

Studi Kelayakan Penggunaan Teknologi Sel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Tambahan di Lingkungan Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam

Wahyu Indra Pratama¹, *Muhammad Syafei Gozali², Lalu Kaisar Wisnu Kita³, Fauzun Atabiq⁴

¹Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: syafei@polibatam.ac.id

Abstrak—Studi ini bermaksud guna mengevaluasi penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop on-grid di Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam, yang saat ini masih bergantung pada pasokan listrik dari PLN dan harus membayar tagihan listrik secara penuh setiap bulan. Besar harapan studi ini menjadikan bahan bacaan bagi Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam dalam upaya menekan biaya listrik bulanan. Perencanaan dan analisis biaya untuk proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop di Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam. Data intensitas irradiasi matahari dan suhu diperoleh menggunakan aplikasi RETScreen, dengan hasil menunjukkan suhu bulanan rata-rata antara 25,74°C hingga 27,34°C dan irradiansi matahari harian antara 3,90 hingga 5,10 kWh/m²/hari. Data pemakaian energi listrik selama tahun 2023 menunjukkan fluktuasi penggunaan energi listrik yang mempengaruhi desain sistem PLTS. Desain sistem mencakup 25 panel surya 400 Wp, inverter 13 kW, dan 20 baterai, dengan total daya yang dihasilkan mencapai 9825,6 Wp. Rencana biaya total proyek adalah Rp381.750.000, termasuk komponen utama dan biaya instalasi. Analisa kelayakan investasi menerapkan metode Discounted Payback Period (DPP), Profitability Index (PI), serta Net Present Value (NPV) menunjukkan NPV negatif sebesar Rp(-158.485.712,46), PI sebesar 0,58, dan DPP selama 7 tahun, mengindikasikan proyek ini tidak layak secara Profitability Index (PI) dan Net Present Value (NPV) namun layak dengan menggunakan metode Discounted Payback Period (DPP).

Kata kunci: Studi Kelayakan, Perancangan PLTS, Energi Terbarukan.

This research aims to evaluate the implementation of on-grid rooftop Solar Power Plants (PLTS) at the Workshop of the Public Works and Water Resources Department of Batam City, which currently relies on electricity supply from PLN and has to pay the full electricity bill every month. This research is expected to serve as a reference for the Public Works and Water Resources Department of Batam City in efforts to reduce monthly electricity costs. The planning and cost analysis for the rooftop Solar Power Plant (PLTS) project at the department are also included. Data on solar irradiation intensity and temperature were obtained using the RETScreen application, with results showing average

monthly temperatures ranging from 25.74°C to 27.34°C and daily solar irradiance between 3.90 to 5.10 kWh/m²/day. Electricity consumption data for 2023 showed fluctuations in energy use, affecting the PLTS system design. The system design includes 25 solar panels, a 13 kW inverter, and 20 batteries, with a total generated power of 9825.6 Wp. The total project cost is estimated at IDR 381,750,000, including main components and installation costs. The feasibility analysis using the Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), and Discounted Payback Period (DPP) methods shows a negative NPV of IDR (-158,485,712.46), a PI of 0.58, and a DPP of 7 years, indicating that the project is not feasible based on the NPV and PI methods but is feasible using the DPP method.

Keywords: Feasibility Study, PLTS Design, Renewable Energy.

I. PENDAHULUAN

Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam memiliki workshop yang digunakan sebagai parkir alat berat dan juga bengkel untuk memperbaiki dump truck dan juga alat berat yang dimilikinya, workshop tersebut menggunakan Listrik yang bersumber dari PLN, dalam peningkatannya dibutuhkan sumber Listrik tambahan. Di dalam perencanaan perkembangan sumber listrik tambahan, akan digunakan PLTS dimana metode pemasangannya akan dipasangkan di atas atap.

Beberapa penelitian mengenai pemasangan PLTS atap sudah dilaksanakan oleh beberapa individu dengan upaya yang beragam. Miyanti, Anwar Agung Praing, dan Rizky Eka Saputra (2022) melakukan penelitian untuk mengukur potensi energi listrik di atap gedung Kantor Gojek Giwangan, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dalam penelitian tersebut, menggunakan metode simulasi sistem dengan menggunakan perangkat lunak Pvsyst versi 7.2.6. Perolehan studi mereka menunjukkan bahwa PLTS atap grid-connected di lokasi tersebut memiliki potensi energi listrik sebesar 9799 KWh atau 9,799 MWh per tahun, dengan jumlah produksi terbanyak terjadi di bulan September serta Oktober, sementara yang terendah terjadi di bulan Januari serta Maret[1].

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Syaeful Anwar (2021), Analisis kelayakan investasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Pvsyst dengan mempertimbangkan beberapa parameter, seperti penghematan biaya listrik, analisis waktu

pengembalian modal, serta efisiensi PLTS tahunan. Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini adalah atap Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi. Studi ini bermaksud guna mengevaluasi apakah PLTS layak diimplementasikan di atap gedung tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa gedung ini tidak memungkinkan untuk penerapan PLTS dengan konfigurasi off-grid akibat keterbatasan area atap. Namun, sistem PLTS on-grid dapat diaplikasikan dengan kebutuhan lahan seluas 87 m², menggunakan 58 unit panel surya berkapasitas 300 Wp yang dapat menciptakan daya senilai 17,4 kWp. Dari analisa investasi, didapatkan bahwa waktu pengembalian modal ialah 13,21 tahun, dengan melakukan hemat tahunan senilai Rp 33.704.100. Artinya, pemasangan PLTS di gedung ini dapat mengurangi biaya tahunan hingga 38,75%. [2] Penelitian yang dilakukan oleh (Burharuddin 2021) dimana ambient temperature yang lebih tinggi akan mempengaruhi kualitas pada oksigen udara tekan, sehingga pembakaran pada ruang bakar tidak akan maksimal yang mengakibatkan daya yang di hasilkan turbin dan daya input generator rendah. dimana evaluasi tersebut melibatkan parameter daya input, kompresor, temperatur ruang bakar, daya turbin, daya input generator, daya output generator. sehingga hasil menunjukkan bahwa pada kenaikan suhu sekitar 1°C, daya output rata-rata akan berkurang sebesar 1041,55 KW. Daya output generator tertinggi berada pada *ambient temperature* 26°C, daya output generator sebesar 93,29 MW, dan daya output terendah 85,34 MW pada suhu 35°C_[2].

Berdasarkan uraian diatas maka didalam penelitian yang akan dilakukan akan menganalisis studi kelayakan pemakaian atap panel surya di Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam sebagai energi listrik tambahan dengan bantuan software.

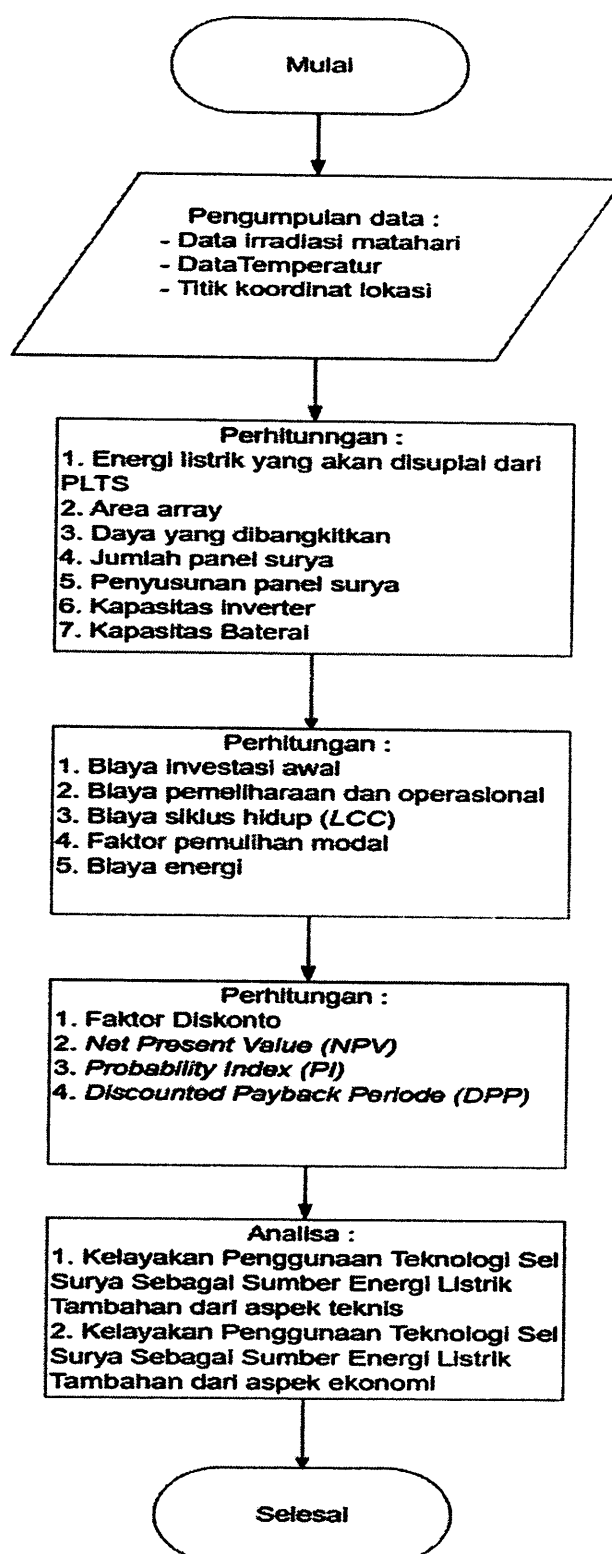
II. METODE

1. Pengumpulan Data

Proses penghinpunan data dilaksanakan guna membantu proses perhitungan kelayakan penggunaan teknologi sel surya dari aspek ekonomi serta teknis. Pengumpulan data dilaksanakan dengan mengambil data irradiasi matahari dengan bantuan sortware RETScreen, mengambil titik koordinat lokasi, dan juga mencari data spesifikasi komponen..

Informasi mengenai intensitas irradiasi matahari diperoleh melalui aplikasi RETScreen yang dikembangkan di Kanada. RETScreen menggunakan data dari NASA untuk menentukan suhu, serta intensitas irradiasi matahari di seluruh dunia. Tabel 1 menyajikan data intensitas matahari berdasarkan data dari NASA di Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam.

Flowchart penelitian pada gambar 1 menunjukkan langkah-langkah dalam menjawab permasalahan dalam penelitian, yaitu:



Gambar 1 Flowchart Penelitian

TABLE I
DATA SUHU DAN IRRADIASI MATAHARI PADA 2023 DI WORKSHOP DINAS BINA MARGA DAN SUMBER DAYA AIR KOTA BATAM.

Bulan	Suhu (°C)	Irradiansi Matahari Harian - Horizontal (kWh/m ² /hari)
Januari	25,74	4,63
Februari	26,22	5,10
Maret	26,92	4,97
April	27,34	4,62
Mei	27,14	4,35
Juni	26,57	4,30
Juli	26,11	4,35
Agustus	26,18	4,42
Septem ber	26,48	4,52
Oktober	27,04	4,34
Novemb er	26,87	3,91
Dscembe r	26,03	3,90

2. Perhitungan Energi Listrik yang akan disuplai dari PLTS

Perhitungan kapasitas suplai energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS *Rooftop* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus : [3]

$$E_L = 50\% \times \text{Energi Total} \quad (1)$$

Keterangan:

E_L = Besar energi yang akan di bangkitkan (kWh/hari)

50% = Rencana suplai energi listrik dari PLTS *Rooftop*

3. Perhitungan Area Array

Mengitung Area Array dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan [3] :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{GAV \times \eta_{PV} \times \eta_{Out} \times FKT} \quad (2)$$

Keterangan:

E_L = Besar energi yang akan di bangkitkan (kWh/hari)

GAV = Intensitas irradiasi matahari (kWh/m² /hari)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

η_{Out} = Efisiensi keluaran sistem (%)

FKT = Faktor koreksi temperature (%)

$PV \text{ Area}$ = Area Array

4. Perhitungan Daya Maksimal Yang di Bangkitkan

Daya Maksimal yang dapat di Bangkitkan (Watt Peak) sistem PLTS, dapat digunakan persamaan [3]:

$$P_{Wattpeak} = PV \text{ Area} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (3)$$

Keterangan:

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

Luas Array = Luas permukaan panel surya (m²)

PSI = Peak Solar Insolation (1000 W/m²)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

5. Perhitungan Jumlah Panel Surya

Jumlah Panel Surya dapat di hitung dengan rumus berikut :

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{MPP}} \quad (4)$$

Keterangan:

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

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

6. Perhitungan Kapasitas Daya Inverter

Untuk menghitung muatan inverter yang dibutuhkan digunakan persamaan :

$\text{kapasitas inverter} =$

$$\text{Jumlah Modul} \times P_{MPP} \times \text{Safety Fact} \quad (5)$$

Keterangan:

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

Safety Factor = Faktor Keamanan

7. Perhitungan Kapasitas Daya Baterai

Perhitungan kebutuhan muatan baterai bisa dilakukan menerapkan rumus :

$$C = \frac{N \times E_L}{V_s \times DOD \times \eta} \quad (6)$$

Keterangan:

C = Kapasitas baterai (Ah)

N = Jumlah hari otonomi (hari)

E_L = Konsumsi energi harian (kWh)

V_s = Tegangan Baterai (Volt)

DOD = Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (%)

η = Efisiensi baterai

8. Perhitungan Biaya Investasi Awal

Biaya instalasi dan pemasangan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Instalasi dan Pemasangan} = 20\% \times \text{Biaya Komponen} \quad (7)$$

TABLE 2
HASIL PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA PLTS ROOFTOP DI DINAS BINA MARGA DAN SUMBER DAYA AIR KOTA BATAM

No	Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
1	Panel Surya Aptos DNA-108-MF10-400W	25	Unit	Rp 4.880.000,00	Rp 122.000.000,00
2	Baterai EG4 24V 200AH LiFePOWER4	20	Unit	Rp 8.500.000,00	Rp 170.000.000,00
3	Inverter MUST PH50-13000TM · 13,000 VA	1	Unit	Rp 10.500.000,00	Rp 10.500.000,00
4	Array Roof Mounting System	1	Set	Rp 18.750.000,00	Rp 18.750.000,00
5	Biaya Komponen Pendukung , Pemasangan dan Instalasi	1	Kali	Rp 60.500.000,00	Rp 60.500.000,00
Total					Rp 381.750.000,00

9. Perhitungan Biaya Pemeliharaan dan Operasional

biaya operasional serta pemeliharaan (M) tahunan pada PLTS yang direncanakan bisa diperhitungkan dengan menerapkan rumus berikut :

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \quad (8)$$

Nilai saat ini dari biaya tahunan yang akan dibutuhkan di masa depan (selama durasi proyek) dengan pengeluaran yang tetap dapat dihitung menggunakan formula berikut :

$$M_{pw} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (9)$$

Keterangan

M_{pw} = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek

M = Biaya tahunan

i = Tingkat diskonto

n = Umur proyek

10. Perhitungan Life Cycle Cost (LCC)

Perhitungan Life Cycle Cost dapat dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$LCC = C + M_{pw} + P_{pw} \quad (10)$$

Keterangan:

LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost)

C = Biaya investasi awal mencakup semua pengeluaran yang diperlukan guna pembelian komponen PLTS, biaya pemasangan, serta biaya tambahan lainnya seperti biaya untuk struktur penyangga.

M_{pw} = Nilai sekarang dari total biaya operasional serta pemeliharaan selama n tahun ataupun sepanjang umur proyek.

P_{pw} = Nilai sekarang dari total biaya penggantian komponen selama n tahun atau sepanjang umur proyek.

11. Perhitungan Faktor Pemulihan Modal

Untuk dapat menghitung faktor pemulihan modal digunakan persamaan :

$$CRF = \frac{1(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$

Keterangan

CRF = Faktor pemulihan modal

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

12. Perhitungan Biaya Energi (Cost Of Energy)

Untuk menghitung Biaya energi (Life Cost Energy) menggunakan persamaan :

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (12)$$

Keterangan

COE = Cost of Energy / Biaya Energi (Rp/kWh)

LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost).

CRF = Faktor Pemulihan Modal, berdasarkan pada discount rate (i).

A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

13. Perhitungan Net Present Value (NPV)

Guna mengukur Net Present Value menerapkan persamaan :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1-i)^t} - II \quad (13)$$

Keterangan

NCF_t = Cash Flow periode tahun ke- 1 sampai tahun ke-n

II = Initiation Investmen

i = Tingkat diskonto

n = Periode investasi

14. Perhitungan Profitability Indeks (PI)

Teknik Profitability Index dihitung dengan persamaan :

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t (1+i)^{-t}}{II} \quad (14)$$

Keterangan:

PI = Profitability Index

NCF_t = Cash Flow periode tahun ke- 1 sampai tahun ke-n

II = Initiation Investmen

i = Tingkat diskonto

n = Periode investasi

15. Perhitungan Discounted Payback Periode (DPP)

Perhitungan teknik DPP dapat dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$DPP = \text{year before recovery} + \frac{\text{Investment Cost}}{\text{NPV kumulatif}} \quad (15)$$

Keterangan:

Year before recovery = Jumlah tahun sebelum tahun pengembalian final

Investmen cost = Biaya investasi awal

NPV kumulatif = Jumlah kas bersih nilai

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perhitungan Perencanaan PLTS Rooftop

TABLE 3

HASIL PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA PLTS ROOFTOP DI DINAS BINA MARGA DAN SUMBER DAYA AIR KOTA BATAM

Bulan	Pemakaian energi listrik (kWh)	Jumlah Hari	Rata-rata kWh per Hari	Pembayaran
Januari	2221,50	31	71,66	Rp 3.514.414,00
Februari	1902,50	28	67,95	Rp 3.009.756,00
Maret	2040,50	31	65,82	Rp 3.228.072,00
April	1873,50	30	62,45	Rp 2.963.878,00
Mei	1734,50	31	55,95	Rp 2.743.980,00
Juni	2095,50	30	69,85	Rp 3.315.082,00
Juli	1936,74	31	62,48	Rp 3.063.923,00
Agustus	1851,74	31	59,73	Rp 2.929.453,00
September	2021,50	30	67,38	Rp 3.198.014,00
Oktober	1855,50	31	59,85	Rp 2.935.402,00
November	1895,50	30	63,18	Rp 2.998.682,00
Desember	1942,50	31	62,66	Rp 3.073.036,00

Tabel 3 memberikan informasi mengenai suhu rata-rata bulanan (dalam derajat Celsius) dan irradiansi matahari harian rata-rata (dalam kWh/m²/hari) di permukaan horizontal sepanjang tahun. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa suhu rata-

rata bulanan berkisar antara 25,74°C hingga 27,34°C, dengan nilai terbesar di bulan April serta perolehan terendah pada bulan Januari. Sedangkan irradiansi matahari harian berkisar antara 3,9 kWh/m²/hari hingga 5,1 kWh/m²/hari, dengan nilai terbesar di bulan Februari serta nilai terkecil di bulan Desember.

TABLE 4
DATA SPESIFIKASI KOMPONEN YANG AKAN DIREKOMENDASIKAN

Nama Komponen	Merek	Spesifikasi
Panel Surya	Aptos DNA-108-MF10-400W	Nominal Maximum Power (Pmax): 400 Watts Open Circuit Voltage (Voc): 36.94 Volts Short Circuit Current (Isc): 13.55 Amps Rated Voltage (Vmp): 28.46 Volts Rated Current (Imp): 10.7 Amps Module Efficiency: 20.47%
Inverter	MUST PH50-13000TM 13,000 VA	Kapasitas : 13 KW Efisiensi : MPPT Efficiency Up To 99,5%
Baterai	EG4 24V 200AH LiFePOWER4	Depth of discharge: 80% Usable capacity : 4.100kWh Round trip efficiency : 95% Garansi : 5 Tahun

Panel surya Aptos DNA-108-MF10-400W memiliki daya maksimum 400 watt, tegangan rangkaian terbuka 36.94 volt, arus hubung singkat 13.55 ampere, tegangan nominal 28.46 volt, arus nominal 10.7 ampere, dan efisiensi modul 20.47%. Spesifikasi ini menggambarkan kinerja dan efisiensi panel dalam mengubah sinar matahari menjadi listrik. Informasi spesifikasi Inverter merek MUST model PH50-13000TM memiliki kapasitas 13,000 VA atau setara dengan 13 KW. Inverter ini memiliki efisiensi MPPT hingga 99,5%, yang berarti dapat memaksimalkan daya keluaran dari panel surya dengan sangat efisien. Lalu komponen baterai dengan merek EG4 dengan model 24V 200AH LiFePOWER4 memiliki *depth of discharge* (DOD) sebesar 80%, yang berarti 80% dari kapasitas total baterai dapat digunakan sebelum harus diisi ulang. Baterai ini memiliki kapasitas yang dapat digunakan sebesar 4.100 kWh, sehingga menyediakan energi yang cukup untuk keperluan listrik. Selain itu, baterai ini memiliki efisiensi siklus pengisian dan pengosongan (round trip efficiency) sebesar 95%, yang menunjukkan bahwa 95% dari energi yang disimpan dalam baterai dapat digunakan kembali setelah melalui proses pengisian dan pengosongan.

TABLE 5
HASIL PERHITUNGAN PERENCANAAN PLTS ROOFTOP DI DINAS BINA MARGA DAN SUMBER DAYA AIR KOTA BATAM

No	Perhitungan	Hasil Perhitungan	Satuan
1	Energi Listrik Yang Akan di Suplai	35,83	kWh/hari
2	Area Array (PV Area)	47,80	m ²
3	Daya yang di Bangkitkan (Watt Peak)	9825,6	Wp
4	Jumlah Panel Surya	25	Unit
5	Kapasitas inverter	12,50	kW
6	Kapasitas baterai	392,87	Ah
7	Jumlah baterai	20	Buah

Pada tabel 5 ditampilkan hasil perhitungan perencanaan PLTS *Rooftop* di Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam. Dalam tabel tersebut, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sebesar 35,83 kWh per hari, diperlukan sistem panel surya dengan luas area sekitar 47,80 meter persegi. PV array ini mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 9825,6 Watt peak (Wp). Jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk mencapai kapasitas tersebut adalah sekitar 25 unit (24,564 unit, dibulatkan ke atas). Dengan memasang sistem panel surya seluas 47,80 meter persegi dan dengan daya maksimum 9825,6 Wp. Kapasitas inverter dihitung dan didapat hasilnya adalah 12,50 kilowatt, yang berguna mengkonversi aliran DC dari panel surya menjadi AC yang bisa dimanfaatkan oleh perangkat listrik. Kapasitas baterai yang digunakan adalah 392,87 ah, menunjukkan berapa banyak energi yang bisa disimpan oleh baterai. Selain itu, sistem ini menggunakan 20 unit baterai, yang bekerja sama guna menyimpan energi yang diciptakan oleh panel surya, memastikan pasokan listrik yang konsisten bahkan ketika tidak ada sinar matahari.

2. Hasil Perhitungan Menggunakan Software Pylon

DC Array Power 10kW Azimuth: 180.00 Tilt: 22° Azimuth Error: 121°	PV degradation Aptos Solar Technology DNA Solit Cell Degradation: 0.54% 98% for the first year -0.54% per year to year 25
System efficiency ² 87%	Nominal storage capacity 102.4kWh
AC system size 8.7kW	Maximum depth of discharge 80%
Export limit No export limit	Usable storage capacity 82kWh
Monthly electricity bills Rp 3514.414.00 (Jan) Rp 3009.756.00 (Feb) Rp 3.228.072.00 (Mar) Rp 2.963.878.00 (Apr) Rp 2.743.980.00 (May) Rp 3.315.082.00 (Jun) Rp 3.063.923.00 (Jul) Rp 2.929.453.00 (Aug) Rp 3.198.014.00 (Sep) Rp 2.935.402.00 (Oct) Rp 2.998.682.00 (Nov) Rp 3.073.036.00 (Dec)	Power 15.4kW Round trip efficiency 95%
Utility rate inflation 0% per annum	
Self-consumption rate 50%	
Daily supply charge Rp 0.00	
Current electricity price Rp 0.00	
Feed-in Tariff Rp 7427.79	
System lifetime 15 year	
Inflation rate 2.11% per annum	
Effective interest rate 0.83% per annum	

Gambar 2 Hasil Simulasi Software Pylon

Gambar 2 mengindikasikan rincian menunjukkan rincian teknis dan finansial dari sistem tenaga surya berkapasitas 10 kW. Sistem ini memiliki efisiensi 87% dan mampu menghasilkan daya AC sebesar 8,7 kW, dengan masa pakai sistem diperkirakan mencapai 15 tahun. Sistem juga dilengkapi

dengan baterai penyimpanan berkapasitas nominal 102,4 kWh, yang dapat digunakan hingga 82 kWh (80% dari kapasitas maksimal) dan memiliki efisiensi siklus penuh 95%. Rincian biaya listrik bulanan menunjukkan rata-rata pengeluaran sekitar Rp 3 juta, dengan tarif feed-in sebesar Rp 7.427,79. Selain itu, sistem memiliki tingkat konsumsi sendiri sebesar 50%, tingkat inflasi sebesar 2,11%, dan suku bunga efektif sebesar 0,83% per tahun. Data ini memberikan gambaran lengkap tentang performa dan estimasi biaya operasional sistem tenaga surya tersebut.

Dalam software ini juga dapat menghitung kelayakan proyek dalam aspek ekonomis, software ini menggunakan metode Return on Investment (ROI), Internal Rate of Return (IRR), Net present value, dan Discounted Payback Periode yang tertera di gambar 3.

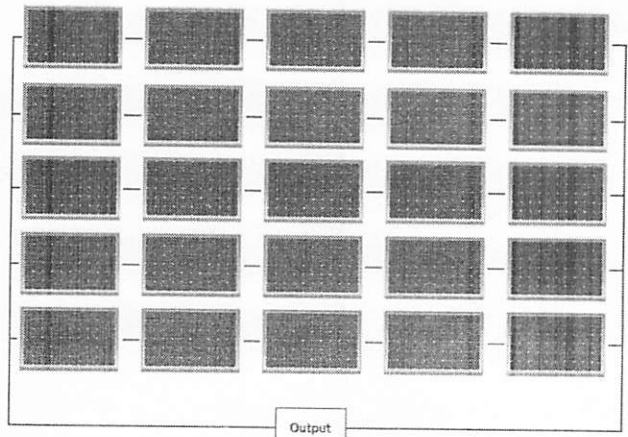


Gambar 3 Hasil Simulasi Analisa Ekonomi Software Pylon

Gambar 3 menunjukkan rincian proyek pemasangan sistem tenaga surya berkapasitas 10 kW. Sistem ini diperkirakan dapat menghasilkan listrik sebesar 15.200 kWh per tahun, dengan tingkat konsumsi sendiri sebesar 50%. Dari produksi ini, proyek ini memiliki waktu pengembalian modal sekitar 7,27 tahun dengan tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 95,73% serta Internal Rate of Return (IRR) senilai 11,22%. Perolehan bersih investasi saat ini ataupun Net Present Value (NPV) mencapai Rp 365.451.800,42, menunjukkan bahwa investasi ini menguntungkan dalam jangka panjang. Biaya total untuk pemasangan sistem ini adalah Rp 381.750.000,00. Secara keseluruhan, rincian ini menunjukkan bahwa proyek tenaga surya ini mempunyai potensi besar guna menciptakan energi yang terbarukan serta memberikan pengembalian investasi yang signifikan.

3. Desain PLTS Yang Akan di Rancang

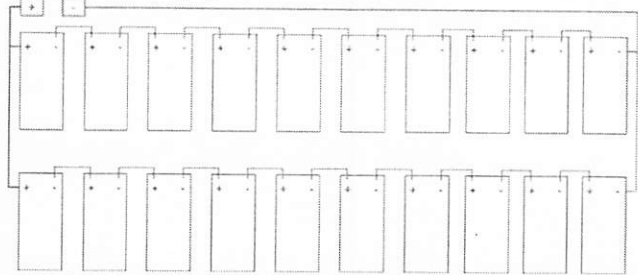
Terdapat gambaran tentang susunan modul surya pada konfigurasi seri serta paralel yang dapat diamati pada gambar 4.3.



Gambar 4. Penyusunan Panel Surya di Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam

Pada gambar 4 panel surya berjumlah 25 unit, panel surya ini disusun dengan rangkaian seri sebanyak 5 buah serta disusun secara paralel sebanyak 5 buah. Panel ini akan diletakkan pada atap Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam.

Dan gambar 5 merupakan gambar penyusunan baterai pada sistem PLTS Rooftop



Gambar 5. Penyusunan Baterai Sistem PLTS Rooftop di Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam

Dalam gambar 5, baterai akan disusun dalam kombinasi seri dan paralel, dengan 10 baterai yang disusun secara seri dan 2 baterai yang disusun secara paralel. Dengan demikian, total baterai yang digunakan dalam sistem ini mencapai 20 buah.

4. Hasil Perhitungan Biaya Perencanaan Pembangunan PLTS Rooftop

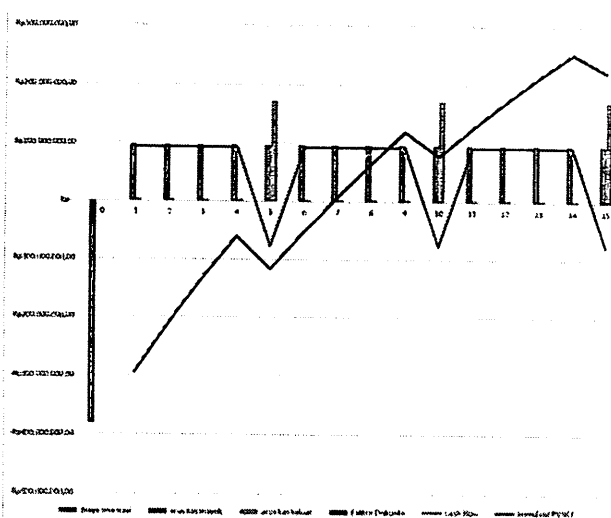
TABLE 6
HASIL PERHITUNGAN BIAYA PERENCANAAN PEMBANGUNAN PLTS ROOFTOP DI DINAS BINA MARGA DAN SUMBER DAYA AIR KOTA BATAM

No	Uraian	Hasil Perhitungan
1	Biaya Investasi Awal	Rp 381.750.000,00
2	Biaya Operasional dan Pemeliharaan	Rp 3.817.500,00
3	Biaya Operasional dan Pemeliharaan dengan target umur proyek selama 15 tahun	Rp 36.478.309,67
4	Biaya Penggantian Komponen dengan target umur proyek selama 15 tahun	Rp 510.000.000,00

Tabel 6 menjelaskan biaya investasi pertama guna proyek ini senilai Rp 381.750.000,00, yang mencakup pengadaan aset dan

instalasi yang diperlukan untuk memulai proyek. Setelah proyek berjalan, biaya operasional dan pemeliharaan yang diperlukan mencapai Rp 3.817.500,00 per tahun, mencakup pengeluaran rutin untuk tenaga kerja dan pemeliharaan. Dalam periode 15 tahun, total biaya operasional dan pemeliharaan diperkirakan mencapai Rp 36.478.309,67, sementara biaya pergantian komponen selama periode yang sama diperkirakan mencapai Rp 510.000.000,00, yang penting untuk memastikan keberlanjutan proyek. Secara keseluruhan, biaya siklus hidup (Life Cycle Cost/LCC) proyek diperkirakan mencapai Rp 928.228.309,67, mencakup semua biaya tersebut. Faktor diskonto sebesar 0,40 digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari biaya di masa depan, dengan suku bunga sebesar 6,25% pada Juli 2024. Selain itu, faktor pemulihan modal untuk proyek ini adalah 0,10. Selain itu, biaya energi untuk proyek ini adalah Rp 7.427,79/kWh.

5. Analisa Kelayakan Investasi Perencanaan PLTS Rooftop



Grafik 6. Penyusunan Baterai Sistem PLTS Rooftop di Workshop Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam

Grafik 6 menampilkan arus kas untuk sebuah proyek selama 15 tahun. Pada tahun ke-0, terdapat biaya investasi awal senilai Rp381.750.000. Selama 15 tahun berikutnya, proyek ini menghasilkan arus kas masuk tahunan sebesar Rp97.140.235 dan arus kas keluar tahunan sebesar Rp3.817.500, untuk biaya operasi dan pemeliharaan. Sehingga menghasilkan *cash flow* tahunan sebesar Rp93.322.735. Nilai sekarang kumulatif dari arus kas bersih (kumulatif PVNCF) menunjukkan pada tahun ke 7 sudah mencapai nilai positif (keuntungan) sehingga pada umur proyek yang ditentukan selama 15 tahun, berdasarkan grafik diatas proyek ini memberikan keuntungan pada periode diatas 7 tahun.

TABLE 7
ANALISA KELAYAKAN INVESTASI PERENCANAAN PLTS ROOFTOP DI
WORKSHOP DINAS BINA MARGA DAN SUMBER DAYA AIR KOTA BATAM

No	Uraian	Hasil Perhitungan
1	Net Present Value (NPV)	Rp (-158.485.712,46)
2	Profitability Index (PI)	0,58
3	Discounted Payback Period (DPP)	7 tahun

Hasil analisis keuangan proyek mencakup beberapa indikator penting. *Net Present Value* (NPV) senilai Rp (-158.485.712,46) mencerminkan selisih antara peorlehan sekarang dari arus kas keluar serta masuk, yang menunjukkan angka negatif, menandakan bahwasanya proyek ini tidak layak dilakukan. *Profitability Index* (PI) sebesar 0,58 juga mengindikasikan ketidaklayakan finansial proyek tersebut. Di sisi lain, *Discounted Payback Period* (DPP) selama 7 tahun menggambarkan waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan investasi awal melalui arus kas yang telah didiskontokan. Ini mengindikasikan bahwa proyek memerlukan waktu hampir 7 tahun untuk mencapai titik impas dengan mempertimbangkan nilai waktu dari uang dan layak dilaksanakan.

IV. KESIMPULAN

Sebagaimana analisis menerapkan software Pylon, dilakukan secara teknis dan ekonomi untuk mengetahui kelayakan penggunaan PLTS *Rooftop* di Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kota Batam dapat disimpulkan seperti berikut :

1. Potensi Sistem PLTS yang direncanakan mampu memenuhi kebutuhan energi listrik harian sebesar 35,83 kWh dengan area panel surya seluas 47,80 meter persegi. Dengan daya maksimum panel surya sebesar 9825,6 Watt peak (Wp) dan 25 unit panel surya yang diperlukan, sistem ini akan mencukupi kebutuhan energi terpakai.
2. Total biaya investasi awal proyek mencapai Rp 381.750.000,00, dengan biaya pemeliharaan serta operasional tahunan sebesar Rp 3.817.500,00. Biaya siklus hidup (LCC) proyek diperkirakan sebesar Rp 928.228.309,67. Lalu juga didapat biaya energi yaitu sebesar Rp 7.427,79 Rp/kWh. Lalu proyek menunjukkan Net Present Value (NPV) sebesar Rp (-158.485.712,46,) yang menunjukkan selisih dari biaya modal dan tidak layak dilaksanakan. Profitability Index (PI) sebesar 0,58 mengindikasikan proyek tidak layak secara finansial. Discounted Payback Period (DPP) selama 7 tahun dan proyek layak dilaksanakan.

REFERENCES

- [1]. Miyanti, Anwar Agung Praing, Rizky Eka Saputra. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Atap Gedung Kantor Gojek Giwangan, Daerah Istimewa Yogyakarta Menggunakan Software PVsyst 7.2.6." (2022)
- [2]. Anwar, Ahmad Syaeful. (2021). "Analisis Kelayakan Pembangkit Energi Listrik Tenaga Surya Atap di Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi."
- [3]. 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.

- [4]. Hajir, N. (2021). Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem Hybrid Di PT Koloni Timur.
- [5]. Kossi, V. R. (2018). Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. Jurnal S1 Teknik Elektro UNTAN.
- [6]. Sihotang, G. H. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Rooftop* di Hotel Kini Pontianak. Journal Untan.
- [7]. D. F. Alifyanti, "PENGATURAN TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 1000 WATT," STT PLN, 2017.
- [8]. Ramadhani, B. (2018). Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos and Don'ts. Jakarta: GIZ.
- [9]. Yuliananda, S. (2013). Kajian Aspek Teknis Dan Aspek Biaya Investasi Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Atap Beton Gedung
- [10]. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero), jo. Permen ESDM No.13 Tahun 2019, jo. Permen ESDM No.16 Tahun 2019.
- [11]. Halim, A. 2009. Analisis Kelayakan Investasi Bisnis. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [12]. Al-Qutub, R.W.A. 2010. "Treatment of Surface Water by Autonomous Solar-Powered Membrane Cells"(tesis). Palestine : An-Najah National University.
- [13]. Nafeh, A.E.A., 2009 Design and Economic Analysis of a Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt. The Open Renewable Energy Journal 2 : 33-37.
- [14]. Wenqiang, L. Shuhua, G. Daxiong, Q., 2004. Techno Economic Assesment For Off-Grid Hybrid Generation System and Application Prospects in China. World Energy Council. London.
- [15]. Michael Boxwell. The Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy - Designing and Installing Photovoltaic Solar Electric Systems, Ed. ke-6. Warwickshire, UK: Greenstream Publishing, 2012.
- [16]. T. Maskvart dan L. Castaner. Practical Handbook of Photovoltaics. UK: Elseiver Science, Ltd., 2003.
- [17]. Lynn, PA. 2010. Electricity from Sunlight : An Introduction Photovoltaic. London : Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- [18]. Perdana, Y., dan Wardiah, I. 2018. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Ongrid 5500 Watt Di Rumah Kost Akademi. In Seminar Nasional Riset Terapan (Vol. 3, pp. A63-A70).