

Perencanaan Sistem PLTS On-Grid dengan Analisis Teknis dan Ekonomi pada Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi, Kudus

Yauma Rafi Rizqullah¹, Arief Marwanto²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

e-mail: yaumarizqullah@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam dilakukan untuk mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Sistem dirancang dengan panel surya Jinko 545 Wp, inverter Huawei 50 kW, dan sistem monitoring untuk menginjeksi energi ke busbar MDP/SDP pada daya PLN 690 kVA. Hasil analisis ekonomi menunjukkan biaya siklus hidup sebesar Rp 3,57 miliar, biaya energi Rp 531,61/kWh, Net Present Value (NPV) positif Rp 119,63 juta, Profitability Index (PI) 1,04, dan Discounted Payback Period (DPP) ±28 tahun, sehingga investasi layak. Selain itu, sistem ini berpotensi mengurangi emisi karbon sekitar 403 ton CO₂ per tahun, mendukung dekarbonisasi industri.

Kata kunci: PLTS On-Grid, analisis ekonomi, NPV, PI, emisi karbon

Planning of On-Grid Solar Power System with Technical and Economic Analysis in the Polyfoam Production Building of PT. Hartono Istana Teknologi, Kudus

ABSTRACT

The planning of an On-Grid Solar Power System (PLTS) at PT. HIT Polyfoam Production Building aims to improve energy efficiency and reduce carbon emissions. The system is designed using Jinko 545 Wp solar panels, Huawei 50 kW inverters, and a monitoring system to inject energy into the MDP/SDP busbar with a PLN power capacity of 690 kVA. Economic analysis shows a life cycle cost of IDR 3.57 billion, energy cost of IDR 531.61/kWh, a positive Net Present Value (NPV) of IDR 119.63 million, a Profitability Index (PI) of 1.04, and a Discounted Payback Period (DPP) of approximately 28 years, indicating the investment is feasible. Additionally, the system can reduce carbon emissions by around 403 tons CO₂ per year, supporting industrial decarbonization.

Keywords: On-Grid Solar Power System, economic analysis, NPV, PI, carbon emissions

PENDAHULUAN

Industri berskala besar memerlukan konsumsi listrik yang tinggi serta energi listrik yang efisien dan stabil untuk mendukung proses produksi, distribusi, dan aktivitas operasional lainnya. Penggunaan energi listrik yang tinggi, khususnya pada proses produksi, memerlukan perhitungan yang akurat agar ketersediaan daya terjamin tanpa pemborosan energi. Seiring pertumbuhan usaha, konsumsi energi listrik meningkat sehingga berdampak pada kenaikan biaya listrik dari PLN [6].

Selain biaya yang meningkat, tingginya konsumsi energi listrik juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), yang menjadi penyebab pemanasan global dan perubahan iklim ekstrem. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), emisi sektor industri pada tahun 2022 mencapai 1.008.178 Gg CO₂e, dengan sekitar 77% berasal dari emisi karbon [6]. Oleh karena itu, upaya penghematan energi sekaligus pengurangan emisi GRK menjadi penting bagi perusahaan industri.

PT. Hartono Istana Teknologi (HIT) Kudus merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi peralatan elektronik. Pada gedung produksi polyfoam, konsumsi listrik harian mencapai sekitar 8.000 kWh. Rencana pengembangan kapasitas produksi diprediksi akan meningkatkan konsumsi energi listrik,

sehingga berdampak pada kenaikan biaya listrik dan emisi karbon. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan strategi efisiensi energi, termasuk pemanfaatan energi terbarukan [10], [18].

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang sesuai dengan kondisi geografis Indonesia, karena radiasi matahari relatif tinggi sepanjang tahun [10]. Luas atap gedung produksi memungkinkan pemasangan modul fotovoltaik (PV) tanpa memerlukan lahan tambahan. Dengan sistem PLTS On-Grid, energi listrik dari panel surya dapat dimanfaatkan secara bersamaan dengan suplai PLN, sehingga diharapkan mampu memenuhi sekitar 15% kebutuhan energi listrik harian [4], [7].

Pemerintah Indonesia mendukung pengembangan PLTS On-Grid melalui Perpres No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Penurunan Emisi GRK dan Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024, yang memberikan kemudahan pemasangan PLTS atap, termasuk penghapusan biaya kapasitas dan batasan kapasitas ekspor-impor energi listrik [5].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem PLTS On-Grid pada gedung produksi polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi secara terintegrasi, serta melakukan analisis teknis dan ekonomi untuk mendukung efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **studi perencanaan dan analisis kelayakan ekonomi** sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid pada PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, perhitungan biaya siklus hidup (Life Cycle Cost, LCC), analisis biaya energi (Cost of Energy, CoE), evaluasi kelayakan investasi, serta analisis lingkungan.

Perancangan Sistem PLTS

Sistem PLTS On-Grid dirancang dengan menghubungkan output dari AC Combiner Panel secara langsung ke busbar panel SDP/MDP yang terhubung ke jaringan PLN berkapasitas 690 kVA. Perancangan ini mempertimbangkan kapasitas panel, inverter, proteksi, serta monitoring untuk memastikan performa optimal..

Perhitungan Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost, LCC)

Biaya siklus hidup PLTS dihitung sebagai jumlah biaya investasi awal (Initial Investment, II) dan nilai present dari biaya pemeliharaan tahunan (M) selama umur proyek. Biaya pemeliharaan tahunan dihitung sebagai:

$$M = 1\% \times II \quad (1)$$

Dengan asumsi umur PLTS 30 tahun, nilai present value biaya pemeliharaan (MPW) diperhitungkan dengan persamaan:

$$MPW = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n} \right] \quad (2)$$

Sehingga, LCC sistem PLTS dihitung sebagai:

$$LCC = II + MPW \quad (3)$$

dimana

II = Biaya investasi awal (Rp)

M = Biaya pemeliharaan tahunan (Rp)

i = Tingkat diskonto (5,75% per tahun)

Perhitungan Biaya Energi PLTS (Cost of Energy, CoE)

Untuk menghitung biaya energi per kWh, digunakan *Capital Recovery Factor (CRF)*:

$$CRF = \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Sehingga, biaya energi PLTS per kWh (CoE) dihitung:

$$CoE = \frac{LCC \times CRF}{AkWh} \quad (5)$$

AkWh = Energi tahunan PLTS (kWh)

Analisis Kelayakan Ekonomi

Kelayakan investasi dianalisis menggunakan:



1. *Net Present Value (NPV):*

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \quad (6)$$

2. *Profitability Index (PI):*

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{II} \quad (7)$$

3. *Discounted Payback Period (DPP):*

$$DPP = \text{Year Before Return} + \frac{II}{NPV \text{ Kumulatif}} \quad (8)$$

Dimana NCF_t adalah arus kas bersih pada tahun ke- t , dan PV_NCF adalah nilai present arus kas bersih.

Analisis Lingkungan

Kontribusi lingkungan PLTS dianalisis melalui pengurangan emisi karbon. Emisi CO_2 yang dihindari dihitung sebagai:

$$CO_2 \text{ yang dihindari} = AkWh \times EF \quad (9)$$

Dimana $EF = 0,85 \text{ kg } CO_2/kWh$ adalah faktor emisi listrik PLN..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemakaian Energi listrik

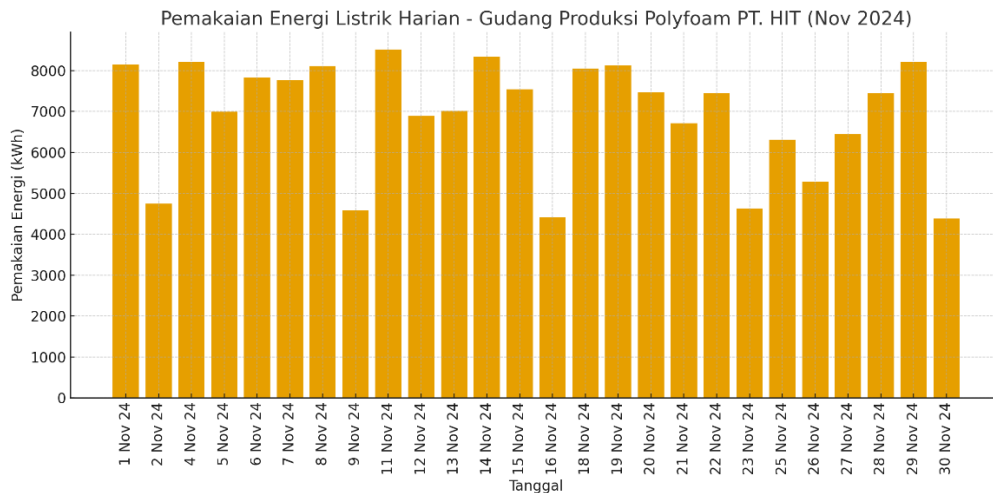
Pemakaian energi listrik di Gudang Produksi Polyfoam PT. HIT selama bulan November 2024 tercatat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Daya kontrak PLN adalah sebesar 690 kVA. Dari data harian terlihat adanya variasi konsumsi energi antara hari kerja dan hari libur, di mana konsumsi energi menurun signifikan saat tidak ada aktivitas produksi.

Pemakaian energi tertinggi terjadi pada 11 November 2024, yaitu sebesar 8.518,4 kWh, sejalan dengan tingginya daya rata-rata harian sebesar 354,9 kW. Sementara itu, konsumsi terendah tercatat pada 16 November 2024 sebesar 4.411,9 kWh, yang dipengaruhi oleh jam operasi yang lebih rendah.

Tabel 3. Pemakaian Energi Listrik Gudang Produksi Polyfoam PT. HIT

Parameter	Nilai
Jumlah Hari Operasi	25 hari
Hari Libur	5 hari
Daya Tertinggi	354,9 kW (11 Nov)
Pemakaian Energi Harian Tertinggi	8.518 kWh (11 Nov)
Pemakaian Energi Harian Terendah	4.411,9 kWh (16 Nov)
Total Pemakaian Bulanan	179.635 kWh
Rata-rata Pemakaian Harian	7.185 kWh

Gambar 1 menunjukka grafik pemakaian energi memperlihatkan fluktuasi konsumsi yang relatif stabil pada hari kerja dengan kecenderungan berada di rentang **7.000–8.500 kWh**, dan penurunan tajam pada hari dengan jam operasi lebih singkat atau hari libur.



Gambar 1. Pemakaian Energi Harian PT. HIT

Berdasarkan data pemakaian energi listrik harian selama November 2024, terlihat bahwa konsumsi energi dipengaruhi secara langsung oleh durasi operasi dan aktivitas produksi. Nilai tertinggi terjadi pada 11 November 2024 sebesar 8.518,4 kWh, sedangkan nilai terendah tercatat pada 16 November 2024 sebesar 4.411,9 kWh. Grafik batang (Gambar 1) memperjelas variasi pemakaian energi harian, yang menunjukkan bahwa beban energi harian cenderung stabil pada kisaran 7.000–8.200 kWh, kecuali pada hari-hari dengan jam operasi 15 jam.

Radiasi Matahari dan Data Meteorologi

Data radiasi matahari dari NASA menunjukkan bahwa rata-rata radiasi di lokasi sebesar 5,48 kWh/m²/hari, dengan nilai minimum terjadi pada Januari sebesar 4,22 kWh/m²/hari. Menggunakan radiasi terendah sebagai acuan desain adalah pendekatan konservatif yang memastikan sistem tetap menghasilkan energi yang cukup meskipun kondisi radiasi tidak optimal.

Tabel 4. Radiasi Matahari dan Temperature Udara

Homer Pro Base On NASA Source			
Bulan	Solar GHI (kWh/m ² /hari)	Temperature Udara (°C)	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	4,22	26,39	5,0
Februari	4,53	26,26	5,0
Maret	5,43	26,64	3,6
April	5,52	27,02	3,2
Mei	5,50	27,02	3,8
Juni	5,27	26,63	4,2
Juli	5,73	26,49	4,4
Agustus	6,41	27,07	4,4
September	6,80	28,02	4,1
Oktober	6,40	28,23	3,4
November	5,33	27,62	2,9
December	4,61	26,85	3,7
Rata - Rata	5,48	27,02	3,97

Dari tabel tersebut, radiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan September sebesar 6,80 kWh/m²/hari, sedangkan terendah pada bulan Januari. Nilai radiasi menjadi faktor penting dalam menentukan kapasitas panel surya serta ukuran array yang dibutuhkan.

Luasan Gedung dan Kapasitas PLTS

Total luas atap gedung produksi tersedia adalah 5.514 m², terdiri dari Gedung 1 : 3.876 m² dan Gedung 2 : 1.638 m².





Gambar 2. Lokasi PT. HIT Kudus

Untuk mendukung efisiensi energi, kapasitas energi PLTS direncanakan untuk menyuplai 15% dari konsumsi energi tertinggi, yaitu:

$$EL = 15\% \times 8518,4 \text{ kWh} = 1.277,76 \text{ kWh}$$

Perhitungan pengaruh temperatur terhadap kapasitas modul menghasilkan faktor koreksi temperatur (FKT) dan pengaruh suhu tinggi pada panel surya:

$$P_{max}^0 = 545 - 6,16 = 538,84 \text{ Wp}, \text{FKT} = 98,87\%$$

Menggunakan data radiasi minimum 4,22 kWh/m²/hari, efisiensi modul 21,10%, efisiensi inverter 98,5%, serta FKT, kebutuhan luas panel dihitung

$$LuasArray = \frac{1277,76}{4,22 \times 0,211 \times 0,985 \times 0,9887} = 1.473,5 \text{ m}^2$$

Tabel 4. Luas Array dan Jumlah Panel Surya per Gedung

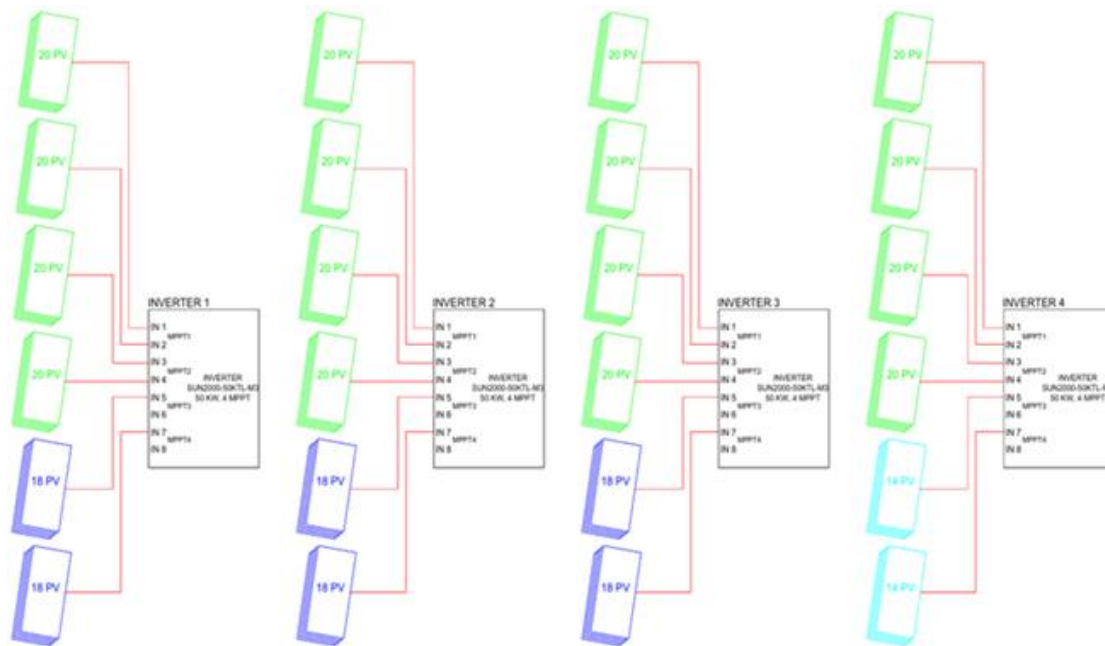
Gedung	Luas Array (m ²)	Jumlah Panel
1	1.177,82	412
2	299,62	160
Total	1.477,44	572

Konfigurasi PV dan Inverter

Gedung 1 menggunakan 456 PV dan 4 inverter dengan konfigurasi seri 14–20 PV/array, sedangkan Gedung 2 menggunakan 116 PV dan 1 inverter dengan konfigurasi seri 18–20 PV/array. Spesifikasi PV: Vmp 40,8 V, Imp 13,36 A; inverter: 50 kW, 4 MPPT, max MPPT current 30 A, operating voltage 200–1000 V. Konfigurasi disusun sedemikian rupa agar tegangan, arus, dan daya setiap array sesuai spesifikasi MPPT.

Tabel 5. Konfigurasi PV & Inverter Gedung 1

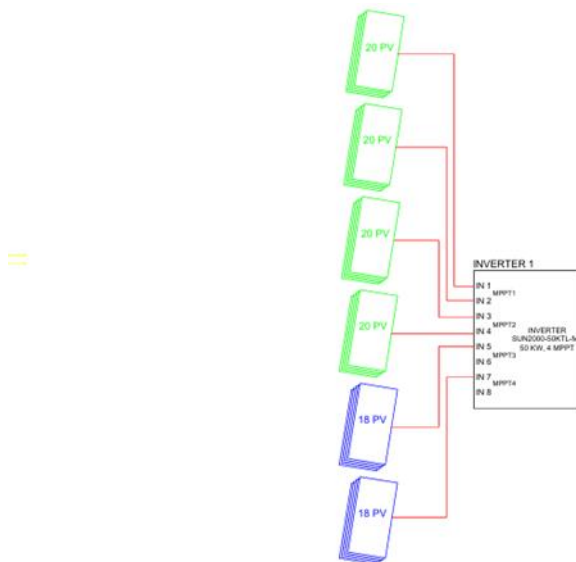
Inverter	Jumlah PV	Total Kapasitas (kWp)
1	116	58,86
2	116	58,86
3	116	58,86
4	108	52,94
Total	456	248,52



Gambar 2. Konfigurasi PV dan Inverter Gedung 1

Tabel 6. Konfigurasi PV & Inverter Gedung 2

Inverter	Jumlah PV	Total Kapasitas (kWp)
1	116	63,22



Gambar 3. Konfigurasi PV & Inverter Gedung 2

Output Energi PLTS

Berdasarkan perencanaan sistem PLTS On-Grid di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam, energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari harian terendah sebesar 4,22 kWh/m²/hari. Total 572 panel surya dengan kapasitas masing-masing 538,84 Wp menghasilkan energi input (E_{in}) sebesar 308,22 kWp. Dengan intensitas radiasi tersebut, energi keluaran harian PLTS (E_{out}) dihitung sebesar 1.300,67 kWh, dengan efisiensi sistem mencapai 15%. Energi yang dihasilkan selama satu tahun

diproyeksikan sebesar 474.744,76 kWh, cukup untuk mendukung sekitar 15% dari konsumsi energi puncak harian gedung produksi.

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa PLTS mampu menyediakan kontribusi energi yang signifikan, sekaligus mengurangi ketergantungan pada pasokan PLN dan memberikan efisiensi biaya energi jangka panjang.

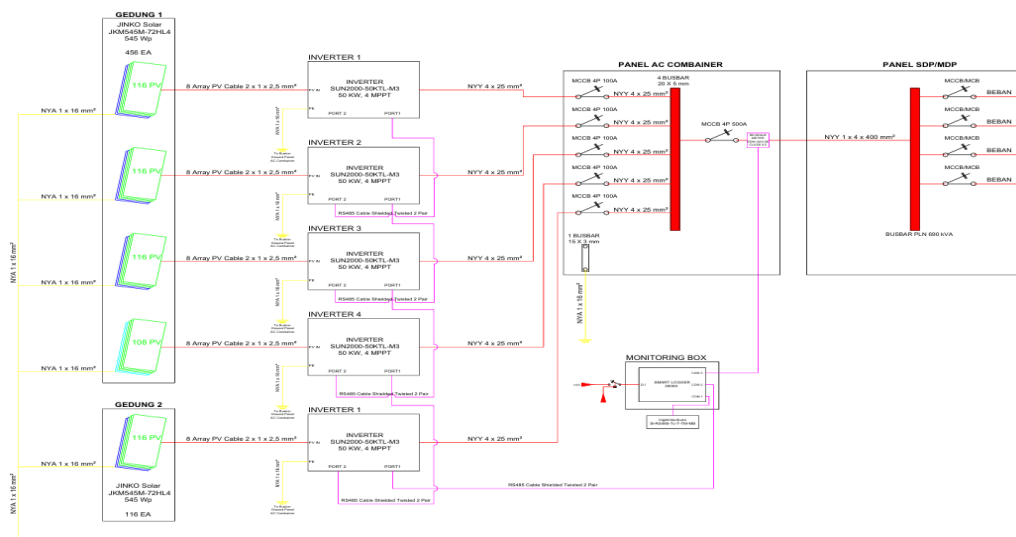
Design Wiring PLTS

Perencanaan sistem PLTS On-Grid yang dirancang pada PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam mengintegrasikan output dari panel AC Combainer secara langsung ke busbar panel MDP atau SDP yang terhubung dengan daya PLN 690 kVA. Konfigurasi wiring sistem digambarkan pada Gambar 4, menunjukkan alur listrik dari panel surya, melalui inverter, panel AC Combainer, hingga ke panel distribusi utama gedung. Sistem ini dirancang untuk memastikan efisiensi pengaliran energi, keamanan operasional, serta memudahkan proses monitoring dan pemeliharaan.

Tabel 7. Komponen Panel Listrik PLTS

Penghantar DC	Kabel $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ H1Z2Z2-K, arus maksimum 16,7 A.
Penghantar AC	Kabel $4 \times 25 \text{ mm}^2$ NYY, arus maksimum 99,75 A. Kabel dari AC Combainer ke MDP: $4 \times 400 \text{ mm}^2$ NYY.
Grounding	Kabel NYA $1 \times 16 \text{ mm}^2$.
Panel AC Combainer.	MCCB 100 A $\times$ 4, MCCB 500 A $\times$ 1, busbar tembaga, CT 500/5 A, kWh meter digital, Smart Logger 3000 A.
Penghantar DC	Kabel $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ H1Z2Z2-K, arus maksimum 16,7 A.

Sistem wiring mencakup sisi DC dan AC dengan kabel, MCCB, busbar, dan grounding yang sesuai standar kelistrikan industri. Kabel DC dari panel ke inverter menggunakan H1Z2Z2-K $2 \times 1 \times 2,5 \text{ mm}^2$, sedangkan kabel AC dari inverter ke panel AC Combainer dan ke MDP menggunakan NYY $4 \times 25 \text{ mm}^2$ dan NYY $4 \times 1 \times 400 \text{ mm}^2$. Grounding menggunakan kabel NYA $1 \times 16 \text{ mm}^2$, memastikan resistansi tanah di bawah 5 ohm. Setiap inverter dilengkapi MCCB 4 phase 100 A, dan panel AC Combainer menggunakan MCCB 4 phase 500 A, dengan busbar tembaga RSTN $4 \times 20 \times 5 \text{ mm}$ untuk distribusi arus. Monitoring sistem terintegrasi menggunakan Smart Logger 3000A dan kWh Meter EDM1 MK10E, memudahkan pemantauan performa energi PLTS secara real-time.



Gambar 4. Wiring SLD PLTS Sistem On – Grid

Analisa Perekonomian

Berdasarkan perhitungan investasi awal, total biaya investasi (Initial Investment) untuk PLTS sistem On-Grid sebesar Rp 3.126.758.000. Biaya ini mencakup panel surya, inverter, sistem monitoring, MCCB,

busbar, kabel, grounding, dan biaya instalasi serta pemeliharaan lima tahun ke depan. Biaya operasional dan pemeliharaan tahunan dihitung sebesar 1% dari investasi awal, yaitu Rp 31.267.580.

Dengan asumsi umur operasi sistem PLTS selama 30 tahun dan tingkat diskonto 5,75% per tahun, nilai present value biaya pemeliharaan dihitung sebesar Rp 442.155.587. Sehingga, total Life Cycle Cost (LCC) sistem PLTS mencapai Rp 3.568.913.587.

Nilai Cost of Energy (CoE) diperoleh dengan mengalikan LCC dengan Capital Recovery Factor (CRF) dan dibagi dengan energi tahunan yang dihasilkan sebesar 474.744,76 kWh. Dengan CRF sebesar 0,07072, diperoleh CoE PLTS On-Grid senilai Rp 531,612 per kWh.

Analisis kelayakan investasi dilakukan dengan menghitung Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Period (DPP).

- a) NPV proyek PLTS positif sebesar Rp 119.634.401, menunjukkan proyek layak secara finansial.
- b) PI mencapai 1,04 (>1), menegaskan kelayakan investasi.
- c) DPP sebesar 28 tahun, yang meskipun mendekati umur proyek, tetap menunjukkan proyek layak karena NPV positif.

Selain manfaat ekonomi, PLTS berkontribusi pada pengurangan emisi karbon. Dengan produksi energi tahunan 474.744,76 kWh dan faktor emisi listrik PLN 0,85 kg CO₂/kWh, sistem PLTS berpotensi mengurangi emisi sekitar 403 ton CO₂ per tahun, memberikan nilai tambah lingkungan yang signifikan.

Kesimpulan

Perencanaan PLTS On-Grid di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam meliputi pemilihan panel surya, inverter, sistem monitoring, dan instalasi kelistrikan sesuai kebutuhan beban. Sistem dirancang menginjeksi energi ke busbar MDP/SDP dengan daya PLN 690 kVA. Hasil perhitungan ekonomi menunjukkan biaya siklus hidup sebesar Rp 3,57 miliar, biaya energi Rp 531,61/kWh, NPV positif Rp 119,63 juta, PI 1,04, dan DPP ±28 tahun, sehingga proyek layak diimplementasikan. Sistem ini juga berkontribusi pada pengurangan emisi karbon sekitar 403 ton CO₂ per tahun, mendukung dekarbonisasi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Akšamović, S. Konjicija, S. Odžak, S. Pašalić, dan S. Grebović, "DC Cabling of Large-Scale Photovoltaic Power Plants," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, 2022, doi: 10.3390/app12094500.
- [2]. A. S. Al-Ezzi dan M. N. M. Ansari, "Photovoltaic Solar Cells: A Review," *Applied System Innovation*, vol. 5, no. 67, pp. 1–17, 2022, doi: 10.3390/asi5040067.
- [3]. N. H. Al Dulaimi dan A. A. T. Alkhalidi, "Design of an Off-Grid Solar PV System for a Rural Shelter," *German Jordanian University*, Jan. 2018, doi: 10.13140/RG.2.2.24352.07689.
- [4]. M. C. ALKHOLISH, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Dengan Sistem On-Grid Di Cv. Qirana Meubel Jepara," 2023. [Tugas akhir/skripsi digunakan sebagai studi kasus perencanaan PLTS On-Grid di gedung produksi]. [Online]. Tersedia: http://repository.unissula.ac.id/30021/1/Teknik%20Elektro_30601800028_fullpdf.pdf.
- [5]. Amalia, H. Abdillah, dan T. W. Hariyadi, "Analisa Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Tipe Monokristalin 50wp Yang Dirangkai Seri Dan Paralel Pada Instalasi PLTS Off-Grid," *Jurnal Elektro Dan Mesin Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 12–21, 2022, doi: 10.35143/elementer.v8i1.5187.
- [6]. Badan Pusat Statistik, "Neraca Arus Energi Dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia," BPS, 2022, hlm. 120.
- [7]. A. Burhandono, J. Windarta, dan N. Sinaga, "Perencanaan PLTS Roof Top On-Grid Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi Auxiliary Power dan Memperbaiki Nilai Nett Plant Heat Rate Pembangkit," *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 61–79, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13051.
- [8]. DONNERGY, "Microinverters vs String Inverters vs Hybrid Inverters vs off Grid Inverter, How to choose?," 2024. [Online]. Tersedia: <https://donnergy.com/blog/microinverters-vs-string-inverters-vs-hybrid-inverters-vs-off-grid-inverter-how-to-choose.html>
- [9]. CENELEC, *Electric cables for photovoltaic systems (BT(DE/NOT)258) / EN 50618*, 2014.
- [10]. A. F. K. Hakim, F. Sholihah, R. Ismawati, dan N. Dewantari, "Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia," *Indonesian Journal of Conservation*, vol. 2, no. 11, pp. 71–77, 2022, doi: 10.15294/ijc.v11i2.40599.



-
- [11]. R. Hariyati, M. N. Qosim, dan A. W. Hasanah, "Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On-Grid dengan Gedung STT-PLN," *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [12]. H. H. N. Jannah, U. I. F. Styana, A. Kurniawan, dan F. Hindarti, "Analisis Teknik dan Ekonomi Perencanaan PLTS Rooftop Sistem On-Grid di SDN 1 Temuwuh," *Prosiding Webinar ITY Green Technology*, pp. 55–69, 2023.
- [13]. A. E. P. Lestari dan P. Oetomo, "Analisis Pemilihan Penghantar Tenaga Listrik Paling Efisien Pada Gedung Bertingkat," *Sinusoida*, vol. 23, no. 2, pp. 61–68, 2021, doi: 10.37277/s.v23i2.1122.
- [14]. M. Abdul Mumin, "Studi Perencanaan Panel Surya Untuk Kebutuhan Petani Sebagai Pengusir Hama Babi Liar," 2023.
- [15]. B. S. Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 1 2013," DirJen Ketenagalistrikan, 2011.
- [16]. G. Nurbany, T. H. Nufus, dan S. Abadi, "Analisa Finansial Perancangan Sistem PLTS Atap OFF-Grid Untuk Suplai Utama Kebutuhan Listrik Pada Rumah Tinggal Kapasitas 14–15 kWp," pp. 374–380, 2024.
- [17]. Gurumuda.Net, "Pentingnya rangkaian penyambung (combiner box) dalam sistem panel surya," 2024. [Online]. Tersedia: <https://gurumuda.net/plts/pentingnya-rangkaian-penyambung-combiner-box-dalam-sistem-panel-surya.htm>
- [18]. R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, pp. 61–78, 2017, doi: 10.25105/jetri.v11i2.1445.
- [19]. M. Strauss, "Analisa Hubungan Seri Dan Paralel Terhadap Karakteristik Solar Sel Di Kota Medan," *R E L E RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi)*, vol. 3, no. 2, pp. 88–109, 2021, doi: 10.1007/bf02598062.
- [20]. T. Sutrisno, S. Dinata, dan W. A. Nurdiyanto, "Perancangan Panel Distribusi Daya Listrik (SDP) Untuk Gedung Kampus Universitas Sutomo," *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, vol. 5, no. 2, p. 177, 2023, doi: 10.32493/epic.v5i2.27538.
- [21]. W. Syahrir, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On-Grid di Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Journal Syntax Idea*, vol. 6, no. 1, pp. 2375–2382, 2023.
- [22]. T. Ta'ali, A. B. Pulungan, H. Hambali, dan S. Shalvadila, "Analisis Sistem Grounding Di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, vol. 7, no. 2, p. 320, 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i2.114819.
- [23]. J. Tan, J. Jia Shuyue, dan R. S. Seeram, "End-of-Life Photovoltaic Modules," vol. 15, p. 5113, 2022.
- [24]. K. Vidhia Kumara, I. N. Satya Kumara, dan W. G. Ariastina, "Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggaran Bali," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, pp. 26, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p04.
- [25]. F. A. Widiarsa, "Karakteristik Panel Surya dengan Variasi Intensitas Radiasi dan Temperatur Permukaan Panel," *Transmisi*, vol. 4, pp. 233–242, 2006.