTD Sei Raya ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total energi PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal (I), nilai penggantian komponen (Rp_w) biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional (M_{PW}).

PLTS sistem on grid di ULPLTD Sei Raya diasumsikan beroperasi 30 tahun. Penetapan ini mengacu pada jaminan (garansi) yang dikeluarkan oleh produsen panel surya. Besarnya tingkat diskonto (i) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini yaitu sebesar 5,75% ini adalah hasil keputusan terbaru Bank Indonesia pada Rapat Dewan Gubernur (RDG) 18 Juni 2026. Besar nilai sekarang (present value) untuk biaya pemeliharaan dan operasional PLTS di ULPLTD Sei Raya selama umur proyek 30 tahun dengan tingkat diskonto 5,75% diperhitungkan dengan rumus pada persamaan (2.8):

$$M_{PW} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i (1+i)^n} \right]$$

$$M_{PW} = 1.536.289 \left[\frac{(1+0,0575)^{30} - 1}{0,0575 (1+0,0575)^{30}} \right]$$

$$M_{PW} = 1.536.289 \left[\frac{4,35}{0,3076} \right]$$

$$M_{PW} = 1.536.289 \times 14,14$$

$$M_{PW} = Rp. 21.724.705$$

Berdasarkan nilai diatas maka biaya siklus hidup (LCC) untuk PLTS sistem on grid di ULPLTD Sei Raya selama umur proyek 30 tahun adalah sebagai berikut dengan persamaan (2.10):

$$LCC = C + M_{PW} + R_{pw}$$

$$LCC = 1.536.289 + 21.724.705 + 31.250.000$$

$$LCC = Rp. 206.603.644$$

Menghitung Biaya Energi (Cost of Energy)

Untuk mengetahui biaya energi (cost of energy) suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), factor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan. Factor pemulihan modal untuk mengkonversikan seluruh arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, diperhitungkan dengan rumus pada persamaan (2.12):

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

$$CRF = \frac{0,0575 (1+0,0575)^{30}}{(1+0,0575)^{30} - 1}$$

$$CRF = \frac{0,3076}{4,35}$$

$$CRF = 0,0707$$

Untuk kWh produksi PLTS didapatkan dengan pengukuran langsung dilokasi penelitian yang diambil selama 5 hari pada tahun 2026 yaitu di ULPLTD Sei Raya berdasarkan pada energi harian menunjukkan jumlah energi yang dibangkitkan rata rata yaitu sebesar 60,7 kWh perhari.

Berdasarkan jumlah energi yang diasumsikan dapat dibangkitkan rata-rata dalam satu hari, maka produksi kWh tahunan PLTS di ULPLTD Sei Raya adalah sebagai berikut:

$$AKWH = kWh \text{ harian} \times 365$$

$$AKWH = 60,7 \times 365$$

$$AKWH = 22.155,5 \text{ kWh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF dan kWh produksi tahunan, maka besar biaya energi untuk sistem PLTS yang berada di ULPLTD Sei Raya dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11):

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{AKWH}$$

$$COE = \frac{206.603.644 \times 0,0707}{22.155,5}$$

$$COE = Rp. 659,44/kWh$$

Analisis Kelayakan Investasi PLTS

Pada penelitian ini kelayakan investasi pada PLTS sistem on grid di PLTD Sei Raya ditentukan berdasarkan hasil perhitungan Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) dan Payback Period (PP). Dalam melakukan perhitungan ketiga metode tersebut diperlukan nilai Discounted Factor (DF), Net Cash Flow (NCF) atau arus kas bersih dan Present Value Net Cash Flow atau nilai sekarang arus kas bersih. Nilai DF pada analisis ini digunakan untuk menyesuaikan arus kas bersih sekarang. Dengan tahun-tahun yang akan datang. Dimana nilai DF memiliki perbedaan di tiap tahunnya yang sesuai dengan tahun investasinya. Nilai DF dipengaruhi oleh suku bunga (i) yang akan digunakan untuk menghitung investasi nilai sekarang. Pada penelitian ini suku bunga didapat dari ketentuan yang dikeluarkan oleh Bank Indonesia per tanggal 18 Juni 2026 dengan nilai suku bunga acuan sebesar 5,75% untuk mengetahui nilai DF pada tahun pertama dapat dilakukan dengan persamaan (2.13):

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

$$DF = \frac{1}{(1+5,75\%)^1}$$

$$DF = 0,95$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai DF pada tahun pertama adalah sebesar 0,95. Setelah mengetahui nilai DF maka selanjutnya yaitu mencari nilai NCF untuk mendapatkan nilai NCF didapat dengan mengurangi antara kas masuk dengan kas keluar. Arus kas masuk yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari hasil penghematan yang didapatkan yaitu sebesar Rp. 24.697.622 sedangkan arus kas keluar dipengaruhi oleh biaya operasional dan perawatan dan biaya pergantian komponen sistem PLTS. Adapun biaya operasional dan perawatan yang digunakan sebesar Rp. 1.536.289, sedangkan untuk biaya pergantian komponen selama umur proyek yaitu sebesar Rp.31.250.000 dengan demikian perhitungan NCF dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.14):

$$NCF = Cash_{in} - Cash_{out}$$

$$NCF = Rp. 24.697.622 - Rp. 1.536.289$$

$$NCF = Rp. 23.161.333$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapat nilai NCF pada tahun pertama yaitu sebesar Rp. 23.161.333 Dengan didapatkan nilai DF dan NCF maka selanjutnya adalah mencari nilai PVNCF. Untuk mencari nilai PVNCF pada tahun pertama dapat dilakukan dengan

menggunakan persamaan (2.15):

$$PVNCF = NCF \times DF$$

$$PVNCF = Rp. 23.161.333 \times 0,95$$

$$PVNCF = Rp. 21.901.969$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Discounted Cash Flow (DCF) dengan tingkat diskonto (discount rate 5,75% diperoleh nilai Present Value of Net Cash Flow (PVNCF) pada tahun pertama sebesar Rp.21.901.969 Nilai tersebut merupakan hasil konversi arus kas bersih (Net Cash Flow) tahun pertama ke dalam nilai sekarang (present value), sehingga mencerminkan nilai ekonomis penerimaan bersih yang diterima pada awal periode investasi. Perhitungan PVNCF dilakukan untuk setiap tahun selama umu proyek, yaitu selama 30 tahun, dengan mempertimbangkan factor diskonto yang semakin menurun setiap tahunnya. Nilai PVNCF yang diperoleh pada masing-masing tahun selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis kelayakan investasi, khususnya untuk menghitung Net Present Value, Profitability Index, dan Discounted Payback Period. Dengan demikian, seluruh nilai PVNCF dari tahun -1 hingga tahun ke -30 disajikan secara lengkap pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 21 Perkembangan PVNCF

Tahun	Biaya	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar		Arus Kas Bersih (Net Cash Flow)	DF	PVNCF
			O&M	Pergantian Inverter			
0	153.628.940						
1		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,95	21.901.969
2		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,89	20.711.082
3		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,85	19.584.948
4		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,80	18.520.045
5		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,76	17.513.045
6		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,72	16.560.799
7		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,68	15.660.330
8		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,64	14.808.823
9		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,60	14.003.615
10		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,57	13.242.189
11		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,54	12.522.165
12		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,51	11.841.290
13		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,48	11.197.438
14		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,46	10.588.594
15		24.697.622	1.536.289	31.250.000	-8.088.667	0,43	-3.496.804
16		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,41	9.468.420
17		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,39	8.953.589
18		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,37	8.466.751
19		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,35	8.006.384
20		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,33	7.571.048
21		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,31	7.159.384
22		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,29	6.770.103
23		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,28	6.401.989

24		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,26	6.053.890
25		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,25	5.724.719
26		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,23	5.413.445
27		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,22	5.119.097
28		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,21	4.840.754
29		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,20	4.577.545
30		24.697.622	1.536.289		23.161.333	0,19	4.328.648

Berdasarkan Tabel 4.19, kolom tahun menunjukkan umur proyek yang diasumsikan selama 30 tahun, yang mengacu pada masa garansi daya (performance warranty) modul panel surya. Kolom arus kas masuk merupakan hasil perkalian energi listrik yang dihasilkan PLTS dengan tarif listrik pelanggan industry pada ULPLTD Sei Raya, yaitu golongan I-3/TM sebesar Rp.1.114,74.

Kolom arus kas keluar terdiri dari biaya operasional dan pemeliharaan (Operation Maintenance/O&M) serta biaya penggantian komponen PLTS apabila terjadi selama umur proyek. Kolom arus kas bersih (Net Cash Flow) merupakan selisih antara arus kas masuk dan arus kas keluar pada setiap tahun.

Tabel 4. 22 Kumulatif PVNCF

Tahun	PVNCF	Kumulatif PVNCF
1	21.901.969	21.901.969
2	20.711.082	42.613.052
3	19.584.948	62.197.999
4	18.520.045	80.718.044
5	17.513.045	98.231.089
6	16.560.799	114.791.889
7	15.660.330	130.452.219
8	14.808.823	145.261.041
9	14.003.615	159.264.656
10	13.242.189	172.506.845
11	12.522.165	185.029.010
12	11.841.290	196.870.300
13	11.197.438	208.067.738
14	10.588.594	218.656.332
15	-3.496.804	215.159.527
16	9.468.420	224.627.948
17	8.953.589	233.581.537
18	8.466.751	242.048.287
19	8.006.384	250.054.671
20	7.571.048	257.625.720
21	7.159.384	264.785.103
22	6.770.103	271.555.206
23	6.401.989	277.957.195
24	6.053.890	284.011.085
25	5.724.719	289.735.803
26	5.413.445	295.149.249
27	5.119.097	300.268.346
28	4.840.754	305.109.100
29	4.577.545	309.686.645
30	4.328.648	314.015.293

Kolom kumulatif NCF pada Tabel 4.20 merupakan penjumlahan nilai arus kas bersih yang telah didiskontokan (present value) dari tahun ke-0 hingga tahun ke-30, sehingga menunjukkan akumulasi manfaat ekonomi proyek terhadap waktu.

Pada tahun ke-15, terdapat asumsi penggantian komponen inverter PLTS. Namun penggantian tersebut bersifat asumptif dan tidak wajib terjadi pada tahun yang sama, karena sangat dipengaruhi oleh pola operasi, kualitas peralatan, serta strategi pemeliharaan sistem.

Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dilakukan kelayakan investasi menggunakan metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Period (DPP) untuk menilai kelayakan finansial proyek PLTS.

Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah seluruh aliran kas bersih pada nilai sekarang setelah didiskontokan menggunakan factor diskonto (Discount Factor). Nilai ini digunakan untuk menghitung selisih antara total arus kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang dikeluarkan. Metode ini bertujuan untuk menilai kelayakan suatu investasi berdasarkan nilai waktu uang (time value of money). Menghitung Net Present Value (NPV) dapat menggunakan persamaan (2.16):

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

$$NPV = Rp. 314.015.293 - 153.628.940$$

$$NPV = Rp. 160.386.354$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diketahui bahwa nilai NPV sebesar Rp.160.386.354 (>0). Hal ini menunjukkan bahwa investasi PLTS pada Gedung ULPLTD Sei raya memberikan manfaat ekonomi yang lebih besar dibandingkan biaya yang dikeluarkan. Dengan demikian, investasi ini dapat dinyatakan layak untuk dilaksanakan dari aspek finansial.

Nilai NPV positif juga menunjukkan bahwa proyek mampu memberikan keuntungan bersih pada tingkat diskonto sebesar 5,75% selama umur proyek 30 tahun. Semakin besar nilai NPV, maka semakin tinggi tingkat kelayakan investasi yang diperoleh.

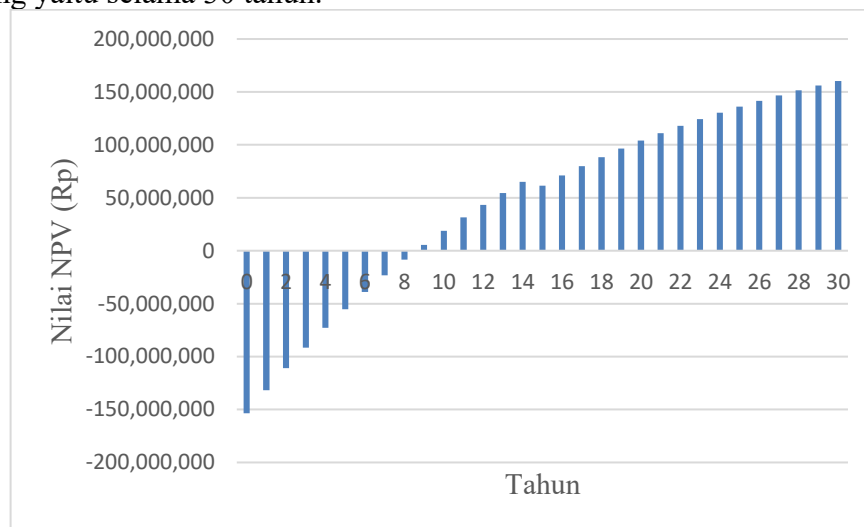
Perhitungan lengkap nilai NPV dari tahun ke-1 sampai tahun ke-30 dapat dilihat pada Tabel 4.21 hasil analisis arus kas terdiskonto (PVNCF).

Tabel 4. 23 Perkembangan Nilai NPV

Tahun	K PVNCF	Biaya Investasi	Perkembangan Nilai NPV
0		153.628.940	-153.628.940
1	21.901.969	153.628.940	-131.726.970
2	42.613.052	153.628.940	-111.015.888
3	62.197.999	153.628.940	-91.430.940
4	80.718.044	153.628.940	-72.910.895
5	98.231.089	153.628.940	-55.397.850
6	114.791.889	153.628.940	-38.837.051
7	130.452.219	153.628.940	-23.176.721
8	145.261.041	153.628.940	-8.367.898
9	159.264.656	153.628.940	5.635.717
10	172.506.845	153.628.940	18.877.906
11	185.029.010	153.628.940	31.400.071
12	196.870.300	153.628.940	43.241.361
13	208.067.738	153.628.940	54.438.799
14	218.656.332	153.628.940	65.027.392
15	215.159.527	153.628.940	61.530.588
16	224.627.948	153.628.940	70.999.008
17	233.581.537	153.628.940	79.952.597
18	242.048.287	153.628.940	88.419.348
19	250.054.671	153.628.940	96.425.732
20	257.625.720	153.628.940	103.996.780
21	264.785.103	153.628.940	111.156.164

22	271.555.206	153.628.940	117.926.267
23	277.957.195	153.628.940	124.328.255
24	284.011.085	153.628.940	130.382.145
25	289.735.803	153.628.940	136.106.864
26	295.149.249	153.628.940	141.520.309
27	300.268.346	153.628.940	146.639.407
28	305.109.100	153.628.940	151.480.161
29	309.686.645	153.628.940	156.057.706
30	314.015.293	153.628.940	160.386.354

Kolom kumulatif PVNCF berdasarkan Tabel 4.21 menunjukkan nilai yang diperoleh dari nilai DF dikali dengan NCF dari tahun ke-1 sampai tahun ke-30, sedangkan pada kolom biaya investasi merupakan nilai total investasi yang dikeluarkan untuk suatu proyek, sedangkan pada kolom NPV merupakan nilai pendapatan bersih selama umur proyek berlangsung yaitu selama 30 tahun.



Gambar 4. 3 Grafik Perkembangan Nilai NPV

Grafik dan hasil perhitungan Net Present Value (NPV) pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa nilai NPV pada awal periode investasi bernilai negative sebesar Rp.153.628.940 pada tahun ke-0. Nilai NPV kemudian secara bertahap mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring dengan adanya arus kas masuk dari proyek.

Pada tahun ke-8, nilai NPV masih menunjukkan nilai negative sebesar Rp.8.367.898. yang berarti investasi belum sepenuhnya Kembali. Namun pada tahun ke-9 nilai NPV berubah menjadi positif sebesar Rp.5.635.717. Hal ini menunjukkan bahwa titik impas (Break Event Point) investasi secara diskonto terjadi di antara tahun ke-8 dan tahun ke-9.

Selanjutnya, nilai NPV terus mengalami peningkatan dari tahun ke-10 hingga tahun ke-30. Pada akhir umur proyek, yaitu tahun ke-30, nilai NPV mencapai Rp.160.386.354. Hal ini menunjukkan bahwa proyek memberikan keuntungan bersih dan layak untuk dijalankan karena menghasilkan nilai NPV positif selama umur proyek.

Profitability Index (PI)

Profitability Index (PI) adalah perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Nilai ini digunakan untuk menghitung model rasio manfaat biaya (Benefit Cost Ratio), dengan total nilai sekarang arus kas bersih K-PVNCF sebesar Rp.314.015.293 dan biaya investasi awal sebesar Rp. 153.628.940 maka dengan adanya nilai investasi awal dan K-PVNCF dapat diketahui besar nilai PI menggunakan persamaan (2.17):

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

$$PI = \frac{Rp. 314.015.293}{Rp. 153.628.940}$$

$$PI = 2,04$$

Hasil perhitungan dengan persamaan diatas diperoleh nilai PI sebesar 2,04 (>1), nilai tersebut menunjukkan bahwa investasi awal PLTS di ULPLTD Sei Raya layak untuk dilaksanakan.

Discounted Payback Period (DPP)

Discounted Payback Period (DPP) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis kelayakan pembangunan PLTS di ULPLTD Sei Raya. Metode ini digunakan untuk menentukan periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui pemasukan-pemasukan yang diterima oleh proyek (K-PVNCF). Nilai DPP dapat diketahui dengan cara mencari tahun pemulihan atau tahun sebelum K-PVNCF yang bernilai positif. Penentuan DPP dapat menggunakan persamaan (2.18):

$$DPP = Year\ Before\ Recovery + \frac{II}{K\ PVNCF}$$

$$DPP = 8 + \frac{153.628.940}{314.015.293}$$

$$DPP = 8,5 \approx 9\ tahun$$

Berdasarkan perhitungan dengan persamaan diatas didapatkan hasil DPP yaitu sebesar 8 tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa investasi PLTS di ULPLTD Sei Raya layak dilaksanakan, karena hasil perhitungan Discounted Payback Period menunjukan nilai yang lebih kecil dari periode waktu yang ditentukan yaitu selama 30 tahun.

Hasil Analisis Kelayakan Sistem PLTS

Hasil analisis kelayakan investasi PLTS yang terpasang di ULPLTD Sei Raya berdasarkan analisis ekonomi menggunakan metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Period (DPP) disajikan pada Tabel 4.22 berikut.

Tabel 4. 24 Hasil Aalisis Kesimpulan

No	Analisis Kelayakan	Kriteria Kelayakan	Hasil Anaalisa Investasi	Kesimpulan
1	Net Present Value (NPV)	Layak (NPV>0) Tidak Layak (NPV<0)	Rp.160.386.354	Investasi layak dilakukan karena nilai NPV lebih besar dari 0
2	Profitability Index (PI)	Layak (PI>1); Tidak Layak (PI<1)	2,04	Investasi layak dilakukan karena nilai PI lebih besar dari 1
3	Discounted Payback Period (DPP)	Layak (DPP<Umur Proyek); Tidak Layak (DPP > Umur Proyek)	9 tahun	Investasi layak untuk dilakukan, karena nilai DPP lebih kecil dari umur proyek yaitu 30 tahun

Berdasarkan Tabel 4.22 investasi PLTS di ULPLTD Sei Raya dengan Zero Export maka;

- Metode pertama menggunakan metode NPV dengan kriteria kelayakan system PLTS dinyatakan layak jika nilai NPV lebih besar dari 0 ($NPV > 0$) maka system PLTS layak untuk dilakukan. Sedangkan jika nilai NPV lebih kecil dari 0 ($NPV < 0$) maka system PLTS tidak layak untuk dilakukan. Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan, bahwa nilai NPV pada penelitian ini sebesar Rp. 160.386.354, dapat diketahui bahwa nilai tersebut lebih besar dari 0, maka system PLTS ini jika dihitung dengan metode NPV layak untuk dilakukan.

- b. Metode kedua menggunakan metode PI dengan kriteria kelayakan PLTS dinyatakan layak jika nilai PI lebih besar dari 1 ($PI > 1$), sedangkan jika nilai PI lebih kecil dari 1 ($PI < 1$), maka system PLTS dinyatakan tidak layak untuk dilakukan. Pada penelitian ini nilai PI didapatkan sebesar 2,04, nilai tersebut lebih besar dari 1. Maka system PLTS ini jika dihitung menggunakan metode PI layak untuk dilakukan.
- c. Metode ketiga yaitu menggunakan metode DPP dengan kriteria kelayakan PLTS dinyatakan layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek ($DPP < 30$), dan dinyatakan tidak layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih Panjang dari umur proyek ($DPP > 30$). Pada penelitian ini didapat nilai DPP yaitu selama 9 tahun. Nilai tersebut lebih pendek dari umur proyek. Maka system PLTS ini jika dihitung menggunakan metode DPP layak untuk dilanjutkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Studi Evaluasi Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap kWp di ULPLTD Sei Raya berdasarkan standar IEC 61724-1 dan Analisis Kelayakan Investasi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis teknis menggunakan standar IEC 61724-1, nilai Final Yield (YF) menunjukkan besarnya energi listrik yang berhasil dihasilkan oleh sistem PLTS per satuan kapasitas terpasang selama periode pengamatan dengan rata-rata sebesar 3,56 kWh/m²/hari. Nilai tersebut menggambarkan performa aktual sistem dalam mengubah energi surya menjadi energi listrik.
2. Hasil perhitungan Reference Yield (YR) menunjukkan besarnya potensi energi surya yang tersedia di lokasi penelitian sebesar 4,85 kWh/kWp/hari pada bulan Mei dan 4,88 kWh/kWp/hari pada bulan Juni. Dengan Nilai YR berdasarkan data iradiasi matahari selama periode penelitian. Nilai YR menjadi acuan dalam mengevaluasi tingkat pemanfaatan energi surya oleh sistem PLTS yang telah terpasang.
3. Berdasarkan hasil Performance Ratio (PR), sistem PLTS atap berkapasitas 17,04 kWp di ULPLTD Sei Raya memiliki tingkat kinerja sebesar 77,13%. Nilai PR yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem mampu mengonversi energi surya menjadi energi listrik secara efisien meskipun terdapat rugi-rugi sistem akibat temperatur modul, efisiensi inverter, kabel, serta kondisi lingkungan selama pengoperasian.
4. Berdasarkan hasil analisis kelayakan investasi menggunakan metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) dan Discounted Payback Period (DPP), investasi pembangunan PLTS atap di ULPLTD Sei Raya dinyatakan layak untuk diterapkan. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai NPV sebesar Rp.160.386.354 yang bernilai positif, nilai PI 2,06 lebih besar dari satu, serta nilai DPP selama 9 tahun yang masih berada di bawah umur ekonomis sistem PLTS sehingga investasi dapat memberikan manfaat ekonomi selama masa operasionalnya.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengamatan kinerja sistem PLTS sebaiknya dilakukan secara berkala menggunakan data operasional minimal selama satu tahun agar pengaruh perubahan musim terhadap performa sistem dapat dianalisis secara lebih komprehensif.
2. Perawatan rutin pada modul surya, inverter, dan komponen pendukung lainnya perlu dilakukan secara berkala, seperti pemberian permukaan modul, pemeriksaan sambungan listrik, serta inspeksi kondisi inverter untuk meminimalkan rugi-rugi sistem dan menjaga nilai Performance Ratio tetap optimal.

3. Peneliti selanjutnya disarankan menggunakan data iradiasi matahari hasil pengukuran langsung dengan pyranometer sehingga hasil evaluasi kinerja sistem PLTS memiliki tingkat akurasi lebih tinggi.
4. Analisis ekonomi pada penelitian berikutnya dapat dikembangkan dengan memasukkan factor degradasi modul surya, inflasi, eskalasi tarif listrik, biaya pemeliharaan tahunan, serta analisis sensitivitas terhadap perubahan suku bunga agar hasil evaluasi investasi menjadi komprehensif.
5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi bagi ULPLTD Sei Raya dalam meningkatkan kinerja perasional PLTS serta sebagai referensi bagi pengembangan sistem PLTS atap pada instalasi PLN maupun sector industry lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. A. N. B. Nathawibawa, I. N. S. Kumara, Nathawibawa, and W. G. Ariastina, "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli," *Teknologi Elektro* vol. 16, no. 1, 2017.
- A. A. Tino, J. Tanesab, R. Sinaga, A. Seubelan, and L. Singamou, "Efek Temperatur Terhadap Kinerja Modul Surya Monocrystalline dan Polycrystalline Silicon," *Jurnal Teknik Elektro : Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power System*, " vol. 9, no. 2, pp. 85–96, 2024.
- A. Asri, M. A. Amran, Tadjuddin, W. S. Alfira, and Ashar, "Analisis Sistem Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid Di Kampus 2 Politeknik Negeri Ujung Pandang," *Jurnal Teknologi Elektrika*, vol. 20, no. 1, pp. 51–56, 2023.
- A. F. Pachman, D. H. Didane, and B. Manshoor, "A Study of Global Solar Radiations Measurement in Java Island , Indonesia," *EVERGREEN* vol. 10, no. 01, 2023.
- A. Hafid, Adriani, and Rahmania, "Simulasi Pusat Tenaga Listrik (PLTS) On Grid pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Simulink Matlab," *CYLOTRON* vol. 6, no. 01, pp. 32–37, 2023.
- A. Rahmansyah, A. Hiendro, and K. H. Khwee, "Evaluation Study Of PLTS Energy System On A 10 kWp Grid At PLTD Siantan," *Telecommun. Computers Electricals Engineering Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 319-332, 2024.
- D. Mahadirka, J. Windarta, and E. W. Sinuraya, "Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop On Grid Pada PT. BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara Ditinjau Dari Teknis Dan Ekonomi Teknik Dengan Menggunakan Software Pvsyst Dan Ekonomi Teknik Dengan Menggunakan Software Pvsyst 7.0 dan Retscreen 6.0.7," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1 pp. 206-214, 2021.
- D. T. Laksono, L. A. C. P. Pratama, and A. Ubaidillah, "Simulasi dan Perancangan PLTS Off Grid 3 kW Menggunakan Software PVsyst," *JTE UNIBA*, vol. 9, no. 2 2025.
- E. G. Jumpon, D. Pravitasari, and A. A. Kurniawan, " Performace ratio Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Berkapasitas 1,1 MWp Di Industri Dalam Konteks Peningkatan Kemandirian Energi Dan Pengurangan Biaya Operasional," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 1, 2024.
- Eriyanto, "Evaluasi Pemanfaatan PLTS Terpusat Siding Kabupaten Bengkayang," *ELKHA*, vol. 9, no. 1, pp. 35-40, 2017.
- F. F. R. Soeharto, Hermawan, and A. Nugroho, "Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Variasi Irradiasi Pada Tegangan, Arus dan Daya Keluaran Photovoltaic Jenis Monocrystalline," *TRANSIENT*, vol. 5, no. 3, 2016.
- F. Hidayat, D. Rusirawan, I. Rachmadi, and F. Tanjung, "Evaluasi Kinerja PLTS 1000 Wp di Itenas Bandung," *ELKOMIKA*, vol. 7, no. 1, pp. 195–208, 2019.
- Ferdyson, J. Windarta, "Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia," *JEBT : Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, vol. 4, no 1, pp. 2-6, 2023.
- G. A. J. Ariawan, I. A. D. Giriantari, and W. Sukerayasa, "Perancangan PLTS Atap Di Gedung

- Graha Sewaka Dharma," Jurnal. SPEKTRUM, vol. 8, no. 3, pp. 9-18, 2021.
- G. H. Sihotang, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak," Jurnal S1 Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- H. Suropto, and A. Fathoni, "Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Ekonomi ; Sebuah Review Berdasarkan Studi Literatur di Indonesia," vol. 13, no. 1, pp. 33–41, 2020.
- I. Kenedi, "Analisa Sinkronisasi PLTS on Grid dan PLN yang Terpasang di Gedung One Satrio Mega Kuningan," Zetroem, vol. 06, no. 02, pp. 74–80, 2024.
- I. U. Vistalina, Simanjutak, and A. Artanto, "Analisa Anti Islanding pada Inverter 3 Fase PLTS Hybrid 5 Kw Terhadap Jaringan PLN," CYCLOTRON vol. 5, no. 02, pp. 7–13, 2022.
- J. M. Kadang and J. Windarta, "Optimasi Sosial-Ekonomi pada Pemanfaatan PLTS PV untuk Energi Berkelanjutan di Indonesia," JEBT : Jurnal Energi Baru & Terbarukan, vol. 2, no. 2, pp. 74–83, 2021.
- K. Hastama, A. Hiendro, and K. H. Khwee, Studi Teknis dan Ekonomis Sistem PLTS Rooftop di Gaia Bumi Raya City Mall Pontianak Menggunakan Homer," COMSERVA : Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, vol. 4, no. 7, pp. 2178–2192, 2024.
- L. Ramdhan, D. Pravitasari, A. A. Setiawan, "Kinerja Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS) Atap On Grid Residensial Berkapasitas 46,6 kWp Serpong Tangerang," THETA OMEGA: Journal of Engineering, Computer, and Information Technology, vol. 2, no. 1, 2023.
- M. I. Maulana, V. Naubnome, J. Sumarjo, "Pengaruh Iradiasi dan Temperature Terhadap Efisiensi Daya Keluaran Pada Pemodelan Photovoltaic Canadian Solar 270 Wp," Jurnal Polimesin, vol. 19, no 2, pp. 176-181, 2021.
- M. Rifaldi, N. R. Alham, N. Izzah, M. N. Ihsan, and M. Sugianto, "Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan," RETROTEKIN : Rekayasa Tropi, Teknologi, dan Inovasi, vol. 1, no. 1, pp. 16–24, 2023.
- M. W. A. Fauzi, M. N. Hidayat, and W. Anistia, "Analisis Keandalan Sistem Grid Tied Inverter (GTI) Pada On Grid Solar PV 9 x 80 Wp," Jurnal Teknik dan Aplikasi. vol. 2, no. 2, pp. 29-35 2021.
- N. A. Hutagalung, N. Setiawan, W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi Pada Kawasan PT Jakarta Industrial Estate Pulogadung, Jakarta Timur," Jurnal SPEKTRUM vol. 10, No. 2, pp. 70-81, 2023.
- P. G.G. Priajana, I. N. S. Kumara, and I. N. Setiawan, " Grid Tie Inverter Untuk PLTS Atap di Indonesia: Review Standar dan Inverter yang Compliance di Pasar Domestik," Jurnal SPEKTRUM. vol. 7, no. 2, pp. 62–73, 2020.
- R. A. Messenger, and J. Ventre, Photovoltaic Systems Engineering, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2020
- R. E. Sanjaya, R. Gianto, and J. Junaidi, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Hybrid Pada Jaringan Kelistrikan di Rumah Sakit Umum Yarsi Pontianak," Journal of Comprehensive Science, vol. 3, no. 9, pp. 4382-4397, 2024.
- R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements, 2nd ed. revised 2025.
- S. Anwar, Muslimin, and Y. M. D. E. Saputra, "Analisis Kelayakan Investasi PLTS Off-Grid 126 kWp di Atap Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta," Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, vol. 13 no. 2, pp. 1512–1520, 2023.
- S. S. Sudewanto and M. A. Riyadi, "Evaluasi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid di Laboratorium B PLN UPDL Pandaan," TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol, vol. 8, no. 2, pp. 165–174, 2022.
- T. Hidayat, "Teknologi Deteksi dan Diagnosis Kerusakan pada PLTS : Review," Jurnal Teknik Elektro ITP, vol. 9, no. 1, 2020.
- Y. Kariongan, "Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat 20 KWP di Kampung Ampas Distrik Waris Kabupaten Keerom," Jurnal Pendidik. Tambusai, vol. 6, no. 1, pp. 3591–3598, 2022.