

# RANCANGAN PLTS ATAP GEDUNG GEREJA METHODIST INDONESIA MANNA HELVETIA

Kenny Angel Manik<sup>1</sup>, Wayan Gede Ariastina<sup>2</sup>, Ida Ayu Dwi Giriantari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Badung, Bali 80361

Email : kennyanangelmanik@gmail.com

## ABSTRAK

Potensi Indonesia yang disinari matahari sepanjang tahun menjadikan Indonesia negara yang memiliki sumber energi terbarukan yang besar. Namun penggunaan energi terbarukan sangat minim. Salah satu penggunaan energi terbarukan yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Kota Medan adalah salah satu kota yang padat penduduk dan menjadikan kota medan sangat minim lahan untuk membangun PLTS, dan solusi untuk itu adalah membangun PLTS atap. Maka dari itu penelitian ini membahas perencanaan PLTS Atap Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia. Desain pada PLTS ini disimulasikan menggunakan simulator *Helioscope*. PLTS didesain dengan sudut kemiringan sebesar  $40^{\circ}$ . 35 modul surya dengan 1 inverter dengan daya 20 kW dan potensi energi 15,8 kWp dipasang. PLTS rooftop ini mampu menghasilkan 20,32 MWh per tahun. Berdasarkan hasil perancangan atap PLTS dan hasil perhitungan pembangkitan listrik, dapat dianalisa bahwa pembangunan PLTS atap secara ekonomi dianggap layak dikarenakan memenuhi kriteria *Net Present Value* (NPV) lebih besar dari nol yaitu Rp 44.638.904 dan *Benefit-Cost Ratio* (B-CR) lebih besar dari satu yaitu 1,19 dan *Discounted Payback Period* (DPP) yang tercapai pada umur PLTS.

**Kata kunci** : PLTS Atap, helioscope, Analisis Ekonomi

## ABSTRACT

*Indonesia have potential sunshine over year, it makes indoensia has a large source of renewable energy. However, renewable energy usage is very low. One of the renewable energy is solar power plants (PLTS). Medan City is one of the highly populated cities and it makes Medan city very limited land to build PLTS, and the solution is to build rooftop PLTS. Therefore, this research discusses the planning of PLTS on the roof of the Manna Helvetai Indonesian Methodist Church Building. The design of this PLTS is simulated using the Helioscope simulator. Solar modules are installed as many as 35 pieces and have 1 inverter with a capacity of 20 kW and produce potential energy of 15.8 kWp. Based on the results of the rooftop solar power plant design and the results of the calculation of electrical energy production, it can be analyzed that the economic development of rooftop solar power plants is considered feasible because it meets the criteria of Net Present Value (NPV) greater than zero, namely Rp 44,638,904 and Benefit-Cost Ratio (B-CR) greater than one, namely 1.19 and Discounted Payback Period (DPP) which is reached at the life of the solar power plant.*

**Keywords**: Rooftop PLTS, helioscope, Economic Analysis

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang semakin tinggi mendorong manusia dalam memanfaatkan berbagai sumber daya yang ada di dunia ini sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Dalam pembangkitan energi listrik digunakan dua sumber yaitu energi tak terbarukan dan energi terbarukan.

Itulah sebabnya para peneliti berlomba-lomba menggunakan energi terbarukan sebagai sumber produksi listrik. Sel surya adalah solusi untuk sumber energi terbarukan yang tidak terbatas. Dengan iklim tropis dan sinar matahari sepanjang tahun, Indonesia memiliki potensi yang harus dimanfaatkan. Berdasarkan RUPTL PT.PLN periode 2019 sampai dengan 2028, wilayah Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 207,89 MW atau sekitar 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari sedangkan yang terpasang hingga 2019 hanya sebesar 78,5 MW[1].

Kondisi ini sangat jauh dari potensi energi matahari yang seharusnya kita capai. Pemerintah juga semakin aktif mengajak masyarakat untuk menggunakan energi terbarukan, misalnya dengan menerbitkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Kebijakan tersebut menjelaskan bahwa untuk mencapai bauran energi yang optimal, pemerintah bertujuan untuk menggunakan setidaknya 23% energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 dan setidaknya 31% pada tahun 2050, asalkan ekonomi penuh. Salah satu penggunaan energi terbarukan yaitu pembangkit listrik tenaga surya[2].

Seiring berkembangnya zaman yang semakin maju, peradaban manusia tidak lepas dari pranata dan infrastruktur yang mendukungnya. Semakin banyak ruang yang dikembangkan, semakin banyak bangunan yang dibutuhkan untuk mendukung aktivitas manusia. Dengan semakin banyaknya gedung-gedung semakin membuat keterbatasan lahan, untuk itu atap gedung menjadi tempat yang paling cocok dan memungkinkan untuk dijadikan tempat pembangunan PLTS.

Gedung gereja adalah bangunan yang banyak ditemui di setiap daerah, yang digunakan sebagai tempat ibadahnya umat Kristen. Perkembangan gereja di Indonesia telah meningkat pesat dan banyak kita lihat di kota-kota besar yang padat penduduk. Atap gereja dapat dijadikan solusi atas keterbatasan pembangunan PLTS yang dibangun di perkotaan atau daerah padat penduduk yang biasanya tidak memiliki cukup lahan untuk pembangunan PLTS.

Pada penelitian ini dirancang atap PLTS Gereja Metodis Indonesia Manna Helvetia Medan. Simulator *Helioscope* bertujuan untuk menghitung jumlah panel surya, sudut pemasangan panel surya dan jumlah inverter hingga sudut pemasangan panel surya. Hasil penelitian ini dimaksudkan untuk membantu peneliti dalam memahami PLTS *rooftop* dan diharapkan dapat bermanfaat bagi pemerintah dan masyarakat.

## 2. Kajian Pustaka

Indonesia adalah negara yang berada di garis khatulistiwa, tepatnya lintang 11° selatan - lintang 6° utara dan bujur 95° - bujur 141° barat. Indonesia memiliki iklim tropis dengan hanya 2 musim per tahun, yaitu musim kemarau (kemarau) dan musim hujan (hujan). Letak geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang memiliki akses energi surya yang baik karena menerima sinar matahari sepanjang tahun.

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari yang diubah menjadi energi listrik. Konversi matahari menjadi energi listrik ini disebabkan oleh sel surya di panel surya. Pembangkit listrik tenaga surya dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok antara lain berdasarkan lokasi pemasangan, aplikasi dan konfigurasi, dan ukuran generator.

PLTS secara sistem dibagi berdasarkan aplikasi dan konfigurasi. PLTS biasanya terbagi menjadi dua yaitu PLTS yang terhubung langsung dengan jaringan atau biasa dikenal dengan PLTS *on-grid* dan PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan atau biasa dikenal dengan PLTS *off-grid* atau PLTS yang dapat berdiri sendiri (*Stand-alone*). PLTS *stand-alone* dapat beroperasi secara mandiri dan juga didukung oleh sumber lain seperti tenaga angin, tenaga air dan generator.

## 2.2 Perencanaan PLTS

Dalam merencanakan pembangunan sistem PLTS diperlukan prakiraan kebutuhan tenaga listrik yang dapat memberikan informasi kepada pengambil keputusan agar dapat menggunakan prakiraan yang baik untuk mengurangi risiko pembangunan yang tidak perlu.

### 2.2.1 Menghitung Produksi PLTS

Produksi PLTS dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan luas sel surya. Untuk menghitung produksi PLTS dapat dihitung dengan Persamaan (1) [3]:

$$P = \eta \times S \times F \quad (1)$$

Keterangan:

P = Daya dalam Watt

S = Luas modul (m<sup>2</sup>)

F = Intensitas radiasi yang diterima (Watt/m<sup>2</sup>)

$\eta$  = efisiensi sel surya (%)

### 2.2.2 Net Present Value (NPV)

*Net Present value* (NPV) adalah metode kelayakan suatu rencana investasi, penentuan aliran uang tunai di masa depan dengan perhitungan melalui suku bunga. *Net Present value* dapat dihitung melalui Persamaan (2) [4]:

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

Keterangan :

$NCF_t$  = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n

II = Investasi awal (*Initial Investment*)

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

### 2.2.3 Benefit-Cost Ratio (B-CR)

*Benefit-Cost Ratio* atau Rasio keuntungan-biaya merupakan ukuran antara aspek keuntungan yang akan diperoleh (*profit*) dengan biaya (*cost*) dan investasi (*investment*) yang terkait dengan investasi tersebut. B-CR dapat dihitung melalui Persamaan (3) [5]:

$$BCR = \frac{B}{C} = \frac{Benefit}{Cost} \quad (3)$$

Keterangan :

B-CR = *Benefit-Cost Ratio* (rasio manfaat biaya)

B = *Benefit* (keuntungan)

C = *Cost* (biaya)

Dari Persamaan (3) dapat diketahui nilai *Benefit-Cost Ratio* (B-CR). Jika B-CR lebih besar dari 1, maka manfaat (keuntungan) yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek lebih besar daripada biaya (*cost*) dan investasi (*investments*) sehingga proyek tersebut layak. Dan jika rasio lebih kecil dari 1, maka keuntungan yang didapatkan selama proyek berjalan tidak cukup untuk menutupi biaya dan investasi, maka proyek dianggap tidak menguntungkan.

### 2.2.4 Discounted Payback Period (DPP)

*Discounted payback period* (DPP) adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. Dapat dihitung melalui Persamaan (4)[4]:

$$DPP = \text{year before recovery} + \frac{\text{investment cost}}{PVNCF \text{ kumulatif}} \quad (4)$$

Keterangan :

*Year Before Recovery* = Jumlah tahun sebelum pengembalian final.

*Investment cost* = Biaya Investasi awal

PVNCF kumulatif = Jumlah arus kas bersih nilai sekarang

Kriteria yang digunakan untuk memutuskan apakah proyek yang

akan dilaksanakan layak atau tidak dengan menggunakan metode ini:

1. Investasi proyek dianggap layak jika jangka waktu DPP lebih pendek dari durasi proyek.

2. Investasi proyek belum dinilai layak jika jangka waktu DPP lebih panjang dari durasi proyek.

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

Biaya siklus hidup adalah semua biaya yang dikeluarkan selama siklus hidup sistem. LCC dapat dihitung melalui Persamaan (5) [6]:

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \quad (5)$$

Keterangan

LCC = Biaya siklus hidup (*life cycle cost*)

C = Biaya investasi awal

$M_{PW}$  = Biaya pemeliharaan dan biaya operasional yang dikeluarkan selama umur Proyek

$R_{PW}$  = Biaya penggantian yang dikeluarkan selama umur proyek

### 2.4 Faktor Pemulihan Modal

Faktor pemulihan modal adalah faktor dimana semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) dikonversi menjadi serangkaian pembayaran atau cicilan tahunan yang setara. Faktor pemulihan modal dapat dihitung melalui Persamaan (6) [7]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (6)$$

Keterangan :

$i$  = Tingkat diskonto

CRF = Faktor pemulihan modal

$n$  = Periode dalam tahun (umur investasi)

### 2.5 Biaya Energi

Biaya energi adalah rasio antara total biaya tahunan instalasi dan energi yang dihasilkan selama periode yang sama. Biaya energi dapat dihitung melalui Persamaan (7) [7]:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A_{kWh}} \quad (7)$$

Keterangan :

COE = *Cost of Energy*/ biaya energi (Rp/kWh)

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*)

CRF = Faktor pemulihan modal

kWh = Energi yang dibangkitkan per tahunnya (kWh/tahun)

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia Medan. Pelaksanaan penelitian ini dimulai pada bulan September 2021 hingga pada bulan Oktober 2021. Langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

1. Melakukan observasi secara langsung ke gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia Medan
2. Mengumpulkan data-data penunjang penelitian, seperti data profil beban dan data intensitas radiasi matahari di lingkungan gereja
3. Melakukan perhitungan potensi PLTS di gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia Medan .
4. Melakukan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada rooftop gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia Medan, seperti memperkirakan luas atap gedung gereja menggunakan *Google earth*, mendesain PLTS dengan *Software Helioscope*
5. Melakukan penghitungan kajian investasi PLTS atap yang dirancang dengan menggunakan teknik analisis ekonomi kelayakan investasi

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia

Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia Medan merupakan sebuah rumah ibadah umat kristiani yang terletak di Jl. Beringin Raya no.152-D, Medan Helvetia, Kota Medan. Secara geografis terletak pada koordinat 3°36'35.2"N, 98°37'59,8"E. Gedung gereja ini terletak di utara garis khatulistiwa dan menghadap ke arah timur dan pada sisi kiri dan sisi kanan gedung dibangun gedung

sekolah Free Methodist dengan 3 lantai dan gedung rumah pendeta dengan 2 lantai.



**Gambar 1** Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia

#### 4.2 Profil Beban Gedung Gereja

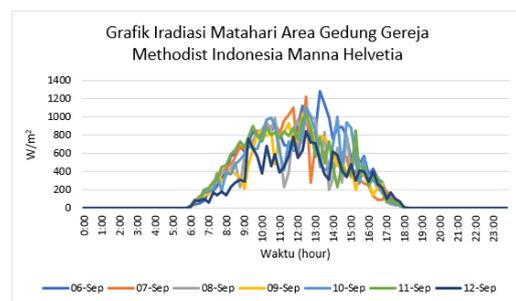
Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia memiliki daya listrik gedung sebesar 23000 VA dengan ID pelanggan 120110153283 (Gereja Methodist) dan tergolong pada tarif S-2/TR dengan biaya per-kWh sebesar Rp. 900. Data rekening pembayaran listrik di Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia secara keseluruhan bersumber dari PT PLN P3 Medan Utara yang didapat dari bulan Oktober 2020 sampai bulan September 2021.

**Tabel 1** Data Beban Listrik Gedung Gereja

No	Bulan	Pemakaian Energi (kWh)	Tagihan Listrik (Rp)
1	Oktober	1055	949.500
2	Novemeber	1237	1.113.300
3	Desember	1460	1.314.000
4	Januari	1820	1.638.000
5	Februari	1104	993.600
6	Maret	1685	1.516.500
7	April	1897	1.707.300
8	Mei	1868	1.681.200
9	Juni	1496	1.346.400
10	Juli	1837	1.653.300
11	Agustus	1877	1.689.300
12	September	1540	1.386.000
<b>Jumlah</b>		<b>18.866</b>	<b>16.979.400</b>
<b>Rata rata</b>		<b>1.572,17</b>	<b>1.414.950</b>

#### 4.3 Grafik Iradiasi Matahari Area Gedung Gereja

Produksi PLTS dipengaruhi oleh iradiasi matahari. Nilai iradiasi matahari dari suatu wilayah selalu mengalami perubahan tergantung cuaca pada lokasi pengukuran. Iradiasi matahari diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan alat *solar power meter*. Pengukuran dilakukan dengan cara menghadapkan sensor ke arah matahari dan memastikan keseluruhan sensor terkena sinar matahari. Pengukuran dilakukan di area sebelah utara gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia dengan mengambil sampel pengukuran pada tanggal 6 September – 12 September 2021 mulai pukul 05.45 – 18.15 WITA dan perekapan data dilakukan setiap 15 menit. Hasil pengukuran iradiasi dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Grafik Iradiasi Matahari Dalam 7 Hari

#### 4.4 Perancangan PLTS Atap Gedung Gereja

Perancangan PLTS atap pada gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia akan dibagi menjadi beberapa tahap diantaranya yaitu desain PLTS atap, pemilihan *inverter*, konfigurasi modul surya dan sistem kelistrikan setelah dipasang PLTS atap.

##### 4.4.1 Menentukan Kapasitas PLTS

Pada penelitian ini, kita merancang PLTS berdasarkan pola beban gedung gereja. Pada penelitian ini sampel beban dilakukan selama seminggu maka dibagi 7

hari. Berdasarkan dari website Globalsolaratlas.com nilai PSH (*peak sun hour*) di daerah gedung gereja adalah 5 jam sehari maka beban gedung setelah dibagi 7 hari lalu dibagi lama penyinaran matahari yaitu selama 5 jam. Maka dari data beban dapat kita hitung penggunaan energi selama seminggu sebesar 552,95 dibagi 7 hari dan dibagi 5 jam, dan dihasilkan sebesar 15,7. Maka kita merancang kapasitas PLTS dengan kapasitas kurang lebih sekitar 15 kWp.

#### 4.4.2 Desain PLTS Atap Menggunakan Helioscope

Pada penelitian ini pada desain PLTS, dalam pemilihan panel surya yang digunakan pada atap gedung gereja menggunakan panel surya *Longi Solar LR4-72HPH-450*, panel surya ini dipilih karena memiliki kapasitas yang tinggi, harganya yang murah dan dapat dibeli di Indonesia sehingga lebih efisien dalam biaya pengiriman, dan juga memiliki efisiensi yang tinggi.

##### a. Desain *Field Segment 1*

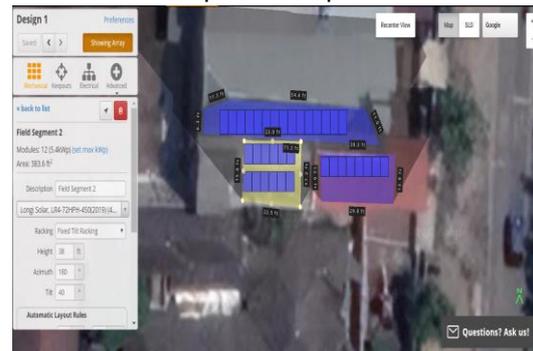
Pada desain *field segment 1* mendapat jumlah modul surya sebanyak 15 buah dengan kapasitas 6,8 kWp. Modul surya yang digunakan adalah modul surya tipe *Longi Solar LR4-72HPH-450*. Dalam *helioscope* pemasangan modul dengan tinggi gedung 13 m diubah ke satuan kaki (ft) maka menjadi 42 ft, dengan azimuth sebesar 180° dan mempunyai kemiringan sebesar 40°. Dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Desain PLTS field segment 1

##### b. Desain *Field Segment 2*

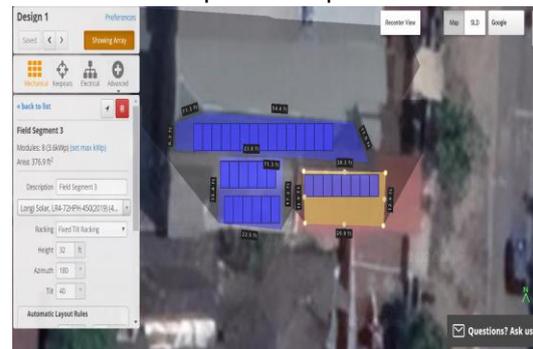
Pada desain *field segment 2* mendapat jumlah modul surya sebanyak 12 buah dengan kapasitas 5,4 kWp. Modul surya yang digunakan adalah modul surya tipe *Longi Solar LR4-72HPH-450*. Dalam *helioscope* pemasangan modul dengan tinggi gedung 12 m diubah ke satuan kaki (ft) maka menjadi 38 ft, dengan azimuth sebesar 180° dan mempunyai kemiringan sebesar 40°. Dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Desain PLTS Field Segment 2

##### c. Desain *Field Segment 3*

Pada desain *field segment 3* mendapat jumlah modul surya sebanyak 8 buah dengan kapasitas 3,6 kWp. Modul surya yang digunakan adalah modul surya tipe *Longi Solar LR4-72HPH-450*. Dalam *helioscope* pemasangan modul dengan tinggi gedung 13 m diubah ke satuan kaki (ft) maka menjadi 32 ft, dengan azimuth sebesar 180° dan mempunyai kemiringan sebesar 40°. Dapat dilihat pada Gambar 5

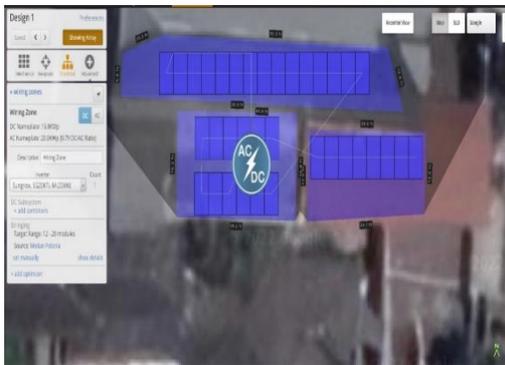


Gambar 5 Desain PLTS Field Segment 3

Berdasarkan simulasi PLTS menggunakan *helioscope* diatas maka total PLTS terpasang pada gedung gereja adalah sebesar 15,8 kWp.

#### 4.4.3 Desain Inverter PLTS Atap

Dari hasil simulasi, desain PLTS Atap sesuai dengan sudut kemiringan atap dapat dipasang modul surya sebanyak 35 buah dengan daya *output* yang dihasilkan sebesar 15,8 kWp maka dapat menggunakan *inverter* tipe *sungrow* SG20KTL dengan kapasitas sebesar 20kW sebanyak 1 buah agar menghasilkan output yang optimal pada desain PLTS atap gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia. Desain *inverter* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Desain Inverter PLTS

#### 4.4.4 Konfigurasi Modul Surya

Dalam penelitian ini digunakan modul surya tipe Longi Solar LR4-72HPH-450 yang memiliki :

*open circuit voltage* ( $V_{oc}$ ) : 49,3 V

*maximum power point voltage* ( $V_{mpp}$ ) : 41,5 V

*maximum power point current* ( $I_{mpp}$ ) : 10,85 A

Kemudian *inverter* yang digunakan dengan tipe *sungrow* SG20KTL memiliki:

*maximum input current inverter* : 11,6 A

*minimum DC input voltage inverter* : 200 V

*maximum DC input voltage inverter* : 1000 V

Perhitungan untuk menentukan banyaknya modul yang dirangkai secara seri dan paralel dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

Rangkaian seri minimal :

$$\begin{aligned} \text{minimal rangkaian seri} &= \frac{200}{49,3} = 4,04 \\ &= 5 \text{ unit} \end{aligned}$$

Rangkaian seri maksimal :

$$\begin{aligned} \text{maksimal rangkaian seri} &= \frac{1000}{41,5} = 24,09 \\ &= 24 \text{ unit} \end{aligned}$$

Rangkaian paralel :

$$\begin{aligned} \text{maksimal rangkaian paralel} &= \frac{11,6}{10,85} \\ &= 1,06 = 1 \text{ unit} \end{aligned}$$

#### 4.5 Hasil Desain PLTS Atap

Setelah mendesain PLTS atap, *report* atau hasil desain dapat diunduh untuk mendapatkan data-data yang diperlukan seperti produksi energi tahunan, kapasitas, rasio kinerja dan lainnya. Berikut merupakan *summary* dari desain PLTS atap gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia.

System Metrics	
Design	Design 1
Module DC Nameplate	15.8 kW
Inverter AC Nameplate	20.0 kW Load Ratio: 0.79
Annual Production	20.32 MWh
Performance Ratio	79.4%
kWh/kWp	1,290.2
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simulator Version	675f69a31a-026de9fda0-b94225bec6-03ff401935
Shade Report	<a href="#">View Shade Report</a>

Gambar 7 Hasil Ringkasan Desain PLTS Atap

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa desain PLTS atap gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia berpotensi menghasilkan daya sebesar

15,8 kWp, produksi total energi tahunan sebesar 20,32 MWh, memiliki persentase rasio kinerja sebesar 79,4% dan total produksi energi tahunan dibagi dengan daya *nameplate* (kWh/kWp) sebesar 1.290,2

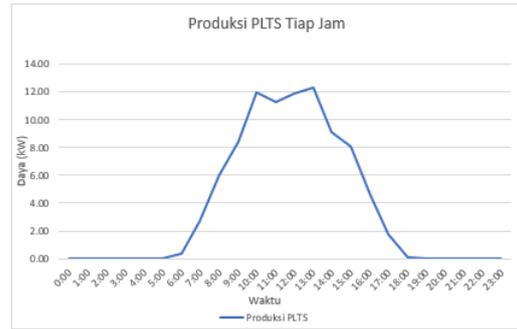
**4.5.1 Produksi Energi Bulanan PLTS Atap**

Berdasarkan intensitas radiasi yang diterima tiap jam, maka produksi PLTS dapat dicari menggunakan rumus (1) Produksi PLTS dicari melalui Intensitas radiasi matahari, luas modul dan intensitas sel surya, dengan asumsi besar iradiasi matahari setiap minggu sama setiap tahunnya . Berikut perhitungan produksi PLTS berdasarkan rumus (1) diketahui efisiensi sel surya sebesar 21,2% dan luas modul sebesar 76,3 meter persegi.

**Tabel 2** Produksi PLTS tiap Jam

No	Waktu	Produksi Energi (kWh)
1	00.00 – 01.00	0
2	01.00 – 02.00	0
3	02.00 – 03.00	0
4	03.00 – 04.00	0
5	04.00 – 05.00	0
6	05.00 – 06.00	0,082
7	06.00 – 07.00	1,9
8	07.00 – 08.00	4,9
9	08.00 – 09.00	7,9
10	09.00 – 10.00	11,8
11	10.00 – 11.00	12,8
12	11.00 – 12.00	11,7
13	12.00 – 13.00	14
14	13.00 – 14.00	9,9
15	14.00 – 15.00	8,9
16	15.00 – 16.00	6,4
17	16.00 – 17.00	3,4
18	17.00 – 18.00	0,9
19	18.00 – 19.00	0
20	19.00 – 20.00	0
21	20.00 – 21.00	0
22	21.00 – 22.00	0
23	22.00 – 23.00	0
24	23.00 – 24.00	0
25	Rata-rata	3,68
26	Jumlah	88,43

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat lama produksi maksimal sekitar 5 jam, yaitu pada rentan waktu jam 10.00 sampai jam 13.00. grafik produksi PLTS dapat dilihat pada Gambar 8 .



**Gambar 8** Grafik Produksi PLTS Tiap Jam

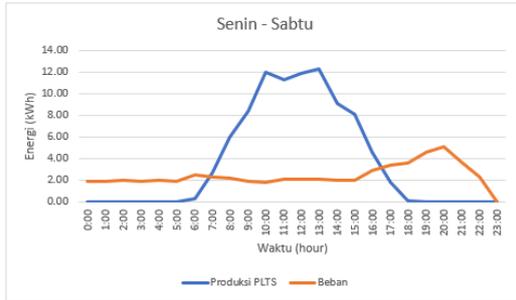
Untuk mengetahui jumlah energi yang diekspor tiap harinya kita perlu melakukan perbandingan antara produksi PLTS dengan beban tiap jam. Beban tiap jam kita kelompokkan menjadi dua bagian yaitu pada hari Senin hingga Sabtu dan pada hari Minggu. Hal ini dikarenakan perbedaan yang cukup jauh pada hari Senin hingga Sabtu dengan hari Minggu. Perbandingan produksi PLTS dengan beban tiap jam dapat kita lihat pada Tabel 3

**Tabel 3** Perbandingan Produksi PLTS Dengan Beban Harian

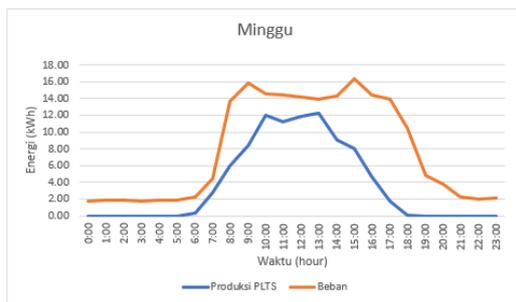
Jam	Produksi PLTS (kWh)	Senin-Sabtu		Minggu	
		Beban (kW)	Ekspor Energi (kWh)	Beban (kW)	Ekspor Energi (kWh)
00.00 – 01.00	0	1,95	0	1,78	0
01.00 – 02.00	0	1,95	0	1,86	0
02.00 – 03.00	0	2,04	0	1,86	0
03.00 – 04.00	0	1,95	0	1,8	0
04.00 – 05.00	0	2,05	0	1,9	0
05.00 – 06.00	0	1,88	0	1,87	0
06.00 – 07.00	0,33	2,48	0	2,23	0
07.00 – 08.00	2,72	2,35	0,37	4,47	0
08.00 – 09.00	6	2,2	3,80	13,65	0
09.00 – 10.00	8,36	1,94	6,42	15,81	0
10.00 – 11.00	11,97	1,85	10,12	14,55	0
11.00 – 12.00	11,26	2,08	9,18	14,45	0
12.00 – 13.00	11,84	2,06	9,78	14,23	0
13.00 – 14.00	12,31	2,11	10,20	13,98	0
14.00 – 15.00	9,05	1,99	7,06	14,35	0
15.00 – 16.00	8,06	2,02	6,04	16,31	0
16.00 – 17.00	4,63	2,89	1,74	14,38	0
17.00 – 18.00	1,78	3,42	0	13,89	0
18.00 – 19.00	0,12	3,58	0	10,47	0
19.00 – 20.00	0,00	4,63	0	4,87	0
20.00 – 21.00	0,00	5,13	0	3,8	0
21.00 – 22.00	0,00	3,71	0	2,23	0
22.00 – 23.00	0,00	2,30	0	2,06	0
23.00 – 24.00	0,00	1,95	0	2,1	0
Rata-rata	3,68	2,52	2,70	7,86	0
Jumlah	88,43	60,69	64,71	188,79	0

Berdasarkan Tabel 3, maka perbandingan produksi PLTS dengan

pemakaian daya listrik perharinya disajikan pada Gambar 9



(a)



(b)

**Gambar 9** Perbandingan Beban Harian Dengan Produksi PLTS

Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa total Energi yang diekspor pada hari Senin hingga Sabtu sebanyak 64,71 kWh per harinya, dan dipakai sebanyak 23,72 kWh. Sedangkan Pada hari Minggu Produksi PLTS dipakai semua sebanyak 88,43 kWh. Dengan begitu dapat kita simpulkan setiap bulan pemakaian produksi PLTS sebanyak:

$$\begin{aligned} \text{Penggunaan Energi seminggu} &= (23,72 \text{ kWh} \times 6 \text{ day}) \\ &+ 88,43 \text{ kWh} = 230,75 \text{ kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penggunaan Energi sebulan} &= 230,75 \text{ kwh} \times 4 \text{ week} \\ &= 923 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dengan begitu dapat kita simpulkan ekspor energi PLTS tiap bulan sebanyak:

$$\begin{aligned} \text{Ekspor energi seminggu} &= 64,71 \text{ kWh} \times 6 \text{ day} \\ &= 388,26 \text{ kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ekspor energi sebulan} &= 388,26 \text{ kWh} \times 4 \text{ week} \\ &= 1553 \text{ kwh} \end{aligned}$$

#### 4.6 Ekspor Impor Energi Listrik Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia

Pada penelitian ini diketahui untuk bulan Januari jumlah kWh impor diperoleh dari pemakaian energi gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia tahun 2021 sebesar 1820 kWh dan nilai kWh ekspor diperoleh dari output PLTS berdasarkan hasil simulasi sebesar 1009 kWh dan penghematan energi sebesar 923 kWh. Maka selisih lebih energi listrik pelanggan dapat dihitung berdasarkan sebagai berikut (Permen ESDM 49/18, 2018) :

$$\begin{aligned} \text{Selisih ekspor energi (kWh)} &= 1553 \text{ kwh} \times 65\% \\ &= 1009 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Pelanggan hanya membayar selisih antara kWh impor dengan 65% kWh ekspor. Jika nilai kWh yang diekspor lebih besar dari jumlah kWh yang diimpor, kelebihan energi listrik akan diekspor ke PLN. Skema *net metering* menggunakan jumlah kWh ekspor dan impor sebagai alat tukar, jadi PLN tidak memberikan selisih lebih energi listrik dalam bentuk uang kepada pelanggan. Secara lengkap, ekspor-impor energi listrik gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia disajikan pada Tabel 4

**Tabel 4** Ekspor Impor Energi Listrik

Bulan	Pemakaian Energi Riil (kWh)	Tagihan Listrik minimal (Rp)	Ekspor PLTS (kWh)	Harga ekspor (Rp)
Jan	1.820	828.000	1.009	908.100
Feb	1.104	828.000	1.009	908.100
Maret	1.685	828.000	1.009	908.100
Apr	1.897	828.000	1.009	908.100
Mei	1.868	828.000	1.009	908.100
Jun	1.496	828.000	1.009	908.100
Jul	1.837	828.000	1.009	908.100
Ags	1.877	828.000	1.009	908.100
Sept	1.540	828.000	1.009	908.100
Okt	1.055	828.000	1.009	908.100
Nov	1.237	828.000	1.009	908.100
Des	1.460	828.000	1.009	908.100
Total	18.876,00	9.936.000	12.108	10.897.200
Rata-rata	1.573	828.000	1009	908.100

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa ekspor-impor energi listrik memiliki kelebihan energi terjadi sepanjang tahun, yang menyebabkan tidak adanya tagihan listrik. Namun sesuai Permen ESDM terdapat biaya minimum yang harus dibayarkan oleh pelanggan kepada PLN, maka biaya minimal yang harus dibayarkan yaitu Rp.828.000/bulan.

**4.7 Penghematan Pembayaran Tagihan Listrik**

Berdasarkan perhitungan ekspor-impor listrik pelanggan, pembayaran tagihan listrik Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia dapat dikurangi. Secara lengkap, penghematan pembayaran tagihan listrik disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5** Penghematan Pembayaran Tagihan Listrik

Bulan	Tagihan Listrik Tahun 2020 (Rp)	Biaya Listrik Minimal (Rp)	Penghematan tagihan listrik (kWh)	Ekspor (kWh)	Tarif listrik (Rp)	Keuntungan penghematan listrik dan ekspor (Rp)
Jan	1.638.000	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Feb	993.600	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Maret	1.516.500	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Apr	1.707.300	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Mei	1.681.200	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Jun	1.346.400	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Jul	1.653.300	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Ags	1.689.300	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Sept	1.386.000	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Okt	949.500	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Nov	1.113.300	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Des	1.314.000	828.000	923	1.009	900	1.738.800
Total	16.979.400	9.936.000	11.076	12.108		20.865.600
Rata-rata	1.414.950	828.000	923	1009	900	1.738.800

Adapun keuntungan tagihan listrik per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut :

Penghematan Bulan Januari

$$= (\text{penghematan tagihan listrik} + \text{ekspor daya}) \times \text{Tarif Jual Energi}$$

$$= (923 + 1.009) \times 900$$

$$= \text{Rp } 1.738.800$$

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa total penghematan tagihan listrik jika PLTS atap sudah dipasang adalah sebesar Rp. 20.865.600,00/tahun.

**4.8 Biaya Investasi Awal PLTS Atap**

Biaya modal awal perancangan sistem PLTS atap gedung Manna Helvetia Gereja Metodis Indonesia dibagi menjadi dua bagian yaitu H. biaya komponen sistem PLTS dan biaya pemasangan sistem PLTS. Biaya komponen sistem PLTS meliputi pembelian modul surya, inverter dan komponen pelengkap, sedangkan biaya instalasi sistem PLTS meliputi pemasangan dan instalasi.

**Tabel 6** Investasi Awal PLTS Atap

Komponen	Banyak	Satuan	Harga	Total
Direct Cost				
Modul Surya LONGI 450 Wp *	35	Buah	Rp. 1.850.000	Rp. 64.750.000
Sungrow SG20KTL-M**	1	Buah	Rp. 21.000.000	Rp. 21.000.000
Komponen pelengkap			Rp. 21.437.500	Rp.21.437.500
Indirect Cost				
Biaya pemasangan dan instalasi***	1	Kali	Rp. 32.000.000	Rp. 88.000.000
Biaya pengiriman komponen****	1	Kali	Rp. 18.000.000	Rp.38.000.000
Total				Rp. 233.187.500

**4.9 Biaya Siklus Hidup**

Biaya pemeliharaan dan operasional (M) yang harus dikeluarkan pertahun adalah 1% dari total investasi awal sebesar Rp.2.331.875, sedangkan nilai saat ini dari biaya pemeliharaan dan operasional jika diasumsikan umur proyek (n) adalah 25 tahun. Penentuan tingkat besar diskonto ini

berdasarkan data 3,5% Bank Indonesia per 17 September 2020, bahwa suku bunga acuan (i) sebesar 3,5 %. Dengan demikian, biaya pemeliharaan dan operasional selama umur proyek ( $M_{PW}$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_{PW} = Rp. 2.331.875 \left[ \frac{(1 + 0,035)^{25} - 1}{0,035(1 + 0,035)^{25}} \right]$$

$$M_{PW} = Rp. 38.432.831$$

**4.10 Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi**

Secara lengkap, nilai arus kas bersih nilai sekarang (PVNCF) sampai tahun ke-25 disajikan pada Tabel 7 :

**Tabel 7** Kumulatif PVNCF PLTS atap

Tahun	Kas Masuk (Rp)	Kas Keluar (Rp)		NCF (Rp)	DF	PVNCF (Rp)	K-PVNCF (Rp)
		P&O	Inverter				
0	20.865.600				1,00		
1	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,96	17.792.376	17.792.376
2	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,93	17.236.364	35.028.740
3	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,90	16.680.353	51.709.093
4	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,87	16.124.341	67.833.434
5	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,84	15.568.329	83.401.763
6	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,81	15.012.317	98.414.080
7	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,78	14.456.306	112.870.385
8	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,75	13.900.294	126.770.679
9	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,73	13.329.619	140.300.298
10	20.865.600	2.331.875	21.000.000	-2.466.275	0,70	-1.726.393	138.573.906
11	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,68	12.602.933	151.176.839
12	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,66	12.232.259	163.409.097
13	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,63	11.676.247	175.085.344
14	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,61	11.305.572	186.390.916
15	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,59	10.934.898	197.325.814
16	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,57	10.564.223	207.890.037
17	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,55	10.193.549	218.083.586
18	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,53	9.822.874	227.906.460
19	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,52	9.637.537	237.543.997
20	20.865.600	2.331.875	21.000.000	-1.587.520	0,50	-1.233.138	236.310.860
21	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,48	8.896.188	245.207.048
22	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,46	8.525.514	253.732.561
23	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,45	8.340.176	262.072.738
24	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,43	7.969.502	270.042.239
25	20.865.600	2.331.875		18.533.725	0,42	7.784.165	277.826.404

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa kolom tahun merupakan umur proyek (n) diasumsikan selama 25 tahun, kolom kas masuk adalah pemasukan yang didapat dari penghematan tagihan listrik pertahun, kolom kas keluar merupakan pengeluaran yang terdiri dari biaya pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian inverter ( $R_{PW}$ ), kolom *Net Cash Flow* (NCF) merupakan arus kas bersih yang didapat dari selisih antara kas masuk dan kas keluar, kolom Discount Factor (DF) merupakan nilai yang digunakan untuk menghitung arus kas bersih nilai sekarang

(PVNCF) yang tiap tahunnya mengalami nilai yang menurun, sedangkan kolom K-PVNCF merupakan kumulatif dari arus kas bersih nilai sekarang (PVNCF) dari tahun ke-1 sampai tahun ke-25.

**4.11 Net Present Value (NPV)**

*Net Present Value* (NPV) bertujuan untuk menentukan kelayakan suatu investasi, yang dihitung berdasarkan kumulatif arus kas bersih nilai sekarang (K-PVNCF<sub>25</sub>) dikurangi biaya investasi awal (I). Berdasarkan Tabel 4.15 kumulatif PVNCF tahun ke-25 sebesar Rp. 277.826.404 dan biaya investasi awal (I) sebesar Rp. 233.187.500. Maka nilai NPV dapat dihitung berdasarkan Persamaan (2) berikut :

$$NPV = Rp. 277.826.404 - Rp. 233.187.500$$

$$NPV = Rp. 44.638.904$$

Hasil perhitungan NPV bernilai Rp. 44.638.904 atau > 0, ini berarti investasi PLTS atap di gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia layak untuk dilaksanakan. Secara lengkap, data *Net Present Value* (NPV) disajikan dalam Tabel 8 :

**Tabel 8** NPV

Tahun	NPV (Rp)	Tahun	NPV (Rp)
0	-233.187.500	13	-58.102.156
1	-215.395.124	14	-46.796.584
2	-198.158.760	15	-35.861.686
3	-181.478.407	16	-25.297.463
4	-165.354.067	17	-15.103.914
5	-149.785.738	18	-5.281.040
6	-134.773.420	19	4.356.497
7	-120.317.115	20	3.123.360
8	-106.416.821	21	12.019.548
9	-92.887.202	22	20.545.061
10	-94.613.594	23	28.885.238
11	-82.010.661	24	36.854.739
12	-69.778.403	25	44.638.904

**4.18 Benefit-Cost Ratio (B-CR)**

*Benefit-Cost Ratio* (B-CR) merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang (K-PVNCF<sub>25</sub>)

dengan biaya investasi awal (I). Dalam penelitian ini telah diketahui bahwa nilai K-PVNCF<sub>25</sub> sebesar Rp. 277.826.404 dan biaya investasi awal sebesar Rp. 233.187.500. Maka nilai PI dapat dihitung berdasarkan Persamaan (4) sebagai berikut :

$$B - CR = \frac{Rp. 277.826.404}{Rp. 233.187.500}$$

$$B - CR = 1,19$$

*Benefit-Cost Ratio* (B-CR) bernilai 1,19 atau > 1, ini berarti investasi PLTS atap di gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia layak untuk dilaksanakan.

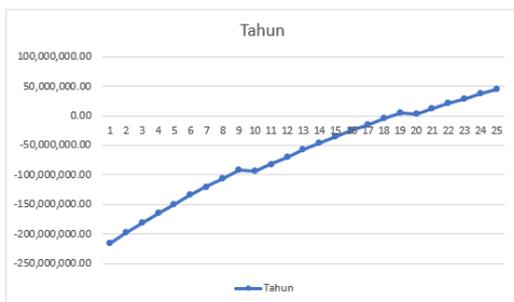
**4.19 Discount Payback Period (DPP)**

*Discount Payback Period* (DPP) adalah waktu yang diperlukan untuk pendapatan yang dihasilkan oleh proyek untuk menutupi biaya investasi awal. Dalam penelitian ini diketahui bahwa pada tahun ke-25 kumulatif PVNCF yaitu sebesar Rp. 277.826.404 mampu melebihi investasi awal yaitu sebesar Rp. 233.187.500. Maka DPP dapat dihitung berdasarkan Persamaan (4) sebagai berikut :

$$DPP = 18 + \frac{Rp. 277.826.404}{Rp. 233.187.500}$$

$$DPP = 19,19$$

Nilai DPP lebih kecil dari umur proyek, maka investasi PLTS atap pada gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia layak untuk dilaksanakan. Untuk lebih jelasnya, titik PP ditunjukkan pada Gambar 10



**Gambar 10** Grafik Titik PP

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat bahwa titik PP berada ditahun ke 11 yang artinya pengembalian modal biaya investasi awal terjadi pada saat umur 25 tahun. Berdasarkan penelitian Sumariana. dkk (2019), lamanya PP secara umum disebabkan oleh investasi awal yang mahal dan biaya penggantian inverter [8]. Selain itu, lamanya pengembalian modal juga dipengaruhi oleh arus kas bersih (NCF) dan tingkat diskonto yang diperoleh berdasarkan suku bunga acuan yang dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi perekonomian. Semakin tinggi arus kas bersih (NCF) dan rendahnya suku bunga acuan maka laju pengembalian modal akan semakin cepat.

**4.20 Hasil Analisis Kelayakan Investasi**

Berdasarkan analisis ekonomi kelayakan investasi PLTS atap gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia ditampilkan pada Tabel 9

**Tabel 9** Analisis Kelayakan Investasi PLTS Atap

No	Analisis Kelayakan	Kriteria Kelayakan	Hasil Analisis Investasi	Kesimpulan
1	<i>Net Present Value</i> (NPV)	Layak (NPV>0), tidak layak (NPV<0)	Rp. 44.638.904	Investasi dianggap layak karena nilai NPV selama umur PLTS lebih besar dari 0
2	<i>Benefit-Cost Ratio</i> (B-CR)	Layak (B-CR>1), tidak layak (B-CR<1)	1,19	Investasi dianggap layak karena nilai PI lebih besar dari 1
3	<i>Discount Payback Period</i> (DPP)	Layak (nilai DPP lebih kecil dari umur PLTS), tidak layak (nilai DPP lebih besar dari umur PLTS)	19,19	Investasi dianggap layak karena pengembalian modal terjadi selama umur PLTS

Berdasarkan Tabel 9 investasi pada PLTS atap gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia layak untuk dibangun, karena dari ketiga metode yaitu *Net Present Value* (NPV), *Benefit-Cost Ratio* (B-CR) dan *Discount Payback Period* (DPP) dari PLTS atap gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia memenuhi kriteria kelayakan investasi.

**5. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:

1. Desain PLTS atap di Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia

dengan kemiringan  $40^{\circ}$  menghasilkan modul surya sebanyak 35 buah dengan menghasilkan potensi daya sebesar 15,8 kWp serta memiliki 1 buah inverter dengan kapasitas 20 kW

2. Hasil simulasi *helioscope* total produksi energi selama setahun sebesar 20,32 MWh
3. Berdasarkan hasil perhitungan analisis kelayakan investasi, PLTS atap ini memiliki keuntungan selama 25 tahun umur PLTS sebesar Rp. 44.638.904 dan investasi dianggap layak karena  $NPV > 0$ ,  $B-CR > 1$ , dan DPP yang tercapai.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Peluang Besar Kejar Target EBT Melalui Energi Surya 2019*, direktorat jendal EBTKE, dilihat 24 Maret 2022, < <https://ebtke.esdm.go.id/>>
- [2] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN).
- [3] Negara, I.B.K.S., Wijaya, I.W.A., Pemayun, A.A.G.M. 2016. Analisis Perbandingan Output Daya Listrik Panel Surya Sistem Tracking Dengan Solar Reflector. E-journal Spektrum Vol. 3, No.1 Juni 2016. Hal 7-13
- [4] Halim, A. 2009. Analisis Kelayakan Investasi Bisnis. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [5] Patricia H.J., 2012. "Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbisnis Energi Sel Surya (STUDI KASUS : PERUMAHAN CYBER ORCHID TOWN HOUSES, DEPOK)," FT UI
- [6] Lazou, and Papatsoris. 2000. The Economics of Photovoltaic Stand-Alone Residential Household : A Case Study for Various European and Mediterranean Locations. Solar Energy Material & Solar Cells 62 : 411- 427
- [7] Sihotang, G.H. 2019. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop di Hotel Kini Pontianak. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 1(1)
- [8] Sumariana, K., Kumara, I. N. S., & Ariastina, W. G. (2019). Desain dan Analisa Ekonomi PLTS Atap untuk Villa di Bali. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 18(3), 337.