

Kelayakan Finansial PLTS Atap On-Grid pada Gedung Komersial

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Theresia Margaretha Napitupulu³

Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

Email: eriprabowo@itpln.ac.id, Trassanda2410505@ITPLN.AC.ID,theresia2241018@itpln.ac.id

Abstract

This study evaluates the financial feasibility of an on-grid rooftop solar power plant implemented on a commercial building in West Java. The system is designed with a 50 kW inverter and 69 monocrystalline photovoltaic modules with a total array capacity of 34.5 kWp. The study applies a quantitative applied approach using load profile data, solar radiation data, investment cost, operation and maintenance cost, and electricity tariff as the main inputs. Financial feasibility is assessed using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period, while the technical contribution is evaluated through annual energy production and bill-saving potential. The rooftop PV system produces approximately 40,296 kWh per year and reduces monthly electricity consumption by about 3,358 kWh. This output provides a monthly saving of IDR 4,851,303 and an annual economic value of IDR 58,215,631 in the first year. With an initial investment of IDR 483,000,000 and inverter replacement considered in year 11, the project generates a positive NPV of IDR 111,294,381, IRR of 13.56%, and payback period of 9.07 years. These indicators show that the project is financially feasible and supports long-term operational cost efficiency, provided that system performance and maintenance are properly managed.

Keywords: rooftop solar power plant; on-grid system; financial feasibility; NPV; IRR; payback period

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi kelayakan finansial Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap on-grid pada gedung komersial di Jawa Barat. Sistem dirancang menggunakan inverter 50 kW dan 69 modul fotovoltaik monokristalin dengan kapasitas array 34,5 kWp. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif terapan dengan data profil beban, radiasi matahari, biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, serta tarif listrik sebagai masukan utama. Kelayakan finansial dinilai menggunakan Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period, sedangkan kontribusi teknis dievaluasi melalui produksi energi tahunan dan potensi penghematan tagihan listrik. Sistem PLTS menghasilkan sekitar 40.296 kWh per tahun dan menurunkan konsumsi listrik bulanan sekitar 3.358 kWh. Produksi tersebut memberikan penghematan bulanan Rp4.851.303 dan nilai ekonomi tahun pertama Rp58.215.631. Dengan investasi awal Rp483.000.000 dan penggantian inverter pada tahun ke-11, proyek menghasilkan NPV positif Rp111.294.381, IRR 13,56%, dan payback period 9,07 tahun. Indikator ini menunjukkan bahwa proyek layak secara finansial dan mendukung efisiensi biaya operasional jangka panjang, selama kinerja sistem dan pemeliharaan dikelola dengan baik.

Kata kunci: PLTS atap; sistem on-grid; kelayakan finansial; NPV; IRR; payback period

1. Pendahuluan

Kebutuhan listrik nasional terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan aktivitas industri, komersial, dan rumah tangga. Di sisi lain, bauran energi Indonesia masih didominasi bahan bakar fosil sehingga menimbulkan risiko emisi karbon, volatilitas biaya energi, dan ketergantungan pada sumber daya tidak terbarukan. Kondisi tersebut mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan, terutama energi surya yang memiliki ketersediaan tinggi di wilayah tropis dan sejalan dengan agenda transisi energi rendah karbon [1,2].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap menjadi salah satu opsi yang relatif mudah diterapkan pada gedung komersial karena dapat memanfaatkan area atap tanpa membutuhkan lahan baru. Sistem on-grid memungkinkan energi surya digunakan langsung untuk menyubsitusi sebagian konsumsi dari PLN, sehingga manfaat finansial utama muncul dalam bentuk pengurangan tagihan listrik. Pemanfaatan

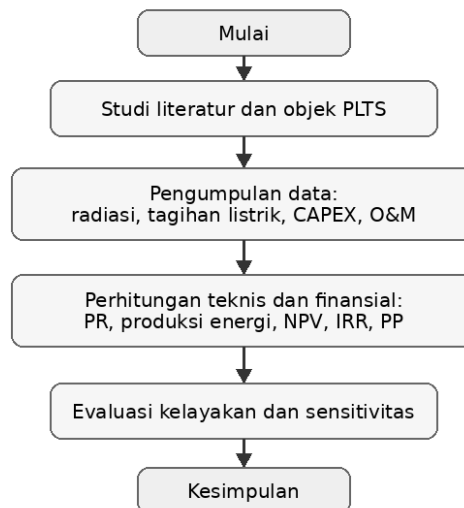
PLTS atap juga semakin relevan karena didukung arah kebijakan pengembangan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik [3,4].

Keputusan investasi PLTS atap tidak cukup dinilai dari sisi teknis, tetapi harus diuji melalui indikator finansial yang menggambarkan nilai tambah proyek, tingkat pengembalian modal, dan waktu balik modal. Indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan payback period umum digunakan untuk menilai apakah investasi energi terbarukan mampu memberikan manfaat ekonomi yang layak dibandingkan biaya awal dan risiko proyek [5,6]. Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa kelayakan finansial PLTS atap dipengaruhi oleh akurasi estimasi produksi energi, biaya investasi, struktur pembiayaan, nilai penghematan listrik, serta sensitivitas terhadap perubahan tarif dan biaya komponen. Pendekatan capital budgeting, performance ratio, Levelized Cost of Energy, dan analisis sensitivitas diperlukan agar keputusan investasi tidak hanya berdasarkan potensi teknis, tetapi juga mempertimbangkan ketahanan arus kas proyek [7-12].

Gedung PT. X di Jawa Barat memiliki profil konsumsi listrik siang hari yang cukup besar dan ketersediaan radiasi matahari yang memadai. Sistem yang dievaluasi menggunakan 69 modul fotovoltaik monokristalin berkapasitas 500 Wp dengan total array 34,5 kWp dan inverter 50 kW. Pemilihan modul, inverter, performance ratio, proteksi instalasi, serta evaluasi biaya energi menjadi aspek penting agar sistem PLTS atap dapat beroperasi aman, efisien, dan memberikan manfaat finansial yang berkelanjutan [13-18]. Artikel ini bertujuan menganalisis kelayakan finansial PLTS atap on-grid pada gedung komersial melalui potensi energi surya, struktur investasi, penghematan tagihan listrik, indikator NPV, IRR, payback period, risiko operasional, dan strategi implementasi proyek.

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode kuantitatif terapan dengan studi kasus pada rencana implementasi PLTS atap on-grid di gedung komersial. Data yang digunakan meliputi radiasi matahari historis, kapasitas sistem, spesifikasi modul dan inverter, tagihan listrik, biaya investasi awal, biaya O&M, tingkat diskonto, inflasi, serta proyeksi nilai ekonomi energi listrik. Perhitungan dilakukan dengan pendekatan arus kas selama umur teknis sistem 25 tahun. Tahapan analisis dimulai dari pengumpulan data teknis dan finansial, estimasi produksi energi, perhitungan penghematan tagihan listrik, penyusunan cash flow, perhitungan indikator NPV, IRR, dan payback period, kemudian interpretasi kelayakan dan risiko. Alur penelitian ditunjukkan pada *flowchart* 1.



Gambar 1. Alur analisis kelayakan finansial PLTS atap

2.1. Data dan Asumsi Dasar

Parameter utama penelitian disusun berdasarkan kondisi sistem PLTS, profil tagihan listrik, dan asumsi finansial. Kapasitas array modul sebesar 34,5 kWp berasal dari 69 modul 500 Wp, sedangkan inverter menggunakan kapasitas 50 kW. Produksi energi tahunan diperkirakan 40.296 kWh dengan performance ratio 80%.

Tabel 1. Parameter Teknis dan Finansial PLTS Atap

Parameter	Nilai	Keterangan
Kapasitas modul	34,5 kWp	69 modul x 500 Wp
Kapasitas inverter	50 kW	SOFAR 50000TL-G2
Jenis sistem	On-grid	Tersambung jaringan PLN
Produksi energi	40.296 kWh/tahun	Estimasi keluaran tahunan
Performance ratio	80%	Memperhitungkan losses sistem
Investasi awal	Rp483.000.000	Modul, inverter, BoS, instalasi
O&M tahunan	1% CAPEX	Rp4.830.000/tahun
Umur proyek	25 tahun	Umur teknis modul
Penggantian inverter	Tahun ke-11	Rp59.850.000
Tarif listrik awal	Rp1.444,7/kWh	Golongan bisnis tegangan rendah
Discount rate	10%	Ambang evaluasi investasi
Eskalasi tarif	3%/tahun	Asumsi kenaikan nilai penghematan

2.2. Parameter dan Persamaan

Produksi energi, efisiensi sistem, dan indikator finansial dihitung dengan Persamaan (1) sampai Persamaan (6).

$$\text{Performance Ratio} = E_{\text{yield}} / E_{\text{ideal}} \quad (1)$$

$$E_{\text{yield}} = P_{\text{PV}} \times \text{PSH} \times 365 \times \eta \quad (2)$$

$$\text{Nilai Ekonomi} = E_t \times \text{Tarif Listrik} \quad (3)$$

$$\text{NPV} = \sum (CF_t / (1 + r)^t) - I_0 \quad (4)$$

$$\text{IRR} = i_1 + [\text{NPV}_1 / (\text{NPV}_1 - \text{NPV}_2)] \times (i_2 - i_1) \quad (5)$$

$$\text{PP} = \text{Nilai Investasi} / \text{Total Kas Bersih Tahunan} \quad (6)$$

Kriteria kelayakan ditetapkan sebagai NPV lebih besar dari nol, IRR lebih tinggi dari tingkat diskonto 10%, dan payback period tidak melebihi 10 tahun. Nilai penghematan bulanan dihitung dari energi PLTS yang dikonsumsi langsung oleh gedung, sedangkan nilai ekonomi tahunan dihitung dari produksi energi dan tarif listrik yang berlaku.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Potensi Energi Surya dan Kinerja Teknis

Lokasi gedung memiliki ketersediaan radiasi matahari yang relatif stabil. Data historis menunjukkan rata-rata radiasi sebesar 4,71 kWh/m²/hari pada 2017, meningkat menjadi 4,88 kWh/m²/hari pada 2018, dan 5,10 kWh/m²/hari pada 2019. Nilai tersebut berada di atas ambang praktis untuk penerapan PLTS komersial di wilayah tropis.

Tabel 2. Ringkasan Radiasi Matahari Lokasi Studi

Tahun	Rata-rata radiasi	Keterangan
2017	4,71 kWh/m ² /hari	Potensi cukup stabil
2018	4,88 kWh/m ² /hari	Terjadi peningkatan
2019	5,10 kWh/m ² /hari	Potensi tertinggi
Puncak bulanan	5,99 kWh/m ² /hari	Oktober 2019

Dengan kapasitas array 34,5 kWp dan asumsi peak sun hours 4 jam per hari, energi ideal sistem adalah 50.370 kWh/tahun. Setelah memperhitungkan losses sistem melalui performance ratio 80%, energi keluaran yang digunakan dalam model finansial adalah 40.296 kWh/tahun. Nilai ini setara dengan rata-rata produksi 3.358 kWh per bulan.

Kontribusi energi PLTS terhadap konsumsi listrik gedung utama mencapai sekitar 16,92% dari rata-rata konsumsi bulanan 19.837,5 kWh. Karena beban siang hari gedung relatif tinggi, energi PLTS diasumsikan terserap langsung sebagai self-consumption sehingga setiap kWh produksi dapat dikonversi menjadi penghematan tagihan listrik.

3.2. Struktur Investasi dan Biaya Operasional

Total investasi awal proyek diperkirakan sebesar Rp483.000.000. Komponen terbesar berasal dari pengadaan modul fotovoltaik sebesar Rp345.000.000, diikuti inverter, struktur penyangga, kabel dan aksesoris, DC combiner box, monitoring system, serta jasa instalasi dan commissioning. Struktur ini menunjukkan bahwa modul menjadi porsi belanja modal paling dominan.

Tabel 3. Ringkasan Komponen Investasi Awal

Komponen	Kuantitas	Nilai
PV modul 500 Wp	69 unit	Rp345.000.000
Inverter 50 kW	1 unit	Rp45.000.000
Monitoring system	1 set	Rp1.000.000
DC combiner box	1 set	Rp4.000.000
Struktur penyangga	1 paket	Rp27.600.000
Kabel dan aksesoris	1 paket	Rp22.000.000
Jasa instalasi	1 paket	Rp38.400.000
Total CAPEX	-	Rp483.000.000

Biaya operasi dan pemeliharaan ditetapkan sebesar 1% dari investasi awal atau Rp4.830.000 per tahun. Biaya ini mencakup pembersihan modul, inspeksi kelistrikan, pemeriksaan koneksi, dan pemeliharaan ringan. Selain itu, model arus kas memasukkan biaya penggantian inverter sebesar Rp59.850.000 pada tahun ke-11 sebagai bentuk kehati-hatian karena umur inverter lebih pendek dibandingkan modul surya.

3.3. Penghematan Tagihan Listrik

Baseline konsumsi listrik gedung utama dihitung dari data Oktober sampai Desember. Rata-rata konsumsi bulanan sebelum pemasangan PLTS adalah 19.837,5 kWh dengan rata-rata tagihan Rp28.659.236. Setelah kontribusi PLTS sebesar 3.358 kWh per bulan, tagihan listrik turun karena sebagian kebutuhan listrik dipenuhi oleh produksi energi surya.

Tabel 4. Perbandingan Tagihan Sebelum dan Sesudah PLTS

Uraian	Nilai
Rata-rata konsumsi sebelum PLTS	19.837,5 kWh/bulan
Rata-rata tagihan sebelum PLTS	Rp28.659.236/bulan
Produksi PLTS bulanan	3.358 kWh/bulan
Tagihan setelah PLTS	Rp23.807.934/bulan
Penghematan bulanan	Rp4.851.303/bulan
Efisiensi biaya	16,93%
Nilai ekonomi tahun pertama	Rp58.215.631/tahun

Penghematan bulanan sebesar Rp4.851.303 diperoleh dari produksi bulanan 3.358 kWh dikalikan tarif listrik Rp1.444,7/kWh. Jika dinyatakan dalam basis tahunan, nilai ekonomi tahun pertama mencapai Rp58.215.631. Nilai tersebut meningkat pada tahun berikutnya karena model menggunakan asumsi eskalasi tarif listrik 3% per tahun.

3.4. Hasil Kelayakan Finansial

Perhitungan kelayakan menggunakan horizon 25 tahun, tingkat diskonto 10%, biaya O&M tahunan, dan penggantian inverter pada tahun ke-11. Hasil NPV diperoleh dari total present value arus kas sebesar Rp594.294.381 dikurangi investasi awal Rp483.000.000, sehingga menghasilkan NPV positif Rp111.294.381.

Tabel 5. Hasil Analisis Kelayakan Finansial

Indikator	Hasil	Kriteria	Status
NPV	Rp111.294.381	> 0	Layak
IRR	13,56%	> 10%	Layak
Payback period	9,07 tahun	< 10 tahun	Layak
Umur teknis sistem	25 tahun	Lebih panjang dari PP	Layak
Total PV arus kas	Rp594.294.381	> investasi awal	Layak

Nilai NPV positif menunjukkan bahwa investasi menghasilkan nilai tambah setelah seluruh arus kas didiskontokan. IRR sebesar 13,56% berada di atas tingkat diskonto 10%, sehingga tingkat pengembalian proyek masih lebih tinggi dari biaya modal yang digunakan. Payback period 9,07 tahun juga masih memenuhi batas evaluasi di bawah 10 tahun dan jauh lebih singkat dibandingkan umur teknis modul yang mencapai 25 tahun. Hasil ini memperlihatkan bahwa manfaat utama proyek berasal dari pengurangan tagihan listrik jangka panjang. Semakin besar porsi energi PLTS yang dikonsumsi langsung oleh gedung, semakin kuat kontribusi penghematan terhadap arus kas. Karena itu, profil beban siang hari menjadi faktor penting dalam mempertahankan kelayakan proyek.

3.5. Pembahasan Teknis dan Finansial

Dari sisi teknis, sistem PLTS atap yang dianalisis berada pada rasio kapasitas yang aman terhadap daya tersambung gedung. Kapasitas array 34,5 kWp merepresentasikan sekitar 32,86% dari daya tersambung 105 kVA pada gedung utama. Rasio ini menurunkan potensi kelebihan produksi yang tidak terserap dan mendukung skema self-consumption.

Dari sisi finansial, kelayakan proyek sangat dipengaruhi oleh tarif listrik, produksi energi tahunan, biaya investasi, biaya pemeliharaan, dan kebutuhan penggantian inverter. Kenaikan tarif listrik dapat memperbesar nilai penghematan, sedangkan penurunan performa modul, downtime inverter, atau pembengkakan biaya pemeliharaan dapat memperpanjang periode balik modal.

Penting dicatat bahwa perhitungan menggunakan asumsi produksi tetap 40.296 kWh/tahun. Dalam praktiknya, modul fotovoltaik mengalami degradasi tahunan, meskipun umumnya relatif kecil. Jika degradasi modul dan downtime sistem dimasukkan lebih rinci, nilai NPV dapat lebih konservatif. Oleh karena itu, pemantauan produksi aktual perlu dilakukan agar performa sistem tidak turun jauh dari baseline perencanaan.

3.6. Risiko dan Mitigasi Proyek

Risiko proyek PLTS atap mencakup risiko teknis, finansial, operasional, dan regulasi. Risiko teknis dapat muncul dari penurunan performa modul, kegagalan inverter, ketidakseimbangan string, atau kualitas instalasi. Risiko finansial terutama berkaitan dengan deviasi CAPEX, perubahan tarif listrik, dan kebutuhan reinvestasi. Ringkasan risiko dan mitigasi ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Risiko Utama dan Strategi Mitigasi

Risiko	Dampak	Mitigasi
Produksi energi lebih rendah	Penghematan dan NPV turun	Monitoring harian, pembersihan berkala, dan evaluasi PR
Kegagalan inverter	Downtime dan kehilangan produksi	Garansi inverter, stok komponen kritis, dan preventive maintenance
Kenaikan biaya O&M	Arus kas bersih menurun	Kontrak O&M berbasis kinerja dan inspeksi terjadwal
Perubahan regulasi PLTS atap	Skema ekspor-impor dan manfaat ekonomi berubah	Mengutamakan self-consumption dan memantau regulasi ESDM
Kualitas instalasi rendah	Risiko gangguan kelistrikan dan safety	Standar instalasi, proteksi DC/AC, grounding, dan commissioning

Mitigasi teknis harus dimulai sejak tahap desain. Pemilihan modul, inverter, DC combiner box, kabel, MCB, SPD, dan sistem grounding perlu mengikuti standar keselamatan kelistrikan. Setelah sistem beroperasi, data produksi dari monitoring system harus digunakan untuk membandingkan output aktual dengan output rencana. Deviasi yang berulang perlu segera ditindaklanjuti melalui inspeksi lapangan.

Mitigasi finansial dilakukan dengan pengendalian CAPEX dan penyediaan cadangan biaya untuk penggantian inverter. Karena hasil kelayakan masih memiliki margin yang tidak terlalu besar, disiplin biaya menjadi penting. Pembengkakan investasi awal atau keterlambatan perbaikan komponen dapat menekan NPV dan memperpanjang payback period.

3.7. Implikasi Manajerial

Bagi manajemen gedung, hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTS atap on-grid dapat digunakan sebagai instrumen efisiensi biaya energi. Investasi ini memberikan manfaat finansial yang terukur,

sekaligus memperkuat citra perusahaan dalam aspek keberlanjutan dan pengurangan emisi. Penghematan bulanan dapat dialokasikan kembali untuk pemeliharaan sistem atau investasi efisiensi energi lain.

Dari perspektif operasional, keberhasilan proyek bergantung pada koordinasi antara bagian fasilitas, keuangan, dan manajemen energi. Bagian fasilitas perlu memastikan performa teknis sistem, bagian keuangan perlu memantau realisasi penghematan terhadap proyeksi, dan manajemen perlu menggunakan data tersebut sebagai dasar keputusan ekspansi kapasitas di masa depan.

Dari perspektif kebijakan, proyek ini selaras dengan arah transisi energi nasional dan pengurangan konsumsi energi fosil pada sektor komersial. Walaupun skala sistem relatif kecil, penerapan pada banyak gedung komersial dapat memberikan dampak agregat terhadap pengurangan beban listrik siang hari dan emisi karbon tidak langsung.

3.8. Strategi Implementasi Lanjutan

Strategi pertama adalah memastikan operasi sistem berada pada performance ratio yang stabil. Target PR 80% perlu dijadikan indikator kinerja awal. Apabila PR turun secara konsisten, penyebab teknis seperti bayangan, kotoran panel, masalah string, atau gangguan inverter harus dianalisis.

Strategi kedua adalah menggunakan hasil penghematan sebagai dasar ekspansi bertahap. Apabila konsumsi siang hari gedung masih besar dan area atap tersedia, perusahaan dapat mempertimbangkan penambahan kapasitas setelah performa sistem awal tervalidasi minimal satu tahun operasi penuh.

Strategi ketiga adalah mengintegrasikan monitoring PLTS dengan sistem manajemen energi gedung. Integrasi data akan mempermudah evaluasi jam produksi puncak, pola konsumsi, serta potensi pengaturan beban agar energi surya terserap optimal. Dengan cara ini, manfaat finansial proyek dapat dipertahankan sampai akhir umur teknis sistem.

3.9. Keterbatasan Analisis

Analisis ini menggunakan data historis tagihan listrik dan estimasi produksi energi berdasarkan parameter yang tersedia. Beberapa variabel yang belum dimodelkan secara rinci adalah degradasi modul tahunan, variasi curah hujan, potensi shading musiman, biaya downtime, dan perubahan pola konsumsi listrik gedung. Faktor tersebut dapat memengaruhi realisasi arus kas aktual.

Penelitian lanjutan perlu memasukkan simulasi produksi energi berbasis perangkat lunak teknis, seperti PVsyst atau HelioScope, serta pengukuran beban harian interval 15 menit. Data tersebut akan meningkatkan akurasi self-consumption ratio dan memperkuat dasar keputusan ekspansi kapasitas.

3.10. Analisis Sensitivitas Kualitatif

Kelayakan finansial PLTS atap sangat dipengaruhi oleh perubahan beberapa parameter utama. Parameter yang paling berpengaruh adalah produksi energi tahunan, tarif listrik yang disubsstitusi, biaya investasi awal, biaya O&M, serta waktu penggantian inverter. Karena proyek menghasilkan manfaat dalam bentuk penghematan, setiap penurunan output energi atau penundaan perbaikan langsung mengurangi nilai arus kas tahunan.

Tabel 7. Parameter Sensitif terhadap Kelayakan PLTS

Parameter	Arah perubahan	Dampak terhadap kelayakan
Produksi energi	Turun karena shading atau degradasi	Penghematan turun dan payback lebih panjang
Tarif listrik PLN	Naik setiap tahun	Nilai penghematan meningkat dan NPV lebih kuat
CAPEX	Melebihi rencana	NPV turun dan IRR melemah
Biaya O&M	Naik di atas asumsi 1%	Arus kas bersih menurun
Penggantian inverter	Lebih cepat dari tahun ke-11	Membutuhkan cash outflow lebih awal
Self-consumption	Energi tidak terserap langsung	Manfaat ekonomi lebih rendah

Sensitivitas terhadap tarif listrik cenderung menguntungkan proyek apabila tarif PLN meningkat. Karena seluruh produksi PLTS diasumsikan menggantikan konsumsi listrik gedung, kenaikan tarif akan menaikkan nilai ekonomi setiap kWh yang dihasilkan. Sebaliknya, apabila kebijakan tarif listrik tetap rendah dalam jangka panjang, pertumbuhan penghematan akan lebih lambat.

Sensitivitas terhadap produksi energi perlu memperoleh perhatian teknis. Penurunan output dapat disebabkan oleh debu pada permukaan modul, bayangan bangunan sekitar, degradasi panel, gangguan

inverter, atau kualitas koneksi DC/AC. Untuk itu, indikator produksi spesifik kWh/kWp dan performance ratio perlu dilaporkan secara rutin sebagai bagian dari tata kelola energi gedung.

Sensitivitas terhadap CAPEX dan biaya penggantian inverter berkaitan langsung dengan struktur belanja modal. Jika harga komponen meningkat atau terdapat pekerjaan tambahan pada instalasi, margin NPV dapat menyempit. Oleh karena itu, pengadaan komponen, desain teknis, dan kontrak garansi perlu disusun dengan spesifikasi yang jelas sebelum proyek dijalankan.

3.11. Tata Kelola Operasi dan Manfaat Keberlanjutan

Penerapan PLTS atap pada gedung komersial tidak hanya menghasilkan penghematan tagihan listrik, tetapi juga menjadi bagian dari tata kelola energi perusahaan. Agar manfaat finansial yang dihitung dalam model dapat tercapai, perusahaan perlu menetapkan prosedur operasi yang jelas, mulai dari pencatatan produksi, verifikasi data tagihan, pelaporan gangguan, sampai evaluasi bulanan terhadap deviasi kinerja sistem.

Dari sisi tata kelola, sistem monitoring inverter perlu menjadi sumber data utama untuk membandingkan produksi aktual dengan proyeksi energi. Data tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi penurunan output akibat faktor cuaca, kotoran permukaan modul, shading, atau gangguan teknis. Apabila deviasi produksi berlangsung beberapa hari berturut-turut, bagian fasilitas perlu melakukan inspeksi cepat agar kehilangan penghematan tidak berlanjut.

Dari sisi manajemen biaya, hasil penghematan sebaiknya tidak hanya dipandang sebagai penurunan tagihan, tetapi juga sebagai sumber pembiayaan siklus pemeliharaan. Alokasi sebagian penghematan untuk pembersihan panel, inspeksi proteksi listrik, dan cadangan penggantian inverter akan membuat arus kas proyek lebih sehat. Pendekatan ini penting karena keberlanjutan finansial PLTS sangat bergantung pada kontinuitas produksi sepanjang umur proyek.

Selain manfaat langsung berupa penghematan, PLTS atap juga memberikan manfaat keberlanjutan yang relevan bagi perusahaan. Pemakaian listrik dari energi surya menurunkan konsumsi listrik berbasis jaringan yang sebagian masih bergantung pada energi fosil. Dengan demikian, proyek ini dapat menjadi bagian dari program efisiensi energi, pengurangan emisi tidak langsung, dan penguatan pelaporan Environmental, Social, and Governance (ESG).

Tabel 8. Program Pengendalian Operasi PLTS Atap

Program	Frekuensi	Tujuan pengendalian
Pencatatan produksi energi	Harian	Memastikan output sesuai pola radiasi
Pembersihan modul	Bulanan atau sesuai kondisi	Menjaga performance ratio
Inspeksi kabel dan proteksi	Triwulanan	Mencegah gangguan kelistrikan
Evaluasi tagihan listrik	Bulanan	Memverifikasi penghematan aktual
Audit kinerja inverter	Semesteran	Mendeteksi anomali konversi daya
Review kelayakan ekspansi	Tahunan	Menentukan potensi penambahan kapasitas

Program pengendalian pada Tabel 8 dapat dipakai sebagai panduan implementasi setelah sistem beroperasi. Indikator utama yang perlu dipantau adalah produksi harian, energi bulanan, availability inverter, penghematan tagihan, serta jumlah gangguan teknis. Dengan indikator tersebut, manajemen dapat menilai apakah asumsi arus kas dalam studi kelayakan masih relevan terhadap realisasi lapangan.

Dalam jangka panjang, penerapan PLTS atap dapat menjadi titik awal transformasi manajemen energi gedung. Setelah sistem awal terbukti menghasilkan penghematan, perusahaan dapat menggabungkannya dengan program lain seperti penggantian lampu hemat energi, pengaturan beban puncak, perbaikan faktor daya, dan otomasi pemantauan konsumsi listrik. Kombinasi beberapa program efisiensi tersebut berpotensi meningkatkan manfaat ekonomi yang lebih besar dibandingkan penerapan PLTS secara terpisah.

4. Kesimpulan

Sistem PLTS atap on-grid pada gedung komersial yang dievaluasi menggunakan 69 modul fotovoltaik monokristalin dengan kapasitas array 34,5 kWp dan inverter 50 kW. Sistem ini diproyeksikan menghasilkan energi 40.296 kWh per tahun atau sekitar 3.358 kWh per bulan dengan performance ratio 80%.

Penerapan PLTS mampu menurunkan konsumsi listrik dari PLN dan menghasilkan penghematan sekitar Rp4.851.303 per bulan. Nilai ekonomi produksi listrik pada tahun pertama mencapai Rp58.215.631 dan meningkat mengikuti asumsi eskalasi tarif listrik 3% per tahun.

Hasil kelayakan finansial menunjukkan NPV positif sebesar Rp111.294.381, IRR 13,56%, dan payback period 9,07 tahun. Dengan kriteria NPV lebih besar dari nol, IRR lebih tinggi dari discount rate 10%, dan payback period di bawah 10 tahun, proyek dinyatakan layak secara finansial.

Faktor yang perlu dikendalikan agar kelayakan tetap terjaga adalah performa produksi energi, kualitas pemeliharaan, keandalan inverter, disiplin biaya O&M, dan kepatuhan terhadap regulasi PLTS atap. Monitoring kinerja sistem menjadi syarat penting untuk menjaga penghematan aktual sesuai proyeksi.

Saran

Perusahaan disarankan menjadikan hasil penghematan listrik sebagai indikator utama evaluasi kinerja PLTS. Monitoring produksi harian, monthly performance report, dan evaluasi PR perlu dilakukan secara berkala agar penurunan performa dapat dideteksi sejak awal. Pengembangan kapasitas berikutnya sebaiknya dilakukan bertahap setelah data operasi aktual minimal satu tahun menunjukkan performa stabil. Kajian lanjutan juga perlu memasukkan simulasi degradasi modul, analisis shading, dan data beban interval agar proyeksi cash flow menjadi lebih akurat. Dari sisi finansial, perusahaan perlu menyiapkan cadangan biaya penggantian inverter dan kontrak O&M yang jelas. Strategi ini akan menjaga kontinuitas operasi dan mengurangi risiko penurunan penghematan pada periode setelah tahun ke-10.

Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Penelitian lanjutan disarankan menggunakan data produksi aktual dari sistem monitoring selama minimal satu tahun operasi. Data tersebut penting untuk membandingkan estimasi energi 40.296 kWh per tahun dengan realisasi lapangan pada musim hujan dan musim kemarau. Perbandingan ini akan memperkuat validasi asumsi performance ratio serta mengurangi ketidakpastian model finansial.

Kajian berikutnya juga perlu memasukkan degradasi modul, variasi temperatur, shading antarbangunan, downtime inverter, serta biaya replacement komponen secara lebih rinci. Variabel-variabel tersebut dapat dimodelkan dalam skenario konservatif, moderat, dan optimis agar manajemen memperoleh rentang hasil kelayakan yang lebih realistis.

Selain pendekatan deterministik, simulasi probabilitas seperti Monte Carlo dapat digunakan untuk menghasilkan distribusi NPV dan IRR. Pendekatan tersebut akan membantu perusahaan memahami probabilitas proyek tetap layak ketika terjadi perubahan tarif listrik, penurunan produksi, atau peningkatan biaya operasi selama umur proyek.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN dan pihak pembimbing yang telah memberikan arahan dalam penyusunan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- 1) Afif MT, Martin A. Potensi energi surya dan tantangan pemanfaatan PLTS di Indonesia. *J Energi Terbarukan*. 2022;10(2):45-56.
- 2) Sebastian R, et al. Target NDC Indonesia dan transisi energi rendah karbon. *J Kebijakan Energi*. 2025;14(1):1-12.
- 3) Samsurizal, et al. Pengenalan sistem pembangkit listrik tenaga surya. Jakarta: Teknik Elektro Press; 2021.
- 4) Presiden Republik Indonesia. Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang percepatan pengembangan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik. Jakarta; 2022.
- 5) Abuk GM, Rumbino Y. Analisis kelayakan ekonomi menggunakan NPV pada proyek energi. *J Ekonomi Teknik*. 2020;7(1):20-29.
- 6) Qomaruddin M, et al. Evaluasi IRR dan payback period pada investasi energi terbarukan. *J Manaj Rekayasa*. 2021;9(3):88-96.
- 7) Prabawa A, Sidqi A. Standar kelayakan finansial proyek PLTS berbasis capital budgeting. *J Energi dan Bisnis*. 2025;12(1):34-44.

- 8) Yulia R. Analisis kelayakan finansial PLTS atap pada bangunan komersial. *J Rekayasa Energi Surya*. 2024;8(2):70-82.
- 9) Rafli M, et al. Performance ratio dan perencanaan PLTS rooftop gedung fakultas teknik. *J Teknol Energi*. 2022;11(2):115-126.
- 10) Pawenary A, et al. Analisis LCOE sistem PLTS on-grid pada gedung perkantoran. *J Teknik Elektro*. 2022;16(1):50-61.
- 11) Ray P, et al. Financial evaluation of industrial rooftop solar PV under equity and loan schemes. *Renew Energy Finance*. 2021;5(4):210-220.
- 12) Syamsudin R, et al. Analisis sensitivitas investasi photovoltaic pada fasilitas publik. *J Infrastruktur Energi*. 2017;6(1):22-31.
- 13) Dwisari N, et al. Potensi energi matahari sebagai energi alternatif di Indonesia. *J Sains Terapan*. 2023;9(1):15-24.
- 14) Arrosyid MA, et al. Karakteristik modul fotovoltaik monokristalin untuk sistem PLTS. *J Fotovoltaik Indonesia*. 2024;4(2):55-64.
- 15) Manihuruk P, Simbolon R. Evaluasi inverter pada sistem PLTS komersial. *J Konversi Energi*. 2024;13(1):77-85.
- 16) Sartika D, et al. Perhitungan performance ratio pada PLTS atap. *J Energi Surya*. 2023;7(2):91-102.
- 17) Diansyah M, et al. Proteksi DC dan AC pada instalasi PLTS atap. *J Instalasi Listrik*. 2021;5(3):133-142.
- 18) Adi W. Levelized cost of energy untuk perbandingan teknologi pembangkit. *J Ekonomi Energi*. 2024;15(2):100-112.
- 19) Putra TS, Prabowo E, Ramadani F. Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten Lontar. *JTM: JURNAL TEKNIK MESIN*. 2026 Feb 1;2(1):10-5.