

Techno-Economic and Environmental Feasibility Analysis of a 201 kWp On-Grid Photovoltaic System at PT Cakra Guna Cipta

Analisis Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada PT.Cakra Guna Cipta

Ahmad Anig Ubaidillah¹, Aries Boedi Setiawan^{2*}, Resi Dwi Jayanti Kartika Sari³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang, Indonesia

¹ahmadanig@gmail.com

²aries@unmer.ac.id

³resi.sari@unmer.ac.id

Abstract_ The increasing demand for electrical energy in the industrial sector requires the utilization of reliable, economical, and environmentally friendly energy sources. This study evaluates the technical, financial, and environmental feasibility of a 201 kWp grid-connected photovoltaic (PV) system at the Sigaret Kretek Mesin (SKM) Building of PT Cakra Guna Cipta. The technical analysis includes load assessment, PV system design and energy production simulation using PVsyst, as well as load-flow and short-circuit analyses using ETAP. The financial feasibility is evaluated using Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), Profitability Index (PI), Payback Period (PP), and Cost of Energy (COE). The proposed system consists of 600 JA Solar 335 Wp modules and two Huawei SUN2000-100KTL-M1 inverters rated at 100 kW each. The PVsyst simulation indicates an annual energy production of 353.01 MWh, a Performance Ratio of 89.23%, and a Solar Fraction of 42.88%. These results indicate that the PV system can supply approximately 42.88% of the building's annual electricity demand within the simulated load profile. ETAP results show that PV interconnection changes the voltage and short-circuit characteristics only slightly and remains within the operating limits considered in the study. The financial analysis is based on an initial investment of IDR 1,802,915,325, annual operation and maintenance costs of IDR 18,029,153, an electricity tariff of IDR 1,114.74/kWh, a discount rate of 5.75%, and a project lifetime of 25 years. The resulting NPV is approximately IDR 3.11 billion, with BCR and PI of 2.73 and a simple Payback Period of 4.80 years. The environmental assessment estimates a first-year carbon emission reduction of 259.11 tons CO₂. The results demonstrate the technical, financial, and environmental potential of the proposed PV system for reducing grid electricity consumption in the SKM Building.

Keywords: On-grid photovoltaic system, PVsyst, ETAP, investment feasibility, renewable energy

Abstrak_ Permintaan energi listrik yang meningkat di sektor industri membutuhkan pemanfaatan sumber energi yang andal, ekonomis, dan ramah lingkungan. Studi ini mengevaluasi kelayakan teknis, finansial, dan lingkungan dari sistem fotovoltaik (PV) terhubung jaringan 201 kWp di Gedung Sigaret Kretek Mesin (SKM) milik PT Cakra Guna Cipta. Analisis teknis mencakup penilaian beban, desain sistem PV, dan simulasi produksi energi menggunakan PVsyst, serta analisis aliran beban dan hubung pendek menggunakan ETAP. Kelayakan finansial dievaluasi menggunakan Nilai Kini Bersih (NPV), Rasio Biaya Manfaat (BCR), Indeks Profitabilitas (PI), Periode Pengembalian (PP), dan Biaya Energi (COE). Sistem yang diusulkan terdiri dari 600 modul JA Solar 335 Wp dan dua inverter Huawei SUN2000-100KTL-M1 yang masing-masing berkapasitas 100 kW. Simulasi PVsyst menunjukkan produksi energi tahunan sebesar 353,01 MWh, Rasio Kinerja 89,23%, dan fraksi surya sebesar 42,88%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem PV dapat memasok sekitar 42,88% dari permintaan listrik tahunan gedung dalam profil beban simulasi. Hasil ETAP menunjukkan bahwa interkoneksi PV hanya sedikit mengubah karakteristik tegangan dan hubung pendek serta tetap dalam batas operasi yang dibahas dalam studi. Analisis keuangan didasarkan pada investasi awal sebesar IDR 1.802.915.325, biaya operasi dan pemeliharaan tahunan sebesar IDR 18.029.153, tarif listrik sebesar IDR 1.114,74/kWh, tingkat diskonto sebesar 5,75%, dan masa hidup proyek selama 25 tahun. NPV yang dihasilkan sekitar IDR 3,11 miliar, dengan BCR dan PI sebesar 2,73 dan Periode Pengembalian Modal sederhana selama 4,80 tahun. Penilaian lingkungan memperkirakan pengurangan emisi karbon tahun pertama sebesar 259,11 ton CO₂. Hasilnya menunjukkan potensi teknis, finansial, dan lingkungan dari sistem PV yang diusulkan untuk mengurangi konsumsi listrik jaringan di Gedung SKM.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya, PLTS on-grid, PVsyst, ETAP, kelayakan investasi

I. INTRODUCTION

Kebutuhan energi listrik pada sektor industri terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan bertambahnya aktivitas produksi[1]. Di Indonesia, sebagian besar pasokan energi listrik masih bergantung pada pembangkit berbahan bakar fosil yang memiliki keterbatasan sumber daya serta menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berdampak terhadap lingkungan[2]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendukung transisi menuju energi bersih adalah melalui pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan[3],[4]. Di antara berbagai konfigurasi yang tersedia, sistem PLTS *on-grid* menjadi salah satu pilihan yang banyak diterapkan karena dapat beroperasi secara terintegrasi dengan jaringan PLN tanpa memerlukan sistem penyimpanan energi berupa baterai, sehingga lebih sederhana dan ekonomis[5].

Berbagai penelitian mengenai kelayakan penerapan PLTS atap pada bangunan industri telah dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak PVsyst dan ETAP untuk mengevaluasi kinerja teknis serta aspek ekonomi sistem[6]. Hasil penelitian tersebut umumnya menunjukkan bahwa implementasi PLTS mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik sekaligus menekan biaya operasional. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu aspek kajian, baik teknis maupun finansial, sehingga belum memberikan evaluasi yang menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan kajian teknis, finansial, dan lingkungan guna menghasilkan analisis kelayakan yang lebih komprehensif terhadap penerapan sistem PLTS pada sektor industri[7],[8].

PT Cakra Guna Cipta merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada industri rokok dengan kebutuhan energi listrik yang cukup besar untuk mendukung kegiatan produksinya. Pasokan energi listrik perusahaan berasal dari jaringan PLN yang disalurkan melalui dua transformator dengan kapasitas masing-masing sebesar 1100 kVA dan 865 kVA. Gedung Sigaret Kretek Mesin (SKM) yang menjadi objek penelitian memperoleh suplai listrik dari transformator berkapasitas 1100 kVA dengan total beban sebesar 186,4 kW dan konsumsi energi listrik tahunan mencapai 671,04 MWh. Tingginya kebutuhan energi tersebut menyebabkan biaya operasional listrik perusahaan menjadi cukup besar, sehingga diperlukan alternatif sumber energi yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan melalui penerapan sistem PLTS atap yang terintegrasi dengan jaringan PLN[9]. Penentuan kapasitas sistem fotovoltaik (PV) untuk bangunan industri sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan luas atap yang tersedia dan potensi produksi energi surya, tetapi juga kebutuhan listrik bangunan, profil beban, konfigurasi inverter, serta kontribusi yang diharapkan dari pembangkitan PV terhadap konsumsi listrik bangunan[10],[11]. Dalam studi ini, sistem PV terhubung jaringan (grid-

connected) berkapasitas 201 kWp yang diusulkan terdiri dari 600 modul PV—masing-masing dengan kapasitas nominal 335 Wp—dan dua unit inverter berkapasitas 100 kW. Konfigurasi tersebut dianalisis dengan mengacu pada beban listrik puncak bangunan sebesar 186,4 kW serta konsumsi listrik tahunannya. Oleh karena itu, evaluasi terhadap sistem yang diusulkan tidak terbatas pada besaran energi PV tahunan yang dihasilkan, melainkan juga mencakup kinerja sistem, dampak kelistrikan pada jaringan bangunan, kelayakan finansial, serta kontribusi pembangkitan PV terhadap kebutuhan listrik bangunan[12].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan penerapan sistem PLTS *on-grid* berkapasitas 201 kWp pada Gedung SKM PT Cakra Guna Cipta berdasarkan aspek teknis, finansial, dan lingkungan[13]. Analisis teknis dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk menentukan potensi produksi energi listrik serta perangkat lunak ETAP untuk mengevaluasi kondisi aliran daya (*load flow*) dan arus hubung singkat (*short circuit*) setelah integrasi PLTS dengan sistem kelistrikan eksisting. Selain itu, analisis finansial dilakukan menggunakan metode *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Profitability Index* (PI), *Payback Period* (PP), dan *Cost of Energy* (COE), sedangkan analisis lingkungan dilakukan untuk mengetahui potensi pengurangan emisi karbon yang dihasilkan dari penerapan sistem PLTS pada sektor industri[14],[15].

II. METHODS (FOR ORIGINAL RESEARCH ARTICLE ONLY)

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Cakra Guna Cipta yang berlokasi di Kabupaten Malang, Jawa Timur, Indonesia, dengan objek penelitian berupa Gedung Sigaret Kretek Mesin (SKM), yaitu salah satu fasilitas produksi yang memiliki konsumsi energi listrik terbesar di perusahaan. Data yang digunakan meliputi beban listrik, data meteorologi lokasi, spesifikasi modul surya dan inverter, serta tarif listrik industri PLN. Seluruh data tersebut menjadi dasar dalam proses perancangan sistem PLTS, simulasi teknis, dan analisis kelayakan investasi.

2.2 Data Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lokasi penelitian yang meliputi data beban listrik Gedung SKM serta kondisi sistem kelistrikan eksisting. Sementara itu, data sekunder terdiri atas data radiasi matahari dan temperatur lingkungan yang diperoleh dari basis data Meteorologi pada perangkat lunak PVsyst, spesifikasi modul surya JA Solar 335 Wp, inverter Huawei SUN2000-100KTL-M1, serta tarif listrik industri PLN. Analisis teknis dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk menentukan kapasitas sistem PLTS, produksi energi tahunan, dan nilai *Performance*

Ratio (PR). Selanjutnya, perangkat lunak ETAP digunakan untuk menganalisis interkoneksi sistem melalui simulasi *load flow* dan *short circuit*. Perhitungan kajian finansial dilakukan menggunakan Microsoft Excel, sedangkan penyusunan laporan penelitian menggunakan Microsoft Word.

Tabel 1. Data Penelitian

2.3 Diagram Alir

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai sistem PLTS, pengumpulan data lapangan, perancangan sistem PLTS menggunakan perangkat lunak PVsyst, simulasi interkoneksi menggunakan ETAP, analisis hasil simulasi, analisis kelayakan finansial, analisis dampak lingkungan, hingga penarikan kesimpulan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Gambar 1. Diagram Alir

2.4 Metode Analisis

Metode analisis data pada penelitian ini terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu kajian teknis, kajian finansial, dan kajian lingkungan.

2.4.1 Kajian Teknis

Kajian teknis dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst dan ETAP. PVsyst dimanfaatkan untuk menentukan kapasitas sistem PLTS, mengestimasi produksi energi tahunan, serta mengevaluasi nilai *Performance Ratio* (PR). Selain itu, simulasi PVsyst digunakan untuk mengevaluasi kontribusi energi surya terhadap kebutuhan listrik pengguna melalui parameter *Solar Fraction* (*SolFrac*). *Solar Fraction* digunakan untuk menunjukkan proporsi kebutuhan energi pengguna yang disuplai oleh energi surya berdasarkan profil beban yang digunakan dalam simulasi. Selanjutnya, ETAP digunakan untuk menganalisis kondisi sistem kelistrikan melalui simulasi *load flow* dan *short circuit*. Hasil simulasi kemudian dievaluasi dengan mengacu pada standar SPLN 1:1995 untuk profil tegangan dan IEC 60909 untuk analisis arus hubung singkat.

2.4.2 Kajian Finansial

Kajian finansial dilakukan menggunakan parameter *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Profitability Index* (PI), *Payback Period* (PP), dan *Cost of Energy* (COE). Analisis keuangan dilakukan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang dirangkum dalam Tabel 2. Investasi awal diperoleh dari estimasi biaya pengadaan dan pemasangan sistem PV yang diusulkan. Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) tahunan diasumsikan sebesar 1% dari investasi awal. Manfaat listrik tahunan diestimasi berdasarkan simulasi produksi energi PV yang dikalikan dengan tarif listrik yang digunakan dalam studi ini. Arus kas bersih tahunan yang dihasilkan diperoleh dengan mengurangi biaya O&M tahunan dari penghematan biaya listrik bruto.

Tabel 2 Asumsi Finansial

Net cash flow diperoleh dari penghematan biaya energi listrik tahunan setelah dikurangi biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) sistem PLTS. Dengan penghematan listrik sebesar Rp393.516.347 per tahun dan biaya O&M sebesar Rp18.029.153 per tahun, maka *net cash flow* tahunan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Net Cash Flow} &= \text{Annual Electricity Savings} - \text{Annual O\&M Cost} \\ &= \text{Rp}393.516.347 - \text{Rp}18.029.153 \\ &= \text{Rp}375.487.194/\text{tahun}. \end{aligned}$$

Nilai *net cash flow* tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan *Payback Period*, *Net Present Value* (NPV), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dan *Profitability Index* (PI).

2.4.3 Kajian Lingkungan

Kajian lingkungan dilakukan dengan menghitung potensi pengurangan emisi karbon berdasarkan produksi energi listrik sistem PLTS dan faktor emisi jaringan listrik Indonesia. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mengevaluasi kontribusi penerapan PLTS dalam mengurangi emisi gas rumah kaca pada sektor industri.

III. RESULTS AND DISCUSSION (REVIEW ARTICLE USE DISCUSSION)

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Gedung Sigaret Kretek Mesin (SKM) PT Cakra Guna Cipta yang berlokasi di Kabupaten Malang, Jawa Timur. Gedung SKM dipilih sebagai objek penelitian karena merupakan salah satu fasilitas produksi dengan kebutuhan energi listrik yang tinggi, sehingga memiliki potensi yang baik untuk penerapan sistem PLTS atap. Berdasarkan hasil survei lapangan, bangunan tersebut memiliki luas atap yang memadai untuk pemasangan modul surya tanpa mengganggu aktivitas produksi. Selain itu, kondisi lokasi didukung oleh intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi sehingga menunjang pengoperasian sistem PLTS secara optimal.

Gambar 2. Lokasi Gedung SKM PT Cakra Guna Cipta

3.2 Sistem PLTS dan Dasar pemilihan Kapasitas

3.2.1 Beban Listrik dan Dasar Pemilihan Kapasitas PV

Profil beban listrik Gedung SKM menunjukkan daya aktif puncak sebesar 186,4 kW dengan durasi operasi sekitar 11 jam per hari. Profil beban ini menjadi dasar utama untuk menentukan kapasitas sistem PV karena sistem PV yang diusulkan dimaksudkan untuk memasok sebagian permintaan listrik gedung sambil tetap terhubung ke jaringan utilitas.

Kapasitas PV yang dipilih adalah 201 kWp, yang diimplementasikan menggunakan 600 modul JA Solar dengan kapasitas nominal 335 Wp per modul. Total

kapasitas DC adalah:

$$P_{PV} = 600 \times 335 = 201,000 \text{ Wp} = 201 \text{ kWp}$$

Sistem yang diusulkan menggunakan dua inverter Huawei SUN2000-100KTL-M1, masing-masing dengan daya 100 kW, sehingga total kapasitas inverter mencapai 200 kW. Dengan demikian, rasio DC-ke-AC dari sistem yang diusulkan kira-kira:

$$\text{DC-to-AC Ratio} = \frac{201 \text{ kWp}}{200 \text{ kW}} \approx 1,005$$

Rasio DC-ke-AC yang dihasilkan mendekati satu. Konfigurasi ini menunjukkan bahwa array PV dan kapasitas inverter sangat seimbang, sementara kapasitas inverter total tetap sebanding dengan beban puncak bangunan sebesar 186,4 kW. Konfigurasi ini oleh karena itu memberikan dasar yang konsisten secara teknis untuk mengintegrasikan sistem PV ke dalam sistem listrik yang ada.

Pemilihan 201 kWp tidak boleh diartikan sebagai upaya untuk memasok seluruh beban puncak instan bangunan. Kapasitas PV nominal mewakili kapasitas DC yang terpasang dalam kondisi uji standar, sedangkan output listrik aktual bervariasi tergantung pada radiasi matahari, suhu modul, kerugian sistem, dan operasi inverter. Oleh karena itu, kesesuaian kapasitas yang dipilih harus dievaluasi menggunakan hasil produksi energi tahunan dan pencocokan beban, bukan dengan membandingkan kWp langsung dengan beban puncak.

Simulasi PVsyst mengonfirmasi kesesuaian konfigurasi yang dipilih dengan memberikan perkiraan produksi tahunan sebesar 353,01 MWh. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas yang dipilih mampu menghasilkan energi dalam jumlah besar sambil tetap berada dalam konfigurasi inverter yang diusulkan.

Gambar 3. Layout Sistem PLTS pada PVsyst

Perancangan tersebut menghasilkan konfigurasi sistem yang mampu memanfaatkan area atap secara optimal serta memenuhi kebutuhan energi listrik pada Gedung SKM. Kapasitas PLTS yang dipilih juga masih sesuai dengan kemampuan sistem distribusi eksisting sehingga dapat diintegrasikan dengan jaringan PLN.

3.3 Hasil Simulasi PVsyst

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst menunjukkan bahwa sistem PLTS berkapasitas 201 kWp mampu menghasilkan energi listrik sebesar 353,01 MWh/tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kebutuhan energi listrik Gedung SKM.

Tabel 3. Hasil Simulasi Produksi Energi Tahunan

Selain produksi energi, simulasi juga menunjukkan nilai Performance Ratio (PR) yang berada pada kategori baik, sehingga menunjukkan bahwa rugi-rugi sistem masih berada dalam batas yang dapat diterima.

Gambar 4. Performance Ratio Sistem PLTS

Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi sistem PLTS yang dirancang mampu menghasilkan energi listrik secara optimal dengan tingkat performa yang baik. Dengan demikian, sistem memenuhi aspek teknis untuk diterapkan pada Gedung SKM PT Cakra Guna Cipta.

3.3.1 Produksi Energi dan Performance Ratio

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan PVsyst, sistem PLTS dengan kapasitas terpasang sebesar 201 kWp menghasilkan energi listrik sebesar 353,01 MWh/year. Jika dibandingkan dengan kapasitas nominal sistem, energi spesifik yang dihasilkan mencapai sekitar 1.756 kWh/kWp/year. Nilai ini menunjukkan jumlah energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh setiap 1 kWp kapasitas terpasang dan dapat digunakan sebagai indikator hasil produksi sistem terhadap kapasitas PLTS yang dipasang. Dengan demikian, hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas 201 kWp mampu menghasilkan energi listrik tahunan yang cukup signifikan untuk mendukung kebutuhan listrik Gedung SKM.

Selain produksi energi, parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem adalah Performance Ratio (PR). Hasil simulasi menunjukkan nilai PR sebesar 89,23%. PR tidak menunjukkan efisiensi modul PV secara langsung, tetapi menggambarkan tingkat kinerja keseluruhan sistem dengan membandingkan energi listrik aktual yang dihasilkan terhadap energi yang secara teoritis dapat dihasilkan berdasarkan irradiance yang diterima dan kapasitas nominal sistem. Dengan demikian, nilai PR mencakup pengaruh berbagai rugi-rugi (losses) yang terjadi selama proses konversi energi matahari menjadi energi listrik.

Rugi-rugi tersebut dapat berasal dari beberapa tahapan sistem, antara lain rugi-rugi pada modul PV, pengaruh temperatur, mismatch antar modul, soiling, rugi-rugi pada kabel DC dan AC, serta rugi-rugi pada inverter. Oleh karena itu, nilai PR sebesar 89,23% menunjukkan bahwa sebagian besar potensi energi yang tersedia dapat dikonversi dan disalurkan sebagai energi listrik, sementara sebagian lainnya hilang akibat berbagai mekanisme rugi-rugi sistem. Nilai PR tersebut perlu dipahami sebagai indikator kinerja keseluruhan sistem PLTS, bukan sebagai nilai efisiensi modul PV.

Dengan demikian, hasil PVsyst menunjukkan dua aspek kinerja yang saling melengkapi. Energi tahunan sebesar 353,01 MWh/year menunjukkan besarnya energi listrik yang dapat diproduksi oleh sistem, sedangkan PR sebesar 89,23% menunjukkan tingkat kinerja sistem setelah mempertimbangkan kondisi sumber energi matahari dan berbagai rugi-rugi dalam sistem. Pembahasan kedua parameter tersebut memberikan dasar yang lebih kuat untuk menilai kinerja teknis PLTS sebelum dianalisis lebih lanjut terhadap kontribusinya pada kebutuhan energi gedung dan aspek ekonominya.

3.3.2 Kontribusi PLTS terhadap Kebutuhan Energi Gedung

Berdasarkan hasil simulasi PVsyst, sistem PLTS berkapasitas 201 kWp menghasilkan energi listrik sebesar 353,01 MWh/year, sedangkan kebutuhan energi listrik Gedung SKM mencapai 671,04 MWh/year. Secara sederhana, perbandingan antara produksi energi tahunan PLTS terhadap konsumsi energi tahunan gedung adalah sebesar 52,61%. Namun, nilai tersebut tidak dapat secara langsung diinterpretasikan sebagai persentase kebutuhan listrik gedung yang dipenuhi oleh PLTS, karena produksi energi PV dan konsumsi listrik gedung tidak terjadi pada waktu yang sama.

Untuk menunjukkan kontribusi PLTS terhadap kebutuhan energi gedung secara lebih representatif, digunakan parameter Solar Fraction (SolFrac) dari PVsyst. Berdasarkan hasil simulasi, nilai Solar Fraction diperoleh sebesar 42,88%. Nilai ini menunjukkan proporsi kebutuhan energi listrik pengguna yang dapat dipenuhi oleh energi PV berdasarkan hubungan antara produksi energi surya dan profil beban pengguna pada setiap time step simulasi. Dengan demikian, nilai Solar Fraction mempertimbangkan kesesuaian waktu antara energi yang dihasilkan PLTS dan kebutuhan listrik gedung, sehingga lebih tepat digunakan untuk menggambarkan kontribusi PLTS terhadap kebutuhan energi gedung dibandingkan dengan perbandingan energi tahunan secara langsung.

Perbedaan antara nilai 52,61% dan 42,88% menunjukkan bahwa tidak seluruh energi PV yang dihasilkan dalam satu tahun dapat secara langsung digunakan untuk memenuhi beban gedung pada saat energi tersebut diproduksi. Sebagian produksi PV dapat terjadi ketika kebutuhan beban lebih rendah dibandingkan daya yang tersedia dari PLTS, sedangkan pada waktu tertentu kebutuhan listrik gedung tetap harus dipenuhi dari jaringan listrik ketika produksi PV tidak mencukupi. Oleh karena itu, Solar Fraction sebesar 42,88% digunakan sebagai indikator kontribusi PLTS terhadap kebutuhan listrik gedung dalam penelitian ini, sedangkan nilai 52,61% hanya digunakan untuk menunjukkan perbandingan antara total produksi energi tahunan PLTS dan total konsumsi energi tahunan gedung.

3.4 Studi Interkoneksi

3.4.1 Analisis Load Flow

Analisis *load flow* dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan setelah integrasi PLTS. Hasil simulasi setelah pemasangan PLTS ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Single Line Diagram Hasil Simulasi Load Flow Setelah Pemasangan PLTS

Berdasarkan hasil simulasi, sistem PLTS mampu menyuplai sebagian kebutuhan energi listrik Gedung SKM sehingga daya yang disuplai dari jaringan PLN mengalami penurunan. Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah

interkoneksi PLTS sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4. Load Flow

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa profil tegangan pada setiap bus mengalami peningkatan sebesar 0,26–0,37%. Seluruh nilai tegangan masih berada pada rentang yang dipersyaratkan oleh SPLN 1:1995, sehingga integrasi PLTS tidak menyebabkan penurunan kualitas tegangan maupun gangguan pada sistem distribusi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem PLTS layak diintegrasikan dengan jaringan listrik Gedung SKM.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan pembangkitan dari PLTS memberikan perubahan yang relatif kecil terhadap profil tegangan sistem. Dengan demikian, kapasitas pembangkit yang diintegrasikan tidak menyebabkan perubahan tegangan yang signifikan pada bus yang dievaluasi.

3.4.2 Short Circuit Analysis

Analisis *short circuit* dilakukan untuk mengetahui pengaruh interkoneksi PLTS terhadap arus gangguan sistem. Hasil simulasi ETAP setelah pemasangan PLTS ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Single Line Diagram Hasil Simulasi Short Circuit Setelah Pemasangan PLTS

Perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah pemasangan PLTS disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Short Circuit

Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus hubung singkat meningkat dari 35,884 kA menjadi 36,015 kA atau bertambah sebesar 0,131 kA (0,37%) akibat kontribusi arus dari sistem PLTS saat terjadi gangguan. Meskipun mengalami peningkatan, nilai arus gangguan tersebut masih memenuhi ketentuan IEC 60909, sehingga sistem proteksi dan peralatan listrik tetap dapat beroperasi secara aman.

3.5 Kajian Finansial

Kajian finansial dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi sistem PLTS berdasarkan investasi awal, penghematan biaya energi listrik, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), tingkat diskonto, dan umur proyek. Parameter yang digunakan dalam analisis finansial disajikan pada Tabel X.

Tabel 6. Asumsi Finansial Sistem PLTS

Penghematan biaya listrik tahunan diperoleh berdasarkan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS dan tarif listrik yang digunakan dalam analisis. Selanjutnya, net cash flow tahunan diperoleh dari penghematan biaya listrik setelah dikurangi biaya O&M. Dengan demikian, net cash flow dihitung menggunakan persamaan:

$NCF = S - O\&M$

dengan (NCF) adalah *net cash flow* tahunan, (S) adalah penghematan biaya listrik tahunan, dan (O&M) adalah biaya operasi dan pemeliharaan tahunan. Berdasarkan nilai pada Tabel 6, diperoleh:

$NCF = Rp393.516.347 - Rp18.029.153$

$NCF = Rp375.487.194/tahun$

Nilai *net cash flow* tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan indikator kelayakan finansial, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), *Profitability Index* (PI), dan *Payback Period* (PP). Hasil perhitungan finansial sistem PLTS ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis Finansial

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai NPV sebesar sekitar Rp3,11 miliar selama umur proyek 25 tahun. Nilai NPV yang positif menunjukkan bahwa nilai sekarang dari arus kas bersih selama periode analisis lebih besar daripada investasi awal berdasarkan tingkat diskonto sebesar 5,75%. Selanjutnya, nilai BCR sebesar 2,73 menunjukkan bahwa nilai manfaat yang diperoleh dalam analisis memiliki rasio sebesar 2,73 terhadap biaya yang diperhitungkan. Nilai PI sebesar 2,73 juga menunjukkan bahwa nilai sekarang dari manfaat bersih yang diperoleh relatif lebih besar dibandingkan investasi awal.

Sementara itu, *Payback Period* sebesar 4,80 tahun menunjukkan bahwa investasi awal secara sederhana dapat kembali melalui *net cash flow* tahunan sekitar 4,80 tahun. Setelah periode tersebut, arus kas bersih tahunan menjadi bagian dari manfaat ekonomi proyek selama sisa umur analisis. Secara keseluruhan, berdasarkan asumsi finansial dan parameter yang digunakan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem PLTS memberikan indikator kelayakan finansial yang positif selama periode analisis 25 tahun.

3.6 Kajian Lingkungan

Penerapan sistem PLTS tidak hanya memberikan manfaat dari aspek ekonomi, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik sebesar 353,01 MWh/tahun.

Dengan faktor emisi jaringan listrik Indonesia sebesar 0,734 ton CO₂/MWh, sistem PLTS berpotensi pengurangan emisi pada tahun pertama diperkirakan sebesar 259,11 ton CO₂/tahun."

Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa implementasi sistem PLTS mendukung upaya pengurangan emisi gas rumah kaca sekaligus meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan pada sektor industri. Oleh karena itu, sistem PLTS yang dirancang dinyatakan layak tidak hanya dari aspek

teknis dan finansial, tetapi juga dari aspek lingkungan.

IV. CONCLUSION

Berdasarkan analisis teknis, kelistrikan, finansial, dan lingkungan terhadap usulan sistem *fotovoltaik* (PV) yang terhubung ke jaringan (*grid-connected*) di Gedung SKM milik PT Cakra Guna Cipta, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Gedung SKM memiliki beban aktif puncak sebesar 186,4 kW dengan durasi operasi sekitar 11 jam per hari. Berdasarkan beban gedung, luas area instalasi yang tersedia, dan potensi energi surya, dipilih kapasitas PV sebesar 201 kWp. Sistem ini terdiri dari 600 modul JA Solar 335 Wp dan dua inverter Huawei SUN2000-100KTL-M1 dengan kapasitas masing-masing 100 kW, sehingga menghasilkan total kapasitas inverter sebesar 200 kW dan rasio DC-ke-AC sekitar 1,005.
2. Simulasi PVsyst memperkirakan produksi listrik tahunan sebesar 353,01 MWh dengan *Performance Ratio* sebesar 89,23% dan produksi spesifik sekitar 1.756 kWh/kWp/tahun. *Solar Fraction* yang diperoleh dari simulasi beban gedung adalah 42,88%, yang menunjukkan bahwa sistem PV dapat memasok sekitar 42,88% dari kebutuhan listrik gedung dalam profil operasi yang disimulasikan.
3. Analisis aliran daya (*load-flow*) dan arus hubung singkat menggunakan ETAP menunjukkan bahwa interkoneksi PV tidak menyebabkan perubahan yang merugikan pada kondisi operasi yang dievaluasi. Pada Bus 2, arus hubung singkat meningkat dari 35,884 kA menjadi 36,015 kA—yang mencerminkan peningkatan sekitar 0,365%—dan tetap berada dalam batas proteksi yang diperhitungkan dalam studi ini.
4. Analisis finansial menggunakan nilai investasi awal sebesar Rp1.802.915.325, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) tahunan sebesar Rp18.029.153, tarif listrik sebesar Rp1.114,74/kWh, tingkat diskonto sebesar 5,75%, dan masa pakai proyek selama 25 tahun. Nilai NPV yang diperoleh adalah sekitar Rp3,11 miliar, dengan nilai BCR dan PI sebesar 2,73 serta *Payback Period* sederhana sekitar 4,80 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa capaian ekonomi tersebut sensitif terhadap asumsi keuangan yang digunakan dalam analisis.
5. Sistem PV yang diusulkan diperkirakan mampu mengurangi emisi karbon sebesar kurang lebih 259,11 ton CO₂ pada tahun pertama, berdasarkan estimasi produksi PVsyst dan faktor emisi yang digunakan dalam studi ini. Manfaat lingkungan jangka panjang perlu

dievaluasi dengan menggunakan asumsi degradasi dan masa pakai yang ditetapkan dalam model lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil studi menunjukkan bahwa konfigurasi PV 201 kWp yang diusulkan dapat diintegrasikan secara teknis dengan sistem kelistrikan yang ada serta memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi pasokan listrik dari jaringan utilitas. Studi ini juga menunjukkan bahwa pelaporan yang jelas mengenai pemilihan kapasitas PV, kontribusi beban, dan asumsi keuangan sangatlah penting untuk menjamin keterulangan hasil serta mengevaluasi kelayakan sistem PV atap industri.

V. ACKNOWLEDGEMENTS

Ucapan Terima Kasih Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENCES

- [1] P. N. Islami, "ANALISIS PERMINTAAN ENERGI DI INDONESIA," 2025, *UNIVERSITAS MALIKUSSALEH*.
- [2] A. S. Pramudiyanto and S. W. A. Suedy, "Energi bersih dan ramah lingkungan dari biomassa untuk mengurangi efek gas rumah kaca dan perubahan iklim yang ekstrim," *J. Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 86–99, 2020.
- [3] F. Pijoh, B. D. P. Kusuma, and L. P. Purba, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan," *Ind. Syst. Eng. Journals*, vol. 2, no. 2, pp. 201–207, 2024.
- [4] N. N. Dheti Puspita, "ENERGI BERSIH TERJANGKAU DALAM MEWUJUDKAN TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN (SDGs)," *JURNALSOSIAL DAN SAINS*, vol. 3, pp. 271–280, 2024.
- [5] E. A. Karuniawan *et al.*, "Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang dengan Perangkat Lunak PVsyst," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 75, no. 2, pp. 1–6, 2023.
- [6] A. Kushwah, S. Raj, N. Patel, and A. Gaurav, "Analysis of a 5.0 kWp solar rooftop system : Techno-economic , design , and simulation using pvsyst," vol. 12, no. 1, pp. 303–322, 2026, doi: 10.14744/thermal.0001079.
- [7] C.-D. Dumitru, A. Gligor, S. Dzitac, I. Vlasea, and A. Simo, "Solar Photovoltaic Systems Challenges in Industrial Network Installations," in *2024 IEEE International Conference And Exposition On Electric And Power Engineering (EPEI)*, 2024, pp. 701–705. doi: 10.1109/EPEI63510.2024.10758087.
- [8] A. P. Galevien, M. K. Ridwan, A. Noor, and I. Wardana, "Assessing the Viability of Rooftop Solar PV in Energy-Intensive Industries : A Techno-Economic and Safety Framework for the Indonesian FMCG Sector," no. 79, pp. 1–20, 2025.
- [9] N. Nugroho, K. H. Khwee, and Yandri, "Studi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya," p. 11, 2020.
- [10] S. Esteban, J. Carlos, and J. Parra-domínguez, "Heliyon Demand charges reduction with photovoltaics in industry Ord o Time of Use Time of Return on Investment," vol. 10, no. December 2023, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23404.
- [11] S. Muslim, K. Khotimah, and A. N. Azhiimah, "Penentuan kapasitas sistem fotovoltaiik (PV) untuk bangunan industri sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan luas atap yang tersedia dan potensi produksi energi surya, tetapi juga kebutuhan listrik bangunan, profil beban, konfigurasi inverter, serta kontrib," *Rang Tek. J.*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [12] H. Gusmedi, A. Saudi, and D. Despa, "Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri Analisis Kinerja Teknis dan Potensi Energi Sistem Fotovoltaiik Atap Berdasarkan Luas Atap Fakultas Teknik Universitas Lampung," vol. 8, 2025.
- [13] A. A. B. G. Kaler, "Analisis Teknis Dan Ekonomis Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Sistem On-Grid di Gedung Pusat Politeknik Negeri Bali," 2025, *Politeknik Negeri Bali*.
- [14] M. F. Hiswandi, F. Iswahyudi, and W. M. Soeroto, "Analisis Kelayakan Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem on-Grid Di Pabrik Minuman Siap Saji," *Sebatik*, vol. 27, no. 1, pp. 22–29, 2023, doi: 10.46984/sebatik.v27i1.2246.
- [15] A. A. Nugroho, "Analisis Teknis dan Evaluasi Ekonomi PLTS Atap 1 , 75 MWp Menggunakan Metode Levelized Cost of Energy (LCOE) pada PT Polytama Propindo (IRENA) melaporkan bahwa levelized cost of electricity (LCOE) global untuk pembangkit Renewable Energy Agency , 2025). Meskipun demikian , penerapan PLTS Atap pada sistem," vol. 6, no. 9, pp. 2897–2914, 2026.

*Correspondent e-mail address ahmadanig@gmail.com
Peer reviewed under reponsibility of Muhammadiyah
Sidoarjo University, Indonesia

© 2026 Muhammadiyah Sidoarjo University, All
right reserved, This is an open access article under the
CC BY
license(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Received: 2026-07-10

Accepted: 2026-07-22

Published: 2026-09-25

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data Penelitian	
Tabel 2. Asumsi Finansial	
Tabel 3. Hasil Simulasi Produksi Energi Tahunan	
Tabel 4. <i>Load Flow</i>	
Tabel 5. Short Circuit	
Tabel 6. Asumsi Finansial Sistem PLTS	
Tabel 7. Hasil Analisis Finansial	

Parameter	Nilai
Lokasi	PT Cakra Guna Cipta
Objek Penelitian	Gedung SKM
Beban Listrik	186,4 kW
Kapasitas PLTS	201 kWp
Modul Surya	JA Solar 335 Wp
Inverter	Huawei SUN2000-100KTL-M1
Software	PVsyst 8.2, ETAP 22, Microsoft Excel
Investasi awal	Rp1.802.915.325
Biaya O&M	Rp18.029.153/tahun
Tarif listrik LWBP	Rp1.114,74/kWh
Discount rate	5,75%
Umur proyek	25 tahun
Produksi energi	353,01 MWh/tahun
Net annual cash flow	Rp375.487.194/tahun

Tabel 1. Data Penelitian

Parameter	Nilai
Investasi awal	Rp1.802.915.325
O&M	Rp18.029.153/tahun
Tarif listrik	Rp1.114,74/kWh
Produksi PV	353,01 MWh/tahun
Gross annual saving	Rp393.516.347/tahun
Net annual cash flow	Rp375.487.194/tahun
Discount rate	5,75%
Umur proyek	25 tahun

Tabel 2. Asumsi Finansial

	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	T_Amb (°C)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (MWh)	E_User (MWh)	E_Solar (MWh)	E_Grid (MWh)	EFrGrid (MWh)
January	164,4	78,8	25,58	150,7	145,1	27,41	68,2	26,38	0,494	41,82
February	150,3	81,26	25,54	143,4	138,7	26,21	61,6	25,25	0,446	36,35
March	168,6	86,41	25,89	168,4	163,5	30,83	68,2	29,66	0,573	38,54
April	161,6	69,22	26,16	170,8	166,3	31,31	66	29,97	0,74	36,03
May	154,1	69,36	26,54	170,2	165,6	31,22	68,2	29,91	0,715	38,29
June	144,7	53,16	25,6	164,8	160,4	30,32	66	29,09	0,649	36,91
July	160,2	53,34	25,37	181,1	176,7	33,38	68,2	32,13	0,615	36,07
August	168,1	68,78	25,48	180,9	176,4	33,29	68,2	31,97	0,684	36,23
September	172,3	67,68	25,77	175,6	170,7	32,1	66	30,57	0,906	35,43
October	174	89,41	27,02	168,5	163,3	30,65	68,2	29,01	1,055	39,19
November	155,8	78,02	26,74	144,6	139,3	26,18	66	24,7	0,966	41,3
December	164,2	84,58	26,19	149,2	143,4	27,06	68,2	25,7	0,834	42,5
Year	1938,3	880,02	25,99	1968,2	1909,2	359,96	803	344,34	8,676	458,66

Tabel 3. Hasil Simulasi Produksi Energi Tahunan

Parameter	Nilai
Jumlah bus	7
Tegangan minimum	353 V
Tegangan maksimum	381 V
Peningkatan maksimum	0,37%
Memenuhi SPLN	Ya

Tabel 4. Load Flow

Parameter	Sebelum	Sesudah
Arus Hubung Singkat	35,884 kA	36,015 kA
Selisih	-	0,131 kA
Perubahan	-	0,37%

Tabel 5. Short Circuit

Parameter	Nilai
Investasi awal	Rp1.802.915.325
Biaya O&M tahunan	Rp18.029.153/tahun
Penghematan biaya listrik tahunan	Rp393.516.347/tahun
Net cash flow tahunan	Rp375.487.194/tahun
Tarif listrik	Rp1.114,74/kWh
Discount rate	5,75%
Umur proyek	25 tahun

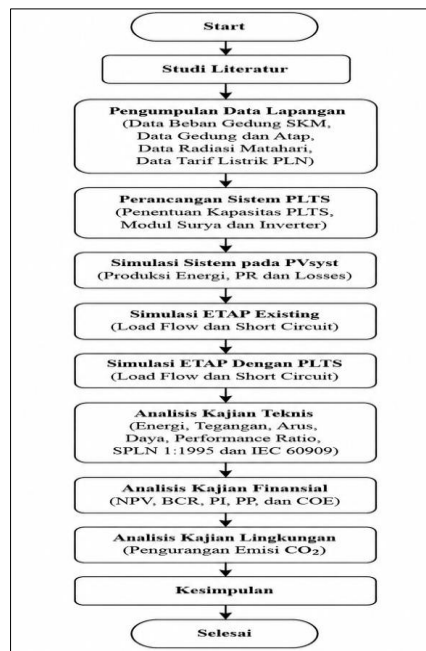
Tabel 6. Asumsi Finansial Sistem PLTS

Indikator	Hasil
NPV	±Rp3.113.243.400
BCR	2,73
PI	2,73
Payback Period	4,80 tahun

Tabel 7. Hasil Analisis Finansial

DAFTAR GAMBAR

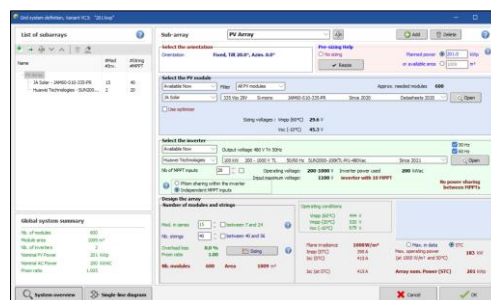
Gambar 1. Diagram Alir.....	
Gambar 2. Lokasi Gedung SKM PT Cakra Guna Cipta	
Gambar 3. Layout Sistem PLTS pada PVSystem.....	
Gambar 4. Performance Ratio Sistem PLTS.....	
Gambar 5. Single Line Diagram Hasil Simulasi Load Flow Setelah Pemasangan PLTS	
Gambar 6. Single Line Diagram Hasil Simulasi Short Circuit Setelah Pemasangan PLTS	



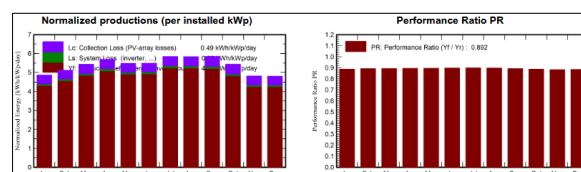
Gambar 1. Diagram Alir



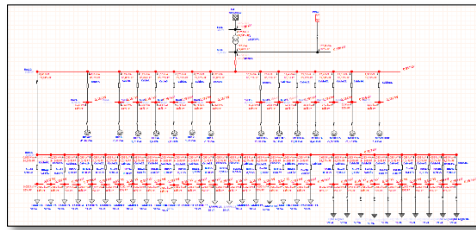
Gambar 2. Lokasi Gedung SKM PT Cakra Guna Cipta



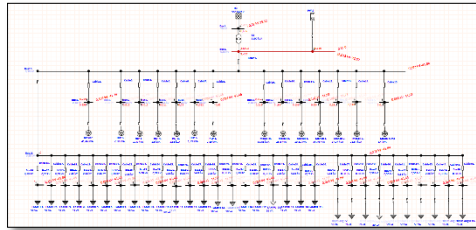
Gambar 3. Layout Sistem PLTS pada PVsyst



Gambar 4. Performance Ratio Sistem PLTS



Gambar 5. Single Line Diagram Hasil Simulasi Load Flow Setelah Pemasangan PLTS



Gambar 6. Single Line Diagram Hasil Simulasi Short Circuit Setelah Pemasangan PLTS