E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3051-3062
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Perancangan Sistem Fotovoltaik Atap *On-Grid* dan Analisis Kelayakan Finansial Berdasarkan Luas Atap yang Tersedia pada Gedung PLN UID S2JB

Michael Solafide Siahaan[1], Zainal Airifin[2]

[1,2]Magister Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Indonesia, Jl. Lebak Bulus Tengah No. 5, Jakarta Selatan, Jakarta
e-mail: mikesolafide.ms@gmail.com

Abstrak

Peningkatan kebutuhan listrik dan transisi menuju energi terbarukan mendorong penerapan sistem fotovoltaik (PV) atap pada gedung komersial. Penelitian ini bertujuan merancang sistem PV atap *on-grid* berdasarkan luas atap yang tersedia pada gedung kantor PT PLN (Persero) UID S2JB serta mengevaluasi kelayakan teknis dan finansialnya. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan simulasi PVsyst untuk analisis teknis dan metode *Discounted Cash Flow* (DCF) untuk evaluasi finansial. Sistem dirancang menurut luas atap efektif dan disimulasikan untuk memperkirakan produksi energi tahunan, kinerja sistem, dan rugi energi. Kelayakan finansial dinilai dengan nilai kini bersih (NPV), tingkat pengembalian internal (IRR), rasio manfaat terhadap biaya (BCR), dan periode pengembalian sederhana (SPP), sedangkan analisis sensitivitas dilakukan terhadap harga jual listrik. Hasil menunjukkan kapasitas terpasang sebesar 103,68 kWp dengan produksi listrik sekitar 141,30 MWh per tahun dan rasio kinerja (PR) sebesar 81,38%. Analisis finansial menunjukkan bahwa proyek mencapai kriteria kelayakan minimum dengan NPV pada titik impas, IRR sebesar 8%, BCR sebesar 1,00, dan SPP sebesar 10,67 tahun. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa harga jual listrik berpengaruh besar terhadap profitabilitas proyek. Dengan demikian, kerangka yang diusulkan dapat menjadi pendekatan praktis untuk mengevaluasi penerapan PV atap pada gedung komersial di Indonesia.

Kata kunci: *PV atap, sistem on-grid, PVsyst, kelayakan finansial, rasio kinerja*

Abstract

The increasing demand for electricity and the transition toward renewable energy have encouraged the implementation of rooftop photovoltaic (PV) systems in commercial buildings. This study aimed to design an on-grid rooftop PV system based on the available rooftop area

of the PT PLN (Persero) UID S2JB office building and to evaluate its technical and financial feasibility. The study employed a quantitative approach, integrating PVsyst simulation for the technical analysis and the Discounted Cash Flow (DCF) method for the financial evaluation. The system was designed according to the effective rooftop area and simulated to estimate annual energy production, system performance, and energy losses. Financial feasibility was assessed using net present value (NPV), internal rate of return (IRR), benefit-cost ratio (BCR), and simple payback period (SPP), while a sensitivity analysis was conducted on the electricity selling price. The results showed an installed capacity of 103.68 kWp, an annual electricity production of approximately 141.30 MWh, and a performance ratio (PR) of 81.38%. The financial analysis showed that the project reached the minimum feasibility criteria, with a break-even NPV, an IRR of 8%, a BCR of 1.00, and an SPP of 10.67 years. The sensitivity analysis showed that the electricity selling price strongly affected project profitability. Therefore, the proposed framework offers a practical approach for evaluating rooftop PV implementation in commercial buildings in Indonesia.

Keywords: *rooftop photovoltaic, on-grid system, PVsyst, financial feasibility, performance ratio*

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan listrik global dan komitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca telah mempercepat penerapan teknologi energi terbarukan, terutama sistem fotovoltaik (PV) surya. Di antara berbagai sumber energi terbarukan, PV atap menjadi salah satu solusi yang menjanjikan karena memanfaatkan infrastruktur bangunan yang sudah ada tanpa memerlukan lahan tambahan sekaligus mengurangi ketergantungan pada pembangkitan listrik berbahan bakar fosil (International Energy Agency, 2023; REN21, 2023). Indonesia yang berada di wilayah tropis dengan iradiasi surya yang melimpah sepanjang tahun memiliki potensi besar untuk penerapan PV atap pada bangunan hunian, komersial, dan pemerintah. Optimalisasi aset atap bangunan karenanya menjadi strategi penting untuk mendukung transisi energi nasional dan meningkatkan efisiensi energi pada sektor bangunan (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2024; Quaschning, 2016).

Gedung perkantoran termasuk konsumen listrik terbesar karena sistem pencahayaan, pendingin udara, peralatan kantor, dan infrastruktur teknologi informasi beroperasi secara terus-menerus. Pemasangan PV atap pada gedung perkantoran dapat mengurangi konsumsi listrik dari jaringan secara signifikan dan meningkatkan keberlanjutan operasional. Kinerja teknis PV atap dipengaruhi oleh iradiasi surya, orientasi modul, kondisi bayangan, konfigurasi inverter, dan rugi-rugi sistem (PVsyst SA, 2023), sehingga perancangan teknis yang akurat

diperlukan untuk memaksimalkan produksi energi tahunan dan menjamin keandalan sistem dalam jangka panjang.

Sejumlah penelitian telah mengkaji kelayakan teknis dan ekonomi PV atap. Luthander et al. (2015) mengulas swakonsumsi PV pada bangunan dan menyimpulkan bahwa efektivitas PV atap sangat bergantung pada keselarasan antara pembangkitan PV dan profil beban bangunan. Javed et al. (2020) melakukan penilaian tekno-ekonomi sistem PV dengan penyimpanan baterai dan menemukan bahwa kapasitas sistem yang optimal bervariasi menurut kebutuhan listrik, tarif listrik, dan biaya investasi. Palop et al. (2023) menganalisis berbagai mekanisme *net metering* dan *net billing* dan melaporkan bahwa kompensasi ekspor listrik berpengaruh besar terhadap profitabilitas proyek. Di Indonesia, Iriyanto et al. (2022) mengevaluasi penerapan PV atap pada gedung komersial dan menunjukkan bahwa pemasangan PV dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya listrik. Namun, penelitian tersebut umumnya menentukan kapasitas PV berdasarkan profil beban listrik atau optimalisasi swakonsumsi, sedangkan kelayakan finansialnya dievaluasi menggunakan tarif listrik yang telah ditetapkan atau mekanisme kompensasi ekspor yang berlaku.

Terdapat beberapa celah penelitian. Pertama, penelitian yang menentukan kapasitas PV terpasang langsung dari luas atap yang tersedia sebagai parameter utama perancangan masih terbatas. Kedua, sebagian besar analisis kelayakan finansial hanya menilai apakah proyek layak pada harga listrik yang berlaku tanpa menentukan harga jual listrik minimum yang diperlukan agar investasi layak. Ketiga, penelitian terdahulu jarang mengintegrasikan optimalisasi luas atap, simulasi teknis, dan analisis finansial iteratif dalam satu kerangka pendukung keputusan. Akibatnya, investor dan pembuat kebijakan belum memiliki panduan praktis mengenai harga ekspor listrik minimum yang diperlukan agar investasi PV atap layak secara finansial pada kondisi Indonesia. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi penentuan kapasitas berbasis luas atap, simulasi teknis PV, dan optimalisasi finansial iteratif untuk memperkirakan harga jual minimum energi surya yang diekspor.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem PV atap *on-grid* berdasarkan luas atap yang tersedia pada gedung kantor PT PLN (Persero) UID S2JB, mengevaluasi kinerja teknis dan produksi energinya melalui simulasi PVsyst, serta mengevaluasi kelayakan finansialnya melalui analisis NPV, IRR, BCR, dan periode pengembalian. Selain itu, penelitian ini menentukan harga jual listrik minimum yang diekspor ke jaringan PLN agar kriteria kelayakan (NPV ≥ 0) terpenuhi, yaitu harga titik impas investasi PV atap yang diusulkan.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk merancang dan mengevaluasi sistem PV atap *on-grid* pada gedung kantor PT PLN (Persero) UID S2JB. Penelitian terdiri atas empat tahap, yaitu penilaian potensi atap, perancangan sistem PV, simulasi kinerja teknis, dan analisis kelayakan finansial.

Data Penelitian

Data primer berupa luas atap yang tersedia, profil beban bangunan, dan kondisi lokasi. Data sekunder berupa iradiasi surya, data meteorologi, spesifikasi modul PV dan inverter, tarif listrik, biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), serta parameter finansial.

Perancangan dan Simulasi Teknis

Kapasitas PV terpasang ditentukan berdasarkan luas atap efektif. Konfigurasi sistem dirancang dan disimulasikan menggunakan PVsyst (PVsyst SA, 2023) untuk memperkirakan produksi energi tahunan, rasio kinerja (*performance ratio*, PR), energi yang disalurkan ke jaringan, dan rugi energi. Hasil simulasi digunakan sebagai masukan analisis finansial. PR di atas 80% dijadikan indikasi sistem yang dirancang dengan baik.

Analisis Finansial

Kinerja finansial dinilai menggunakan simulasi HOMER Pro untuk memperoleh biaya sekarang bersih (*net present cost*, NPC) dan biaya energi yang dinormalisasi (*levelized cost of energy*, LCOE), serta analisis *Discounted Cash Flow* (DCF) untuk menghitung NPV, IRR, BCR, dan SPP. Umur proyek ditetapkan 25 tahun dengan tingkat diskonto 8%. Analisis arus kas iteratif menggunakan fitur *Goal Seek* pada Microsoft Excel untuk menentukan harga jual listrik minimum yang diekspor ke jaringan PLN agar NPV ≥ 0. Harga jual dasar yang diperoleh sebesar Rp740/kWh.

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah harga jual listrik sebesar -20%, -10%, $+10\%$, dan $+20\%$ dari harga dasar. Kriteria kelayakan yang digunakan adalah NPV ≥ 0, IRR $\geq$ tingkat diskonto (8%), BCR ≥ 1, dan SPP lebih kecil daripada umur proyek (25 tahun) (Brealey et al., 2020).

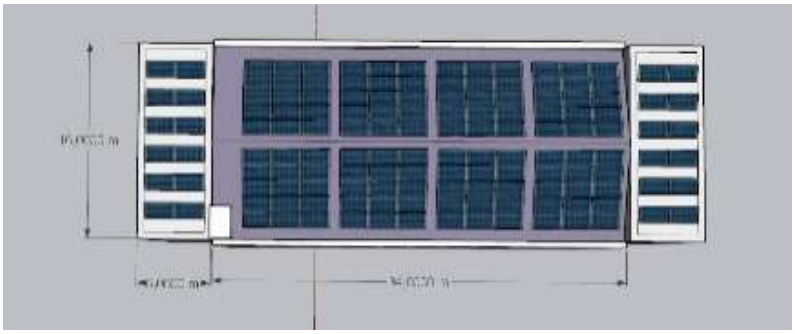
HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Sistem PV Atap

Luas atap gedung kantor PT PLN (Persero) UID S2JB dinilai untuk menentukan kapasitas optimal sistem PV *on-grid*, dengan luas atap efektif sebagai parameter utama perancangan dan mempertimbangkan struktur bangunan serta kendala pemasangan. Sistem yang

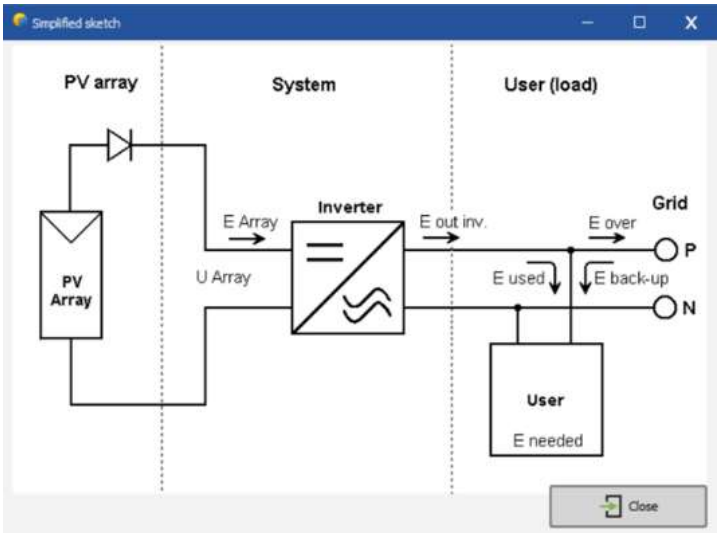
E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3051-3062
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

dirancang memiliki kapasitas terpasang 103,68 kWp yang terdiri atas modul PV yang terhubung ke inverter terhubung jaringan sesuai desain kelistrikan dari PVsyst. Tata letak PV atap disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tata letak PV atap gedung PLN UID S2JB

Diagram satu garis hasil PVsyst yang disajikan pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara larik PV, inverter, perangkat proteksi, dan jaringan listrik. Konfigurasi tersebut memungkinkan listrik yang dihasilkan PV memasok beban bangunan dan mengekspor kelebihan energi ke jaringan PLN ketika pembangkitan melebihi kebutuhan.



Gambar 2. Diagram satu garis sistem PV *on-grid* yang diusulkan

Simulasi menghasilkan perkiraan produksi listrik tahunan sebesar 141,30 MWh. Produksi listrik bulanan bervariasi menurut iradiasi surya musiman, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3051-3062
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Tabel 1. Hasil produksi energi bulanan

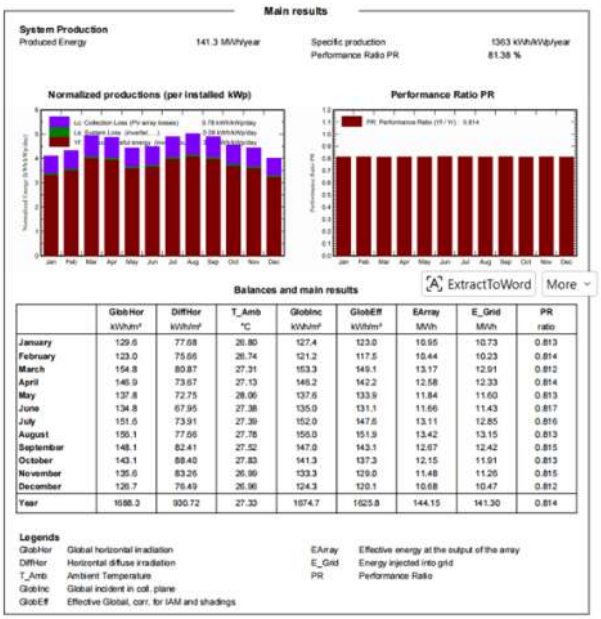
Bulan	Iradiansi efektif (kWh/m^2)	Energi larik (MWh)	Energi tersalur ke jaringan (MWh)	Rasio kinerja (PR)
Januari	123,0	10,95	10,73	0,813
Februari	117,5	10,44	10,23	0,814
Maret	149,1	13,17	12,91	0,812
April	142,2	12,58	12,33	0,814
Mei	133,9	11,84	11,60	0,813
Juni	131,1	11,66	11,43	0,817
Juli	147,6	13,11	12,85	0,816
Agustus	151,9	13,42	13,15	0,813
September	143,1	12,67	12,42	0,815
Oktober	137,3	12,15	11,91	0,813
November	129,0	11,48	11,26	0,815
Desember	120,1	10,68	10,47	0,812
Total/tahun	1625,8	144,15	141,30	0,814

Kinerja Teknis

Kinerja teknis sistem dievaluasi menggunakan PVsyst. Simulasi menghasilkan PR rata-rata 81,38% dengan nilai bulanan antara 81,2% dan 81,7% sepanjang tahun, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. PR bulanan relatif konstan walaupun iradiasi surya dan suhu lingkungan bervariasi secara musiman.

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258

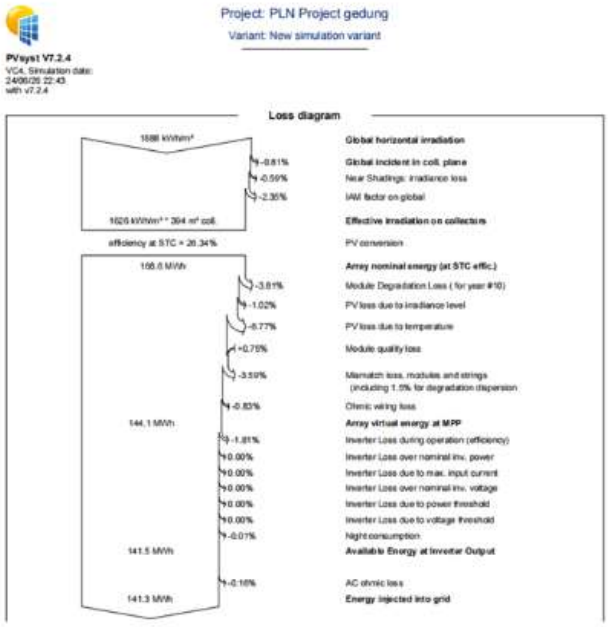
Halaman 3051-3062
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026



	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	129.6	77.68	26.80	127.4	123.0	10.95	10.73	0.813
February	123.0	75.66	26.74	121.2	117.5	10.44	10.23	0.814
March	154.8	80.87	27.31	153.3	149.1	13.17	12.91	0.812
April	146.9	73.67	27.13	146.2	142.2	12.58	12.33	0.814
May	137.8	72.75	28.06	137.6	133.9	11.84	11.60	0.813
June	134.8	67.95	27.38	135.0	131.1	11.66	11.43	0.817
July	151.6	73.91	27.39	152.0	147.6	13.11	12.85	0.816
August	150.1	77.66	27.78	155.0	151.0	13.42	13.15	0.813
September	148.1	82.41	27.52	147.8	143.1	12.67	12.42	0.815
October	143.1	88.40	27.83	141.3	137.3	12.15	11.91	0.813
November	135.6	83.26	26.99	133.3	129.0	11.48	11.26	0.815
December	126.7	76.49	26.96	124.3	120.1	10.68	10.47	0.812
Year	1686.3	930.72	27.33	1674.7	1625.8	144.15	141.30	0.814

Gambar 3. Rasio kinerja (PR) bulanan

Diagram rugi dari PVsyst pada Gambar 4 menunjukkan proses konversi energi dari radiasi surya yang datang hingga listrik yang disalurkan ke jaringan. Rincian setiap jenis rugi energi disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Diagram rugi PVsyst

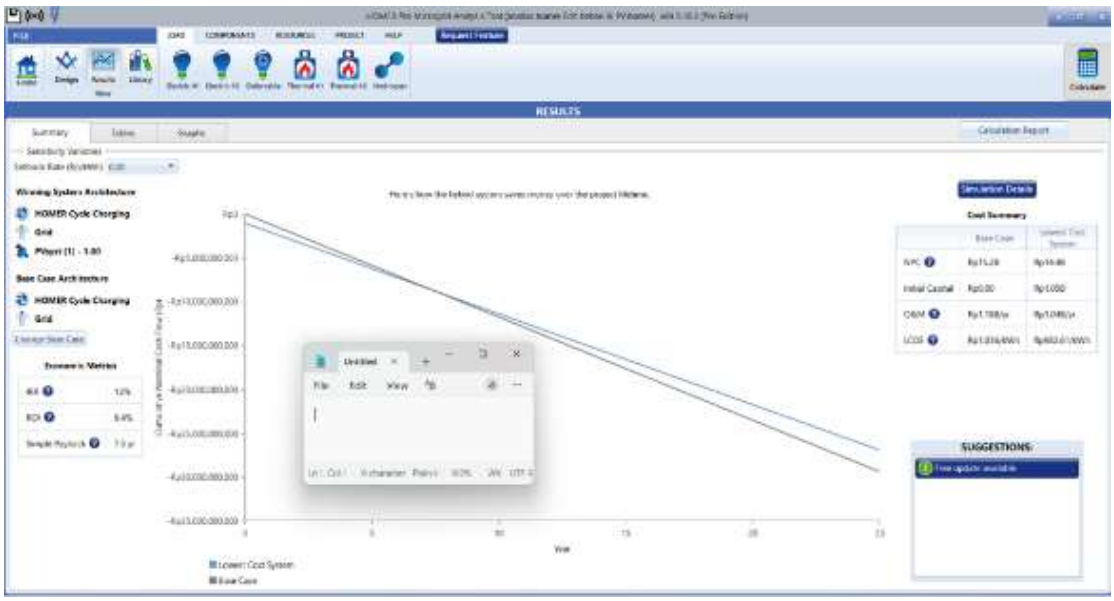
Tabel 2. Ringkasan rugi energi sistem

Jenis rugi energi	Nilai
Bayangan dekat	0,59%
Pengubah sudut datang (IAM)	2,35%
Degradasi modul	3,81%
Rugi suhu modul	6,77%
Ketidakcocokan modul dan string	3,59%
Tingkat iradiansi	1,02%
Rugi kabel DC	0,83%
Rugi efisiensi inverter	1,81%
Rugi kabel AC	0,16%

Rugi suhu modul (6,77%) merupakan kontributor terbesar, diikuti degradasi modul (3,81%), ketidakcocokan modul dan *string* (3,59%), pengubah sudut datang (2,35%), tingkat iradiansi (1,02%), dan rugi kabel DC (0,83%). Rugi konversi inverter (1,81%), rugi kabel AC (0,16%), dan bayangan dekat (0,59%) relatif kecil.

Kelayakan Finansial

Kinerja finansial sistem dinilai menggunakan simulasi HOMER Pro dan analisis DCF. Proyek memerlukan investasi awal sebesar Rp1,047 miliar dengan umur proyek 25 tahun dan tingkat diskonto 8%. Simulasi HOMER Pro menghasilkan NPC sekitar Rp14,4 miliar dan LCOE sebesar Rp982,61/kWh, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 3.



Gambar 5. Hasil simulasi finansial HOMER Pro

Tabel 3. Parameter finansial hasil simulasi HOMER Pro

Parameter	Nilai
NPC	Rp14,4 miliar
Modal awal	Rp1,05 miliar
O&M	Rp1,04 juta/tahun
LCOE	Rp982,61/kWh
IRR	13%
ROI	9,4%
Periode pengembalian sederhana	7,5 tahun

Kelayakan investasi selanjutnya dievaluasi menggunakan empat indikator finansial pada Tabel 4. Proyek mencapai NPV pada titik impas, IRR sebesar 8%, BCR sebesar 1,00, dan SPP sebesar 10,67 tahun. Karena umur proyek 25 tahun, investasi dapat kembali sepenuhnya sebelum akhir proyek sehingga tersisa sekitar 14 tahun operasi tambahan yang menghasilkan manfaat ekonomi.

Tabel 4. Indikator kelayakan finansial

Indikator	Hasil penelitian	Kriteria kelayakan	Interpretasi	Status
Nilai kini bersih (NPV)	Rp0	NPV ≥ 0	Nilai kini manfaat sama dengan biaya investasi (titik impas).	Layak (ambang minimum)
Tingkat pengembalian internal (IRR)	8,00%	IRR ≥ tingkat diskonto (8%)	Tingkat pengembalian sama dengan tingkat diskonto.	Layak (ambang minimum)
Rasio manfaat terhadap biaya (BCR)	1,00	BCR ≥ 1	Nilai kini manfaat sama dengan biaya investasi.	Layak (ambang minimum)
Periode pengembalian sederhana (SPP)	10,67 tahun	SPP < umur proyek (25 tahun)	Investasi kembali sebelum akhir umur proyek.	Layak

Analisis sensitivitas terhadap harga jual listrik disajikan pada Tabel 5. Penurunan harga jual menghasilkan NPV negatif dan BCR di bawah satu, sedangkan kenaikan harga jual menghasilkan NPV positif dan IRR yang lebih tinggi. Harga jual listrik merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap profitabilitas proyek.

Tabel 5. Analisis sensitivitas harga jual listrik

Skenario	Harga jual listrik (Rp/kWh)	NPV	IRR	BCR	Status
−20%	592	Negatif	< 8%	< 1,00	Tidak layak
−10%	666	Negatif	< 8%	< 1,00	Tidak layak
Kasus dasar	740	0	8%	1,00	Titik impas
+10%	814	Positif	> 8%	> 1,00	Layak
+20%	888	Lebih positif	Lebih tinggi	> 1,00	Sangat layak

Pembahasan

Perancangan PV atap berdasarkan luas atap yang tersedia menghasilkan sistem 103,68 kWp dengan produksi sekitar 141,30 MWh per tahun, yang menunjukkan potensi energi surya yang cukup besar pada gedung PT PLN (Persero) UID S2JB. PR rata-rata 81,38% menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efisien pada kondisi iklim tropis Palembang karena berada di atas 80%, yang umumnya dipandang sebagai indikasi sistem yang dirancang dengan baik.

Rugi suhu modul yang dominan sesuai dengan kondisi iklim Palembang yang bersuhu lingkungan tinggi sepanjang tahun. Suhu modul yang tinggi menurunkan efisiensi konversi fotovoltaik dan karenanya menurunkan produksi listrik (Quaschning, 2016). Di sisi lain, rugi kelistrikan yang relatif kecil menunjukkan bahwa konfigurasi inverter dan jaringan kabel telah dirancang dengan baik.

Secara finansial, proyek memenuhi kriteria kelayakan minimum pada harga jual dasar Rp740/kWh, yaitu NPV titik impas, IRR sama dengan tingkat diskonto, BCR 1,00, dan SPP yang jauh lebih pendek daripada umur proyek. Analisis sensitivitas menegaskan bahwa harga jual listrik menentukan kelayakan proyek, sejalan dengan laporan Palop et al. (2023) bahwa kompensasi ekspor listrik berpengaruh besar terhadap profitabilitas dan dengan temuan Javed et al. (2020) bahwa tarif listrik dan biaya investasi memengaruhi kelayakan tekno-ekonomi. Berbeda dengan Iriyanto et al. (2022) yang menunjukkan bahwa PV atap pada gedung komersial dapat mengurangi biaya listrik, penelitian ini menunjukkan kelayakan hanya pada ambang minimum. Perbedaan tersebut kemungkinan berkaitan dengan asumsi tarif dan penentuan kapasitas yang berbasis luas atap, bukan berbasis profil beban atau swakonsumsi seperti pada Luthander et al. (2015).

Indikator pada Tabel 3 (IRR 13%, ROI 9,4%, dan periode pengembalian sederhana 7,5 tahun) berbeda dengan indikator pada Tabel 4 (IRR 8% dan SPP 10,67 tahun). Perbedaan ini terjadi karena Tabel 3 merupakan keluaran simulasi HOMER Pro, sedangkan Tabel 4 dihitung

dengan analisis DCF pada harga jual titik impas, sehingga basis perhitungan dan asumsi keduanya perlu dibedakan saat menafsirkan hasil.

Implikasinya, kerangka yang mengintegrasikan perancangan berbasis luas atap, simulasi teknis PVsyst, dan analisis kelayakan finansial dapat menjadi panduan bagi insinyur, investor, dan pembuat kebijakan. Mekanisme tarif ekspor yang mendukung diperlukan agar PV atap pada gedung komersial dan publik layak secara ekonomi.

Penelitian ini memiliki keterbatasan. Studi dilakukan pada satu gedung dan satu lokasi sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi. Hasil teknis berasal dari simulasi tanpa validasi pengukuran lapangan. Analisis sensitivitas hanya mencakup harga jual listrik dengan tingkat diskonto dan biaya investasi yang tetap.

SIMPULAN

Sistem PV atap *on-grid* pada gedung kantor PT PLN (Persero) UID S2JB berdasarkan luas atap yang tersedia memiliki kapasitas terpasang 103,68 kWp dan diperkirakan menghasilkan sekitar 141,30 MWh listrik per tahun dengan PR 81,38%. Secara finansial, proyek memenuhi kriteria kelayakan minimum dengan NPV titik impas, IRR 8%, BCR 1,00, dan SPP 10,67 tahun, lebih pendek daripada umur proyek 25 tahun. Harga jual listrik berpengaruh besar terhadap profitabilitas, dengan kenaikan harga jual meningkatkan NPV, IRR, dan BCR.

Pengelola gedung dan pembuat kebijakan disarankan memastikan harga jual atau tarif ekspor listrik tidak berada di bawah harga titik impas sebesar Rp740/kWh. Peneliti selanjutnya disarankan menambahkan analisis sensitivitas terhadap biaya investasi dan tingkat diskonto serta memvalidasi hasil simulasi dengan data pengukuran lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.

International Energy Agency. (2023). *Solar PV global outlook, 2023/2024*.

International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. (2024). *Trends in photovoltaic applications 2024*.

Iriyanto, A., et al. (2022). Techno-economic analysis of rooftop photovoltaic systems for commercial buildings in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*, *11*(2), 345–353.

Javed, M. S., et al. (2020). Techno-economic analysis of photovoltaic systems with energy storage. *Energy Reports*, *6*, 289–296.

Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*, *142*, 80–94.

Palop, P., et al. (2023). Economic analysis of net metering and net billing mechanisms for photovoltaic systems. *Renewable Energy*, *205*, 1234–1245.

PVsyst SA. (2023). *PVsyst 7 user manual*.

Quaschning, V. (2016). *Understanding renewable energy systems* (2nd ed.). Routledge.

REN21. (2023). *Renewables 2023 global status report*.