SINERGI *Vol. 24, No.2, pp.205-214, Oktober 2026*
DOI : http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v24i2.6457

Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Sistem Hybrid di Pabrik Kosmetik CV. Idlan Waranie Perkasa Makassar

Fahriansyah Ilham[1*], Devi Aristi[2], Musrady Mulyadi[3], dan Nur Rahmah H. Anwar[4]

[1,2,3,4] Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: arifahri919@gmail.com

Abstract: *This study aims to design and analyze the technical and economic feasibility of a hybrid rooftop Solar Power Plant (PLTS) system at CV. Idlan Waranie Perkasa in Makassar City. The research is motivated by the company's high dependence on the PLN electricity supply and the potential for operational disruptions due to power outages. The research methods include data collection through observation and interviews, as well as simulations using PVsyst and HOMER Pro software. The designed system integrates PLTS as the primary source, PLN as the supporting source, and a generator as a backup, without utilizing batteries.The design results show a rooftop PLTS system with a capacity of 74 kWp, utilizing 108 Monocrystalline 690 Wp panels in a 6-string configuration, a 70 kW inverter, and a 55 kVA generator. The annual energy production reaches 122,399 kWh (numerical), 124,061 kWh (PVsyst), and 172,971 kWh (HOMER Pro). Economic analysis yields a positive Net Present Value (NPV) of up to IDR 1,130,095,006 (numerical), IDR 1,223,690,088 (PVsyst), and IDR 109,411,700 (HOMER Pro), with an Internal Rate of Return (IRR) of 8-19%, which is higher than the interest rate. It is concluded that the implementation of this hybrid rooftop PLTS is technically and economically feasible, capable of improving power supply reliability, and reducing dependence on conventional energy.*

Keyword: *Rooftop PLTS, Hybrid, PVsyst, HOMER Pro, Feasibility Analysis.*

Abstrak*:* Penelitian ini bertujuan merencanakan dan menganalisis kelayakan teknis serta ekonomis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap konfigurasi *hybrid* pada CV. Idlan Waranie Perkasa di Kota Makassar. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya ketergantungan perusahaan terhadap pasokan listrik PLN dan potensi gangguan operasional akibat pemadaman listrik. Metode penelitian meliputi pengumpulan data melalui observasi dan wawancara, serta simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst dan HOMER Pro. Sistem yang dirancang mengintegrasikan PLTS sebagai sumber utama, PLN sebagai pendukung, dan genset sebagai cadangan tanpa menggunakan baterai. Hasil perancangan menunjukkan sistem PLTS berkapasitas 74 kWp menggunakan 108 panel *Monocrystalline* 690 Wp dengan konfigurasi 6 *string*, inverter 70 kW, dan genset 55 kVA. Produksi energi tahunan mencapai 122.399 kWh (numerik), 124.061 kWh (PVsyst), dan 172.971 kWh (HOMER Pro). Analisis ekonomi menghasilkan Net Present Value (NPV) positif hingga Rp1.130.095.006 (numerik), Rp1.223.690.088 (PVsyst), dan Rp109.411.700 (HOMER Pro), serta Internal Rate of Return (IRR) sebesar 8-19%, lebih besar dari suku bunga. Disimpulkan bahwa penerapan PLTS atap berbasis *hybrid* ini layak secara teknis maupun ekonomis, mampu meningkatkan keandalan pasokan listrik, dan mengurangi ketergantungan pada energi konvensional.

Kata kunci: PLTS Atap, *Hybrid*, PVsyst, HOMER Pro, Analisis Kelayakan.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung keberlangsungan proses produksi dan operasional industri. Peningkatan kebutuhan energi serta tuntutan pengurangan emisi mendorong sektor industri untuk mulai memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai bagian dari strategi efisiensi energi dan keberlanjutan. Secara global, energi surya fotovoltaik (PV) menjadi salah satu teknologi energi terbarukan yang berkembang paling cepat. Penambahan kapasitas energi terbarukan global pada tahun 2024 mencapai sekitar 700 GW, dengan tenaga surya PV menyumbang lebih dari tiga perempat kapasitas baru tersebut [1]. Kondisi ini menunjukkan bahwa teknologi PV semakin kompetitif dan dapat diterapkan pada berbagai skala, termasuk pada fasilitas komersial dan industri.

Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar karena berada di wilayah tropis dengan ketersediaan radiasi matahari sepanjang tahun. Kajian potensi energi surya di Indonesia menunjukkan

bahwa penerapan sistem PV memiliki prospek teknis dan ekonomis yang baik, termasuk di wilayah Makassar yang memiliki potensi radiasi matahari relatif tinggi [2]. Pemanfaatan energi surya melalui PLTS atap menjadi semakin menarik karena dapat menggunakan area atap bangunan yang sebelumnya tidak dimanfaatkan untuk pembangkitan energi. Pada sektor komersial dan industri, penerapan PLTS atap juga dapat mengurangi konsumsi listrik dari jaringan dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan secara langsung pada sisi beban [3], [4].

Pengembangan PLTS atap di Indonesia juga didukung oleh kebijakan pemerintah melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 2 Tahun 2024 tentang PLTS Atap yang terhubung pada jaringan tenaga listrik pemegang IUPTLU. Regulasi tersebut mengatur pemasangan PLTS atap berdasarkan kuota yang tersedia dan menghapus mekanisme ekspor-impor energi listrik ke jaringan dalam perhitungan tagihan pelanggan [5]. Perubahan mekanisme tersebut menjadikan kesesuaian antara profil pembangkitan PLTS dan profil konsumsi beban sebagai aspek yang semakin penting dalam perencanaan sistem, terutama bagi pelanggan industri yang memiliki konsumsi listrik dominan pada siang hari. Dengan demikian, desain PLTS perlu mempertimbangkan kapasitas pembangkitan, karakteristik beban, luas area atap, konfigurasi sistem, serta tingkat pemanfaatan energi yang dihasilkan di sisi pelanggan.

Selain aspek penghematan energi, kontinuitas pasokan listrik merupakan faktor penting pada fasilitas industri. Gangguan pasokan listrik dapat menyebabkan penghentian proses produksi, kehilangan produktivitas, dan peningkatan biaya operasional. Oleh karena itu, penggunaan PLTS yang hanya berfungsi sebagai sumber energi tambahan belum sepenuhnya menyelesaikan permasalahan keandalan ketika terjadi gangguan jaringan. Konfigurasi sistem hybrid yang menggabungkan PLTS, jaringan PLN, dan generator cadangan dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik. Penelitian mengenai sistem hybrid PV-diesel-grid menunjukkan bahwa integrasi beberapa sumber energi dapat dianalisis untuk memperoleh kombinasi yang lebih optimal dari sisi biaya energi, operasi pembangkit, dan emisi [6]. Studi lain mengenai sistem PV sebagai sumber cadangan pada jaringan yang tidak andal juga menunjukkan bahwa konfigurasi hybrid dapat digunakan untuk meningkatkan kontinuitas suplai pada fasilitas yang membutuhkan keandalan energi [7].

Sejumlah penelitian telah membahas perencanaan dan evaluasi kelayakan PLTS atap pada fasilitas komersial maupun institusi. Asrori et al. [8] melakukan kajian PLTS atap on-grid pada bengkel mesin dan memperoleh Performance Ratio sebesar 83,63% serta nilai NPV positif, sehingga sistem dinilai layak secara teknis dan ekonomis. Husain et al. [3] menggunakan PVsyst untuk menganalisis sistem PLTS atap komersial dan menunjukkan bahwa simulasi teknis dapat digunakan untuk mengevaluasi produksi energi, kinerja sistem, serta aspek finansial. Pada sektor industri, Jara et al. [4] menunjukkan bahwa penerapan PLTS atap pada fasilitas industri memiliki potensi untuk menurunkan biaya energi dan emisi karbon. Sementara itu, penelitian Windarta et al. [9] menunjukkan penggunaan HOMER untuk menganalisis produksi energi dan kelayakan ekonomi sistem PLTS berdasarkan karakteristik beban dan sumber energi yang tersedia.

PVsyst dan HOMER Pro memiliki fungsi yang saling melengkapi dalam analisis sistem energi. PVsyst banyak digunakan untuk perancangan dan simulasi kinerja sistem PV, termasuk estimasi produksi energi, Performance Ratio, konfigurasi modul, serta analisis rugi-rugi sistem [3], [8]. Sementara itu, HOMER Pro dapat digunakan untuk simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas berbagai konfigurasi sumber energi berdasarkan profil beban, sumber energi, biaya investasi, biaya operasi, dan parameter ekonomi [10]. Penerapan kedua perangkat lunak tersebut secara bersamaan dapat memberikan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap aspek teknis dan ekonomi sistem PLTS.

Penelitian yang lebih baru pada sektor Fast-Moving Consumer Goods (FMCG) di Indonesia juga menunjukkan bahwa penerapan PLTS atap pada industri membutuhkan evaluasi yang tidak hanya mempertimbangkan produksi energi dan aspek ekonomi, tetapi juga kondisi struktur atap serta keselamatan instalasi [11]. Selain itu, kajian techno-economic pada sistem PV industri menunjukkan bahwa karakteristik beban, kebijakan energi, dan skenario pemanfaatan energi sangat memengaruhi kelayakan investasi PLTS [4], [11]. Hal tersebut menunjukkan bahwa desain PLTS untuk fasilitas industri perlu dilakukan secara spesifik berdasarkan kondisi lokasi, pola konsumsi energi, luas area yang tersedia, serta kebutuhan keandalan pasokan.

Berdasarkan kajian tersebut, masih terdapat kebutuhan untuk melakukan perencanaan PLTS atap yang secara khusus mengintegrasikan sumber energi surya dengan jaringan PLN dan generator cadangan pada fasilitas manufaktur di Kota Makassar. Berbeda dengan sistem PLTS on-grid yang berorientasi pada pengurangan konsumsi energi jaringan, konfigurasi yang direncanakan dalam penelitian ini mempertimbangkan pula kebutuhan kontinuitas pasokan listrik melalui integrasi genset sebagai sumber cadangan. Selain itu, analisis dilakukan menggunakan tiga pendekatan, yaitu perhitungan numerik, simulasi PVsyst, dan simulasi HOMER Pro, sehingga hasil perencanaan dapat dibandingkan dari sisi kapasitas pembangkitan, produksi energi, kinerja sistem, dan kelayakan investasi.

CV. Idlan Waranie Perkasa merupakan industri manufaktur kosmetik di Kota Makassar dengan daya listrik terpasang sebesar 66 kW dan proses produksi yang bergantung pada kontinuitas pasokan listrik. Berdasarkan observasi awal, gangguan pasokan listrik berpotensi menghentikan peralatan produksi seperti mixer, kompresor, mesin press, dan sistem tata udara. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya alternatif sumber energi yang mampu mengurangi ketergantungan terhadap jaringan PLN sekaligus mempertahankan keandalan pasokan. Di sisi lain, perusahaan memiliki area atap seluas sekitar 825 m² yang berpotensi dimanfaatkan sebagai lokasi pemasangan PLTS tanpa memerlukan tambahan lahan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dan menganalisis kelayakan teknis serta ekonomis PLTS atap sistem hybrid pada CV. Idlan Waranie Perkasa Makassar. Sistem dirancang dengan PLTS sebagai sumber energi utama, PLN sebagai sumber pendukung, dan genset sebagai sumber cadangan tanpa menggunakan baterai. Perencanaan dilakukan berdasarkan karakteristik beban aktual, potensi radiasi matahari, luas area atap, konfigurasi modul dan inverter, serta kebutuhan keandalan sistem. Evaluasi teknis dilakukan menggunakan perhitungan numerik dan simulasi PVsyst, sedangkan analisis konfigurasi dan kelayakan ekonomi dilakukan menggunakan HOMER Pro. Parameter ekonomi yang digunakan meliputi Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), Internal Rate of Return (IRR), Discounted Payback Period (DPP), dan Cost of Energy (COE). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar teknis dan ekonomis bagi penerapan PLTS atap hybrid pada fasilitas industri sekaligus menjadi alternatif untuk mengurangi konsumsi energi konvensional dan meningkatkan keandalan pasokan listrik.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat, Waktu, dan Instrumen Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di unit produksi CV. Idlan Waranie Perkasa yang berlokasi di Jalan Praja Raya Perumahan Pemda Blok B No. 25, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis lokasi ini berada pada koordinat 5°09'52.4" LS dan 119°30'20.0" BT. Durasi kegiatan pengumpulan data hingga pemodelan berlangsung dari bulan September 2025 sampai dengan Januari 2026. Instrumen perangkat keras yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah satu unit laptop, sedangkan instrumen perangkat lunak (*software*) pendukung simulasi mencakup PVsyst versi 7.4, HOMER Pro, Google Earth, dan SketchUp.

B. Prosedur Pengumpulan dan Analisis Data

Tahapan penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk mendalami parameter unjuk kerja sistem fotovoltaik, regulasi mengenai sistem *hybrid* [3], serta faktor lingkungan seperti dampak *shading*. Pengumpulan data primer dilakukan melalui metode wawancara terstruktur dengan pihak manajemen pabrik guna mencatat profil beban alat elektronik serta survei langsung menggunakan solar power meter (*piranometer*) untuk mendata karakteristik iradiasi matahari lokal secara riil. Sementara itu, data sekunder berupa histori meteorologi jangka panjang ditarik dari basis data satelit Meteonorm melalui fitur sinkronisasi lokasi pada perangkat lunak PVsyst.

Prosedur analisis teknis dan evaluasi ekonomi dalam penelitian ini dilakukan secara komparatif melalui tiga pendekatan utama yang saling terintegrasi. Pendekatan pertama menerapkan perhitungan numerik manual menggunakan formulasi matematika standar industri untuk mengalkulasi kebutuhan kapasitas daya makro fotovoltaik berdasarkan target Jam Matahari Ekivalen (*Equivalent Sun Hours*/ESH) wilayah lokal. Pendekatan kedua menggunakan simulasi perangkat lunak PVsyst versi 7.4

untuk memetakan tata letak tiga dimensi (3D) *array* panel pada atap pabrik secara presisi, menganalisis nilai efisiensi *Performance Ratio* (PR), serta mengidentifikasi diagram rugi-rugi (*loss diagram*) akibat faktor suhu termal permukaan panel dan instalasi kabel [1]. Selanjutnya, pendekatan ketiga menggunakan optimasi perangkat lunak HOMER Pro yang berperan penting untuk menyimulasikan kontribusi suplai daya per jam, pemodelan bauran energi dinamis antara bus DC dan AC, analisis konsumsi bahan bakar genset cadangan, hingga analisis finansial secara menyeluruh [4]. Kelayakan ekonomi dari ketiga pendekatan tersebut kemudian dinilai dan divalidasi berdasarkan empat indikator kuantitatif keuangan, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Discounted Payback Period* (DPP) dengan asumsi umur proyek selama 20 tahun dan tingkat diskonto acuan bank sebesar 8,5% [2].

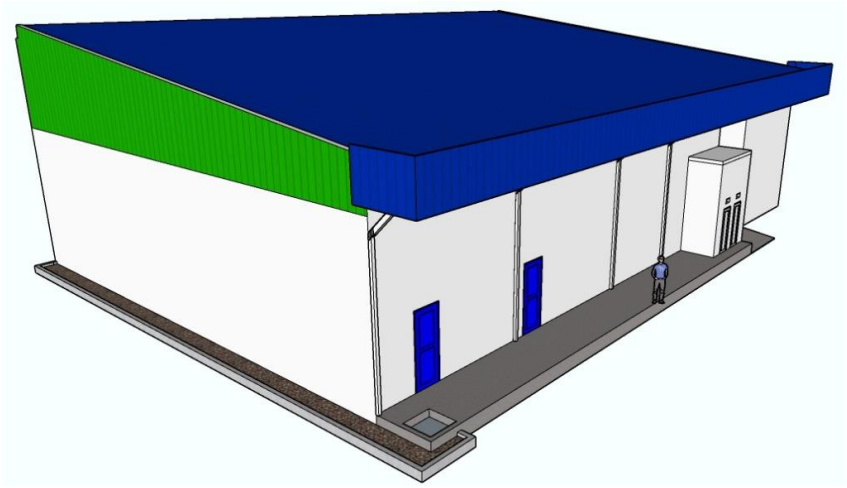
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi Radiasi, dan Karakteristik Beban

Berdasarkan pengukuran lapangan menggunakan piranometer, radiasi harian riil Kota Makassar mencapai 7,40 kWh/m^2/hari dengan puncak 1077 W/m^2 pada pukul 13:30 WITA. Namun, simulasi PVsyst menggunakan data Meteonorm menetapkan nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) yang lebih konservatif sebesar 5,44 kWh/m^2/hari dengan suhu harian 27,01 °C. Nilai Jam Matahari Ekivalen (ESH) diadopsi sebesar 4,5 jam. Di sisi lain, log beban pabrik CV. Idlan Waranie Perkasa menunjukkan konsumsi energi harian sebesar 332,204 kWh dengan beban puncak harian sebesar 41,801 kW.

Tabel 1. Data Iradiasi Matahari pabrik CV. Idlan Waranie Perkasa Makassar

Jam	Intensitas Matahari (W/m²)	Suhu (°C)	Keterangan
08:00	427	28	Berawan tebal
08:30	486	28	Berawan
09:00	632	29	Berawan
09:30	729	29	Cerah Berawan
10:00	831	30	Cerah Berawan
10:30	883	30	Cerah Berawan
11:00	950	30	Cerah Berawan
11:30	961	30	Cerah
12:00	998	30	Cerah
12:30	1009	30	Cerah
13:00	1053	30	Cerah
13:30	1077	30	Cerah
14:00	975	30	Cerah
14:30	893	30	Cerah Berawan
15:00	791	29	Cerah Berawan
15:30	643	29	Berawan
16:00	603	29	Berawan
16:30	472	28	Berawan
17:00	389	28	Berawan tebal
RATA-RATA	779	29	



Gambar 2. Tampak Isometrik 3D Pabrik CV. Idlan Waranie Perkasa

Spesifikasi dan Konfigurasi Elektrikal Sistem

Kebutuhan daya dihitung dengan membagi konsumsi harian terhadap ESH, menghasilkan kapasitas total sebesar 74 kWp. Modul yang digunakan adalah *Monocrystalline* Tenka Solar Orion IX 690 Wp.

Site **CV. IDLAN WARANIE PERKASA (Indonesia)**

Data source Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100%

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature
	kWh/m²/day	kWh/m²/day	°C
January	5.23	2.39	26.6
February	4.53	2.72	26.8
March	4.80	2.73	26.9
April	5.34	2.43	27.0
May	5.10	2.38	27.6
June	4.93	2.11	26.7
July	5.58	1.89	26.7
August	6.31	1.99	27.0
September	6.26	2.46	27.2
October	6.50	2.50	27.9
November	5.70	2.44	27.1
December	4.98	2.71	27.1
Year	**5.44**	**2.39**	**27.1**

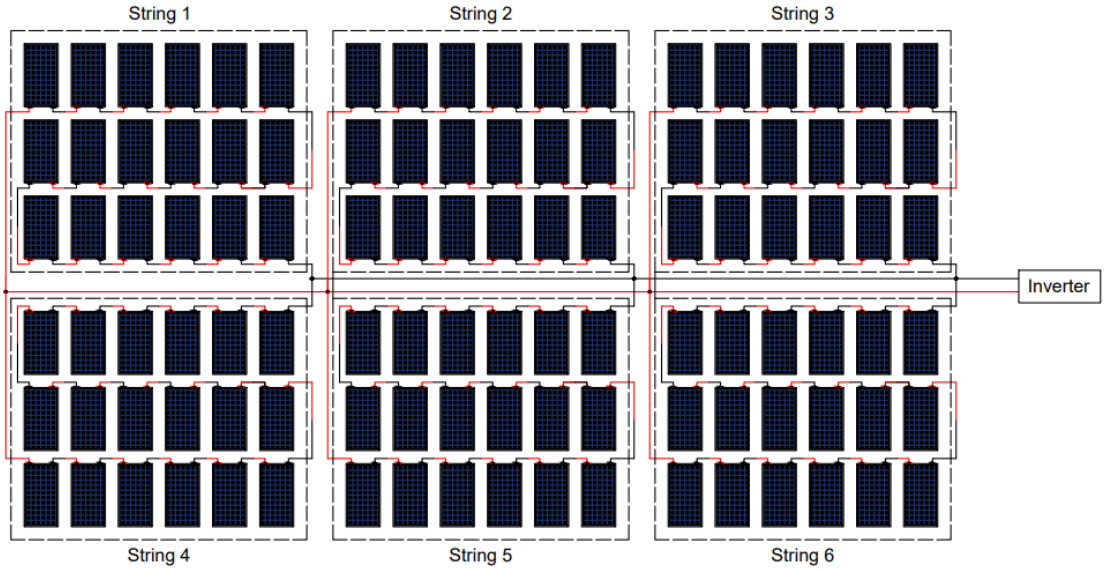
Gambar 1. Data Iradiasi dan Temperatur di Wilayah Perumahan Pemda

Jumlah total panel yang dibutuhkan adalah:

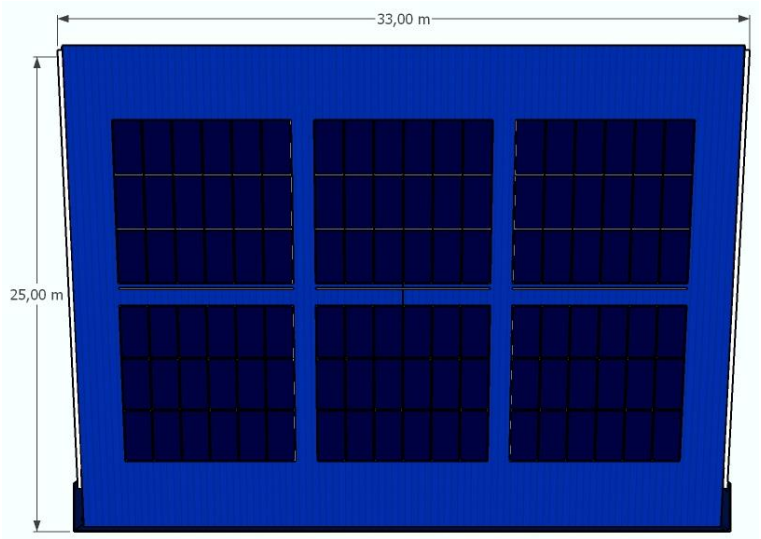
$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{74.000\ W}{609\ Wp} = 107{,}24 \approx 108\ Unit$$

Sistem dikonfigurasi ke dalam 6 *string* paralel, dengan masing-masing *string* terdiri dari 18 modul seri. Konfigurasi ini menghasilkan tegangan kerja 702 VDC dan arus total input DC 106,2 A, yang masuk dalam batas aman inverter Growatt 70KTL3-X MV berkapasitas 70 kW. Total luas area untuk

108 panel adalah 335,448 m^2, yang sangat aman dipasang pada atap spandek pabrik seluas 825 m^2. Sebagai cadangan darurat saat terjadi pemadaman total, genset berkapasitas 55 kVA diintegrasikan ke dalam sistem.



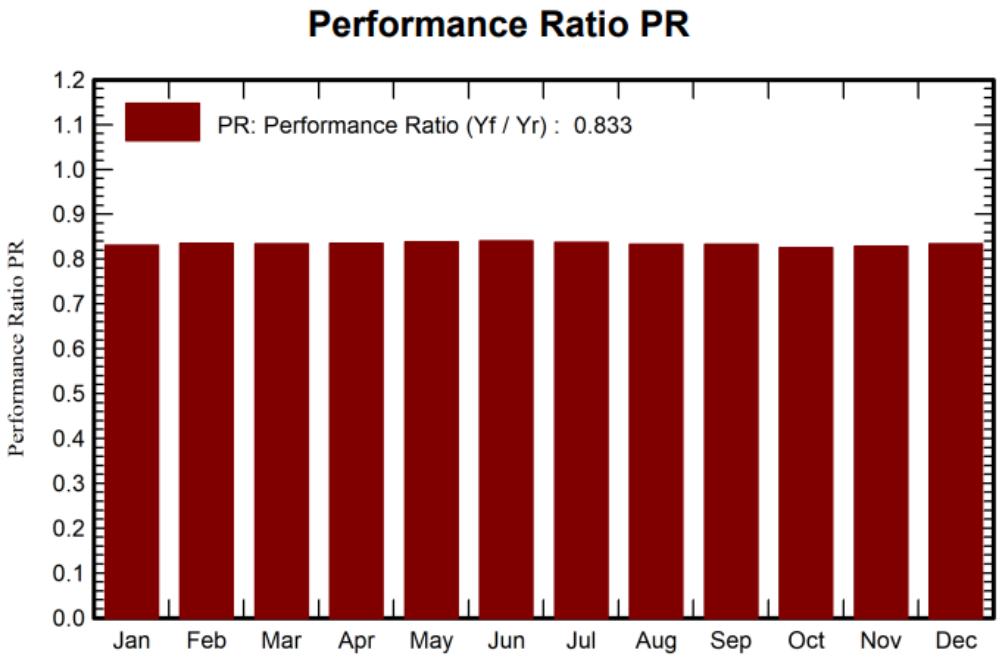
Gambar 3. Konfigurasi Panel Surya



Gambar 4. Dimensi Atap Pabrik CV. Idlan Waranie Perkasa

B. Simulasi Teknis dan Kelayakan Ekonomi

Simulasi PVsyst menunjukkan nilai *Performance Ratio* (PR) sistem mencapai 83,30% dengan efisiensi konversi panel 18,41%. Penurunan daya utama dipicu oleh faktor suhu permukaan panel (*thermal loss*) saat beroperasi pada suhu lapangan rata-rata 50°C.



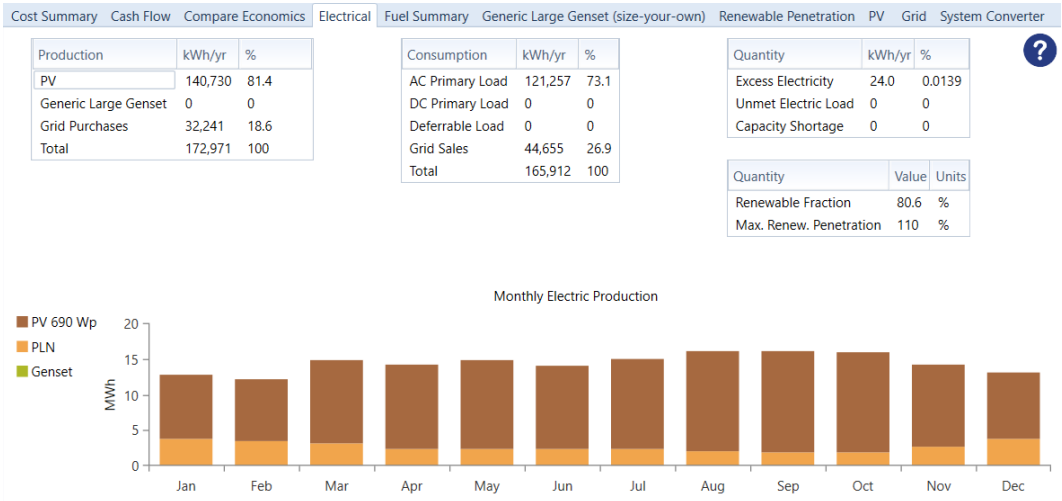
Gambar 5. Grafik *Performance Rasio* Hasil Simulasi PVsyst

Pemodelan pada HOMER Pro memproyeksikan profil produksi energi bulanan yang stabil. Produksi puncak terjadi pada Juni–September (musim kemarau) dan menurun pada Desember–Februari (musim hujan). Hasil simulasi menunjukkan PLTS mampu menyuplai kebutuhan pabrik sebesar 81,4% (140.730 kWh/tahun), sedangkan grid PLN menyuplai sisanya sebesar 18,6% (32.241 kWh/tahun). Nilai *Renewable Fraction* (RF) sebesar 80,6% mengonfirmasi pengurangan ketergantungan pada PLN secara signifikan.

Secara finansial, proyek dengan investasi awal (CAPEX) Rp820.470.778 dan biaya O&M tahunan Rp8.204.707 ini menghasilkan parameter ekonomi yang sangat kuat. Perbandingan kelayakan antara metode numerik manual dengan kedua perangkat lunak dirangkum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisis Kelayakan Teknis dan Finansial

Parameter	Perhitungan Numerik	PVsyst	HOMER Pro
Produksi Energi (kWh/Tahun)	122.399	124.061	172.971
Biaya O&M/Tahun	Rp 8.204.707	Rp 8.204.707	Rp 7.257.296
Biaya Energi (COE)/kWh	Rp 823	Rp 781	Rp 1.080
Net Present Value (NPV)	Rp1.130.095.006	Rp 1.223.690.088	Rp 109.411.700
Internal Rate of Return (IRR) (%)	14,29%	19,44%	8%
Payback Period (Tahun)	9 Tahun 1 Bulan	8 Tahun 9 Bulan	15 Tahun
Umur Proyek (Tahun)	20	20	20



Gambar 6. Grafik *Monthly Electric Production* Hasil Simulasi HOMER Pro

Berdasarkan Tabel 2, nilai NPV dari ketiga metode bernilai positif (NPV > 0) dan *Profitability Index* mencapai 2,4 (> 1). Simulasi PVsyst memberikan indikator kelayakan fotovoltaik murni paling optimal dengan COE terendah (Rp781/kWh) dan pengembalian modal tercepat (8 tahun 9 bulan). HOMER Pro menghasilkan COE lebih tinggi karena membebankan biaya operasional berkala dan bahan bakar genset cadangan. Namun, nilai IRR (14,29%–19,44%) secara akumulatif berada di atas tingkat suku bunga acuan bank (8,5%), sehingga proyek dinilai sangat layak dilaksanakan. Selain keuntungan ekonomi, analisis *Carbon Balance* pada PVsyst mencatat bahwa PLTS ini mampu mereduksi emisi sebesar 76,4 ton CO2 per tahun atau sekitar 1.528 ton CO2 selama 20 tahun umur proyek.

IV. KESIMPULAN

1. Penentuan kapasitas PLTS *Hybrid* pada Pabrik CV. Idlan Waranie Perkasa Makassar dilakukan berdasarkan analisis konsumsi energi harian sebesar 332,204 kWh/hari. Proses penentuan kapasitas sistem dilakukan melalui pendekatan perhitungan numerik serta simulasi menggunakan perangkat lunak (*Software*) PVsyst dan HOMER Pro. Berdasarkan hasil perbandingan ketiga metode tersebut, kapasitas sistem sebesar 74 kWp dinyatakan telah mencukupi untuk memenuhi kebutuhan energi beban secara andal, dengan hasil simulasi PVsyst digunakan sebagai acuan utama karena memberikan estimasi kinerja sistem yang paling representatif terhadap kondisi nyata.
2. Perancangan sistem PLTS *Hybrid* dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknis utama, meliputi tata letak panel surya, konfigurasi rangkaian, serta pemilihan komponen utama sistem. Penempatan panel surya dirancang pada area atap dengan sudut kemiringan sebesar 7,3° dan orientasi 180°, sedangkan konfigurasi inverter dengan kapasitas 70 kW disesuaikan dengan karakteristik beban dan hasil simulasi utama, sehingga sistem mampu beroperasi secara optimal.
3. Analisis teknis dan ekonomis menunjukkan bahwa sistem PLTS *hybrid* yang direncanakan layak untuk diimplementasikan pada Pabrik CV. Idlan Waranie Perkasa. Secara teknis, kapasitas sistem yang direncanakan (PV sekitar 74 kWp dengan inverter 70 kW) dinyatakan mencukupi untuk memenuhi kebutuhan energi beban harian pabrik sebesar 332,204 kWh/hari, dengan estimasi produksi energi tahunan hasil perhitungan dan simulasi berada pada kisaran 122.399–124.061 kWh/tahun dan kinerja sistem (*performance ratio*) sebesar 83,30%. Secara ekonomis, kelayakan investasi ditunjukkan oleh nilai NPV positif (Rp1.130.095.006), PI > 1 (2,4), IRR sebesar 14,29% yang lebih tinggi dari tingkat diskonto/acuan (8,5%), serta DPP sekitar 9,09 tahun yang lebih kecil dari umur proyek 20 tahun, sehingga investasi PLTS dinyatakan layak dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] International Energy Agency (IEA), *Renewables 2024: Analysis and Forecast to 2030*, Paris, France: IEA, 2024.

[2] A. M. Fathoni, N. A. Utama, and M. Kristianto, "A technical and economic potential of solar energy application with feed-in tariff policy in Indonesia," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 20, pp. 89–96, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.013.

[3] A. A. F. Husain, M. H. A. Phesal, M. Z. A. Ab Kadir, and U. A. Ungku Amirulddin, "Techno-economic analysis of commercial size grid-connected rooftop solar PV systems in Malaysia under the NEM 3.0 scheme," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 21, p. 10118, 2021, doi: 10.3390/app112110118.

[4] P. G. B. Jara, M. T. Castro, E. A. Esparcia, Jr., and J. D. Ocon, "Quantifying the techno-economic potential of grid-tied rooftop solar photovoltaics in the Philippine industrial sector," *Energies*, vol. 13, no. 19, p. 5070, 2020, doi: 10.3390/en13195070.

[5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2 Tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum*, Jakarta, 2024.

[6] M. Usman, M. T. Khan, A. S. Rana, and S. Ali, "Techno-economic analysis of hybrid solar-diesel-grid connected power generation system," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 653–662, 2018, doi: 10.1016/j.jesit.2017.06.002.

[7] S. O. Sanni, J. Y. Oricha, T. O. Oyewole, and F. I. Bawonda, "Analysis of backup power supply for unreliable grid using hybrid solar PV/diesel/biogas system," *Energy*, vol. 227, p. 120506, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120506.

[8] Asrori, A. F. Ramdhani, P. W. Nugroho, and I. H. Eryk, "Kajian kelayakan solar rooftop on-grid untuk kebutuhan listrik bengkel mesin di Polinema," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 10, no. 4, pp. 830–845, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i4.830.

[9] J. Windarta, E. W. Sinuraya, A. Z. Abidin, A. E. Setyawan, and Angghika, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis HOMER di SMA Negeri 6 Surakarta sebagai sekolah hemat energi dan ramah lingkungan," *Prosiding Seminar Nasional MIPA Kolaborasi*, vol. 2, no. 1, pp. 21–36, 2019.

[10] D. Ross-Hopley, L. Ugwu, and H. Ibrahim, "Review of techno-economic analysis studies using HOMER Pro software," *Engineering Proceedings*, vol. 76, no. 1, p. 94, 2024, doi: 10.3390/engproc2024076094.

[11] A. P. Galevien, M. K. Ridwan, and A. N. I. Wardana, "Assessing the viability of rooftop solar PV in energy-intensive industries: A techno-economic and safety framework for the Indonesian FMCG sector," *Energies*, vol. 18, no. 21, p. 5859, 2025, doi: 10.3390/en18215859.

[12] D. N. N. Putri, I. Kasim, A. Syatriawan, F. M. Rizanulhaq, T. Kartika, M. S. Widjaja, and N. Kurniawati, "Techno-economic of photovoltaic rooftop in Indonesia for commercial and residential customer," in *Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED)*, Sukabumi, Indonesia, 2020, doi: 10.1109/ICCED51276.2020.9415847.