

Optimalisasi Desain Sistem Photovoltaic untuk Elektrifikasi Sumur Minyak Terpencil Menggunakan PVsyst

M Zaky Zaim Muhtadi^{*a)}, Muhammad Mirza Naufal^{b)}, Pujiyanto^{a)}, Chalidia Nurin Hamdani^{a)}

(Received 9 Desember 2024 || Revised 12 Februari 2025 || Published 28 Februari 2025)

Abstract: Sustainable power management in remote oilfield operations faces significant challenges due to grid dependency. This study evaluates a photovoltaic microgeneration system implementation at PT XYZ's oilfield facility using PVsyst simulation software. The methodology incorporates site-specific parameters to optimize system configuration for grid integration. Results show that a 4-unit monocrystalline photovoltaic array, receiving annual Global Horizon irradiation of 2008.9 kWh/m² and Global effective irradiation of 1893.9 kWh/m², achieves 2446.3 kWh/year generation capacity with 1974.6 kWh/year available for consumption. This microgeneration system meets 53.3% of the facility's 3706.9 kWh annual demand, with a Performance Ratio of 0.619, demonstrating significant potential for remote oilfield applications. The system's performance indicates opportunities for enhancement through capacity expansion, smart grid integration, and implementation of advanced monitoring systems, offering a scalable model for similar remote facilities in the oil and gas sector.

Keywords: Photovoltaic, PVsyst, Oilfield, Microgeneration, Sustainability

1. Pendahuluan

Indonesia menghadapi peningkatan kebutuhan energi yang signifikan, dengan perkiraan rata-rata pertumbuhan mencapai 4,7% per tahun hingga 2030 [1]. Namun demikian, sekitar 89% dari kebutuhan energi ini masih bergantung dari bahan bakar fosil [2], ketergantungan ini menimbulkan dua masalah utama: sumber daya yang semakin menipis dan dampak negatif terhadap lingkungan. Mengingat urgensi pemenuhan kebutuhan energi yang terus meningkat dan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 [3], penggunaan energi terbarukan seperti energi surya, angin, panas bumi, dan biomassa menjadi solusi yang semakin relevan [4].

Listrik, sebagai salah satu bentuk energi yang paling fundamental dalam kehidupan modern, juga mengalami peningkatan kebutuhan. Proyeksi kebutuhan listrik di Indonesia diperkirakan akan tumbuh rata-rata 4,9% per tahun hingga tahun 2030, didorong oleh peningkatan penggunaan peralatan elektronik di berbagai sektor, mulai dari rumah tangga, lembaga pemerintah, hingga sektor industri [5], [6]. Salah satu sektor yang menghadapi tantangan khusus adalah industri migas, khususnya pada operasi sumur minyak terpencil seperti di PT. XYZ, yang mengalami peningkatan kebutuhan listrik setiap tahunnya akibat ekspansi infrastruktur dan fasilitas kerja. Lokasi yang jauh dari jaringan listrik utama (PLN) menimbulkan tantangan dalam khususnya untuk keandalan dan efisiensi pasokan listrik.

Indonesia memiliki sumber daya energi surya yang sangat melimpah, dengan rata-rata penyinaran matahari sebesar 4,8 kWh/m² setiap harinya [7]. Berdasarkan letak geografis, Indonesia mendapatkan paparan sinar matahari sepanjang tahun dengan lama penyinaran antara 6 hingga 8 jam setiap harinya. Potensi energi surya di Indonesia mencapai 3.294 GWp [8], jauh melebihi potensi sumber energi terbarukan lainnya. Sel surya atau panel surya merupakan salah satu teknologi yang dapat mengubah energi matahari menjadi listrik. Perangkat ini terbuat dari bahan semikonduktor dengan nilai celah/gap energi spesifik. Ketika energi foton yang datang melebihi celah energi tertentu, elektron pada pita valensi akan bergerak menuju pita konduksi, menghasilkan arus listrik. Efisiensi daya solar cell dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya radiasi matahari, temperatur solar cell, orientasi, sudut kemiringan, dan pengaruh bayangan [9].

Implementasi PLTS di Indonesia telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam berbagai konteks, mulai dari sistem on-grid

untuk layanan publik hingga aplikasi di daerah terpencil. Studi terbaru menunjukkan bahwa sistem PLTS on-grid dapat mencapai rasio performa hingga 83,64% dengan energi spesifik 1.754 kWh/kWp [10]. Sementara itu, integrasi sistem hibrida PLTS dengan sistem penyimpanan energi telah terbukti dapat menurunkan LCOE hingga \$0,431/kWh dibandingkan sistem berbasis diesel [11].

Penelitian tentang sel surya terus mengalami kemajuan, terutama dalam hal rekayasa material untuk meningkatkan efisiensinya. Perkembangan terbaru menunjukkan peningkatan efisiensi sel surya hingga 27,6% untuk sel surya silikon kristal tunggal [12], membuka peluang baru untuk implementasi yang lebih luas di Indonesia. Dengan penurunan biaya operasional pembangkit listrik tenaga surya sebesar 80% sejak 2015 [13], pengembangan energi surya menjadi semakin menjanjikan sebagai solusi energi masa depan Indonesia.

Optimalisasi sistem PLTS memerlukan analisis komprehensif terhadap berbagai parameter kinerja. Studi terbaru menunjukkan bahwa efektivitas sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti radiasi matahari, temperatur ambient, orientasi panel, sudut kemiringan, dan efek bayangan [14]. Simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst telah terbukti efektif dalam mengoptimalkan desain dan memprediksi kinerja sistem PLTS dengan mempertimbangkan parameter-parameter tersebut [15].

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi implementasi teknologi photovoltaic di berbagai konteks. Sebuah studi di asrama mahasiswa menunjukkan bahwa sistem PLTS menghasilkan energi sebesar 24,62 kWh per hari dengan rata-rata penyinaran matahari di kota Banjarmasin sebesar 4,43 kWh/m² per harinya [16]. Penelitian lain di SMA Negeri 6 Surakarta menemukan bahwa 4 unit panel surya sebesar 100 Wp dapat menghasilkan daya listrik sebesar 819 kWh per tahun periode balik modal 18 tahun [17].

Meskipun penelitian-penelitian diatas memberikan hasil yang baik, terdapat beberapa keterbatasan signifikan yang perlu diatasi. Pada penelitian sebelumnya berfokus pada implementasi di area perkotaan dengan akses jaringan listrik yang stabil, sementara implementasi di lokasi sumur minyak terpencil dengan karakteristik beban dan kondisi operasional yang spesifik belum dieksplorasi secara mendalam. Selain itu, penelitian yang ada juga umumnya menggunakan sistem off-grid dengan penyimpanan baterai, sedangkan optimasi untuk sistem on-grid di lokasi terpencil dan potensi integrasi dengan jaringan listrik PLN masih terbatas.

*Korespondensi: mzakym@gmail.com

a) Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, PEM Akamigas, Cepu, Indonesia
b) PT. Pertamina EP Cepu - Field Cepu, Indonesia

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah keterbatasan tersebut dengan mengembangkan metodologi optimasi berbasis simulasi PVSyst yang memperhitungkan karakteristik lokasi sumur minyak terpencil. Studi ini menyajikan analisis mengenai sistem hybrid yang memungkinkan peningkatan keandalan dan pengurangan biaya operasional. Selain itu, penelitian ini mengembangkan framework implementasi yang dapat diadaptasi untuk lokasi serupa dalam industri migas, dengan mempertimbangkan integrasi antara aspek teknis dan ekonomis dalam kerangka regulasi energi terbarukan terkini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membahas perancangan pemasangan sistem photovoltaic pada PT. XYZ menggunakan perangkat lunak PVSyst. Lokasi yang dianalisis merupakan sumur minyak yang terletak jauh dari pemukiman, dengan kebutuhan listrik yang spesifik untuk lampu, kipas angin, dan mengisi daya handphone. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya dengan kemampuan hybrid ke jaringan PLN, mendukung upaya nasional dalam diversifikasi sumber energi dan pengurangan emisi karbon di sektor migas

2. Isi Makalah

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi berbasis PVSyst untuk mengoptimalkan desain sistem photovoltaic di wilayah PT.XYZ. Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan database meteorologi Meteonorm 8.1 pada PVSyst yang menyediakan data time series per jam selama periode tahun 2016-2021. Data ini mencakup parameter penting seperti *Global horizontal irradiation* (GHI), *Diffuse horizontal irradiation* (DHI), dan *temperatur ambient* untuk lokasi geografis spesifik PT.XYZ.

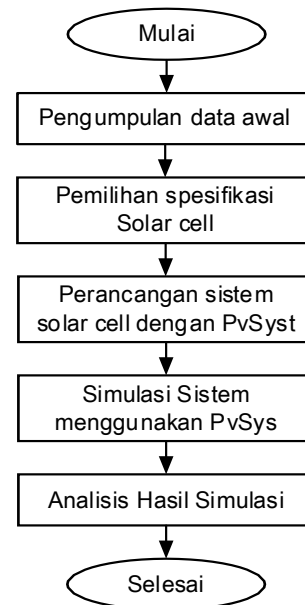
Pemilihan software PVSyst didasarkan pada kemampuannya dalam mensimulasikan kinerja sistem fotovoltaik dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi efisiensi solar cell, seperti radiasi matahari, temperatur, orientasi, dan sudut kemiringan panel surya [18], [19]. Hal ini sejalan dengan faktor-faktor yang telah disebutkan sebelumnya sebagai penentu efisiensi daya solar cell. Selanjutnya simulasi menggunakan beberapa asumsi dasar meliputi degradasi panel 0.5% per tahun, soiling loss 3% berdasarkan kondisi lokasi, temperature coefficient $-0.35\%/^{\circ}\text{C}$, dan mismatch losses 2%.

Dalam menentukan parameter desain sistem, penelitian ini mempertimbangkan karakteristik lokasi secara komprehensif. Analisis beban listrik didasarkan pada pencatatan konsumsi harian PT.XYZ selama 12 bulan terakhir, yang menunjukkan pola penggunaan spesifik untuk hari kerja dan hari libur, serta variasi beban musiman.

Seperti ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 2.1, penelitian dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis. Tahap pertama merupakan analisis preliminar / data awal yang mencakup evaluasi potensi radiasi matahari dan analisis pola konsumsi listrik. Dilanjutkan dengan pemilihan komponen, dimana modul PV dan inverter diseleksi berdasarkan efisiensi dan kompatibilitas. Optimasi konfigurasi sistem dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan antara 0° hingga 30° dengan interval 5° , dan azimuth dari -90° hingga $+90^{\circ}$ dengan interval 15° . Jarak antar panel dioptimasi antara 1m hingga 2m untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan lahan.

Simulasi sistem dilakukan dengan berbagai variasi parameter untuk menganalisis sensitivitas performa terhadap perubahan input. Hasil simulasi kemudian dievaluasi berdasarkan energi yang

dihasilkan, *losses* sistem, dan metrik ekonomi. Setiap tahapan menghasilkan *output* yang menjadi *input* untuk tahapan berikutnya, memastikan optimasi yang komprehensif dan hasil yang dapat diimplementasikan secara praktis.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak PVSyst memberikan wawasan menyeluruh mengenai potensi dan performa sistem photovoltaic yang direncanakan untuk PT XYZ. Analisis ini mencakup berbagai aspek penting yang memengaruhi efisiensi dan efektivitas sistem, seperti jalur matahari, kebutuhan beban listrik, karakteristik modul fotovoltaik, serta proyeksi output daya. Memahami faktor-faktor ini secara mendalam sangat krusial untuk mengoptimalkan desain sistem dan memaksimalkan manfaat energi terbarukan.

Simulasi ini tidak hanya mempertimbangkan kondisi geografis dan iklim spesifik lokasi PT.XYZ, tetapi juga memperhitungkan pola konsumsi listrik perusahaan. *Performance Ratio* (PR) sistem mencapai 0.619, yang sebenarnya masih di bawah benchmark industri yang umumnya mencapai 0.75-0.85 untuk sistem photovoltaic modern. Analisis losses berdasarkan hasil simulasi menunjukkan tiga komponen utama: Lu (*Unused Energy*) sebesar 0.7 kWh/kWp/day yang terjadi saat baterai penuh, Lc (*Collection loss*) pada photovoltaic array sebesar 1.13 kWh/kWp/day, dan Ls (*System loss*) sebesar 0.28 kWh/kWp/day pada sistem solar cell. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa pencapaian coverage 53,3% dan Performance Ratio 0.619 memang masih belum optimal jika dibandingkan dengan benchmark industri yang mencapai 0.75-0.85. Performa ini bisa ditingkatkan melalui optimasi teknis seperti penyesuaian sudut panel, dan peningkatan kapasitas storage. Sistem saat ini memenuhi 53,27% kebutuhan listrik tahunan, dengan total produksi 2446 kWh dan konsumsi pelanggan 1975 kWh dari total kebutuhan 3706.9 kWh. seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 berdasarkan hasil simulasi Pvsyst.

Main results			
System Production			
Available Energy	2446 kWh/year	Performance Ratio PR	61.92 %
Used Energy	1975 kWh/year	Solar Fraction SF	53.27 %
Excess (unused)	403 kWh/year		
Loss of Load			
Time Fraction	46.7 %	Battery aging (State of Wear)	
Missing Energy	1732 kWh/year	Cycles SOW	59.7 %
		Static SOW	90.0 %
		Battery lifetime	2.5 years

GAMBAR 3.1 HASIL PERHITUNGAN DARI PVSYST

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil penelitian ini (1975 kWh/tahun dari 4 unit panel) menunjukkan performa yang lebih baik dari studi di SMA Negeri 6 Surakarta yang menghasilkan 819 kWh/tahun dengan jumlah panel yang sama. Perbedaan signifikan ini dapat disebabkan oleh penggunaan teknologi modul photovoltaic yang lebih efisien (JA Solar JAM72-S03-395-PR jenis Monocrystalline) dan optimasi sistem yang lebih baik. Sementara itu, jika dibandingkan dengan studi di asrama mahasiswa yang menghasilkan energi sebesar 24,62 kWh per hari (sekitar 8986.3 kWh/tahun) dengan penyinaran matahari rata-rata 4,43 kWh/m² per hari di Banjarmasin, sistem ini memang menghasilkan output yang lebih rendah, namun hal ini wajar mengingat perbedaan skala sistem dan kondisi lingkungan yang berbeda. Berikut adalah rincian hasil simulasi yang dikelompokkan dalam beberapa kategori utama.

3.1 Lokasi

Citra satelit atau foto udara dari lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2. Area kerja yang ditandai dengan penanda merah menunjukkan lokasi potensial untuk pemasangan sistem photovoltaic (PV). Area lokasi berada pada koordinat -7.08°S, 111.41°E dengan elevasi 156 m. Parameter lokasi mencakup albedo permukaan 0.20 dan area instalasi berkisar 10 m². Pemilihan lokasi ini sangat strategis karena memiliki area terbuka yang cukup luas dan minim naungan dari pepohonan sekitar, sehingga memungkinkan panel surya mendapatkan paparan sinar matahari yang optimal. Akses menuju lokasi juga sudah tersedia melalui jalan yang berkelok menembus hutan, yang akan memudahkan proses transportasi dan instalasi peralatan sistem PV. Pemanfaatan energi surya di lokasi sumur minyak ini merupakan langkah positif dalam upaya mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam operasi industri migas.

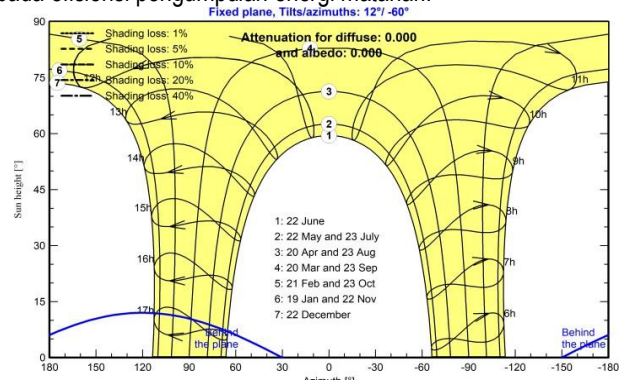


GAMBAR 3.2 LOKASI PENELITIAN

3.2 Jalur Matahari

Analisis jalur matahari dilakukan menggunakan diagram sunpath, yang menunjukkan pengaruh pergerakan matahari terhadap sistem solar cell. Hasil simulasi menampilkan kurva waktu orientasi satu solar cell yang dipasang menghadap ke barat

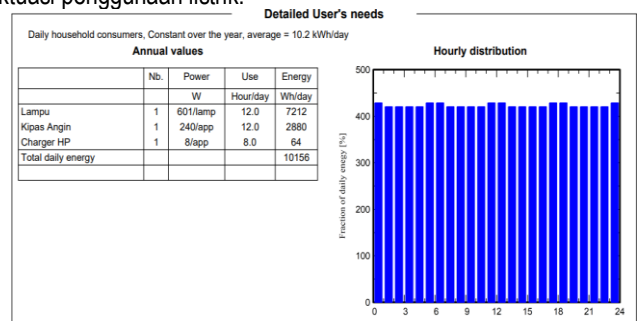
dengan kemiringan orientasi 12°/60°, seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa orientasi solar cell membelakangi matahari setelah pukul 17:00, yang berimplikasi pada efisiensi pengumpulan energi matahari.



GAMBAR 3.3 DIAGRAM SUN PATH

3.3 Data Beban Listrik

Beban listrik pada area PT.XYZ terdiri dari berbagai peralatan, termasuk lampu, kipas angin, dan charger HP. Berdasarkan proyeksi beban yang telah dilakukan, Area penelitian dari PT.XYZ mengonsumsi daya sebesar 10.156 kWh/hari atau 10.2 kWh/tahun. Gambar 3.4 menunjukkan grafik kebutuhan beban listrik dalam interval per jam selama satu hari penuh, memberikan gambaran fluks penggunaan listrik.



GAMBAR 3.4 GRAFIK DATA BEBAN

3.4 Karakteristik PV Module

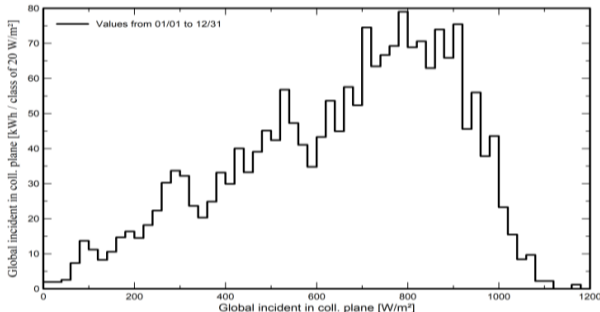
Perancangan sistem solar cell pada penelitian ini menggunakan photovoltaic merek JA Solar JAM72-S03-395-PR [20], jenis Monocrystalline yang memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan Polycrystalline. Hasil simulasi pada Gambar 3.5 menggunakan Software Pvsyst menunjukkan bahwa sistem dapat mengakomodasi 4 unit modul photovoltaic dalam 1 baris, dengan setiap unit menghasilkan 895 Wp. Sistem ini dilengkapi dengan baterai ZXESMR311 Lithium Ion Battery, berkapasitas 1000 Ah(C10) pada tegangan 48 V dan suhu operasi 20°C.

PV Array Characteristics			
PV module	JA solar	Battery	ZTE
Manufacturer	JA solar	Manufacturer	ZXESM R311 Lithium-ion Battery
Model	JAM72-S03-395-PR	Technology	Lithium-ion, LFP
(Original Pvsyst database)		Nb. of units	10 in parallel
Unit Nom. Power	395 Wp	Discharging min. SOC	10.0 %
Number of PV modules	4 units	Stored energy	43.8 kWh
Nominal (STC)	1580 Wp	Battery Peak Characteristics	
Modules	1 String x 4 in series	Voltage	48 V
At operating cond. (50°C)		Nominal Capacity	1000 Ah (C10)
Prmp	1438 Wp	Temperature	Fixed 20 °C
U mpp	147 V		
I mpp	9.8 A		
Controller		Battery Management control	
Universal controller	MPPT converter	Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp. coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter			
Max and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	1.58 kWp		
Total	4 modules		
Module area	8.0 m ²		
Cell area	7.2 m ²		

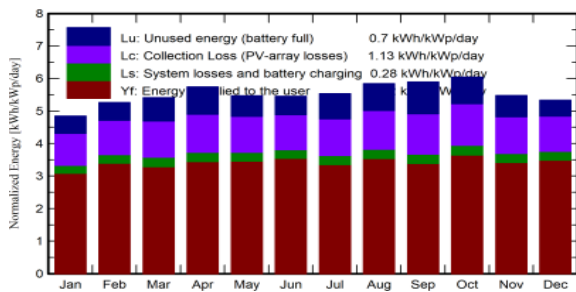
GAMBAR 3.5 PHOTOVOLTAIC MODULE

3.5 Hasil Simulasi Sistem Solar Cell

Grafik daya yang dikirimkan ke grid selama satu tahun ditunjukkan dalam Gambar 3.6. Daya tertinggi yang dicapai adalah 75 kWh pada iradiasi 810 W/m². Sistem solar cell yang hendak diimplementasikan adalah tipe *On Grid / Grid Connected*, yang memungkinkan aliran daya dua arah antara sistem solar cell dan jaringan listrik umum.



GAMBAR 3.6 DAYA YANG MENUJU GRID

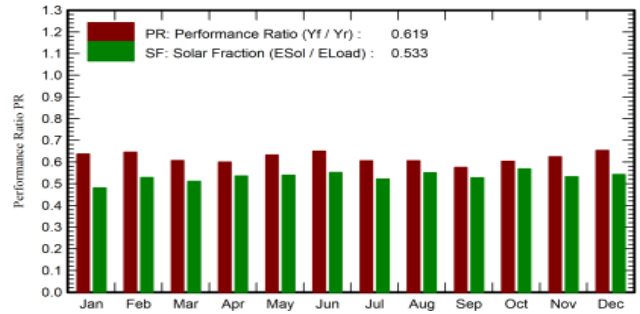


GAMBAR 3.7 HASIL DAYA DARI SISTEM SOLAR CELL

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan Gambar 3.7, analisis *losses* berdasarkan hasil simulasi menunjukkan tiga komponen utama, yaitu: *unused energy* (Lu) sebesar 0.7 kWh/kWp/day karena baterai penuh, *collection loss* (Lc) pada array sebesar 1.13 kWh/kWp/day, dan *system loss* (Ls) sebesar 0.28 kWh/kWp/day.

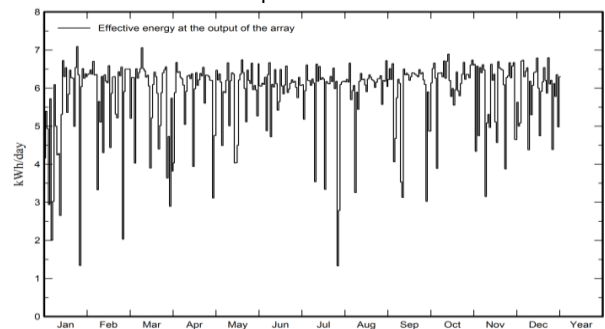
Selanjutnya adalah *Performance Ratio* (PR) sistem, yang menggambarkan efisiensi keseluruhan, mencapai 0.619 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8. PR ini merupakan rasio antara daya listrik AC yang dihasilkan dengan hasil perhitungan teoritis berdasarkan iradiasi yang diterima dan kapasitas pembangkit.

Hasil simulasi PVsyst yang diperoleh sejalan dengan studi serupa yang dilakukan oleh Karuniawan et al. [21], yaitu sistem PLTS atap dengan kapasitas yang sebanding (6,08 kWp) mampu menghasilkan PR 0,82 dengan produksi energi tahunan 9321 kWh/tahun. Hal ini mengkonfirmasi reliabilitas penggunaan PVsyst untuk analisis performa sistem PLTS pada kondisi iklim Indonesia.



GAMBAR 3.8 PERFORMANCE RATIO (PR)

Variasi *output* daya harian solar cell, yang dipengaruhi oleh perubahan cuaca sepanjang tahun, diperlihatkan pada Gambar 3.9. Selanjutnya, Tabel 3.1 merangkum *output* daya solar cell per bulan dalam satu tahun, dengan total iradiasi horizon global tahunan sebesar 2008.9 kWh/m², iradiasi efektif global tahunan 1893.9 kWh/m², daya listrik yang dihasilkan 2446.3 kWh, dan daya listrik yang digunakan pelanggan 1974.6 kWh. Sementara itu, total beban listrik tahunan mencapai 3706.9 kWh.



GAMBAR 3.9 DAYA HARIAN KELUARAN SOLAR CELL

Analisis berdasarkan hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sistem fotovoltaik yang dirancang mampu menghasilkan energi yang signifikan, namun masih belum mencukupi seluruh kebutuhan listrik PT.XYZ. *Performance Ratio* 0.619 dan *coverage* 53,3% yang dicapai menunjukkan hasil yang comparable dengan implementasi serupa di lokasi industri terpencil, meski masih ada ruang untuk optimasi. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di lokasi urban, sistem ini menunjukkan tantangan unik dalam hal maintenance dan efisiensi karena kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Untuk pengembangan ke depan, beberapa aspek yang perlu diteliti lebih lanjut meliputi: optimasi sistem tracking untuk meningkatkan penyerapan radiasi, integrasi dengan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien, dan pengembangan strategi monitoring untuk kondisi lokasi terpencil berbasis IoT. Penelitian ini memberikan landasan penting untuk implementasi teknologi photovoltaic di sektor migas, khususnya untuk lokasi-lokasi terpencil dengan karakteristik beban dan kondisi lingkungan yang spesifik.

TABEL 3.1 KELUARAN DAYA SOLAR CELL PER BULAN DALAM 1 TAHUN

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	Eunused kWh	E_Miss kWh	Euser kWh	E_load kWh
January	154,0	140,4	181,5	25,93	163,4	151,4	314,8
February	149,5	137,5	179,1	24,00	134,1	150,3	284,4
March	167,6	157,7	202,9	35,23	153,8	1610	314,8
April	169,3	162,2	200,4	30,72	141,3	163,4	304,7
May	162,9	159,1	206,5	30,99	145,1	1697	314,8

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	Eunused kWh	E_Miss kWh	Euser kWh	E_load kWh
June	155,8	153,3	200,3	26,90	136,6	168,1	304,7
July	163,2	160,7	208,5	38,04	150,5	164,4	314,8
August	176,3	170,4	220,4	40,56	141,2	173,6	354,8
September	177,2	166,4	213,2	46,15	143,9	100,7	304,3
October	190,5	176,8	225,6	40,22	135,9	178,9	354,8
November	169,6	154,4	198,5	30,89	142,5	162,2	304,7
December	172,0	154,6	200,4	24,02	143,9	170,9	354,8
Year	2008,9	1893,5	2446,3	402,71	1732,3	1974,6	3706,9

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa desain sistem solar cell untuk PT.XYZ, yang dikembangkan menggunakan perangkat lunak Pvsyst, terdiri dari empat unit panel surya monocrystalline yang tersusun dalam satu deretan. Studi iradiasi matahari menunjukkan bahwa Iradiasi Horizon Global tahunan mencapai 2008.9 kWh/m², sementara Iradiasi Global Efektif tercatat sebesar 1893.9 kWh/m². Sistem yang dirancang ini mampu menghasilkan energi listrik sebanyak 2446.3 kWh per tahun, dengan 1974.6 kWh/tahun tersedia untuk konsumsi pelanggan. Sementara itu, total kebutuhan energi listrik PT.XYZ selama setahun adalah 3706.9 kWh. Dengan demikian, sistem solar cell yang diusulkan dapat mencukupi sekitar 53,3% dari keseluruhan kebutuhan listrik tahunan perusahaan. Pencapaian *Performance Ratio* 0.619, meski masih di bawah benchmark industri, menunjukkan potensi implementasi sistem serupa di lokasi industri migas terpencil lainnya. Untuk pengembangan ke depan, penelitian dapat difokuskan pada optimasi sistem tracking, integrasi penyimpanan energi yang lebih efisien, dan pengembangan sistem monitoring berbasis IoT untuk meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.

Referensi

- [1] Dinita Setyawati and Dody Setiawan, "Indonesia's expansion of clean power can spur growth and equality," Ember Climate, London, UK, 2023.
- [2] K. Fanda, "Analysing the Renewable Energy Transition in Indonesia: An Examination Through the Actors, Objectives, and Context Framework," University of Twente, 2024.
- [3] N. Reyseliani, A. Hidayatno, and W. W. Purwanto, "Implication of the Paris agreement target on Indonesia electricity sector transition to 2050 using TIMES model," *Energy Policy*, vol. 169, p. 113184, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.enpol.2022.113184.
- [4] S. Azis, "Pemetaan Potensi Energi Terbarukan Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Menuju Indonesia Terang Tahun 2019," *Prosiding SENIATI*, vol. 3, no. 2, pp. E28-1, 2017.
- [5] Mario Simanjuntak, "Indonesia - Country Commercial Guide," International Trade Administration U.S. Department of Commerce, 2024.
- [6] S. Johan and A. M. Ginting, "Determinasi Konsumsi Listrik di Indonesia," *media ekon.*, vol. 30, no. 1, pp. 106–117, Sep. 2022, doi: 10.25105/me.v30i1.10662.
- [7] F. Afif and A. Martin, "Tinjauan potensi Dan Kebijakan energi surya di Indonesia," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022.
- [8] A. Kharisma, S. Pinandita, and A. E. Jayanti, "Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik," *J. En. Baru & Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 145–154, Jul. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23956.
- [9] Y. H. Anoi, A. Yani, and Y. W., "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *Turbo*, vol. 8, no. 2, Jul. 2020, doi: 10.24127/trb.v8i2.1051.
- [10] Argo Tri Winnarni and Risse Entikaria Rachmanita, "Perancangan dan Analisis Tekno Ekonomi PLTS On-Grid System sebagai Supply Energi Listrik Masjid Al-Istiqamah Politeknik Negeri Jember," *elposys*, vol. 11, no. 3, pp. 145–150, Oct. 2024, doi: 10.33795/elposys.v11i3.4609.
- [11] A. Yogasara, R. Maulana, and T. W. Adi, "Analisis Teknis dan Keekonomian Sistem Hibrida Pada Pelayanan Kelistrikan Pulau Rhun," *elposys*, vol. 11, no. 3, pp. 201–206, Oct. 2024, doi: 10.33795/elposys.v11i3.6289.
- [12] A. S. Thomas, "A Review on Antimony-based Perovskite Solar Cells," *equilibrium*, vol. 6, no. 2, p. 75, Oct. 2022, doi: 10.20961/equilibrium.v6i2.64322.
- [13] Ekonid Insight, "In decentralizing energy in Indonesia, future of solar power remains bright," *www.indonesien.ahk.de*, 2022.
- [14] A. Shrivastava, R. Sharma, M. Kumar Saxena, V. Shanmugasundaram, M. Lal Rinawa, and Ankit, "Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYSY," *Materials Today: Proceedings*, vol. 80, pp. 3385–3392, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.258.
- [15] M. S. Endiz and A. E. Coşgun, "Assessing the potential of solar power generation in Turkey: A PESTLE analysis and comparative study of promising regions using PVsyst software," *Solar Energy*, vol. 266, p. 112153, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.112153.
- [16] Y. Perdana, I. Wardiah, and E. Yohanes, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya ongrid 5500 watt di rumah kost akademi," presented at the Seminar Nasional Riset Terapan, 2018, pp. A63–A70.
- [17] J. Windarta, E. W. Sinuraya, A. Z. Abidin, A. E. Setyawati, and A. Angghika, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Berbasis Homer Di Sma Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan," presented at the Prosiding Seminar Nasional MIPA Kolaborasi, 2020, pp. 21–36.
- [18] E. A. Karuniawan, "Analisis perangkat lunak PVSYSY, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic," *Jurnal Teknologi Elektro Universitas Mercubuana*, vol. 12, no. 3, pp. 100–105, 2021.
- [19] S. Hermawan and L. Nurpulaela, "Penilaian Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terhadap Variabilitas Cuaca : Simulasi PVsyst," vol. 10, no. 1, 2024.
- [20] JAM72-S03, "Data sheet JA Solar." JASolar, 2018.

- [21] E. A. Karuniawan, F. A. F. Sugiono, and P. D. Larasati, "Analisis potensi daya listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang dengan perangkat lunak PVSyst," *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, vol. 4, no. 2, 2023.