

## ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PERENCANAAN PLTS ROOFTOP SISTEM ON-GRID DI SDN 1 TEMUWUH

Hanif Helmi Nur Jannah<sup>a,1,\*</sup>, Ucik Ika Fenti Styana<sup>b,2)</sup>, Adi Kurniawan<sup>c,3)</sup>,  
Fifin Hindarti<sup>d,4)</sup>

a), b), c), d) Teknik Sistem Energi, Institut Teknologi Yogyakarta, Jl. Janti Km 4 Gedongkuning,  
Banguntapan, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55198.

1, 2, 3), 4) hanifhelminj@gmail.com; ucik\_energi@ity.ac.id; kurniawanadi.me@gmail.com;  
viendarti@ity.ac.id

### ABSTRAK

Sistem kelistrikan di SD N 1 Temuwuh masih mengandalkan *supply* energi listrik dari jaringan PLN sehingga SD N 1 Temuwuh harus melakukan pembayaran tagihan listrik setiap bulannya. Melalui penelitian ini kedepannya diharapkan dapat memberi manfaat berupa bahan pertimbangan dan referensi bagi instansi SD N 1 Temuwuh untuk pengembangan energi terbarukan melalui pengadaan PLTS *rooftop on-grid* untuk menekan biaya tagihan listrik. Pada penelitian ini dilakukan analisis teknik dan ekonomi. Analisis teknik akan menentukan daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTS, kapasitas PLTS yang akan dirancang, spesifikasi dan skematik komponen yang gunakan, serta penyusunan panel surya. Analisis ekonomi akan menghitung biaya energi dan kelayakan investasi PLTS *rooftop*. Berdasarkan hasil perhitungan teknik dengan data meteorologi yang bersumber dari RETScreen Expert, dengan besar daya terbangkitkan PLTS atap sebesar 800 Wp atau setara dengan 0.8 kWp panel surya yang digunakan berjumlah dua unit dengan merk Risen jenis *Mono-cystalline* kapasitas 400 WP. Penyusunan panel surya terdiri dari satu *array* dengan konfigurasi dua seri dan satu parallel. Orientasi PV berada pada kemiringan 12° dan azimuth 0°. Inverter yang digunakan memiliki kapasitas 1000 W dengan merk Growatt. Berdasarkan analisis ekonomi diperoleh biaya investasi sebesar Rp. 20.695.592, biaya O & M per tahunnya sebesar Rp. 209.956, MPW selama 25 tahun dengan tingkat diskonto sebesar 5,75% adalah Rp. 2.709.626, dan LCC selama umur proyek 25 tahun adalah Rp.23.405.218 serta COE sebesar Rp. 1.436,684. Untuk analisis kelayakan proyek diperoleh nilai NPV (+) Rp. 4.552.253,82, PI (>1) 1,22, dan DPP (±) 20 tahun. Kesimpulan dari penelitian ini adalah investasi proyek PLTS pada SD N 1 Temuwuh, berdasarkan aspek teknis dan aspek ekonomi layak dilaksanakan.

Kata kunci: PLTS, Analisis Teknik, Analisis Ekonomi

## TECHNICAL ANALYSIS AND ECONOMIC PLANNING PLTS ROOFTOP ON-GRID SYSTEM IN SDN 1 TEMUWUH

### ABSTRACT

*The electrical system in SD N 1 Temuwuh still relies on the supply of electrical energy from the PLN network so SD N 1 Temuwuh must pay electricity bills every month. This research in the future, is expected to provide benefits in the form of considerations and references for SD N 1 Temuwuh agencies for the development of renewable energy through the procurement of rooftop on-grid power plants to reduce electricity bill costs. This study conducted technical and economic analysis. The technical analysis will determine the power that can be generated by solar power plants, the capacity of solar power plants to be designed, specifications and schematics of the components used, and the preparation of solar panels. Economic analysis will calculate the energy cost and investment feasibility of a rooftop solar power plant. Based on the results of engineering calculations with meteorological data sourced from RETScreen Expert, with a large power-generated PLTS roof of 800 Wp or equivalent to 0.8 kW solar panels used amounted to two units with the brand Risen type Mono-crystalline capacity of 400 WP. The arrangement of solar panels consists of one array with two series and one parallel configuration. PV orientation is at 12° tilt and 0° azimuth. The Inverter used has a capacity of 1000 W with the brand Growatt. Based on economic analysis obtained investment costs of Rp. 20,695,592, O & M costs per year of Rp. 209.956, MPW for 25 years with a discount rate of 5.75% is Rp. 2,709,626, and LCC during the project life of 25 years is Rp.23,405,218 and COE of Rp. 1.436,684. For the feasibility analysis of*

*the project obtained NPV value ( + ) Rp. 4,552,253.82, PI (>1) 1.22, and DPP (±) 20 years. This study concludes that the investment of the PLTS project in SD N 1 Temuwuh, based on technical aspects and economic aspects, is feasible.*

*Keywords: PLTS, Technical Analysis, Economic Analysis*

## **PENDAHULUAN**

Saat ini pasokan energi listrik Indonesia masih didominasi oleh energi fosil. Ketergantungan akan energi fosil akan menjadi permasalahan karena cadangan bahan baku yang dimiliki sangat terbatas jumlahnya dan akan habis dalam jangka waktu tertentu serta menghasilkan emisi atau dampak negatif bagi lingkungan (Tampubolon dkk, 2016). Salah satu cara untuk mengatasi ketergantungan akan penggunaan energi fosil adalah beralih dengan penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan yakni energi baru dan terbarukan (EBT). Indonesia sangat kaya akan energi terbarukan, besar potensi energi terbarukan yang dimiliki Indonesia yakni lebih dari 400.000 Mega Watt (MW) dengan 200.000 MW atau sekitar 50% diantaranya adalah potensi energi surya. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar sekitar 4,8kWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp (Alamsyah dkk, 2019).

Pemerintah menargetkan kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap pada 2025 mencapai 3.600 Mega Watt (MW) atau sekitar 3,6 Giga Watt (GW) (Putri, 2022). Sistem PLTS atap secara konfigurasi sistemnya adalah on-grid atau terhubung dengan jaringan listrik PLN atau dengan kata lain daya yang diproduksi oleh PLTS tidak hanya untuk penggunaan sendiri, melainkan bisa disalurkan ke sistem yang terhubung dengannya. Pada siang hari, ketika produksi listrik PLTS melebihi kebutuhan beban, maka kelebihan ini secara otomatis di salurkan ke grid dan secara otomatis kelebihan ini dicatat oleh kWh meter ekspor-impor. Namun, ketika produksi listrik PLTS tidak mencukupi kebutuhan beban, maka energi listrik PLTS diprioritaskan untuk digunakan dan sisa kekurangan listriknya disuplai dari *grid* (Rafli dkk, 2022). Sistem panel surya *on-grid* merupakan salah satu model sistem panel surya yang dirasa paling ekonomis dan efisien, hal ini dikarenakan dengan tidak adanya komponen baterai sehingga biaya komponen dan pemasangan dapat ditekan (Yuwono dkk, 2021).

Sistem kelistrikan di SD N 1 Temuwuh yang masih mengandalkan *supply* energi listrik dari jaringan PLN membuat SD N 1 Temuwuh harus melakukan pembayaran tagihan listrik setiap bulannya. Melalui penelitian “Analisis Teknik dan Ekonomi Perencanaan PLTS *Rooftop Sistem On-Grid* di SD N 1 Temuwuh”, kedepannya diharapkan dapat memberi manfaat sebagai salah satu sumber referensi pengembangan energi terbarukan di SD N 1 Temuwuh terutama yang berbasis panel surya.sekaligus dapat memberikan output berupa bahan pertimbangan dan refrensi bagi instansi SD N 1 Temuwuh untuk pengadaan PLTS *rooftop on-grid*. Sistem PLTS *on-grid* akan mengurangi tagihan listrik PLN dan sekaligus turut berpartisipasi dalam penyelamatan lingkungan melalui pengurangan penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi listrik (Agam dan Kartini, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh (Rezky dkk, 2022) di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar menunjukkan besar daya PLN sebelum tersinkronisasi grid inverter 0,351 KWh/Day kemudian menurun atau menghemat 0.272 KWh/Day. Hal itu menyebabkan adanya selisih penghematan selama sehari penyinaran mencapai 0,079 KWh/Day. Terlihat bahwasanya antara daya *output* panel surya sangat mempengaruhi besar kecilnya daya output grid/PLN. Kapasitas panel surya menggunakan grid inverter dalam hal ini menghemat pengeluaran listrik dengan cara membagi beban bersama dengan PLN. Penelitian yang dilakukan oleh (Adi dkk, 2022) di Kantor Dinas Ketenagakerjaan dan ESDM Provinsi Bali pasca terpasang PLTS Atap 40 kWp menunjukkan produksi PLTS terhitung mulai bulan Juni hingga Desember 2021 sebesar 35.287,90 kWh dengan penghematan terhadap biaya tagihan listrik sebesar Rp 67.640.740,00 dan mampu mengurangi total emisi gas CO<sub>2</sub> sebesar 27.233,33 kg CO<sub>2</sub> e.

Pada penelitian yang berjudul “Analisis Teknik dan Ekonomi Perencanaan PLTS *Rooftop Sistem On-Grid* di SD N 1 Temuwuh”, analisis teknik bertujuan untuk menentukan daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTS, kapasitas PLTS yang akan dirancang, spesifikasi dan skematik komponen yang digunakan, serta penyusunan panel surya sedangkan pada analisis ekonomi akan menghitung biaya energi dan analisis terhadap kelayakan investasi PLTS *rooftop*.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian “Analisis Teknik dan Ekonomi Perencanaan PLTS *Rooftop* Sistem *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh” dilaksanakan di SD N 1 Temuwuh yang berlokasi di Jalan Patuk Dlingo Km 13, Dusun Klepu, Kelurahan Temuwuh, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul, Yogyakarta 55783. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam bulan) dimulai pada bulan Februari dan berakhir pada bulan Agustus 2023.

**Teknik Pengumpulan Data**

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer meliputi data luas atap, daya terpasang, dan data beban daya (konsumsi energi). Data sekunder meliputi radiasi matahari, data temperatur udara, dan data spesifikasi dan harga komponen PLTS.

**Metode Analisis Data**

1. Analisis teknik

Analisis teknik meliputi menghitung energi listrik yang akan disuplai dari PLTS *rooftop*, area array, daya dan energi yang dapat dibangkitkan PLTS, jumlah panel surya, kapasitas inverter, serta menentukan penyusunan panel surya.

a) Suplai Energi Listrik dari PLTS *Rooftop*

Menurut Kariongan (2022), suplai Energi Listrik dari PLTS *rooftop* dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$E_L = 65\% \times \text{Total Beban} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan,

$E_L$  = Besar energi yang akan dibangkitkan (kWh/hari)

65% = Rencana suplai energi listrik dari PLTS *Rooftop*

b) *Area Array*

Menurut Kariongan (2022), area array dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\text{Luas Array} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times FKT} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan,

$E_L$  = Besar energi yang akan dibangkitkan (kWh/hari)

$G_{av}$  = Intensitas radiasi matahari (kWh/m<sup>2</sup>/hari)

$\eta_{PV}$  = Efisiensi panel surya (%)

$\eta_{out}$  = Efisiensi keluaran sistem (%)

FKT = Faktor koreksi temperature (%)

Luas Array = Luas permukaan array surya (m<sup>2</sup>)

c) Daya Maksimal Yang Dapat Dibangkitkan

Menurut Kariongan (2022), daya maksimal yang dapat dibangkitkan PLTS dapat dihitung dengan persamaan (3) sebagai berikut:

$$P_{Wattpeak} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan,

$P_{Wattpeak}$  = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

Luas Array = Luas permukaan panel surya (m<sup>2</sup>)

PSI = Peak solar insolation (1000 W/m<sup>2</sup>)

$\eta_{PV}$  = Efisiensi panel surya (%)

d) Jumlah Panel Surya

Menurut Hajir (2021), jumlah panel surya dihitung dengan persamaan (4) sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{Wattpeak}}{P_{max}} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan,

$P_{Wattpeak}$  = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

$P_{max}$  = Kapasitas daya maksimal panel surya (W)

e) Kapasitas Daya Inverter

Menurut Hajir (2021), perhitungan kapasitas daya inverter dihitung dengan persamaan (5) sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas Inverter} = P_{MPP} \times \text{Safety Factor} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan,  
 $P_{MPP}$  = Permintaan daya/daya output (W)  
*Safety factor* = Faktor keamanan

2. Analisis ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan dengan menghitung biaya energi dan analisis terhadap kelayakan investasi PLTS rooftop. Biaya energi PLTS *rooftop* yang dihitung meliputi biaya investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional, biaya siklus hidup (*life cycle cost*), faktor pemulihan modal (*capital recovery factor*), dan biaya energi (*cost of energy*). Sedangkan untuk analisa kelayakan investasi PLTS *rooftop* ditentukan dengan metode *net present value* (NPV), *profitability index* (PI), dan *discount payback periode* (DPP).

1) Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Pada sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian baterai (Kossi, 2018).

a) Biaya Investasi PLTS

Biaya investasi awal PLTS mencakup biaya-biaya seperti biaya umum, biaya pekerjaan mekanikal dan elektrikal, dan biaya pekerjaan sipil (Kossi, 2018)

b) Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Menurut Kossi (2018), besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) sebagai berikut:

$$M = 1\% \times \text{Total biaya investasi (Rp)} \dots\dots\dots (6)$$

Kemudian untuk biaya siklus hidup (LCC) dapat dihitung dengan persamaan (7) sebagai berikut:

$$LCC = C + M_{PW} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan,  
 LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost)  
 C = Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen – komponen PLTS, biaya instalasi dan biaya lainnya misalnya biaya untuk rak penyangga.  
 $M_{PW}$  = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap dapat dihitung dengan persamaan (8) sebagai berikut:

$$M_{PW} = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (8)$$

Dengan,  
 P = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek  
 A = Biaya tahunan  
 i = Tingkat diskonto  
 n = Umur proyek

c) Faktor Diskonto

Faktor diskonto (*Discount factor*) adalah faktor yang digunakan untuk menilai penerimaan sekarang dengan penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang (Kossi, 2018). Adapun cara untuk menentukan besar faktor diskonto dapat menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan,  
 DF = Faktor Diskonto  
 i = Tingkat diskonto  
 n = Periode dalam tahun (umur investasi)

2) Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS (Kossi, 2018). Menurut Kossi (2018), faktor pemulihan modal dapat dihitung dengan persamaan (10) sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots \dots \dots (10)$$

Dengan,  
 CRF = Faktor pemulihan modal  
 i = Tingkat diskonto  
 n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Menurut Hidayat dkk, 2019, biaya energi (*Cost of Energy*) PLTS diperoleh dengan persamaan (11) sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \dots \dots \dots (11)$$

Dengan,  
 COE = Cost of Energy atau Biaya Energi (Rp/kWh)  
 LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost)  
 CRF = Faktor pemulihan modal  
 A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

3) Kelayakan Investasi

Kelayakan investasi PLTS ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Payback Period* (PP) (Kossi, 2018).

a) *Net Present Value* (NPV)

Menurut Hidayat dkk, 2019, untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) dapat menggunakan persamaan (12) sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \dots \dots \dots (12)$$

Dengan,  
 NCF<sub>t</sub> = *Net Cash Flow* periode tahun ke- 1 sampai tahun ke-n  
 II = Investasi awal (Initial Investment)  
 i = Tingkat diskonto  
 n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah apabila nilai NPV yang didapatkan adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan sedangkan apabila nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.

b) *Profitability Index* (PI)

*Profitability Index* merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*) (Kossi, 2018). Teknik *Profitability Index* dihitung dengan persamaan (13) sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t (1+i)^{-t}}{II} \dots \dots \dots (13)$$

Dengan,  
 PI = *Profitability Index*  
 NCF<sub>t</sub> = *Net Cash Flow* periode tahun ke- 1 sampai tahun ke-n  
 II = Investasi awal (Initial Investment)  
 i = Tingkat diskonto  
 n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah investasi dinilai layak, apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih besar dari satu (>1) sedangkan investasi dinilai tidak layak, apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih kecil dari satu (< 1).

c) *Discount Payback Periode*

*Discounted payback period* (DPP) adalah periode pengembalian uang yang dihitung dengan menggunakan discount factor. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa tahun alur kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal (Hidayat dkk, 2019). Payback Periode adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi) (Kossi, 2018). Teknik DPP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (14) sebagai berikut:

$$DPP = \text{year before recovery} + \frac{\text{Investment Cost}}{\text{NPV kumulatif}} \dots (14)$$

Dengan,

Year before recovery = Jumlah tahun sebelum tahun pengembalian final

Investment Cost = Biaya investasi awal.

NPV Kumulatif = Jumlah kas bersih nilai

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah investasi dinilai layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek (*periode cutoff*) sedangkan investasi dinilai tidak layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek (*periode cutoff*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Radiasi Matahari dan Temperatur Udara

Pengambilan data meteorologi berupa data radiasi matahari dan temperatur udara pada SD N 1 Temuwuh yang memiliki titik koordinat garis lintang  $-07^{\circ}54'54''$  LS dan garis bujur  $110^{\circ}28'40''$  BT dilakukan pada bulan Juni melalui software RETScreen Expert. Adapun data radiasi matahari dan temperatur udara yang digunakan adalah data radiasi matahari dan temperatur udara selama satu tahun periode bulan Januari hingga Desember tahun 2022 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Meteorologi *Software* RETScreen Expert

Bulan	Suhu Udara	Kelembaban Relatif	Curah Hujan	Radiasi Matahari Harian - Horizontal	Tekanan Atmosfer	Laju Angin	Suhu Bumi
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/k	°C
Januari	26,1	86,10%	245,9	4,79	100,9	3,3	26,6
Februari	26,2	86,40%	291,9	4,49	100,8	3,1	26,6
Maret	26,3	86,30%	262,6	4,76	100,8	2,5	26,7
April	26,6	85,20%	211,4	5,05	100,8	2,3	27,1
Mei	26,8	86,10%	201,1	4,69	100,8	2,5	27,1
Juni	26,0	85,50%	231,5	4,47	100,9	3,1	26,3
Juli	25,0	85,60%	122,1	4,86	100,9	4,1	25,3
Agustus	25,1	84,50%	74	5,17	101,0	4,2	25,6
September	25,7	83,30%	136,5	5,50	101,0	4,2	26,4
Oktober	25,4	86,40%	255,7	4,54	100,9	3,6	26,1
November	25,9	88,00%	275	4,54	100,9	3,0	26,4
Desember	25,8	87,80%	820,2	4,30	100,8	3,4	26,3
Tahunan	25,9	85,9%	260,7	4,76	100,9	3,3	26,4
Sumber	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Sumber: RETScreen Expert

Untuk perencanaan sistem PLTS biasanya menggunakan nilai insolasi harian matahari minimum dengan tujuan agar pada saat insolasi harian matahari berada pada nilai yang paling rendah, maka PLTS yang akan dikembangkan tetap dapat memenuhi besar kapasitas yang dibangkitkan. Sedangkan untuk temperatur udara biasanya menggunakan nilai temperatur maksimum dengan tujuan agar pada saat temperatur berada pada nilai yang paling tinggi, maka dapat diperoleh besarnya faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) pada PLTS yang akan dikembangkan (Kossi, 2018). Sehingga, pada penelitian ini kedepannya perencanaan sistem PLTS akan menggunakan nilai radiasi matahari terendah yakni  $4,30 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  dan suhu udara tertinggi yakni  $26,8^{\circ}\text{C}$ .

### Data Profil Beban Listrik

Data biaya tagihan listrik PLN di SD N 1 Temuwuh yang digunakan adalah data tagihan listrik selama satu tahun dari periode bulan Januari hingga Desember tahun 2022 yang bersumber dari data arsip bukti pengeluaran kas yang disusun oleh bendahara BOS SD N 1 Temuwuh. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, data beban dan tagihan listrik dari SD N 1 Temuwuh dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Beban dan Biaya Tagihan Listrik PLN SD N 1 Temuwuh

Bulan	Pemakaian E Rill (kWh)	Tagihan Listrik (Rp)
Januari	96,54	142.476
Februari	103,40	152.388
Maret	98,99	146.016
April	99,48	146.724
Mei	109,57	161.300
Juni	102,91	151.680
Juli	111,72	164.400
Agustus	101,96	150.300
September	110,06	162.000
Oktober	122,52	180.000
November	122,52	180.000
Desember	119,97	176.316
<b>Total</b>	<b>1.299,65</b>	<b>1.913.600</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>108,30</b>	<b>159.467</b>

Berdasarkan data yang disajikan tabel 2, total pemakaian E Rill (kWh) atau beban listrik selama satu tahun SD N 1 Temuwuh adalah sebesar 1.299,65 Kwh dengan rata-rata pemakaian E Rill (kWh) perbulanya sebesar 108.30 kWh. Beban listrik tertinggi atau beban puncak terjadi pada bulan Oktober dan November dengan nilai sebesar 122,52 kWh dalam satu bulan atau setara dengan 4,084 kWh/hari.

### Analisis Teknik Perencanaan PLTS Rooftop

#### Luas Atap

Luas atap ditentukan setelah pengambilan foto udara menggunakan drone atau UAV. Pengolahan foto udara dilakukan menggunakan *software* Agisoft metashape dan Global mapper. *Output* dari pengolahan foto udara dari kedua *software* tersebut adalah orthophoto (gambar foto udara dengan skala) dan *Digital Elevation Model* (DEM) atau model tiga dimensi. Setelah orthophoto dan DEM diperoleh selanjutnya dilakukan digitasi dan *cropping* area atap untuk menentukan model dan ukuran pada beberapa parameter yang menjadi penentu luas atap. Hasil perhitungan luas atap SD N 1 Temuwuh yang dibagi menjadi enam segmen dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Luas Atap SD N 1 Temuwuh

. No	Nama Segmen	P1 (m)	P2 (m)	a (m)	b (m)	c (m)	Luas Atap (m <sup>2</sup> )
1.	Segmen A	15,71	20,97	5,26	3	6,06	111,06
2.	Segmen B	20,97	26,23	5,26	3	6,06	142,91
3.	Segmen C	19,89	30,41	5,26	3	6,06	152,29
4.	Segmen D	30,41	40,93	5,26	3	6,06	216,00
5.	Segmen E	9,07	14,33	5,26	3	6,06	70,85
6.	Segmen F	14,33	19,59	5,26	3	6,06	102,70
<b>Total Luas Atap</b>							<b>795,80</b>

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel 3, total luas atap di SD N 1 Temuwuh adalah 795,80 m<sup>2</sup> dengan segmen atap terluas adalah segmen D luas seluas 216,00 m<sup>2</sup>.

#### Energi Yang Akan Disuplai dari PLTS Rooftop

Berdasarkan aturan dalam pemasangan PLTS atap yang sudah diatur oleh pemerintah pada Permen ESDM No 49 tahun 2018, salah satu poin yang disebutkan adalah nilai energi dari PLTS Atap yang diekspor ke PLN diperhitungkan dengan nilai 65% dari yang terukur di kWh meter ekspor – impor (eksim). Sehingga dengan beban puncak di SD N 1 Temuwuh yang terjadi pada bulan Oktober dan November Tahun 2022 sebesar 4,084 kWh per hari, besar pemakaian energi listrik ( $E_L$ ) yang akan disuplai oleh PLTS *rooftop* sebesar 65% dapat dihitung sebagai berikut.

$$E_L = 65\% \times \text{Total Beban}$$

$$E_L = 65\% \times 4,084 \text{ kWh}$$

$$E_L = 2,655 \text{ kWh}$$

Besar standar temperatur optimal dari panel surya adalah 25°C. Sedangkan besar penurunan kapasitas daya pada setiap kenaikan temperatur 1°C dari 25°C (temperatur standarnya) adalah 0,5% (Kossi, 2018).

Berdasarkan data temperature udara yang diperoleh dari *software* RETScreen Expert pada tabel 4.1, temperatur udara tertinggi atau maksimum terdapat pada bulan Mei sebesar 26,8°C, data tersebut mengindikasikan adanya peningkatan temperatur sebesar 1,8°C dari temperatur standar yang diperlukan oleh panel surya. Dengan perencanaan panel surya menggunakan kapasitas 400 Wp, besar penurunan daya akibat kenaikan temperatur sebesar 1,8°C di sekitar panel surya dapat dihitung sebagai berikut.

$$P \text{ saat } 26,8^{\circ}\text{C} = 0,5\% \times P_{MPP} \times \text{kenaikan temperature } (^{\circ}\text{C})$$

$$P \text{ saat } 26,8^{\circ}\text{C} = 0,5\% \times 400 \text{ W} \times 1,8^{\circ}\text{C} = 3,6 \text{ W}$$

Maksimum keluaran daya pada saat temperaturnya naik menjadi 26,8°C dapat dihitung sebagai berikut.

$$P_{MPP} \text{ saat } 26,8^{\circ}\text{C} = P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^{\circ}\text{C}}$$

$$P_{MPP} \text{ saat } 26,8^{\circ}\text{C} = 400 \text{ W} - 3,6 \text{ W} = 396,4 \text{ W}$$

Faktor koreksi temperatur (*Temperatur Correction Factor*) dari hasil perhitungan maksimum keluaran daya panel surya saat temperaturnya naik menjadi 26,8°C dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\text{FKT} = \frac{P_{MPP} \text{ saat } 26,8^{\circ}\text{C}}{P_{MPP}}$$

$$\text{FKT} = \frac{396,4}{400} = 0,99$$

Berdasarkan pembahasan 4.3.2 diperoleh data  $E_L$  sebesar 2,655 kWh,  $P$  saat 26,8°C adalah 3,6 W,  $P_{MPP}$  saat 26,8°C adalah 396,4 W, dan FKT sebesar 0,99.

#### Area PV

Area PV atau area panel merupakan luasan yang diperlukan untuk meletakkan panel surya. Area panel surya dapat ditentukan setelah mengetahui besar energi yang akan dibangkitkan ( $E_L$ ), Intensitas radiasi matahari  $G_{AV}$ , efisiensi panel surya ( $\eta_{PV}$ ), efisiensi keluaran ( $\eta_{OUT}$ ), dan faktor koreksi temperatur (FKT).

Setelah beberapa komponen yang mempengaruhi perhitungan PV Area diketahui selanjutnya dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut

$$\text{PV Area} = \frac{E_L}{G_{AV} \times \eta_{PV} \times \eta_{OUT} \times \text{FKT}}$$

$$\text{PV Area} = \frac{2,655}{4,30 \times 19,7\% \times 0,95 \times 0,99}$$

$$\text{PV Area} = \frac{2,655}{0,796} = 3,33 \text{ m}^2 \approx 4 \text{ m}^2$$

Berdasarkan pembahasan 4.3.3 di peroleh data besar PV area adalah 4 m<sup>2</sup>.

#### Daya Yang Terbangkitkan PLTS Rooftop (Wattpeak)

Setelah perhitungan area *array*, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Wattpeak*) dapat ditentukan. Dengan *area array* adalah 4 m<sup>2</sup>, *Peak Sun Insolation* (PSI) adalah 1000 W/ m<sup>2</sup>, dan efisiensi modul surya adalah 19,7% maka besar daya yang dibangkitkan PLTS *rooftop* dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$P_{Watt \text{ Peak}} = 4 \times 1000 \times 19,7\% = 788 \text{ Wp}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan di atas, dengan estimasi total kebutuhan energi harian dari SD N 1 Temuwuh yakni sebesar 2,655 kWh per hari, daya yang dibangkitkan PLTS adalah sebesar 788 Wp.

#### Jumlah Panel Surya

Panel surya yang digunakan untuk merencanakan PLTS pada SD N 1 Temuwuh adalah panel surya dengan kapasitas 400 Wp. Sehingga berdasarkan kapasitas panel surya yang digunakan, maka jumlah panel surya yang diperlukan adalah:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{Watt \text{ Peak}}}{P_{MPP}}$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{788}{400} = 1,97 \approx 2 \text{ unit}$$



Berdasarkan perhitungan yang dilakukan di atas, dengan panel surya berkapasitas 400 Wp, jumlah panel surya yang diperlukan untuk perencanaan PLTS *rooftop on-grid* di SD N 1 Temuwuh adalah dua (2) unit.

### Penyusunan Panel Surya

Dalam perencanaan PLTS *rooftop on-grid* di SD N 1 Temuwuh, jumlah panel surya yang dibutuhkan sebanyak 2 unit. Panel surya yang digunakan bermek Risen kapasitas 400 Wp dengan  $V_{mp} = 31,6 \text{ V}$ , dan  $I_{mp} = 17,40 \text{ A}$ . Penyusunan rangkaian panel surya ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Menentukan  $V_{mpp \text{ Array}}$   
 $V_{mpp \text{ array}} = V_{mp} \times \text{Jumlah Seri}$   
 $V_{mpp \text{ array}} = 40,45 \times 2 = 80,9 \text{ Volt}$
2. Menentukan  $I_{mpp \text{ Array}}$   
 $I_{mpp \text{ array}} = I_{mp} \times \text{Jumlah Paralel}$   
 $I_{mpp \text{ array}} = 9,90 \times 1 = 9,90 \text{ A}$
3. Menentukan  $P_{mpp \text{ Array}}$   
 $P_{mpp \text{ array}} = V_{mpp} \times I_{mpp}$   
 $P_{mpp \text{ array}} = 80,9 \times 9,90$   
 $P_{mpp \text{ array}} = 800,91 \text{ Watt} \approx 800 \text{ Watt}$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan di atas, banyak *array* yang terpasang di SD N 1 Temuwuh adalah 1 *array* dengan besar  $V_{mpp \text{ array}}$  adalah 80,9 V,  $I_{mpp \text{ array}}$  adalah 9,90 A, dan  $P_{mpp \text{ array}}$  sebesar 800 Watt. Menurut Hajir (2021), untuk mengetahui besar daya yang dapat ditopang PLTS atap dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\% = \frac{\text{Daya PLTS}}{\text{Daya Yang Terpasang}} \times 100\%$$

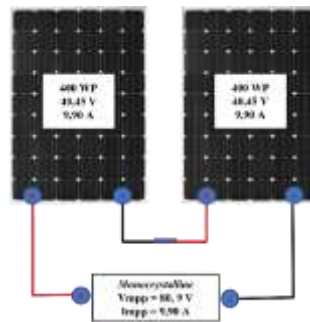
$$\% = \frac{800}{1300} \times 100\%$$

$$\% = 62$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan presentase daya yang ditopang oleh PLTS lebih kecil 3% dari rencana awal sebesar 65%.

### Desain Penyusunan Rangkaian Panel Surya

PLTS *on-grid* yang akan dikembangkan di SD N 1 Temuwuh menggunakan dua unit panel surya bermerk Risen jenis *monocrystalline*. Panel surya tersebut memiliki kapasitas masing-masing sebesar 400 WP, tegangan sebesar 40,45 V, dan arus sebesar 9,90 A. Panel surya direncanakan disusun dengan konfigurasi 2 seri dan 1 paralel. Desain penyusunan rangkaian panel surya ditunjukkan pada gambar 1 dengan spesifikasi panel surya dapat dilihat pada tabel 4.



Gambar 1. Desain Penyusunan Rangkaian Panel Surya di SD N 1 Temuwuh

Tabel 4. Spesifikasi Panel Surya Risen Mono-cystalline 400 Wp

<i>Module Type</i>	RSM144-6-400BMDG
<i>Rated Power in Watts - Pmax (Wp)</i>	400
<i>Open-Circuit Voltage - Voc (V)</i>	48.60
<i>Short-Circuit Current - Isc (A)</i>	10.50
<i>Maximum Power Voltage - Vmpp (V)</i>	40.45
<i>Maximum Power Current - Impp (A)</i>	9.90
<i>Module Efficiency (%)</i>	19.7%

Sumber: <https://energypal.com>

### Simulasi Desain Penyusunan Rangkaian Panel Surya Di Atap

Berdasarkan keluaran data OPTA pada situs web Global Solar Atlas dengan presisi koordinat di Desa Temuwuh ditunjukkan sudut inklinasi untuk angka pertama (12°) dan sudut azimuth untuk angka kedua (0°). Idealnya, apabila lokasi PLTS terpusat berada di selatan garis khatulistiwa, maka modul surya diarahkan menghadap ke arah utara (azimuth 0°). Sebaliknya, apabila lokasi PLTS terpusat berada di utara garis khatulistiwa, maka modul surya menghadap ke arah selatan, dengan kata lain, diarahkan pada azimuth 180° (Rachmi dkk, 2020). Sehingga rencana pemasangan panel surya akan dilakukan pada sisi atap segmen E yang merupakan sisi atap yang menghadap utara yang memiliki luas sebesar 70,85 m<sup>2</sup>. Simulasi desain penyusunan rangkaian panel surya di Atap yang dapat di lihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Penyusunan Rangkaian Panel Surya Risen *Mono-crytalline* 400 Wp di Atap SD N 1 Temuwuh

### Kapasitas Inverter

Kapasitas total inverter pada sistem PLTS atap dibatasi paling tinggi 100% dari daya tersambung PLN. Oleh karenanya, inverter yang digunakan harus lebih kecil atau sama dengan data tersambung PLN (Rachmi dkk, 2020). Dengan *safety factor* sebesar 1,25, kapasitas inverter dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Kapasitas Inverter} = P_{MPP} \times \text{Safety Factor}$$

$$\text{Kapasitas Inverter} = 800 \times 1,25$$

$$\text{Kapasitas Inverter} = 1000 \text{ W} \approx 1 \text{ kW}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwasannya kapasitas inverter yang dibutuhkan adalah 1000 watt. Inverter yang direncanakan pada penelitian ini bermerk Growatt dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Growatt On-Grid Inverter 1000 W

<i>Inverter Type</i>	<b>MIC 1000TL-X</b>
<i>Max. DC Input Power</i>	1400 W
<i>Max. DC Input Voltage</i>	500 V
<i>MPPT Voltage Range</i>	50 – 500 V
<i>Star Voltage</i>	50 V
<i>Nominal DC Input Voltage</i>	180 V
<i>Max. Input Current per MPPT Tracker</i>	13 A
<i>Max. Short Circuit Current per MPPT Tracker</i>	16 A
<i>AC Nominal Power</i>	1000 W
<i>Max. AC Apparent Power</i>	1000 VA
<i>Nominal AC Voltage</i>	230 V (180-280 V)

Sumber: <https://www.tokopedia.com>

### Menghitung Energi Yang Dihasilkan PLTS Rooftop

Pada perencanaan PLTS *rooftop*, intensitas yang digunakan adalah intensitas harian terendah sebesar 4,30 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Energi yang dihasilkan PLTS selama satu hari dapat dihitung sebagai berikut.

$$E_{out} = E_{in} \times G_{AV}$$

Dengan,

$$E_{in} = \text{Jumlah Panel} \times P_{MPP} \text{ saat naik } ^\circ\text{C}$$

$$E_{in} = 2 \times 396,4 = 792,8 \text{ Wp}$$

Sehingga,

$$E_{out} = 792,8 \times 4,30$$

$$E_{out} = 3.409,04 \text{ W} \approx 3,409 \text{ kW}$$

Energi yang dihasilkan selama 1 tahun adalah

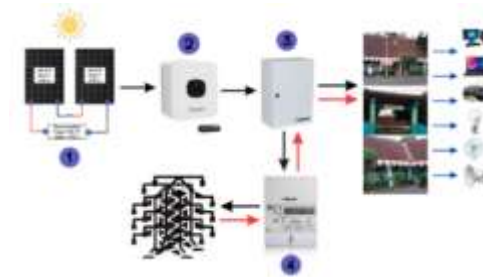
$$Akwh = E_{out} \times 365$$

$$Akwh = 3,409 \times 365$$

$$Akwh = 1.244,285 \text{ kWh/tahun}$$

### Skematik Komponen PLTS On-Grid Yang Direncanakan

Skematik komponen PLTS *On-Grid* yang direncanakan di SD N 1 Temuwuh terdiri dari tiga komponen utama yakni panel surya, inverter, dan kWh Exim yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Skematik Komponen PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh

Penjelasan skematik komponen PLTS *on-grid* yang direncanakan di SD N 1 Temuwuh adalah energi foton yang bersumber dari radiasi matahari mengenai panel surya akan di serap dan dikonversi oleh panel surya dari cahaya matahari menjadi listrik yang memiliki arus searah (DC). Selanjutnya, arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya di salurkan menuju Inverter. Kemudian di dalam inverter, arus DC yang dihasilkan oleh panel surya tersebut dikonversi menjadi listrik yang memiliki arus bolak-balik (AC). Listrik yang memiliki Arus AC selanjutnya ditransfer ke panel listrik utama yang terhubung langsung oleh grid tied inverter. Selanjutnya listrik dapat digunakan untuk *supply* beban listrik (peralatan elektronik) yang ada di SD N 1 Temuwuh. Kwh exim selanjutnya akan menghitung konsumsi bersih pemakaian energi listrik dan apabila ada kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem PV akan dikirimkan kembali ke jaringan PLN.

### Analisis Ekonomi Perencanaan PLTS Rooftop

#### Biaya Investasi Awal

Rencana anggaran biaya untuk PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh meliputi biaya umum dan biaya pekerjaan mekanikal dan elektrik yang dikelompokkan menjadi biaya berdasarkan komponen utama, komponen pendukung, dan lain-lain. Rekapitulasi komponen dan biaya investasi awal PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh dalam tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Komponen dan Biaya Investasi PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh

No	Komponen	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
<b>Komponen Utama</b>				
1	Panel Surya Risen Energy Bifacial Monocrystalline 400 Wp	2	Rp. 3.504.000	Rp. 7.008.000
2	Inverter Growatt On-Grid 1000 W	1	Rp. 6.100.000	Rp. 6.100.000
3	kWh Exim MODBUS RS-485	1	Rp. 550.000	Rp. 550.000
<b>Total</b>				Rp. 13.658.000
<b>Komponen Pendukung</b>				
1	Tile Roff Hook	4	Rp. 84.398	Rp. 337.592
2	Solar Panel Rail (2,1 m)	2	Rp. 357.000	Rp. 714.000
3	Mid-Clamp 35 mm	2	Rp. 15.000	Rp. 30.000
4	End-Clamp 35 mm	4	Rp. 16.500	Rp. 66.000
5	Proteksi Kelistrikan (MCB AC, MCB DC, SPD AC, SPD DC)		Rp. 500.000	Rp. 500.000
6	Panel Box/Box Panel MCB SPD		Rp. 390.000	Rp. 390.000
7	Kabel PV, Kabel Instalasi, Kabel Grounding		Rp. 1.000.000	Rp. 1.000.000
<b>Total</b>				Rp. 3.037.592
<b>Lain-Lain</b>				
1	Biaya Distribusi, Jasa Instalasi, dan Pemasangan		Rp. 3.000.000	Rp. 3.000.000
2	Aksesoris Tambahan (Anggaran Darurat)		Rp. 1.000.000	Rp. 1.000.000
<b>Total</b>				Rp. 4.000.000
<b>Total Investasi PLTS</b>				<b>Rp. 20.695.592</b>

### Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya ini dapat terdiri atas biaya pengadaan bahan baku, biaya listrik dan bahan bakar, biaya tenaga kerja dan gaji staf, biaya bahan kemasan dan bahan pendukung lainnya, biaya distribusi, serta biaya umum dan operasional kantor. Dimana biaya operasional dan perawatan sebesar 1% -2% dari biaya investasi (Mahardhika dkk, 2021). Biaya operasional dan pemeliharaan (O & M) per tahun PLTS di SD N 1 Temuwuh dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$M = 1\% \times \text{Rp. 20.695.592}$$

$$M = \text{Rp. 206.956/ Tahun.}$$

PLTS *On-Grid* SD N 1 Temuwuh diasumsikan beroperasi selama 25 tahun, yang disesuaikan dengan *lifetime* panel surya. Besar tingkat diskonto (*i*) yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang mengacu kepada tingkat suku bunga kredit Bank Indonesia per 24-25 Mei 2023 yakni sebesar 5,75%. Besar nilai (*Present Value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional ( $M_{PW}$ ) PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh selama 25 tahun dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$M_{PW} = \text{Rp. 206.956} \left[ \frac{(1+0,0575)^{25} - 1}{0,0575(1+0,0575)^{25}} \right]$$

$$M_{PW} = \text{Rp. 2.709.626}$$

Besar biaya operasioanal dan pemeliharaan (O & M) PLTS *On-Grid* di SD N 1 selama satu tahun adalah Rp. 206.956 sedangkan untuk biaya pemeliharaan dan operasional selama 25 tahun adalah Rp. 2.079.626.

### Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup (*life cycle cost*) merujuk pada penjumlahan semua biaya-biaya, baik yang berulang maupun tidak berulang sehubungan dengan produk, struktur, sistem, atau jasa selama jangka waktu hidupnya (Danu, 2020). *Life Cycle Cost* (LCC) untuk PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh selama umur proyek 25 tahun dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$LCC = \text{Rp. 20.695.592} + \text{Rp. 2.709.626}$$

$$LCC = \text{Rp. 23.405.218}$$

Besar *Life Cycle Cost* (LCC) untuk PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh adalah Rp. 23.405.218.

### Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

Faktor pemulihan modal digunakan untuk mengonversikan semua arus kas *Life Cycle Cost* (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Faktor pemulihan modal (*capital recovery factor*) PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh dapat dihitung sebagai berikut.

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

$$CRF = \frac{0,0575(1+0,0575)^{25}}{(1+0,0575)^{25} - 1}$$

$$CRF = 0,0764$$

Besar faktor pemulihan modal (CRF) untuk PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh adalah 0,0764.

### Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Biaya energi PLTS ditentukan oleh berbagai faktor diantaranya, biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan (Kariongan & Joni, 2022). Biaya energi untuk PLTS di SD N 1 Temuwuh dapat dihitung sebagai berikut.

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}}$$

$$COE = \frac{\text{Rp. 23.405.218} \times 0,0764}{1.244,285}$$

$$COE = \text{Rp. 1.436,684}$$

Besar biaya energi (COE) untuk PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh adalah Rp. 1.436,684.

### Analisis Kelayakan Investasi Perencanaan PLTS Rooftop

Biaya Investasi PLTS rooftop diasumsikan dengan alokasi dana BOS yang dimiliki oleh SD N 1 Temuwuh. Arus kas masuk tahunan PLTS dihasilkan dengan mengalikan kWh produksi tahunan PLTS dengan biaya energi (Kariongan & Joni, 2022). Dengan kWh produksi tahunan PLTS sebesar 1.244,285 kWh/tahun dan biaya energi sebesar Rp 1.436,684, maka besar arus kas masuk tahunan adalah Rp. 1.787.644,29 arus kas keluar tahunan PLTS sebesar Rp. 206.956/tahun berasal dari biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS. Sedangkan faktor diskontonya pada tahun pertama dengan tingkat diskonto sebesar 5,75% adalah

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

$$DF = \frac{1}{(1 + 0,0575)^1}$$

$$DF = \frac{1}{(1,0575)^1}$$

$$DF = 0,9456$$

Arus kas dari PLTS on-grid di SD N 1 Temuwuh dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Arus Kas PLTS On-Grid di SD N 1 Temuwuh

Periode	Biaya Investasi Awal	Arus Kas Masuk	Arus Kas Keluar	NCF	DF	PVNCF	Kumulatif PVNCF
0	20.695.592				1		
1		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,9456	1.494.740,77	1.413.466,45
2		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,8942	1.413.466,45	2.826.932,91
3		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,8456	1.336.611,30	4.163.544,21
4		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,7996	1.263.935,04	5.427.479,25
5		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,7561	1.195.210,44	6.622.689,69
6		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,7150	1.130.222,64	7.752.912,33
7		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,6761	1.068.768,45	8.821.680,78
8		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,6394	1.010.655,75	9.832.336,53
9		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,6046	955.702,83	10.788.039,36
10		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	11.691.777,26
11		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	12.595.515,17
12		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	13.499.253,07
13		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	14.402.990,97
14		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	15.306.728,88
15		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	16.210.466,78
16		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	17.114.204,69
17		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	18.017.942,59
18		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	18.921.680,49
19		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	19.825.418,40
20		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	20.729.156,30
21		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	21.632.894,20
22		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	22.536.632,11
23		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	23.440.370,01
24		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	24.344.107,92
25		1.787.644,29	206.955,92	1.580.688,37	0,5717	903.737,90	25.247.845,82

Analisis kelayakan investasi PLTS on grid di SD N 1 Temuwuh akan ditentukan dengan menghitung nilai NPV, PI, DPP, dan membandingkan biaya Penggunaan PLTS Dengan Penggunaan Jaringan PLN.

**Net Present Value (NPV)**

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskon (*discount factor*) (Nur, 2019). Untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) pada investasi PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh dipergunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$NPV = Rp. 25.247.845,82 - Rp. 20.695.592,00 = Rp. 4.552.253,82$$

Hasil perhitungan NPV menunjukkan bahwa investasi PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh bernilai positif (+) Rp. 4.552.253,82. Maka perencanaan proyek PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh layak dilaksanakan.

### **Profitability Index (PI)**

*Profitability Index* merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*) (Nur, 2019). Untuk menghitung *Profitability Index* (PI) pada investasi PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh dipergunakan persamaan sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=i}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{II}$$
$$PI = \frac{Rp. 25.247.845,82}{Rp. 20.695.592,00} = 1,22$$

Hasil perhitungan *Profitability Index* (PI) di atas menunjukkan nilai 1,22 yang artinya lebih besar dari satu (<1) maka investasi PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh layak untuk dilaksanakan.

### **Discounted Payback Period (DPP)**

*Payback Period* adalah jumlah tahun yang digunakan untuk mengembalikan investasai awal. Investasi yang di rencanakan untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga surya akan kembali di waktu tertentu (Hajir, 2021). Persamaan untuk menentukan DPP adalah sebagai berikut.

$$DPP = \text{year before recovery} + \frac{\text{Investment Cost}}{\text{NPV kumulatif}}$$

$$DPP = 19 + \frac{Rp. 20.695.592,00}{Rp. 19.825.418,40}$$

$$DPP = 19 + 1,04 = 20,04 \approx 20 \text{ tahun}$$

Pada perhitungan di atas diperoleh nilai DPP  $\pm$  20 tahun. Hasil nilai DPP tersebut menunjukkan bahwasannya PLTS *On-Grid* di SD N 1 Temuwuh layak untuk dilaksanakan karena memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek (*periode cutoff*).

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan teknik, dengan besar energi yang akan dibangkitkan perharinya adalah 2,655 kWh, besarnya daya output atau estimasi energi listrik yang dibangkitkan dari rancangan PLTS *rooftop on-grid* pada SD N 1 Temuwuh adalah sebesar 800 Wp atau setara dengan 0.8 kWp. Hasil rancangan PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di SD N 1 Temuwuh menunjukkan dengan kapasitas energi yang disupply dari PLTS sebesar 65% dari beban puncak, terdapat satu array dengan konfigurasi panel surya 2 seri dan 1 paralel. Panel surya yang digunakan berjumlah dua unit dengan merk Risen jenis *mono-cystalline* kapasitas 400 WP yang memiliki tipe RSM144-6-400BMDG. Orientasi PV berada pada kemiringan 12° dengan azimuth 0°. Rencana pemasangan panel surya dilakukan pada sisi atap segmen E yang merupakan sisi atap yang menghadap utara yang memiliki luas sebesar 70,85 m<sup>2</sup>. Inverter yang digunakan berjumlah satu unit dengan merk Growatt kapasitas 1000 W yang memiliki tipe MIC 1000TL-X. Berdasarkan Perhitungan hasil analisis ekonomi dari segi biaya energi dan kelayakan investasi menunjukkan perencanaan PLTS *rooftop* sistem *on-grid* di SD N 1 Temuwuh layak untuk dilaksanakan. Besar COE adalah Rp. 1.436,684, NPV bernilai positif sebesar Rp. 4.552.253,82, PI bernilai lebih dari satu (>1) sebesar 1,22, dan DPP selama sekitar 20 tahun.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adi Febriana Putra, I. K., Dwi Giriantari, I. A., & Sukerayasa, I. W. (2022). Analisis Penghematan Biaya Listrik Di Kantor Dinas Ketenagakerjaan Dan Esdm Provinsi Bali Pasca Terpasang Plts Atap 40 Kwp. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(2), 138. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p16>
- Agam, M., & Kartini, U. T. (2019). Peramalan Daya Listrik PLTS On Grid Pada Rumah Tinggal Menggunakan Metode k-Nearest Neighbor Decomposition Feed Forward Neural Network Berdasarkan Data Meteorologi. *Teknik Elektro*, 9(October), 241–249.
- Alamsyah, T., Hiendro, A., & Abidin, Z. (2019). Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya. *Jurnal Teknik Elektronika*, 10. Diambil dari <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/viewFile/48425/75676590121>
- Danu, A. R. (2020). *Analisa Keekonomian Tarif Listrik Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya FTI UII 5 kWp dengan Metode Life Cycle Cost (LCC)*. (Lcc). Diambil dari <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/28271>
- Hajir, N. (2021). *Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem Hybrid Di PT*

*Koloni Timur.*

- Hidayat, F., Winardi, B., & Nugroho, A. (2019). Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. *Transient*, 7(4), 875. <https://doi.org/10.14710/transient.7.4.875-882>
- Kariongan, Y., & Joni. (2022). Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6, 3763–3773. Diambil dari <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/3453>
- Kossi, V. R. (2018). Perencanaan PLTS Terpusat ( Off-Grid ) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. *Jurnal SI Teknik Elektro UNTAN*.
- Mahardhika, D., Windarta, J., & Sinuraya, E. W. (2021). 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 7.0 Dan Retscreen 6.0.7. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(1), 206–214. <https://doi.org/10.14710/transient.v10i1.206-214>
- Nur, A. (2019). Unjuk Kerja Desain Perencanaan dan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Sistem DC Coupling Kapasitas 17 kWp Pada Gedung Hunian Graha Cendekia Yogyakarta Menggunakan PVSYST 6.8.4. *Pengetahuan dan Sikap Dalam Penelitian Kesehatan*, 1(11150331000034), 1–147.
- Putri, C. A. (2022). Kejar Target 3,6 GW, Ternyata Baru Segini Kapasitas PLTS Atap. Diakses tanggal 22 Februari 2023, dari CNBC Indonesia website: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220210125741-4-314359/kejar-target-36-gw-ternyata-baru-segini-kapasitas-plts-atap>
- Rachmi, A., Prakoso, B., Hanny Berchmans, Devi Sara, I., & Winne. (2020). Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia. *PLTS Atap*, 94.
- Rafli, R., Ilham, J., & Salim, S. (2022). Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 8–15. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.10790>
- Rezky Ramadhana, R., Iqbal, M. M., Hafid, A., & Teknik Elektro, J. (2022). Analisis Plts on Grid. *Vertex Elektro*, 14(1), 12–25. Diambil dari <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/view/9143>
- Tampubolon, B. I., Fauzi, A., & Ekayani, M. (2016). Internalisasi Biaya Eksternal Serta Analisis Kebijakan Pengembangan Energi Panas Bumi Sebagai Energi Alternatif. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan: Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 2(2), 97. <https://doi.org/10.20957/jkebijakan.v2i2.10966>
- Yuwono, S., Diharto, D., & Pratama, N. W. (2021). Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid. *Energi & Kelistrikan*, 13(2), 161–171. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1537>