

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid 44 kWp untuk Melayani Beban Penerangan di Industri

Kristianto Agung Wibowo*, Deria Pravitasari, Andriyatna Agung Kurniawan, Ibrahim Nawawi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Indonesia

Article Info

Article history:

Submitted May 5, 2024

Accepted Juni 18, 2024

Published August 26, 2024

Keywords:

Tenaga surya,
PLTS *on-grid*,
industri

*Solar energy,
on-grid PLTS,
industry*

ABSTRACT

Saat ini pemerintah terus mendorong masyarakat untuk memanfaatkan EBT di Indonesia untuk mencapai target bauran sebanyak 23 % di tahun 2025. Pada penelitian ini dilakukan perancangan PLTS atap *on-grid* pada salah satu industri yang bergerak di bidang pengolahan bahan pangan hewani. PLTS digunakan untuk melayani beban penerangan dengan standar kelayakan mengikuti panduan EBTKE ESDM (SNI 8395:2017) dan sistem instalasi pemasangan berdasarkan PUIL 2011. Berdasarkan hasil perancangan digunakanlah modul surya jenis *monocrystalline* 410 Wp sebanyak 108 unit dan satu unit inverter 40 kW yang menghasilkan energi sebesar 63.032,58 kWh/tahun dan pengurangan emisi gas karbon dioksida (CO₂) sebanyak 78.790,725 ton/tahun. Hasil kelayakan ekonomi dengan investasi awal Rp. 548.890.000, menghasilkan NPV Rp. 72.019.012, BCR 1,11, dan *payback period* pada tahun ke-18. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PLTS dapat melayani beban penerangan dan melakukan penghematan energi listrik sebesar penggunaan beban penerangan harian di industri.

The Indonesian government is encouraging the use of renewable energy to achieve a target mix of 23% by 2025. A research project was conducted on an on-grid roof top solar power plant (PLTS) in an animal food processing industry. The PLTS design followed eligibility standards and installation guidelines specified by the government. The design included 108 units of 410 Wp monocrystalline solar modules and one 40 kW inverter unit, resulting in an annual energy production of 63,032.58 kWh and a reduction of 78,790.725 tons of CO₂ emissions. The economic feasibility analysis showed that the initial investment of Rp. 548,890,000 resulted in a net present value of Rp. 72,019,012, a benefit-cost ratio of 1.11, and a payback period of 18 years. These results demonstrate that the PLTS can effectively power the lighting load in the industry and provide significant energy savings.



Corresponding Author:

Kristianto Agung Wibowo,
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Indonesia,
Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116.
Email: *kristiantoagung15@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman menyebabkan kebutuhan akan energi listrik terus mengalami peningkatan. Energi listrik sangat mempengaruhi pertumbuhan perekonomian suatu negara, semakin besar konsumsi listrik sebuah negara, maka semakin maju ekonominya [1]. Kebutuhan energi listrik di Indonesia diperkirakan akan meningkat sebesar 80 % pada tahun 2030 dan dibutuhkan sekitar 234,5 TWh energi pada tahun 2020 [2]. Namun, saat ini sebagian besar energi listrik dihasilkan melalui sumber daya fosil dan nuklir yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Sektor industri bertanggung jawab sebesar 75 % lebih sebagai penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) [3]. Berdasarkan data statistik ketenagalistrikan tahun 2018, kapasitas pembangkit terpasang di Indonesia masih didominasi dengan pembangkit listrik yang menggunakan energi tak terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap sebesar 35,74 %, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel sebesar 10,56 %, dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap sebesar 23,93 % [4]. Masalah terkait krisis akan energi dan pencemaran lingkungan akibat penggunaan energi fosil memberikan dampak terhadap meningkatnya perhatian pada sumber energi fosil yang semakin terbatas [5].

Berdasarkan fakta tersebut maka perlu adanya pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia. Perubahan yang mendasar dari dominasi energi fosil menjadi energi terbarukan akan berdampak signifikan pada berbagai aspek kehidupan, seperti kondisi lingkungan, sosial, dan ekonomi [6]. Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat cocok untuk diterapkan di Indonesia adalah energi surya atau tenaga matahari. Secara nasional potensi tenaga surya di Indonesia mencapai 4,8 kWh/m² per hari atau setara dengan 112.000 GWp. Hal ini perlu diupayakan untuk menjadi sumber energi alternatif pengganti energi fosil yang mendominasi sebagian besar produksi listrik negara [7].

Salah satu industri besar di Indonesia yang bergerak di bidang pengolahan bahan pangan hewani memiliki bangunan pabrik yang besar dengan atap yang luas. Sesuai dengan data dari Global Solar Atlas terdapat potensi iradiasi sebesar 5.27 kWh/m² per hari di lokasi tersebut. Hal ini membuat potensi pemanfaatan energi terbarukan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (*rooftop*) *on-grid* sangat layak untuk diterapkan. PLTS jenis ini memiliki keunggulan dalam meminimalisir adanya bayangan yang dapat mempengaruhi kinerja modul surya karena berada pada atap bangunan, memiliki investasi biaya dan perawatan yang relatif murah karena tidak menggunakan baterai, serta apabila terdapat kelebihan daya dapat disalurkan/dijual ke jaringan listrik PLN sesuai dengan ketentuan yang berlaku [8].

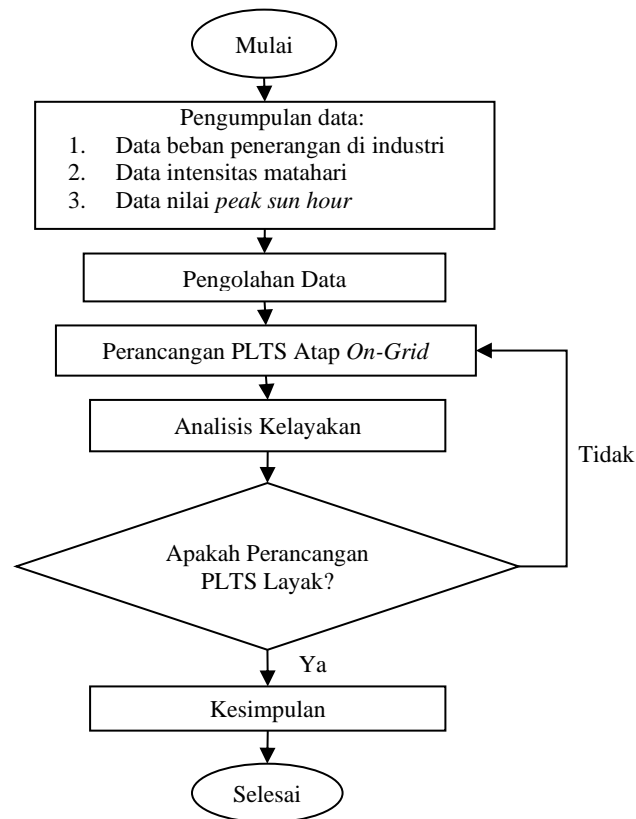
Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hutajulu, dkk. dengan melakukan perancangan PLTS *on-grid* di Allianz Ecopark Ancol pada area *Learning Farm*. PLTS dirancang untuk mengurangi pemakaian listrik dari PLN. Berdasarkan hasil perancangan digunakan 100 modul surya dengan kapasitas 200 Wp dan sebuah inverter merk SMA Sunny Boy 20000TL. Hasil perancangan menunjukkan bahwa PLTS dapat membangkitkan daya sebesar 60% dari kapasitas beban yaitu sebesar 68,17 kWh [9].

Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Cinicy, dkk. pada PLTS untuk pemakaian pribadi di Gedung kantor PT. KPJB, PLTU Tanjung Jati B, Kabupaten Jepara. PLTS *roof top* diimplementasikan pada atap Gedung kantor untuk menggantikan peran suplai energi listrik dari PLTU dengan beberapa peralatan penunjang operasional perusahaan. Setelah dilakukan kajian kelayakan ekonomi dengan 3 metode perhitungan, yaitu Net Present Value sebesar Rp. 210.436.003,12, Benefit Cost Ratio sebesar 1,17, dan Payback Period pada tahun ke-17. Dari hasil perancangan tersebut menunjukkan bahwa PLTS dapat memenuhi beban energi listrik pada kantor dan investasi dikatakan layak [10].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, perancangan PLTS dapat menggantikan suplai energi listrik yang selama ini disediakan oleh PLN. Selain itu, pada perancangan PLTS juga diperlukan adanya analisis kelayakan, hal ini berguna untuk menilai peluang proyek dari risiko kerugian sehingga dapat dilakukan pertimbangan apakah proyek layak untuk dilanjutkan atau tidak. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan PLTS atap tipe *on-grid* untuk melayani beban penerangan pada industri. Perancangan dilakukan dengan aspek kelayakan yang disesuaikan mengikuti panduan dari EBTKE ESDM (SNI 8395:2017) dan sistem instalasi pemasangan berdasarkan PUIL 2011. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat rancangan PLTS atap tipe *on-grid* untuk melayani beban penerangan di industri, menganalisis aspek kelayakan dalam perancangan PLTS atap *on-grid* di industri, dan mengetahui nilai penghematan listrik di industri dengan adanya PLTS atap *on-grid*.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode penelitian berupa analisis deskriptif. Analisis deskriptif dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data yang digunakan kemudian data tersebut disusun, diolah, dan dianalisis untuk menggambarkan kelayakan investasi. Gambar 1 berikut ini menunjukkan diagram alir penelitian pada perancangan PLTS atap tipe *on-grid* di industri.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan data beban penerangan yang ada pada industri, data diperoleh secara langsung dari *stake holder* yang ada pada perusahaan sebagai pemegang data. Selain itu, pada penelitian ini juga digunakan data intensitas cahaya matahari di lokasi perancangan yang diperoleh dari Aplikasi Global Solar Atlas dan data nilai *Peak Sun Hour* (PSH) yang diperoleh melalui aplikasi *Meteonorm 8.1* pada aplikasi *PVSyst*. Data beban penerangan di industri ditampilkan di Tabel 1.

Tabel 1. Data beban penerangan di industri

Beban	Daya (W)	Jumlah (pcs)	Total Daya (W)	Lama Pemakaian (h)	Konsumsi Energi (Wh)
Lampu TL LED 2x16 W Type Waterproof (Phillips)	32	264	8.448	9	76.032
Lampu TL LED 2x16 W Type Waterproof (Phillips) + Nicad Battery	32	42	1.344	9	12.096
Lampu LED Sorot 100 W (Phillips)	100	30	3.000	9	27.000
Lampu LED Sorot 100 W (Phillips) + Nicad Battery	100	8	800	9	7.200
LED Sorot 200 W (Phillips)	200	5	1.000	9	9.000
Lampu TL LED 1x16 W TKO (Phillips)	16	24	384	9	3.456
Lampu Down Light LED 1x12 W (Phillips)	12	130	1.560	9	14.040
Lampu Down Light LED 1x12 W (Phillips) + Nicad Battery	12	23	276	9	2.484
TOTAL			16.812		151.308

Data intensitas matahari pada lokasi bangunan industri yang diambil melalui aplikasi *Global Solar Atlas* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data intensitas matahari pada lokasi bangunan industri

Data	Nilai
<i>Specific photovoltaic power output (PV_{out})</i>	4,287 kWh/kWp per hari
<i>Direct normal irradiation (DNI)</i>	3,896 kWh/m ² per hari
<i>Global horizontal irradiation (GHI)</i>	5,277 kWh/m ² per hari
<i>Diffuse horizontal irradiation (DIF)</i>	2,459 kWh/m ² per hari
<i>Global tilted irradiation at optimum angle (GTI_{opta})</i>	5,337 kWh/m ² per hari
<i>Optimum tilt of PV modules (OPTA)</i>	20/90°
<i>Air temperature (TEMP)</i>	25,6 °C
<i>Terrain elevation (ELE)</i>	255 m

Data nilai *Peak Sun Hour* (PSH) diperoleh melalui aplikasi *Meteonorm 8.1* dengan melihat nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI). *Peak Sun Hour* (PSH) merupakan estimasi waktu pemanfaatan radiasi matahari dalam sehari secara efektif. Nilai GHI tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) berdasarkan *Meteonorm 8.1*

Bulan	<i>Global Horizontal Irradiation</i> (GHI)
Januari	4,17 kWh/m ² /hari
Februari	4,88 kWh/m ² /hari
Maret	4,62 kWh/m ² /hari
April	5,15 kWh/m ² /hari
Mei	5,02 kWh/m ² /hari
Juni	5,30 kWh/m ² /hari
Juli	5,35 kWh/m ² /hari
Agustus	5,69 kWh/m ² /hari
September	6,02 kWh/m ² /hari
Oktober	6,34 kWh/m ² /hari
November	5,56 kWh/m ² /hari
Desember	5,15 kWh/m ² /hari
Rata-rata	5,27 kWh/m ² /hari

2.2. Perancangan Sistem

Pada penelitian ini perancangan sistem pertama-tama dilakukan melalui tahapan menentukan kapasitas optimal sistem PLTS. Kapasitas optimal merupakan kapasitas rata-rata yang dapat dibangkitkan oleh PLTS sesuai dengan intensitas cahaya matahari yang ada pada lokasi pemasangan. Kapasitas optimal sistem PLTS terpasang tidak boleh melebihi daya tersambung PLN. Untuk menghitung kapasitas optimal sistem PLTS digunakan Persamaan (1).

$$\text{Kapasitas optimal (kWp)} = \frac{ET_{\text{siang hari}}}{PV_{\text{out harian}}} \quad (1)$$

dengan: $ET_{\text{siang hari}}$ = kebutuhan energi pada siang hari per hari (kWh/hari)

$PV_{\text{out harian}}$ = daya keluaran PV per kWp berdasarkan iradiasi matahari (kWh/kWp per hari)

Setelah mendapatkan kapasitas optimal PLTS, berikutnya adalah menentukan daya puncak sistem PLTS. Pada penentuan ini dilakukan penambahan nilai rugi-rugi daya (15 % - 25 %) yang nantinya dapat ditimbulkan oleh *PV temperature loss*, *PV shading loss*, dan *cable loss* pada sistem PLTS. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya puncak sistem PLTS adalah sebagaimana Persamaan (2).

$$\text{Daya puncak (kWp)} = \text{Kapasitas optimal} + (\text{Kapasitas optimal} \times \text{rugi sistem}) \quad (2)$$

Apabila nilai daya puncak sistem PLTS telah diketahui, selanjutnya adalah menentukan luas area efektif. Luas area efektif ini merupakan area khusus yang digunakan untuk penempatan modul surya, sehingga dapat disesuaikan antara luas modul surya dan luas atap yang ada pada industri. Pada perhitungan luas area efektif digunakan data berupa nilai efisiensi modul surya (% per m²). Rumus untuk menghitung luas area efektif dapat dituliskan sebagaimana Persamaan (3) berikut.

$$\text{Luas area (m}^2\text{)} = \frac{\text{Daya puncak}}{Eff} \quad (3)$$

dengan: Eff = efisiensi modul surya (21,2%)

Setelah luas area efektif diketahui, kemudian dilakukan perhitungan jumlah modul surya yang digunakan pada perancangan beserta dengan jenis rangkaian yang digunakan. Rumus yang digunakan untuk mengetahui banyaknya jumlah modul surya yang digunakan adalah sebagaimana Persamaan (4) berikut.

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{Daya puncak}}{P_{out}} \quad (4)$$

dengan: P_{out} = nilai daya *output* per modul surya (410 Wp)

Berdasarkan jenis rangkaian yang digunakan dapat ditentukan besarnya kapasitas inverter dalam perancangan PLTS. Penentuan besarnya inverter yang digunakan dapat dilakukan dengan mencari nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian modul surya. Persamaan (5), (6), dan (7) adalah rumus yang digunakan untuk menentukan besarnya inverter yang digunakan pada sistem PLTS.

$$I = I_{mp} \times \text{Jumlah string} \quad (5)$$

$$V = V_{mp} \times \text{Jumlah modul surya per 1 string} \quad (6)$$

$$P_{max} = I_{mp} \times V_{mp} \quad (7)$$

dengan: I_{mp} = arus saat P_{max} (16,54 A)

V_{mp} = tegangan saat P_{max} (24,8 V)

P_{max} = daya maksimum rangkaian modul surya (Watt)

Tahapan terakhir pada perancangan ini adalah menentukan sistem tata letak/*mounting* untuk modul surya. Penentuan ini disesuaikan dengan melihat posisi kemiringan atap bangunan, arah hadap bangunan terhadap garis khatulistiwa, dan jenis *bracket* yang digunakan. Sistem *mounting* atau peletakan modul surya bertujuan untuk menjaga posisi modul surya agar tidak bergerak dan mengarahkannya pada posisi yang diinginkan. Sistem *mounting* sendiri meliputi beberapa komponen seperti *bracket* yang terdiri dari *T/L feet*, *adjustable tilt*, *tile hook* dan lain sebagainya, serta komponen *mounting* yang terdiri dari *rail*, *rail joiner*, *end clamp*, *mid clamp*, dan lain sebagainya

2.3. Analisis Kelayakan

Pada tahap ini dilakukan analisis kelayakan hasil perancangan PLTS sesuai dengan panduan EBTKE ESDM (SNI 8395:2017). Adapun analisis kelayakan pada perancangan PLTS atap *on-grid* ini meliputi analisis aspek teknis, aspek ekonomi, dan aspek lingkungan. Aspek teknis mencakup perhitungan energi yang dihasilkan oleh PLTS. Persamaan (8), (9), dan (10) adalah rumus yang digunakan untuk mengetahui hasil produksi energi PLTS.

$$P_i = P_{max} - (P_{max} - losses) \quad (8)$$

$$P_{out} = P_i \times PSH \quad (9)$$

$$\text{Energi yield} = P_{out} \times 365 \text{ hari} \quad (10)$$

dengan: P_{max} = daya maksimal modul surya (watt)

Losses = total kerugian dalam efisiensi (%)

P_i = daya diproduksi dikurangi dengan *losses* (watt)

PSH = *Peak Sun Hour* (kWh/m²/hari)

P_{out} = energi yang dihasilkan PLTS (kWh)

Setelah menghitung energi yang dihasilkan oleh PLTS dapat dilakukan perhitungan rasio performa. Rasio performa digunakan untuk mengetahui kinerja PLTS dalam jangka waktu tertentu. Rasio performa yang baik berkisar antara 70-90% [11]. Persamaan (11), (12), dan (13) adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rasio performa.

$$H_{tilt} = PSH \times 365 \text{ hari} \quad (11)$$

$$\text{Energi ideal} = P_{max} \times \text{jumlah modul surya} \times H_{tilt} \quad (12)$$

$$\text{Rasio performa} = \frac{\text{Hasil produksi energi PLTS}}{\text{Energi ideal}} \quad (13)$$

dengan: H_{tilt} = lamanya waktu penyinaran matahari selama 1 tahun (h/tahun)

P_{max} = daya maksimal modul surya (Wp)

Aspek ekonomi mencakup analisis biaya dan analisis finansial. Analisis biaya terdiri dari perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) mulai dari harga komponen, harga instalasi, serta penambahan PPN sesuai dengan ketentuan pemerintah. Perhitungan RAB tersebut nantinya dapat digunakan untuk melakukan perhitungan pada arus kas PLTS selama periode tertentu. Selanjutnya pengolahan arus kas digunakan untuk mendapatkan nilai *Present Worth Benefit* (*PWB*), *Present Worth Cost* (*PWC*), arus kas kumulatif, dan sebagainya untuk melakukan analisis finansial berupa perhitungan *Net Present Value* (*NPV*), *Benefit Cost Ratio* (*BCR*), dan *Payback Period*/waktu pengembalian. Hasil perhitungan nilai-nilai tersebut nantinya digunakan untuk mengetahui kelayakan PLTS yang telah dirancang.

NPV digunakan untuk memprediksi keuntungan yang diperoleh oleh sebuah bisnis di masa akan datang apabila menanamkan modal investasi dengan nilai uang sekarang. Apabila *NPV* bernilai negatif maka proyek

disarankan untuk tidak dikerjakan, jika bernilai positif maka proyek layak dikerjakan. Nilai NPV dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (14) berikut ini.

$$NPV = PWB \times PWC \quad (14)$$

dengan: PWB = *present worth benefit* (arus kas masuk \times *discount factor* 6%)

PWC = daya maksimal modul surya (Wp)

BCR merupakan rasio antara keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek dengan total biaya yang dikeluarkan untuk proyek tersebut. Apabila nilai BCR lebih dari 1 ($BCR > 1$) maka investasi layak untuk diwujudkan, sebaliknya apabila nilai BCR lebih kecil dari 1 ($BCR < 1$) maka dinyatakan tidak layak untuk dilanjutkan. Untuk menghitung nilai BCR dapat digunakan Persamaan (15) berikut ini.

$$BCR = \frac{PWB}{PWC} \quad (15)$$

Periode pengembalian (*payback period*) atau PB merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi modal. Investasi proyek dinilai layak apabila nilai periode pengembalian lebih pendek atau lebih cepat dari umur proyek dan sebaliknya. Perhitungan PB dilakukan dengan melihat tahun ke berapa nilai arus kas kumulatif yang semula bernilai negatif (pada tahun ke-0) berubah menjadi positif atau ketika PLTS telah balik modal bahkan mendapatkan keuntungan. Persamaan (16) adalah rumus yang digunakan untuk menghitung periode pengembalian.

$$PB = n + \frac{\text{ arus kas kumulatif tahun } (n-1)}{\text{ arus kas bersih tahun } n} \quad (16)$$

dengan: n = tahun ketika nilai arus kas kumulatif berubah dari negatif menjadi positif

Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan pada aspek lingkungan. Perhitungan aspek lingkungan didasarkan dengan adanya pengurangan gas rumah kaca yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar fosil. Emisi *baseline* merupakan emisi gas rumah kaca yang dijadikan sebagai acuan untuk mengukur keberhasilan dalam pembangunan rendah emisi. Emisi *baseline* dihitung berdasarkan produksi listrik atau konsumsi bahan bakar dari teknologi yang digunakan atau yang akan digunakan untuk menghasilkan jumlah energi yang setara jika tidak ada aksi mitigasi (upaya pengurangan risiko). Nilai emisi *baseline* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (17) berikut ini.

$$EB_y = E_{Gi,y} \times FE_y \times \frac{1}{(1-TDL)} \quad (17)$$

dengan: EB_y = emisi *baseline* dalam periode y (ton CO_2)

$E_{Gi,y}$ = jumlah energi listrik yang dihasilkan (kWh)

FE_y = faktor emisi *baseline* (*diesel default* 0,8) (tCO_2/kWh)

TDL = *losses* rata-rata transmisi dan distribusi (20%)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan Sistem PLTS Atap On-Grid

3.1.1 Menentukan Kapasitas Optimal Sistem PLTS

Berdasarkan Tabel 1 diketahui beban penerangan total sebesar 151,308 kWh. Sedangkan untuk nilai iradiasi rata-rata harian siang (PV_{out}) yang diperoleh dari aplikasi Global Solar Atlas pada Tabel 2 sebesar 4,287 kWh/kWp. Kapasitas optimal sistem PLTS dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas optimal (kWp)} &= \frac{\text{Rata - rata Energi Harian Siang}}{\text{PV Out Harian}} \\ &= \frac{151,308}{4,287} \\ &= 35,294 \text{ kWp} \end{aligned}$$

3.1.2 Menghitung Daya Puncak Sistem PLTS

Perhitungan daya puncak menggunakan nilai dari kapasitas optimal PLTS atap dan nilai rugi-rugi sistem yang dapat ditimbulkan (15-25%). Pada perancangan ini digunakan nilai rugi-rugi sebesar 25%. Daya puncak sistem dihitung dengan menggunakan Persamaan (2).

$$\begin{aligned} \text{Daya puncak (kWp)} &= \text{Kapasitas Opt.} + (\text{Kapasitas opt.} \times \text{rugi sistem}) \\ &= 35,294 \text{ kWp} + (35,294 \text{ kWp} \times 25\%) \\ &= 35,294 + 8,823 \\ &= 44,117 \text{ kWp atau } 44.117 \text{ Wp} \end{aligned}$$

3.1.3 Menghitung Luas Area Efektif

Pada perhitungannya menggunakan nilai daya puncak sistem PLTS dan juga efisiensi modul surya. Pada perancangan ini digunakan modul surya dengan merk Maysun Solar tipe MS410MB-40H yang berkapasitas 410 Wp memiliki nilai efisiensi sebesar 21,2%. Luas area efektif tempat peletakan modul surya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3).

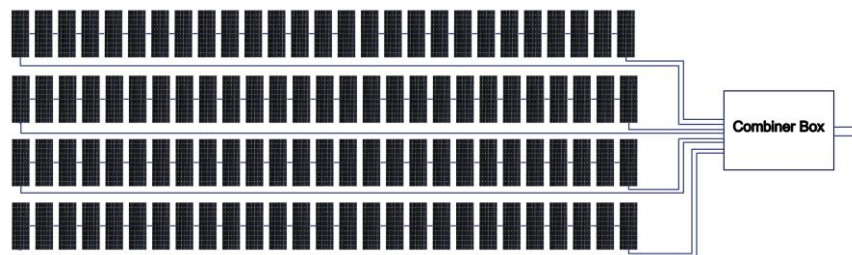
$$\begin{aligned} \text{Luas area (m}^2\text{)} &= \frac{\text{Daya puncak (kWp)}}{\text{Efisiensi modul surya}} \\ &= \frac{44,117 \text{ kWp}}{0,212/\text{m}^2} \\ &= 209 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3.1.4 Menghitung Kebutuhan Modul Surya

Perhitungan kebutuhan modul surya menggunakan nilai daya puncak sistem PLTS atap sebesar 44.117 Wp dan juga nilai daya *ouput* per modul surya sebesar 410 Wp. Kebutuhan modul surya pada PLTS dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4).

$$\begin{aligned} \text{Jumlah modul} &= \frac{\text{Daya puncak sistem PLTS atap (Wp)}}{\text{Nilai daya output per modul surya (Wp)}} \\ &= \frac{44.117 \text{ Wp}}{410 \text{ Wp}} \\ &= 108 \text{ modul surya} \end{aligned}$$

Pada perancangan ini modul surya yang berjumlah 108 unit akan dirangkai secara seri dan paralel dengan jumlah modul surya yang dihubungkan secara seri per string sebanyak 27 modul surya dan 4 string dihubungkan secara paralel. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan rangkaian modul surya berdaya 44 kWp pada industri.



Gambar 2. Rangkaian modul surya berdaya 44 kWp

3.1.5 Menentukan Kapasitas Inverter

Untuk mendapatkan kapasitas inverter dapat dilakukan dengan mengalikan antara arus (I_{mp}) dan tegangan (V_{mp}) pada modul surya. Perhitungan arus dan tegangan pada rangkaian modul surya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (5) dan (6) berikut ini.

Arus maksimum:

$$\begin{aligned} I_{max} &= 4 \times 16,54 \text{ A} \\ &= 66,16 \text{ A} \end{aligned}$$

Tegangan maksimum:

$$\begin{aligned} V_{max} &= 27 \times 24,8 \text{ V} \\ &= 669,6 \text{ V} \end{aligned}$$

Sehingga daya maksimum yang dihasilkan modul surya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (7) berikut ini.

$$\begin{aligned} P_{max} &= I_{max} \times V_{max} \\ &= 66,16, \text{A} \times 669,6 \text{ V} \\ &= 44.300,736 \text{ W atau } 44,300 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, maka digunakan inverter 3 fasa merk Solis dengan tipe 3P40K-5G-AU/Grid Tie Inverter yang dapat menampung daya maksimal modul surya sebesar 52 kW.

3.1.6 Sistem *Mounting*

Pada perancangan ini modul surya diletakkan dengan kemiringan sebesar 20° mengikuti kemiringan dari atap bangunan, serta mengarah ke timur (*azimuth* 90°). Pada sistem *mounting* menggunakan sistem rel/*railing* pada permukaan atap. Aluminium rel dihubungkan dengan bagian atap menggunakan *bracket* jenis L feet. Modul surya diposisikan secara vertikal/*portrait* yang menempel pada dua aluminium rel di bagian atas dan bawah dengan *clamp*.

3.2 Analisis Aspek Kelayakan

Analisis aspek kelayakan meliputi aspek teknis, aspek ekonomi, serta aspek lingkungan. Adapun aspek-aspek tersebut telah sesuai pada SNI 8395:2017.

3.2.1 Aspek Teknis

Pada aspek teknis ini dilakukan perhitungan hasil produksi energi listrik PLTS atap. Pada pelaksanaannya tidak semua radiasi sinar matahari yang diterima oleh modul surya dikonversi menjadi energi listrik. Hal tersebut terjadi karena adanya rugi-rugi daya pada komponen-komponen yang digunakan pada PLTS. Dengan rugi-rugi daya sebesar 25% berikut adalah perhitungan daya *output* modul surya (P_i) dengan menggunakan Persamaan (8).

$$\begin{aligned} \text{Daya out. modul } (P_i) &= \text{daya mod. surya} - (\text{daya mod. surya} \times 25\%) \\ &= 410 \text{ Wp} - 102,5 \\ &= 307,5 \text{ Wp} \\ P_i &= \text{Daya output modul} \times \text{jumlah modul} \\ &= 307,5 \text{ Wp} \times 108 \\ &= 33.210 \text{ Wp atau } 33,21 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Daya *output* yang telah dihasilkan dikalikan dengan nilai *Peak Sun Hour* (PSH) yang ditunjukkan pada Tabel 3. Pada lokasi pemasangan PLTS atap didapatkan nilai PSH rata-rata per tahun sebesar $5,2 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dan terendah sebesar $4,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ pada bulan Januari. Untuk menentukan besarnya energi bersih yang dihasilkan PLTS atap tipe *on-grid* per hari digunakan Persamaan (9) berikut ini.

Perhitungan energi bersih per hari dengan nilai PSH terendah dalam kurun waktu satu tahun,

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_i \times \text{PSH} \\ &= 33,21 \text{ kW} \times 4,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \\ &= 136,161 \text{ kWh/hari} \\ \eta &= \frac{136,161 \text{ kWh/hari}}{151,308 \text{ kWh/hari}} \\ &= 0,89 \text{ atau } 89\% \end{aligned}$$

Perhitungan energi bersih per hari dengan nilai PSH rata-rata per tahun,

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_i \times \text{PSH} \\ &= 33,21 \text{ kW} \times 5,2 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \\ &= 172,692 \text{ kWh/hari} \\ \eta &= \frac{172,692 \text{ kWh/hari}}{151,308 \text{ kWh/hari}} \\ &= 1,14 \text{ atau } 114\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa dengan nilai PSH terendah di bulan Januari atau pada saat musim hujan, PLTS hanya dapat memberikan daya sebanyak 89% dari keseluruhan daya yang dibutuhkan oleh industri setiap harinya. Artinya kekurangan daya yang ada disuplai oleh listrik PLN. Sedangkan dengan nilai PSH rata-rata per tahun, PLTS dapat memberikan daya sebanyak 114%. Artinya PLTS dapat mencukupi kebutuhan semua daya pada sektor penerangan di industri dan dapat melakukan penghematan biaya sebesar $151,308 \text{ kWh/hari}$. Energi yang dihasilkan oleh PLTS per tahun dapat dihitung dengan Persamaan (10) berikut ini.

Perhitungan energi bersih dengan nilai PSH terendah dalam kurun waktu satu tahun,

$$\begin{aligned} \text{Energi yield} &= P_{out} \times 365 \text{ hari} \\ &= 136,161 \text{ kWh} \times 365 \\ &= 49.698,765 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan energi bersih dengan nilai PSH rata-rata per tahun,

$$\begin{aligned} \text{Energi yield} &= P_{out} \times 365 \text{ hari} \\ &= 172,692 \text{ kWh} \times 365 \\ &= 63.032,58 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan bahwa PLTS dapat menghasilkan energi sebesar 49/698,765 kWh/tahun dengan nilai PSH terendah sepanjang tahun dan sebesar 63.032,58 kWh/tahun dengan nilai PSH rata-rata per tahunnya. Selanjutnya dari hasil energi PLTS selama 1 tahun dapat dilakukan perhitungan rasio performa untuk mengetahui kinerja PLTS. Pada perancangan ini menggunakan nilai PSH terendah. Rasio performa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (11), (12), dan (13) berikut ini.

$$\begin{aligned} H_{tilt} &= \text{PSH} \times 365 \text{ hari} \\ &= 4,1 \text{ h} \times 365 \text{ hari} \\ &= 1.496,5 \text{ h/tahun} \\ \text{Energi ideal} &= P_{max} \times \text{Jumlah modul surya} \times H_{tilt} \\ &= 410 \text{ Wp} \times 108 \text{ unit} \times 1.496,5 \text{ h/tahun} \\ &= 66.265.020 \text{ Wh/tahun atau } 66.265,02 \text{ kWh/tahun} \\ \text{Rasio Performa} &= \frac{\text{Energi yield (kWh)}}{\text{Energi ideal (kWh)}} \\ &= \frac{49.698,765 \text{ kWh/tahun}}{66.265,02 \text{ kWh/tahun}} \\ &= 0,76 \text{ atau } 76 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan rasio performa didapatkan hasil sebesar 76 %, hal ini telah sesuai dengan standar referensi rasio performa yang berada di antara 70 % - 90 %.

3.2.2 Aspek Ekonomi

Pada aspek ekonomi dilakukan dua perhitungan, yaitu perhitungan analisis biaya mencakup Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan analisis finansial mencakup nilai *NPV*, *BCR*, dan *PB*. Pada perancangan ini biaya RAB mencakup biaya komponen utama PLTS, biaya komponen pendukung PLTS, dan biaya jasa instalasi PLTS. Perhitungan RAB pada perancangan PLTS atap *on-grid* di industri dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rekapitulasi RAB

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp.)
A	Bahan				
1.	Modul surya 420 Wp	Unit	108,00	3.335.000	329.940.000
2.	Inverter 40 kW	Unit	1,00	52.815.000	52.815.000
3.	Instalasi PLTS	Unit	7,00		6.698.660
4.	Sistem <i>mounting</i>	Unit	5,00		28.324.000
5.	Pengkabelan	Meter	230,00		12.760.000
6.	Sistem pembumian/ <i>grounding</i>	Unit	1,00		1.170.194
7.	Sistem Proteksi	Unit	3,00		3.225.700
	Total Jumlah Harga Bahan				437.933.554
B	Biaya instalasi PLTS				845.000
C	Biaya instalasi dan bahan (A+B)				438.778.554
D	Biaya overhead (8%) & profit (4%)				52.754.826
E	Harga satuan pekerjaan (C+D)				492.378.380
F	Biaya sistem <i>grounding</i>				2.117.017
G	Biaya instalasi, bahan, dan sistem <i>grounding</i> (E+F)				494.495.397
H	PPN (11%)				54.394.493
I	Total keseluruhan biaya (G+H)				548.889.890
	Total biaya (dibulatkan)				548.890.000

Berdasarkan tabel rekapitulasi RAB biaya investasi awal sebesar Rp. 548.890.000. Kemudian dihitung biaya untuk operasional dan pemeliharaan (O&M) sebesar 1 % dari keseluruhan biaya investasi awal. Dari hasil perhitungan didapatkan biaya O&M PLTS sebesar Rp. 5.488.900 per tahun.

Untuk menentukan kelayakan perancangan PLTS perlu dilakukan adanya perhitungan *NPV*, *BCR*, dan *PB*. Untuk menghitung nilai-nilai tersebut digunakan pengolahan arus kas PLTS pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengolahan arus kas PLTS atap *on-grid* di industri

Periode	DF 6%	Arus kas masuk (Rp)	Arus kas keluar (Rp)	<i>Present Worth Benefit</i> (Rp)	<i>Present Worth Cost</i> (Rp)	Arus kas bersih (Rp)	Hasil (Rp)	Arus kas kumulatif (Rp)
0	1		548.890.000	0	548.890.000	-548.890.000	-548.890.000	-548.890.000
1	0,94	55.401.201	5.488.900	52.077.128	5.159.566	49.912.301	46.917.563	-501.972.437
2	0,89	55.401.201	5.488.900	49.307.068	4.885.121	49.912.301	44.421.948	-457.550.489
3	0,83	55.401.201	5.488.900	45.982.996	4.555.787	49.912.301	41.427.210	-416.123.279
4	0,79	55.401.201	5.488.900	43.766.948	4.336.231	49.912.301	39.430.718	-376.692.561
5	0,74	55.401.201	5.488.900	40.996.888	4.061.786	49.912.301	36.935.103	-339.757.458
6	0,7	55.401.201	5.488.900	38.780.840	3.842.230	49.912.301	34.938.611	-304.818.847
7	0,66	55.401.201	5.488.900	36.564.792	3.622.674	49.912.301	32.942.119	-271.876.728
8	0,62	55.401.201	5.488.900	34.348.744	3.403.118	49.912.301	30.945.627	-240.931.101
9	0,59	55.401.201	5.488.900	32.686.708	3.238.451	49.912.301	29.448.257	-211.482.844
10	0,55	55.401.201	5.488.900	30.470.660	3.018.895	49.912.301	27.451.766	-184.031.078
11	0,52	55.401.201	5.488.900	28.808.624	2.854.228	49.912.301	25.954.397	-158.076.681
12	0,49	55.401.201	5.488.900	27.146.588	2.689.561	49.912.301	24.457.027	-133.619.654
13	0,46	55.401.201	5.488.900	25.484.552	2.524.894	49.912.301	22.959.658	-110.659.996
14	0,44	55.401.201	5.488.900	24.376.528	2.415.116	49.912.301	21.961.412	-88.698.584
15	0,41	55.401.201	5.488.900	22.714.492	2.250.449	49.912.301	20.464.043	-68.234.541
16	0,39	55.401.201	5.488.900	21.606.468	2.140.671	49.912.301	19.465.797	-48.768.744
17	0,37	55.401.201	5.488.900	20.498.444	2.030.893	49.912.301	18.467.551	-30.301.193
18	0,35	55.401.201	5.488.900	19.390.420	1.921.115	49.912.301	17.469.305	-12.831.888
19	0,33	55.401.201	5.488.900	18.282.396	1.811.337	49.912.301	16.471.059	3.639.171
20	0,31	55.401.201	5.488.900	17.174.372	1.701.559	49.912.301	15.472.813	19.111.984
21	0,29	55.401.201	5.488.900	16.066.348	1.591.781	49.912.301	14.474.567	33.586.551
22	0,27	55.401.201	5.488.900	14.958.324	1.482.003	49.912.301	13.476.321	47.062.872
23	0,26	55.401.201	5.488.900	14.404.312	1.427.114	49.912.301	12.977.198	60.040.070
24	0,24	55.401.201	5.488.900	13.296.288	1.317.336	49.912.301	11.978.952	72.019.022
25	0,23	55.401.201	5.488.900	12.742.276	1.262.447	49.912.301	11.479.829	83.498.851
Total				689.190.928	617.171.916			

Berdasarkan hasil pengolahan arus kas pada Tabel 5 dengan umur proyek selama 25 tahun dan *discount factor* sebesar 6%, serta menggunakan hasil energi bersih terendah PLTS pada bulan Januari atau pada saat nilai PSH terendah didapatkan nilai *present worth benefit* (*PWB*) sebesar Rp. 689.190.928 dan *present worth cost* (*PWC*) sebesar Rp. 617.171.916. Penggunaan nilai energi terendah PLTS pada perhitungan dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terburuk PLTS dalam memproduksi energi listrik. Setelah mendapatkan nilai *PWB* dan *PWC* kemudian dapat dicari nilai *Net Present Value* (*NPV*), *Benefit Cost Ratio* (*BCR*), dan *Payback Period* (*PB*) untuk mengetahui kelayakan PLTS.

Nilai sekarang bersih atau *NPV* merupakan perhitungan selisih antara *present worth benefit* (*PWB*) dengan *present worth cost* (*PWC*). Berdasarkan perhitungan pada tabel, ditunjukkan bahwa nilai *PWB* sebesar Rp. 689.190.928 dan *PWC* sebesar Rp. 617.171.916. Berikut adalah Persamaan (14) yang digunakan untuk menghitung nilai *NPV*.

$$\begin{aligned}
 NPV &= PWB - PWC \\
 &= \text{Rp. } 689.190.928 - \text{Rp. } 617.171.916 \\
 &= \text{Rp. } 72.019.012
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai *NPV* sebesar Rp. 72.019.012, ($NPV > 0$), maka perancangan PLTS yang telah dilakukan layak untuk dikerjakan.

BCR dihitung dengan membagi antara nilai *present worth benefit* (*PWB*) dengan *present worth cost* (*PWC*). Berdasarkan perhitungan pada tabel, ditunjukkan bahwa nilai *PWB* sebesar Rp. 689.190.928 dan *PWC* sebesar Rp. 617.171.916. Persamaan (15) digunakan untuk memperoleh nilai *BCR*.

$$\begin{aligned}
 BCR &= \frac{PWB}{PWC} \\
 &= \frac{689.190.928}{617.171.916} \\
 &= 1,11
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai *BCR* sebesar 1,11 ($BCR > 1$) maka perancangan PLTS yang telah dilakukan layak untuk diinvestasikan dan manfaat yang diharapkan melebihi biaya yang dikeluarkan.

Pada tabel telah dihitung nilai arus kas kumulatif dan juga arus kas bersih. Hasil tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai *PB*. Berikut adalah Persamaan (16) yang digunakan untuk mendapatkan nilai *PB*.

$$\begin{aligned} PB &= n + \frac{\text{Arus kas kumulatif tahun } (n - 1)}{\text{Arus kas bersih tahun } n} \\ &= 19 + \frac{\text{Arus kas kumulatif tahun } (18)}{\text{Arus kas bersih tahun } 19} \\ &= 19 + \frac{-12.831.888}{49.912.301} \\ &= 18,75 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai *PB* sebesar 18,75 yang artinya bahwa investasi dapat dikatakan layak karena lebih kecil dari umur proyek yaitu selama 25 tahun.

3.2.3 Aspek Lingkungan

Pada perancangan ini analisis aspek lingkungan dilakukan dengan mencari nilai emisi *baseline* yang merupakan emisi yang dihasilkan dari efek gas rumah kaca. Emisi *baseline* diperoleh dengan mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dalam jangka waktu tertentu, faktor emisi *baseline* (0,8), dan losses atau rugi-rugi transmisi dan distribusi (20%). Untuk mengetahui nilai emisi *baseline* pada hasil perancangan PLTS atap *on-grid* 44 kWp ini digunakan Persamaan (17).

$$\begin{aligned} EB_y &= E_{Gi,y} \times FE_y \times \frac{1}{(1 - TDL)} \\ &= 63.032,58 \text{ kWh/tahun} \times 0,8 \times \frac{1}{(1 - 20\%)} \\ &= 78.790,725 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, dengan adanya PLTS atap *on-grid* 44 kWp dapat melakukan pengurangan emisi gas karbon dioksida (CO₂) sebanyak 78.790,725 ton CO₂/tahun.

3.3 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan perancangan PLTS atap untuk memenuhi beban penerangan pada industri. Sistem PLTS atap yang digunakan adalah *on-grid* dengan standar kelayakan sesuai dengan panduan EBTKE ESDM (SNI 8395:2017) dan sistem instalasi pemasangan berdasarkan PUIL 2011. Total beban penerangan yang digunakan di industri adalah sebesar 151,308 kWh/hari, namun pada perhitungan ditambahkan daya sebesar 25% dari total keseluruhan daya per hari. Hal ini dilakukan untuk menggantikan kerugian daya yang dapat terjadi pada sistem PLTS, maka total beban penerangan menjadi 44,117 kWp/hari. Berdasarkan daya tersebut digunakan modul surya sebanyak 108 unit jenis *monocrystalline* dengan merk Maysun Solar tipe MS410MB-40H yang berkapasitas 410 Wp.

Pada sistem peletakan/*mounting* modul surya menggunakan jenis *fixed plane* dengan sistem rel/*railing* berbahan aluminium dengan posisi modul vertikal/*portrait*. Modul surya dirangkai dengan sistem 4 string secara paralel dengan masing-masing string berjumlah 27 modul yang disusun secara seri. Modul surya menghasilkan keluaran sebesar 44,300 kW. Oleh karena itu, digunakan inverter dengan sistem 3 fasa merk Solis dengan tipe 3P40K-5G/ Grid Tie Inverter yang dapat menampung daya maksimal modul surya sebesar 52 kW.

Berdasarkan hasil perhitungan PLTS dapat menghasilkan rata-rata energi bersih sebesar 63.032,58 kWh/tahun dengan performa rasio sebesar 76%. Berdasarkan hasil tersebut PLTS dapat memenuhi kebutuhan beban penerangan di industri. Namun pada saat dengan menggunakan nilai PSH terendah di bulan Januari atau pada saat musim hujan, PLTS tidak dapat memenuhi keseluruhan beban penerangan di industri sehingga kekurangan beban masih disuplai oleh listrik PLN. Berdasarkan hal tersebut maka untuk melakukan antisipasi ketika musim hujan dapat dilakukan dengan menambah daya pada PLTS sebesar 50% dari total daya keseluruhan. Pada analisis kelayakan digunakan nilai PSH terendah, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terburuk PLTS dalam memproduksi energi listrik. Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa biaya investasi awal mencapai Rp. 548.890.000 dan biaya O & M sebesar Rp.5.488.900. Nilai NPV sebesar Rp. 72.019.012 dan BCR sebesar 1,11. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proyek layak untuk dilaksanakan dengan pengembalian modal terjadi pada tahun ke-18. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan PSH terendah proyek PLTS masih layak untuk dilaksanakan, sehingga apabila dengan nilai PSH rata-rata per tahun yang menghasilkan energi listrik lebih besar maka akan didapatkan hasil yang lebih baik.

Hasil perancangan yang dilakukan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Hutajulu, dkk. dengan melakukan perancangan PLTS sistem *on-grid* pada area *learning farm* di Allianz Ecopark Ancol untuk mengurangi total beban listrik. PLTS hasil perancangan ini dapat memenuhi beban penerangan yang ada pada industri secara keseluruhan. Pada aspek kelayakan yang dilakukan dengan mengikuti panduan EBTKE ESDM (SNI 8395:2017) sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Cinicy, dkk. Analisis aspek

kelayakan dilakukan dengan melakukan 3 metode perhitungan, yaitu *Net Present Value (NPV)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)*, dan *Payback Period*. Hasil analisis menunjukkan kesesuaian dengan proyek yang direncanakan, dimana proyek layak untuk dilaksanakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan didapatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap tipe *on-grid* berkapasitas 44,117 kW. PLTS menggunakan modul surya jenis *monocrystalline* 410 Wp sebanyak 108 unit dan satu unit *grid tie* inverter dengan kapasitas 40 kW. Sistem PLTS yang dirancang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 172,692 kWh/hari dan 63.032,58 kWh/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa PLTS dapat melayani beban penerangan yang ada pada industri setiap harinya sebesar 151,308 kWh serta dapat melakukan penghematan energi listrik sebesar penggunaan beban penerangan harian di industri. Berdasarkan hasil perhitungan, investasi awal sebesar Rp. 548.890.000 dengan biaya O&M Rp. 5.488.900, nilai *NPV* sebesar Rp. 72.019.012, *BCR* sebesar 1,11, dan *PB* selama 18 tahun 7 bulan, serta pengurangan emisi gas karbon dioksida (CO₂) sebanyak 78.790,725 ton CO₂/tahun. Dari hasil analisis kelayakan menunjukkan bahwa investasi PLTS layak untuk dilaksanakan.

REFERENSI

- [1] R. G. Putri, I. Idris, "Analisis Pertumbuhan Ekonomi Pengguna Internet Dan Konsumsi Energi Listrik Di Indonesia," *Jurnal Kajian Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 3, no. 4, hal. 73, 2021. <http://dx.doi.org/10.24036/jkep.v3i4.12381>
- [2] F. Anwar, T. Rijanto, "Analisis Perencanaan Plts On Grid Menggunakan Helioscope (Studi Kasus Plts On Grid 40 kWp di Gedung Asrama Putri Universitas Airlangga)," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 2, hal. 724–737, 2023. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.455>
- [3] Tekai Eddine Khalil Zidane, Ali Saleh Aziz, Younes Zahraoui, Hossam Kotb, Kareem M. AboRas, Kitmo, "Grid-Connected Solar PV Power Plants Optimization: A Review," *IEEE Access*, vol. 11, July, hal. 79588–79608, 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3299815>
- [4] V. R. T. Manullang, A. Nugroho, E. W. Sinuraya, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Software Homer Di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, hal. 148–156, 2020. <https://doi.org/10.14710/transient.v9i2.148-156>.
- [5] D. Muhammad Ferro Berlianto, R. Setya Wijaya, "Pengaruh transisi konsumsi energi fosil menuju energi baru terbarukan terhadap produk domestik bruto di Indonesia," *e-Jurnal Perspektif Ekonomi dan Pembangunan Daerah.*, vol. 11, no. 2, hal. 105–112, 2022. <https://doi.org/10.22437/pdpd.v11i2.17944>
- [6] A. E. Setyono, B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, hal. 154–162, 2021. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>.
- [7] A. W. Hasanah, R. Hariyati, M. N. Qosim, "Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN," *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, hal. 17–26, 2019. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.394>.
- [8] I. Hajar, Y. C. N. Sara, "Desain PLTS On-Grid 7 kW Di Gedung Kantor Polisi Pamong Praja Kabupaten Ende," *Sutet*, vol. 12, no. 1, hal. 42–51, 2022. <https://doi.org/10.33322/sutet.v12i1.1661>
- [9] A. G. Hutajulu, M. RT Siregar, M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) on Grid Di Ecopark Ancol," *TESLA Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, hal. 23, 2020. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i1.7333>
- [10] O. Sensa Ritzky Cinicy, J. Windarta, S. Saptadi, "Economic Feasibility Study of Rooftop Solar Power Plant 32 kWp in PT KPJB Office Building, PLTU Tanjung Jati B, Kabupaten Jepara," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, hal. 97–107, 2023. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.17574>
- [11] P. A. K. Ray, R. S. Wibowo, F. A. Pamuji, "Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 KW Pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 1, 2021. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.59320>