

ANALISIS PERBANDINGAN KONSUMSI ENERGI GEDUNG DELTA PLAZA DENGAN METODE (*LCOE*) *LEVELIZED COST OF ENERGY*

1st Emanoell Dave Keshan Sinanu
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia

davesinanu@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Silvi Istiqomah
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia

silviistiqomah@telkomuniversity.ac.id

3rd Dwi Heru Siswantoro
Teknik Mesin
Politeknik Internasional Tamansiswa
Mojokerto, Indonesia

dwiherusiswantoro@gmail.com

Abstrak — Kebutuhan energi listrik yang tinggi pada bangunan komersial seperti pusat perbelanjaan menyebabkan biaya operasional yang besar dan ketergantungan penuh pada sumber energi konvensional. Gedung Delta Plaza Surabaya, sebagai salah satu pusat perbelanjaan besar hingga saat ini masih sepenuhnya bergantung pada pasokan listrik dari PLN. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penghematan energi dan biaya melalui penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), serta mengevaluasi kelayakannya dengan pendekatan *Levelized Cost of Energy (LCOE)*. Metode yang digunakan melibatkan konversi konsumsi energi tahunan menjadi kapasitas PLTS, perhitungan investasi, produksi energi, hingga proyeksi ekonomi jangka panjang. Hasil menunjukkan bahwa sistem PLTS dengan kapasitas 4.622,102 kWp mampu menghasilkan 7 juta kWh per tahun dengan *LCOE* sebesar Rp 425,82/kWh, lebih rendah dibandingkan tarif PLN Rp 1.035,78/kWh. Potensi penghematan mencapai 58,9% atau sekitar Rp 4,69 miliar per tahun dengan waktu pengembalian modal sekitar 11 tahun 7 bulan. Kesimpulan pada penelitian ini sistem PLTS dinilai layak secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan sebagai strategi efisiensi energi jangka panjang.

Kata kunci— Delta Plaza, Energi terbarukan, Efisiensi energi, *Levelized Cost of Energy (LCOE)*, PLTS.

I. PENDAHULUAN

Bangunan komersial seperti pusat perbelanjaan memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas ekonomi dan sosial di kawasan urban, namun juga menjadi penyumbang konsumsi energi yang tinggi, terutama untuk sistem pencahayaan, pendingin udara, dan operasional bangunan lainnya [1]. Delta Plaza Surabaya merupakan salah satu gedung pusat perbelanjaan besar yang masih sepenuhnya bergantung pada pasokan listrik konvensional dari PLN, dengan golongan tarif B3 tanpa subsidi.

Tingginya beban listrik tidak hanya berdampak pada meningkatnya biaya operasional, tetapi juga memperbesar jejak karbon dan ketergantungan pada energi fosil

[2]. Sebagai solusi, pemanfaatan energi terbarukan seperti panel surya mulai menjadi pilihan strategis yang layak diterapkan dalam gedung-gedung modern [3]. Teknologi PLTS tidak hanya menawarkan efisiensi biaya dalam jangka panjang, tetapi juga mendukung tujuan keberlanjutan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan penerapan sistem PLTS atap di Delta Plaza Surabaya dengan menggunakan pendekatan *Levelized Cost of Energy (LCOE)*. Metode ini dinilai efektif dalam membandingkan biaya energi konvensional dan energi surya, serta menilai kelayakan teknis dan ekonomi proyek PLTS [4]. Selain itu, evaluasi juga mencakup proyeksi penghematan biaya dan waktu pengembalian investasi, guna memberikan rekomendasi strategi pengelolaan energi yang lebih berkelanjutan.

II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

A. Konsumsi Energi Gedung Komersial

Gedung komersial seperti pusat perbelanjaan membutuhkan energi dalam jumlah besar untuk mendukung operasional sistem pencahayaan, pendingin udara (AC), lift, dan eskalator [5]. Tingginya aktivitas pengunjung turut meningkatkan beban listrik harian, sehingga efisiensi energi menjadi isu strategis dalam pengelolaan gedung.

B. Efisiensi Energi dan Energi Terbarukan

Efisiensi energi didefinisikan sebagai upaya untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan fungsi utama sistem [6]. Salah satu pendekatan untuk mencapainya adalah dengan mengintegrasikan energi terbarukan, seperti panel surya, yang terbukti mampu menekan biaya operasional dan menurunkan emisi karbon [7].

C. Panel Surya dan PLTS

Panel surya mengubah energi matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaiik. Teknologi ini banyak digunakan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) karena biaya operasionalnya rendah dan memiliki umur teknis panjang (sekitar 25 tahun) [8]. Salah satu panel efisiensi tinggi yang direkomendasikan adalah Longi 580 Wp monocrystalline, dengan efisiensi konversi 22%.

D. Faktor Produksi Energi PLTS

Produksi energi dari PLTS dipengaruhi oleh beberapa variabel teknis, seperti kapasitas terpasang, rata-rata iradiasi matahari (kWh/m²/hari), efisiensi sistem, serta durasi operasi tahunan [9]. Rata-rata iradiasi harian Surabaya adalah 5,7 kWh/m², menjadikan wilayah ini cukup potensial untuk pengembangan energi surya.

E. Levelized Cost of Energy (LCOE)

LCOE adalah metode evaluasi biaya rata-rata produksi energi sepanjang umur sistem, dengan mempertimbangkan investasi awal (CAPEX), biaya operasional tahunan (OPEX), serta total energi yang dihasilkan [10]. LCOE sangat berguna untuk membandingkan efisiensi biaya antara energi konvensional dan terbarukan, serta menilai kelayakan ekonomi sistem PLTS.

F. Payback Period

Selain LCOE, metrik penting lainnya adalah payback period, yaitu waktu yang dibutuhkan agar nilai penghematan dari penggunaan PLTS setara dengan investasi awal. Indikator ini membantu menilai kapan sistem mulai memberikan keuntungan finansial bersih [11].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan studi kasus pada gedung komersial Delta Plaza Surabaya. Tujuannya adalah mengevaluasi potensi penghematan energi dan keekonomian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan metode Levelized Cost of Energy (LCOE).

A. Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan pencatatan manual terhadap konsumsi energi listrik selama satu minggu, kemudian diekstrapolasi menjadi tahunan sebesar 13.263.840 kWh. Data teknis bangunan, seperti luas atap yang tersedia (15.938 m²) diperoleh melalui pengukuran manual dengan *google maps*. Sedangkan data sekunder meliputi tarif listrik PLN golongan B3, *irradiance* tahunan (5,7 kWh/m²/hari dari *Global Solar Atlas*) spesifikasi panel Longi 580 Wp serta harga satuan komponen PLTS dari vendor lokal.

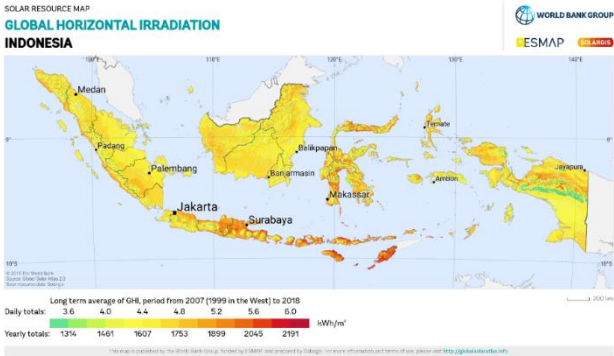
TABEL 1
Data Biaya Energi Listrik (PLN)

Tabel Data Biaya Energi Listrik (PLN)			
Bulan	LWBP (Kwh)	WBP (Kwh)	Total Energi (Kwh)
Januari	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683
Februari	Rp785.784.139	Rp302.779.210	Rp1.088.563.349
Maret	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683
April	Rp812.880.144	Rp313.219.872	Rp1.126.100.016
Mei	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683

Tabel Data Biaya Energi Listrik (PLN)

Bulan	LWBP (Kwh)	WBP (Kwh)	Total Energi (Kwh)
Juni	Rp812.880.144	Rp313.219.872	Rp1.126.100.016
Juli	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683
Agustus	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683
September	Rp812.880.144	Rp313.219.872	Rp1.126.100.016
Oktober	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683
November	Rp812.880.144	Rp313.219.872	Rp1.126.100.016
Desember	Rp839.976.149	Rp323.660.534	Rp1.163.636.683
Total Energi			Rp13.738.420.195
PPN 12%			Rp1.648.610.423
PPJ 8%			Rp1.099.073.616
Grand Total			Rp16.486.104.234

Berdasarkan data biaya konsumsi listrik bulanan selama satu tahun penuh, diketahui bahwa pengeluaran energi Gedung Delta Plaza terbagi dalam dua kategori, yaitu LWBP dan WBP, dengan total biaya berkisar antara Rp 1,08 hingga Rp 1,16 miliar per bulan. Biaya LWBP tercatat antara Rp 785 juta hingga Rp 839 juta, sedangkan WBP berada pada kisaran Rp 302 juta hingga Rp 323 juta. Selama tahun berjalan, total biaya listrik mencapai Rp 13,73 miliar, ditambah PPN 12% dan PPJ 8%, sehingga akumulasi pengeluaran tahunan mencapai Rp 16,49 miliar. Tingginya konsumsi energi sekitar 13 juta kWh per tahun dan besarnya beban biaya menunjukkan urgensi pengembangan alternatif energi. Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan adalah energi surya, mengingat Surabaya memiliki rata-rata intensitas cahaya matahari harian yang cukup tinggi, yaitu 5,7 kWh/m²/hari, sebagaimana ditunjukkan dalam Global Solar Atlas (2025).



GAMBAR 1
Global Horizontal Irradiation Surabaya

Merujuk pada global solar atlas, wilayah Surabaya memiliki rata-rata intensitas radiasi matahari harian sebesar 5,7 kWh/m²/hari, yang tergolong tinggi dan sangat potensial untuk pemanfaatan energi surya. Dalam perencanaan sistem, efisiensi total diasumsikan sebesar 80% guna mengantisipasi berbagai potensi kerugian energi, seperti konversi inverter, suhu lingkungan, efek bayangan, serta degradasi komponen sistem [12].

TABEL 2
Biaya Investasi Pekerjaan Persiapan

I	Pekerjaan Persiapan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Total Harga (Rp.)
1.	Survey Penempatan PLTS	1	Lot	29.018.890	29.018.890
2.	Pembersihan Lokasi Panel Surya	15.938	M2	146.203	2.330.224.945
3.	Mobilisasi dan demobilisasi peralatan	1	Lot	221.122.650	221.122.650
Jumlah Rp.					2.580.366.485

Tabel 2 menjelaskan terkait biaya Pekerjaan persiapan mencakup survei lokasi, mobilisasi alat berat untuk persiapan pembangunan PLTS.

TABEL 3
Biaya Investasi Pengadaan Peralatan

II	Pengadaan Peralatan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Total Harga (Rp.)
1.	Peralatan Utama PLTS				
a	Pengadaan Modul Solar Cell 580 WP	7.969	Pcs	1.504.050	11.985.988.075
b	Pengadaan Controller Regulator Digital 30mmAmp -12volt DC	244	Set	115.000	15.295.000
c	Pengadaan Battery Kering VRLA Deep Cycle 100Ah-12volt	5.312	Buah	1.400.000	7.436.800.000
d	Invertere DC to AC 3 Phase/20.000 Watt	266	Unit	25.848.792	6.875.778.672
e	Pengadaan Kabel Control NYAF 1 x 2,5mm (hitam)	201.141	meter	9.950	2.001.352.950
f	Pengadaan Kabel Instalasi Solar PV NYHY 2x6mm(hitam)	32.618	meter	56.500	1.842.917.000
g	Pengadaan Kabel Instalasi Solar PV NYHY 2x16mm(hitam)	27.181	meter	92.000	2.500.652.000
h	Pengadaan Kabel Power Ground NYFGbY 4x25mm	38.054	meter	249.500	9.494.473.000

II	Pengadaan Peralatan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Total Harga (Rp.)
2.	Pengadaan Supporting				
a	Pengadaan Suppoert Solar Panel	1	Lot	150.000.000	150.000.000
b	Pengadaan Rak Battery	1	Lot	48.000.000	48.000.000
c	Pengadaan Panel Box Distribusi lengkap Switchgear	1	Lot	85.000.000	85.000.000
d	Pengadaan Aksesoris (mur,baut, klem dll)	1	Lot	25.000.000	25.000.000
3.	Pengadaan Spare	1	Lot	62.000.000	62.000.000
Jumlah Rp.					42.523.256.697

Tabel 3 merangkum estimasi biaya pengadaan komponen utama sistem PLTS di Delta Plaza, meliputi 7.969unit panel surya 580 Wp, inverter 20.000 Watt, baterai VRLA, serta kabel distribusi dan perlengkapan pendukung lainnya seperti rangka panel, panel box, dan switchgear. Seluruh kebutuhan ini disusun untuk memastikan sistem terpasang lengkap dan sesuai standar keselamatan kelistrikan. Total biaya pengadaan peralatan diperkirakan mencapai Rp 42,5 miliar, berdasarkan survei harga dari vendor lokal dan referensi teknis.

TABEL 4
Biaya Investasi Pengadaan dan Pemasangan Penunjang

III	Pengadaan dan Pemasangan Penunjang	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Total Harga (Rp.)
1	Pek. Bangunan Ruang battery & Panel Inverter (6m x6m)	36	M ²	6.950.000	250.200.000
2	Pengadaan dan Pemasangan Penangkal Petir	1	Unit	28.241.112	28.241.112
3	Pengadaan dan Pemasangan Grounding Sistem	1	Unit	22.160.741	22.160.741
4	Pengadaan Test Equipment dan Tool Kit	1	Lot	5.000.000	5.000.000
Jumlah Rp.					305.601.853

Tabel 4 memuat estimasi biaya pekerjaan penunjang sistem PLTS, termasuk pembangunan ruang baterai dan panel inverter seluas 36 m², serta pengadaan perangkat keselamatan seperti penangkal petir, sistem grounding, dan peralatan uji. Total biaya pekerjaan ini mencapai Rp 305,6 juta, disusun berdasarkan standar harga konstruksi lokal dan kebutuhan proteksi instalasi listrik tenaga surya.

TABEL 5
Instalasi Lineup dan Uji Coba

IV	Instalasi Lineup dan Uji Coba	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Total Harga (Rp.)
1	Pekerjaan Instalasi PLTS	1	Lot	41.979.237	41.979.237
2	Pekerjaan Uji coba Keseluruhan Sistem	1	Lot	33.219.710	33.219.710
Jumlah Rp.					75.198.947

Tabel 5 menyajikan estimasi biaya instalasi sistem PLTS dan uji coba akhir guna memastikan seluruh komponen terpasang dengan baik dan berfungsi optimal. Pekerjaan meliputi pemasangan panel, inverter, kabel, serta integrasi ke jaringan gedung. Uji coba dilakukan untuk menilai performa sistem dan kesesuaian implementasi. Total biaya yang dialokasikan untuk tahap ini adalah Rp 75,2 juta.

TABEL 6
Services

V	Services	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Total Harga (Rp.)
V	Services				
1	Site Training	1	Lot	26.725.140	26.725.140

Tabel 6 merinci biaya pelatihan bagi teknisi atau pengelola gedung terkait pengoperasian dan perawatan sistem PLTS setelah instalasi. Pelatihan dilaksanakan di lokasi oleh penyedia sistem untuk memastikan prosedur operasional dan pemeliharaan dapat dijalankan dengan baik. Estimasi biaya untuk kegiatan ini sebesar Rp 26,7 juta sebagai dukungan terhadap keberlanjutan dan efisiensi sistem dalam jangka panjang.

TABEL 7
Grand Total

VI	Grand Total	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
A.	Total (I+II+III+IV+V)			Jumlah Rp.	45.511.149.122
B.	PPN 12%			Jumlah Rp.	5.461.337.895
C.	PPJ 8%			Jumlah Rp.	3.640.891.930
D.	Grand Total			Jumlah Rp.	54.613.378.947
E.	Pembulatan			Jumlah Rp.	54.610.000.000

Tabel 7 menyajikan rekap total biaya pembangunan sistem PLTS di Gedung Delta Plaza, yang mencakup lima komponen utama: pekerjaan awal, pengadaan peralatan, pekerjaan penunjang, instalasi dan uji coba, serta pelatihan. Total biaya dasar mencapai Rp 45,5 miliar, ditambah PPN 12% dan PPJ 8%, sehingga total keseluruhan mencapai Rp 54,61 miliar. Nilai ini digunakan sebagai acuan dalam perhitungan CAPEX pada analisis keekonomian sistem.

A. Perhitungan Levelized Cost of Energy (LCOE)

Perhitungan LCOE diawali dengan estimasi produksi energi tahunan berdasarkan nilai irradiance, efisiensi sistem, dan kapasitas terpasang. Selanjutnya dihitung total biaya sistem yang mencakup investasi awal dan biaya operasional tahunan selama umur pakai sistem. Nilai LCOE diperoleh dengan membagi total biaya terhadap total energi yang dihasilkan selama 25 tahun masa operasional.

1. Perhitungan Faktor Konversi

$$Faktor K = \frac{580}{5,7 \times 365 \times 0,8} \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan faktor konversi 0,348. Berfungsi untuk mengubah kebutuhan energi listrik tahunan (kWh) menjadi kapasitas daya sistem (Wp).

2. Perhitungan Estimasi Produksi Energi PLTS

$$Kapasitas PLTS = 13.263.840 \times 0,3485 \quad (2)$$

$$= 4.622.102 \text{ Wp}$$

$$= 4.633,102 \text{ kWp}$$

Kapasitas tersebut menjadi dasar dalam menentukan kapasitas terpasang sistem PLTS, yang selanjutnya digunakan untuk mengestimasi potensi produksi energi tahunan. Perhitungan didasarkan pada data irradiance rata-rata harian sebesar 5,7 kWh/m²/hari di Surabaya (Global Solar Atlas) dan asumsi efisiensi sistem 80%, dengan memperhitungkan berbagai faktor kerugian seperti inverter, suhu, bayangan, dan aspek teknis lainnya.

3. Perhitungan Produksi Energi Tahunan

$$E = 4.622,102 \times 5,7 \times 365 \times 0,8 \quad (3)$$

$$= 7.693.026 \text{ kWh}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem PLTS berkapasitas 4.622,102 kWp diperkirakan dapat menghasilkan energi sebesar 7.693.026 kWh per tahun. Nilai ini menjadi acuan dalam estimasi biaya sistem (CAPEX dan OPEX), perhitungan LCOE, serta evaluasi terhadap konsumsi listrik dari PLN.

4. Perhitungan Estimasi Biaya Sistem

$$CAPEX = \text{Rp } 54.610.000.000$$

$$OPEX T = 54.610.000.000 \times 2\% \quad (4)$$

$$= \text{Rp } 1.092.200.000$$

5. Perhitungan Levelized Cost of Energy

$$E_{total} = 7.693.026 \times 25$$

$$= 192.325.650 \text{ kWh}$$

$$LCOE = \frac{81.915.000.000}{192.325.650} \quad (5)$$

$$= \text{Rp } 425,82 \text{ per kWh}$$

6. Perhitungan Payback Period

$$\text{Penghematan Tahunan} = 7.693.026 \times (1.035,78 - 425,82)$$

$$= \text{Rp } 4.693.243.000$$

$$PP = \frac{54.610.000.000}{4.693.243.000} = 11,63 \text{ Tahun} \quad (6)$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa investasi sistem PLTS dapat kembali dalam waktu sekitar 11,63 tahun. Dengan umur operasional 25 tahun, penghematan biaya listrik setelah periode tersebut dapat dianggap sebagai keuntungan bersih.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

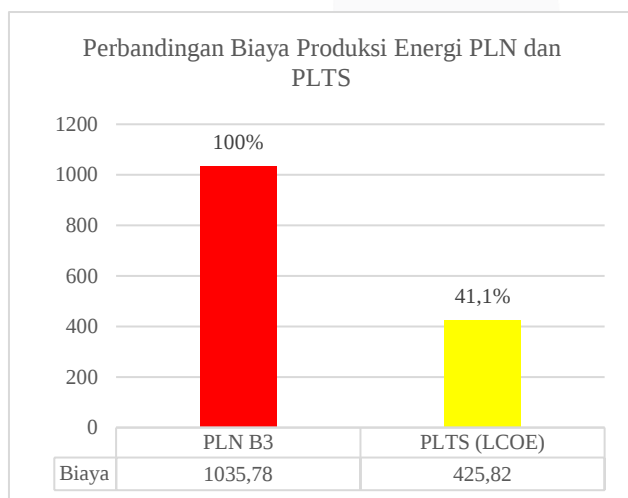
Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomi penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Delta Plaza Surabaya.

Berdasarkan hasil analisis konsumsi energi tahunan gedung sebesar 13.263.840 kWh, diperoleh kebutuhan kapasitas sistem PLTS sebesar 4.622,102 kWp menggunakan faktor konversi 0,3485 Wp/kWh. Dengan asumsi irradianse harian rata-rata sebesar 5,7 kWh/m²/hari dan efisiensi sistem 80%, estimasi produksi energi tahunan dari sistem PLTS mencapai 7.693.026 kWh.

Hasil perhitungan biaya investasi menunjukkan total Capital Expenditure (CAPEX) sebesar Rp 54,61 miliar, mencakup seluruh komponen utama sistem, pekerjaan sipil, instalasi, dan pelatihan. Biaya operasional dan pemeliharaan tahunan (OPEX) dihitung sebesar 2% dari CAPEX atau senilai Rp 1.092.200.000. Selama umur sistem 25 tahun, total biaya keseluruhan sistem mencapai Rp 81,91 miliar.

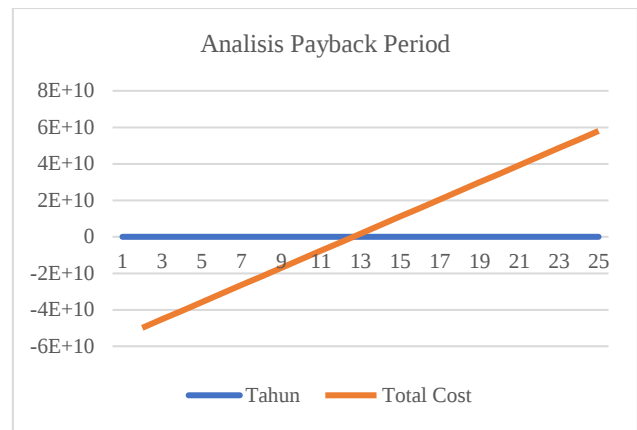
Berdasarkan nilai total biaya dan total produksi energi selama 25 tahun sebesar 192.325.650 kWh, diperoleh Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar Rp 425,82/kWh. Angka ini lebih rendah dibandingkan tarif listrik PLN untuk golongan pelanggan B3 yang saat ini sebesar Rp 1.035,78/kWh. Selisih ini menghasilkan potensi penghematan energi tahunan sekitar Rp 4,69 miliar, sehingga waktu pengembalian modal (payback period) diperoleh dalam 11,63 tahun. Setelah periode tersebut, seluruh penghematan dapat dianggap sebagai keuntungan bersih.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi sistem PLTS on-grid hybrid di Delta Plaza layak dilakukan secara teknis dan ekonomis. Sistem ini mampu menyuplai lebih dari 50% kebutuhan energi tahunan gedung dan memberikan dampak signifikan dalam pengurangan biaya operasional jangka panjang.



GAMBAR 2
Perbandingan Biaya Produksi Energi

Gambar 2 menunjukkan bahwa biaya produksi listrik dari sistem PLTS (Rp 425,82/kWh) jauh lebih rendah dibandingkan tarif PLN golongan B3, yakni hanya sekitar 41,1% dari total biaya. Selisih tarif sebesar Rp 609,96/kWh tersebut menghasilkan potensi penghematan tahunan sekitar Rp 4,69 miliar jika dibandingkan dengan penggunaan listrik dari PLN.



GAMBAR 3
Akumulasi Payback Period

Gambar 3 menampilkan grafik akumulasi penghematan tahunan dari sistem PLTS di Gedung Delta Plaza selama 25 tahun masa operasional. Grafik menunjukkan peningkatan linier setiap tahun, mencerminkan produksi energi yang konsisten sebesar 7.693.026 kWh per tahun. Dengan penghematan tahunan sebesar Rp 4,69 miliar—hasil selisih antara tarif PLN (Rp 1.035,78/kWh) dan LCOE (Rp 425,82/kWh)—nilai investasi awal sebesar Rp 54,61 miliar diperkirakan akan kembali pada tahun ke-12, bulan ke-7, menandai tercapainya break-even point.

Setelah titik tersebut, seluruh penghematan menjadi keuntungan bersih. Dengan sisa umur sistem 13 tahun, PLTS berperan penting dalam menurunkan biaya operasional, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik PLN. Visualisasi ini menegaskan bahwa PLTS bukan hanya layak secara teknis dan ekonomis, tetapi juga strategis untuk mendukung keberlanjutan operasional jangka panjang.

A. Potensi Pengembangan Penelitian

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan integrasi sistem penyimpanan energi berbasis battery management system (BMS) yang lebih efisien, pemantauan real-time kinerja PLTS melalui IoT, serta analisis sensitivitas terhadap fluktuasi harga komponen dan perubahan regulasi tarif listrik. Selain itu, kajian emisi karbon yang dihindari (carbon offset) dari penggantian energi konvensional ke energi terbarukan juga dapat ditambahkan untuk memperkuat nilai keberlanjutan proyek.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Delta Plaza Surabaya terbukti layak secara teknis dan ekonomis. Dengan kapasitas terpasang sebesar 4.622,102 kWp, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 7.693.026 kWh. Nilai Levelized Cost of Energy (LCOE) yang diperoleh sebesar Rp 425,82/kWh jauh lebih rendah dibandingkan tarif listrik PLN untuk golongan B3, yang berada di angka Rp 1.035,78/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa sistem PLTS dapat menggantikan sekitar 57,8% kebutuhan energi gedung, dengan potensi penghematan tahunan mencapai Rp 4,69 miliar. Perhitungan payback period menunjukkan bahwa investasi akan kembali dalam waktu 11,63 tahun, sedangkan umur sistem direncanakan selama 25 tahun, memberikan waktu yang cukup panjang bagi pengelola gedung untuk memperoleh manfaat finansial dan efisiensi operasional. Selain

memberikan keuntungan ekonomi, penerapan PLTS juga mendukung pengurangan ketergantungan terhadap energi konvensional dan berkontribusi terhadap keberlanjutan energi di sektor komersial.

REFERENSI

- [1] L. Yuan, Y. Ruan, G. Yang, F. Feng, and Z. Li, "Analysis of Factors Influencing the Energy Consumption of Government Office Buildings in Qingdao," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2016, pp. 263–268. doi: 10.1016/j.egypro.2016.12.045.
- [2] C. S. Meena, A. Kumar, V. P. Singh, and A. Ghosh, *Sustainable Technologies for Energy Efficient Buildings*. CRC Press, 2024. doi: 10.1201/9781003496656.
- [3] N. Amani and A. A. R. Soroush, "Energy consumption management of commercial buildings by optimizing the angle of solar panels," *Journal of Renewable Energy and Environment*, vol. 8, no. 3, pp. 1–7, Jun. 2021, doi: 10.30501/JREE.2020.241836.1134.
- [4] A. A. Imam, Y. A. Al-Turki, and R. Sreerama Kumar, "Techno-economic feasibility assessment of grid-connected PV systems for residential buildings in Saudi Arabia-A case study," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.3390/su12010262.
- [5] N. C. P. Pradana, M. A. Rizki, A. Wahyuni, and B. Harsono, "Solar Panel Implementation for Household Electricity in Indonesia: Environmental and Economic Implications," *Academia Open*, vol. 8, no. 2, Sep. 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.7860.
- [6] B. Jaka Samudra and A. Aziz, "Detail Desain Chiller Sistem HVAC Pada Bangunan Gedung Bertingkat," *Jurnal Baut dan Manufaktur*, vol. 03, no. 1, 2021.
- [7] N. Hasna Arinda, A. Syahra Putra, D. Amalia, M. Indra Martadinata, and S. Politeknik Penerbangan Palembang Jl Adi Sucipto No, "Faktor-faktor Yang Memengaruhi Optimization Energy Saving In Large Airport Terminal: HVAC Technology, Eco Airport System Dan Energy Management And Control," *Edisi XLV*, vol. 9, no. 3, 2024.
- [8] A. Dhenesh Raj and A. B. Agarwal, "Integration of Renewable Energy Sources in Buildings," vol. 1, no. 3, pp. 50–55, 2014, [Online]. Available: <http://www.krishisanskriti.org/jceet.html>
- [9] Global Solar Atlas, "Solar Resource Maps of Indonesia," Solargis Database. Accessed: Jun. 23, 2025. [Online]. Available: <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=indonesia>
- [10] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, "The levelized cost of energy and modifications for use in electricity generation planning," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 495–534, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.06.036.
- [11] S. Abdelhady, "Performance and cost evaluation of solar dish power plant: sensitivity analysis of levelized cost of electricity (LCOE) and net present value (NPV)," *Renew Energy*, vol. 168, pp. 332–342, May 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.12.074.
- [12] Z. Arizal, A. Y. Dewi, A. Effendi, A. M. N. Putra, and R. Andari, "Analisis Kinerja & Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid 735 kWp: Studi Kasus di Kantor Pusat PT. Pertamina Hulu Rokan," *Central Publisher*, vol. 1, 2023, [Online]. Available: <http://centralpublisher.co.id>