

Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts Pv) Hybrid Di Perumahan Taman Sentosa Cikarang

Almizan Mashur
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dimasalmizan@student.telkomuniversity.ac.id

Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ekkekurniawan@telkomuniversity.ac.id

Sudarmono Sasmono
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ssasmono@telkomuniversity.ac.id

Abstrak —Energi merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia, tetapi beberapa negara, termasuk Indonesia, masih mengandalkan sumber energi fosil dan mengalami kendala dalam pengembangan dan penggunaan energi terbarukan. Solusi dari masalah ini adalah dengan memanfaatkan sumber daya alam tak habis pakai, seperti matahari dengan menggunakan PLTS PV (sistem pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik). Penelitian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem PLTS PV yang terpasang di Taman Sentosa, baik dari aspek teknologi dan ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi terbarukan dapat diterapkan dengan menggunakan sistem PLTS PV dan baterai di Taman Sentosa Cikarang, dengan total energi produksi sebesar 4314 kWh/tahun dan performansi sebesar 80,56%. Potensi energi surya di Taman Sentosa cukup efektif dari sisi ekonomis, dengan COE sebesar Rp. 2.552,26 /kWh.

Kata kunci — PLTS PV, hybrid, tarif listrik, COE, capacity factor, losses, energi produksi.

I. PENDAHULUAN

Energi adalah kebutuhan utama manusia, tetapi juga menjadi permasalahan di negara-negara dengan pertumbuhan ekonomi, termasuk Indonesia [1]. Indonesia masih banyak mengandalkan energi fosil dan mengalami kendala dalam pengembangan dan penggunaan energi terbarukan. Sumber energi fosil akan segera habis, sehingga Indonesia harus beralih ke sumber energi baru untuk memenuhi permintaan energi nasional [2].

Indonesia mengalami masalah energi karena banyaknya dependensi pada energi fosil dan kendala dalam pengembangan dan penggunaan energi terbarukan. Salah satu solusi adalah memanfaatkan energi matahari dengan PLTS PV [3]. Indonesia memiliki intensitas radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m² per hari dengan variasi 9% per bulan, tersebar merata karena berada di daerah tropis. Intensitas radiasi terbesar ada di kawasan timur Indonesia (KWI) dan rata-rata di kawasan barat Indonesia (KBI) [4]. Energi matahari ini akan digunakan untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik di Taman Sentosa, Cikarang, Bekasi.

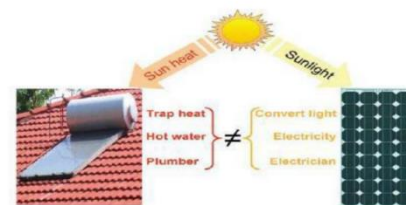
Untuk membangun sistem PLTS PV, penelitian lebih lanjut diperlukan dalam dua aspek, teknik dan ekonomi. Dalam aspek teknik, analisis dilakukan tentang komponen yang dibutuhkan dan performansi sistem. Dalam aspek ekonomi, analisis dilakukan tentang perbandingan tarif listrik sebelum dan sesudah menggunakan PLTS PV.

II. KAJIAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah salah satu sumber energi baru terbarukan. PLTS PV memanfaatkan sumber energi matahari untuk diubah menjadi energi listrik [5]. Pada dasarnya matahari membawa dua bentuk energi, yaitu energi panas dan cahaya. Dari dua bentuk energi tersebut dapat dibagi menjadi dua sistem tenaga surya, yaitu sistem tenaga panas matahari (*solar thermal*) dan sistem tenaga surya (PLTS PV). Contoh dari penggunaan sistem tenaga matahari adalah untuk digunakan sebagai pemanas air, sedangkan sistem tenaga surya mengubah cahaya matahari langsung menjadi listrik [6]. Ketika modul fotovoltaik (PV) terkena cahaya matahari, modul akan menghasilkan listrik searah atau *direct current* (DC). Lalu inverter akan mengubah menjadi listrik bolak-balik atau *alternating current* (AC) [7].

Daya keluaran yang dihasilkan oleh PV module dan life



GAMBAR 1
Perbedaan Solar Thermal dan PLTS

timeanya tergantung pada banyak aspek. Beberapa faktor ini meliputi: jenis bahan PV, intensitas radiasi matahari yang diterima oleh PV modul, efek bayangan, awan, kondisi cuaca, dll [8]. Rendahnya *performance ratio* (PR) PLTS PV bisa juga disebabkan oleh kesalahan dalam pengoperasian dan maintenance sehingga menyebabkan produksi energi menurun serta kerusakan sistem PLTS PV [9].

B. PLTS Hybrid

PLTS PV *hybrid* adalah kombinasi dari system off grid dan system on grid, dimana PLTS PV tersambung dengan sumber lain namun hanya sebagai sumber energi lain dari sistem PLTS PV yang tugas utamanya hanya sebagai back up apa bila energi yang dihasilkan oleh PLTS PV habis dengan kata lain [10].

Ketika ada kelebihan daya yang dihasilkan oleh panel, inverter mengirimkannya ke baterai untuk disimpan. Jika baterai penuh, maka akan dimasukkan ke dalam grid. Jika panel tidak menghasilkan daya yang cukup untuk memenuhi konsumsi di malam hari, listrik diambil dari baterai, diubah dan dikirim ke switchboard. ketika tidak cukup daya di baterai, atau ingin menyimpannya untuk lain waktu, listrik dimasukkan dari jaringan untuk memberi daya pada *switchboard*.



GAMBAR 2
PLTS *hybrid*

C. Monokristal

Modul PV tipe monokristal merupakan modul dengan nilai efisiensi yang paling tinggi dibandingkan tipe yang lain. Efisiensi modul sebesar 13-19%. Dengan nilai efisiensi yang besar, modul jenis ini dapat menghemat lahan untuk pemasangan sistem PLTS PV. Modul ini terbuat dari *silicon* murni yang dihasilkan dengan proses *crystal-growth* dengan ketebalan sekitar 0,2 – 0,4 mm [3].



Gambar 3
Monokristal

D. Kriteria Performa PLTS PV

Tujuan dari analisis teknis adalah mengetahui bagaimana performa dari system PLTS PV yang dibangun. Parameter performa sistem PLTS PV diwakili oleh:

1. Capacity factor

Capacity factor atau faktor kapasitas adalah skala dari output energi aktual pada periode waktu satu tahun, jika bekerja pada nominal selama setahun penuh (24 jam selama setahun) [11].

$$CF = \frac{YF}{8760} \quad (2.1)$$

2. Energi Produksi

Produksi energi dari suatu PLTS tergantung dari berbagai faktor yaitu [12], iradiasi matahari, shading, suhu modul surya, sudut kemiringan dari panel surya, tingkat kebersihan modul surya [13].

3. Losses

Nilai *losses* ini dapat terjadi disebabkan oleh faktor lingkungan seperti suhu pada permukaan panel, debu, dan shading. Selain lingkungan terdapat *losses* yang diakibatkan

sistem kelistrikan yaitu *losses* konversi energi pada inverter, pada jaringan distribusi listrik dan gangguan sistem tenaga [14].

E. Analisis Ekonomi

1. Biaya PLTS

a. Biaya investasi awal

Biaya investasi awal PLTS adalah jumlah total dari seluruh biaya yang dikeluarkan untuk membangun dan mengkonfigurasi sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya [6].

b. Perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan

Perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan adalah proses menghitung biaya untuk menjalankan dan memelihara sistem pembangkit listrik tenaga surya. Termasuk biaya listrik, perawatan, pemeliharaan dan administrasi [6].

$$O\&M = 1\% \times S \quad (2.2)$$

$$O\&M_p = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.3)$$

c. Biaya siklus hidup

Biaya siklus hidup adalah jumlah biaya selama masa pakai sistem pembangkit listrik tenaga surya, mulai dari biaya investasi, operasi, pemeliharaan, demontase, hingga pembuangan. Termasuk seluruh biaya untuk memelihara, mengoperasikan dan mengakhiri sistem dari awal hingga akhir. Digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi suatu proyek [5].

$$Life\ Cycle\ Cost = S + O\&M_p \quad (2.4)$$

d. Faktor pemulihan modal

Faktor pemulihan modal PLTS adalah rasio yang mengubah biaya siklus hidup PLTS menjadi pembayaran tahunan yang sama. Dihitung dengan memperhitungkan tingkat suku bunga, masa pakai proyek, dan arus kas. Digunakan untuk mengevaluasi tingkat keuntungan yang diharapkan dari suatu proyek dan membandingkan dengan tingkat suku bunga [5].

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.5)$$

e. Biaya energi PLTS

Biaya energi PLTS adalah jumlah biaya untuk menghasilkan dan mengirimkan energi listrik dari sistem pembangkit tenaga surya. Ditentukan oleh faktor seperti biaya siklus hidup, produksi kWh per tahun, efisiensi sistem, dan biaya operasi dan pemeliharaan. Digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi suatu proyek dan membandingkan dengan biaya energi dari sumber lain [5].

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{kWh} \quad (2.6)$$

2. Pengurangan biaya rekening listrik yang dibayar ke PLN

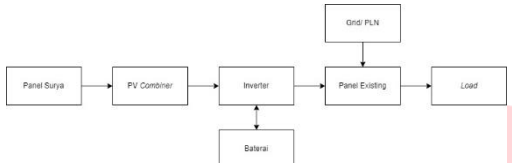
Tujuan dari analisis ekonomi teknik ini untuk mengetahui besarnya pengurangan biaya dan keuntungan yang didapatkan dari pemasangan PLTS PV. Hasil produksi PLTS PV dapat dilihat dari daya yang masuk (input)

berbanding dengan daya yang keluar (output) dari tiap komponen yang terpasang melalui web Growatt shine server.

III. METODE

A. Desain Sistem

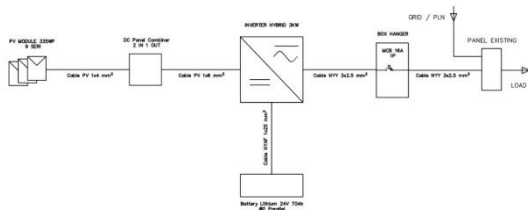
Sistem PLTS PV + Baterai akan dianalisis menggunakan software Digsilent, PVSyst, dan web Growatt shine server. Hasil analisis tekno-ekonomi akan menentukan kelayakan sistem tersebut. Analisis ini akan menggunakan perhitungan pengurangan tarif listrik PLN sebelum dan setelah menggunakan PLTS PV.



GAMBAR 4 Diagram blok sistem

Gambar 4 merupakan proses dari sistem yang telah terpasang. Panel surya merupakan komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS PV) yang memiliki fungsi penting sebagai pengubah sinar matahari menjadi energi listrik. PV combiner memiliki peran dalam mempermudah dalam pemeliharaan karena mampu menjadikan satu keluaran arus DC. Inverter berfungsi sebagai pengubah arus DC menjadi arus AC, sementara baterai memiliki peran sebagai penyimpan daya dari panel surya. Sistem PLTS PV ini juga menggunakan PLN sebagai salah satu sumber daya, dan beban listrik yang digunakan di rumah disebut dengan *load*.

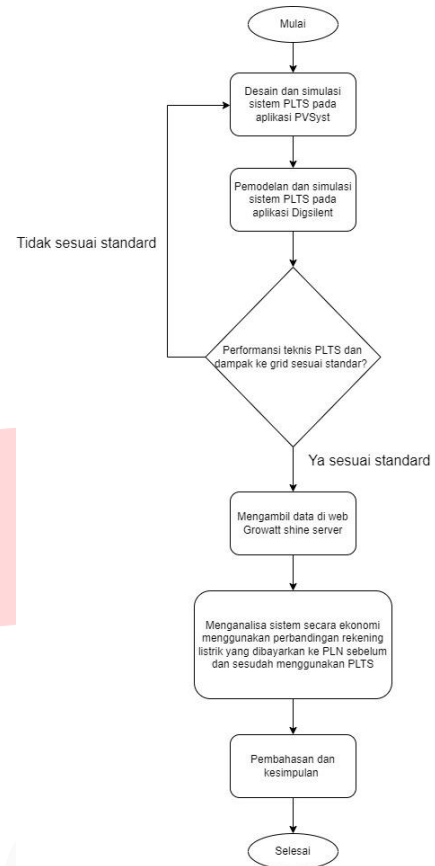
B. Desain Perangkat Keras



GAMBAR 5 Wiring diagram

Gambar diatas merupakan gambaran skematik sistem PLTS yang terpasang. PV modul dibagi menjadi 3 rangkaian, masing-masing rangkaian terdapat 3 PV modul yang dirangkai secara seri. Dari rangkaian tersebut akan disambungkan ke PV *combiner* dan menjadi satu keluaran. Selanjutnya PV *combiner* dan Baterai disambungkan ke inverter. Lalu inverter dan grid/ PLN disambungkan ke *panel existing*.

C. Desain Perangkat Lunak



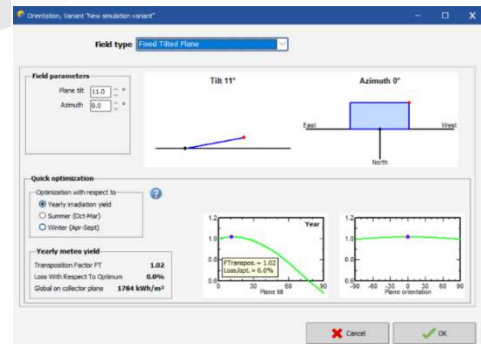
GAMBAR 6 Diagram alir

Proses desain dan simulasi sistem PLTS PV + Baterai di Taman Sentosa Cikarang menggunakan software PVSyst dan Digsilent, dilanjutkan dengan perbaikan bila diperlukan. Data dari web Growatt shine server digunakan untuk analisis ekonomi (perbandingan tarif listrik PLN sebelum dan sesudah menggunakan PLTS PV). Setelah hasil analisis ekonomi diterima, tahap selanjutnya adalah pembahasan dan kesimpulan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

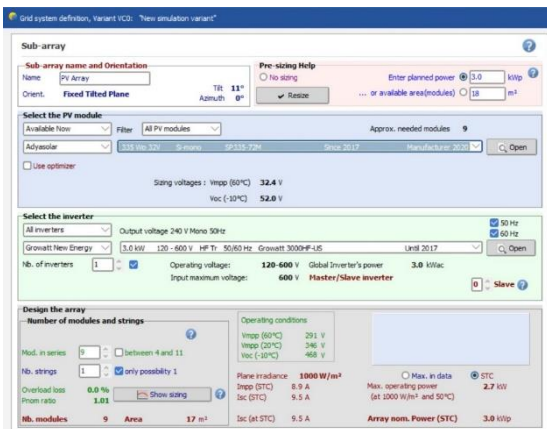
A. Racangan Sistem

Sistem PLTS ini berkapasitas 3 kWp yang terhubung dengan grid PLN. PLTS yang terpasang memiliki kemiringan (tilt) sebesar 11° dan azimuth sebesar 0°.



GAMBAR 7 Tilt dan azimuth

PLTS dibangun dengan total modul PV sebanyak 9 buah berkapasitas masing-masing sebesar 335 Wp. PLTS ini juga terdiri dari 1-unit inverter berkapasitas 3500 W. Luas lahan yang dibutuhkan adalah 18 m².



Gambar 8 PV modul dan inverter

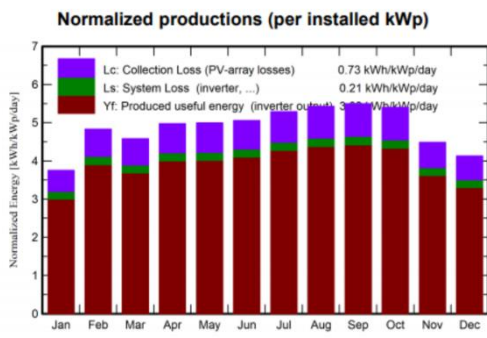
B. Hasil Simulasi

Hasil percobaan dilakukan dengan mencari performansi dan desain dari PLTS 3 kWp di Taman Sentosa Cikarang dengan menggunakan aplikasi PVSyst. Lalu, dilakukan pemodelan dan simuasi menggunakan aplikasi Digsilent.

1. Hasil Simulasi PVSyst

Berdasarkan wilayah dan sistem beserta spesifikasi yang digunakan maka diperoleh hasil sebagai berikut:

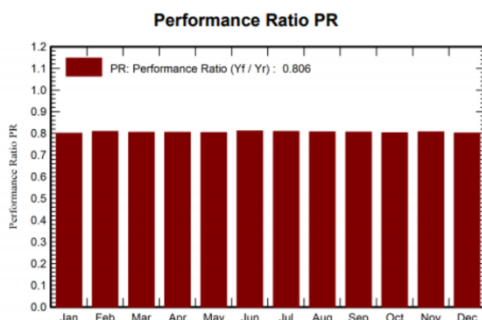
f. Kinerja sistem



Gambar 9 Hasil rata-rata energi bulanan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa total energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan kapasitas 3 kWp diperkirakan sebesar 4314 kWh/ tahun.

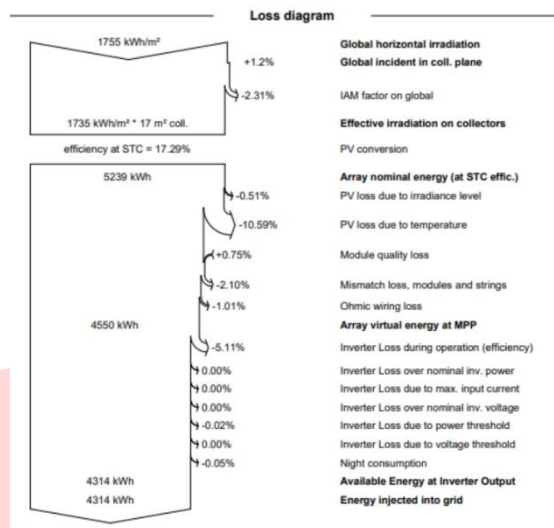
g. Performance ratio



Gambar 10 Performance ratio

Hasil simulasi menunjuka performance ratio sebesar 80,56% dan dianggap sistem berkinerja cukup baik.

a. Loss diagram



Gambar 11 loss diagram

Energi nominal array photovoltaic adalah 5239 kWh. Kemudian terdapat berbagai jenis losses sesuai dengan nilai yang ditetapkan dalam loss diagram, sehingga energi yang dihasilkan sistem menjadi 4314 kWh. Lalu didapatkan hasil persentase losses sebesar 17,65%.

2. Hasil Simulasi Digsilent

h. Simulasi Aliran Daya dan Gangguan Hubung Simgkat

a) Losses

TABEL 1
Persentase losses tiap busbar

No	Busbar	Losses (%)		Standard
		LWBP	WBP	
1	PLN	0	0	Seminimal
2	Beban	2,2	2,2	mungkin

Pada tabel di atas merupakan persentase losses tiap busbar. Losses PLN hanya dari trafo ke beban. Yang dimana losses untuk busbar PLN pada skenario LWBP dan WBP sebesar 0%. Dan untuk nilai losses busbar beban pada skenario LWBP dan WBP sebesar 2,2%.

b) Tegangan

TABEL 2
Tegangan tiap busbar

No	Busbar	Ib (kA)		Standard maksimal (kA)
		LWBP	WBP	
1	PLN	0,00	0,00	14
2	Beban	0,00	0,00	
3	Power plant	0,00	0,00	

Pada tabel 2 merupakan tegangan tiap busbar. Yang dimana hasil dari simulasi menunjukkan untuk busbar beban pada skenario LWBP dan WBP memiliki tegangan kV sebesar 0,4 dan p.u sebesar 1. Dan untuk nilai busbar PLN

pada skenario LWBP dan WBP memiliki tegangan kV sebesar 20 dan p.u sebesar 1.

c) *Breaking capacity*

Setelah melakukan simulasi aliran daya, selanjutnya dilakukan simulasi gangguan hubung singkat untuk mengetahui besar arus hubung singkat (I break) di tiap busbar.

TABEL 3
breaking capacity tiap busbar

No	Busbar	Tegangan (LWBP)		Tegangan (WBP)		Standard
		kV	p.u.	kV	p.u.	
1	Beban	0,4	1	0,4	1	+5% dan -10%
2	PLN	20	1	20	1	

3. Analisis Ekonomi

i. Analisis biaya PLTS

TABEL 4
Biaya investasi PLTS Taman Sentosa Cikarang

No	Komponen	Life time (tahun)	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Panel surya	25	9	2.405.902	21.653.118
2	Inverter	25	1	7.800.000	7.800.000
3	Baterai	11	2	4.070.000	18.477.800
4	Panel combiner	25	1	4.500.000	4.500.000
Total investasi awal					Rp 52.430.918

j. Perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan PLTS di Taman Sentosa Cikarang ditentukan sebesar 1% dari total biaya investasi awal.

$$\begin{aligned}
 O\&M &= 1\% \times S \\
 &= 1\% \times 52.430.918 \\
 &= Rp\ 524.309,18
 \end{aligned}$$

Sedangkan nilai saat ini dari biaya operasional dan pemeliharaan jika diasumsikan bahwa umur PLTS adalah 25 tahun dan tingkat suku bunga sebesar 7% diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 O\&M_p &= O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= 524.309,18 \left[\frac{(1 + 0,07)^{25} - 1}{0,07 (1 + 0,07)^{25}} \right] \\
 &= Rp\ 6.081.986,48
 \end{aligned}$$

k. Menghitung biaya siklus hidup

$$\text{Life Cycle Cost} = S + O\&M_p$$

$$\begin{aligned}
 &= 52.430.918 + 6.081.986,48 \\
 &= Rp\ 58.512.904,48
 \end{aligned}$$

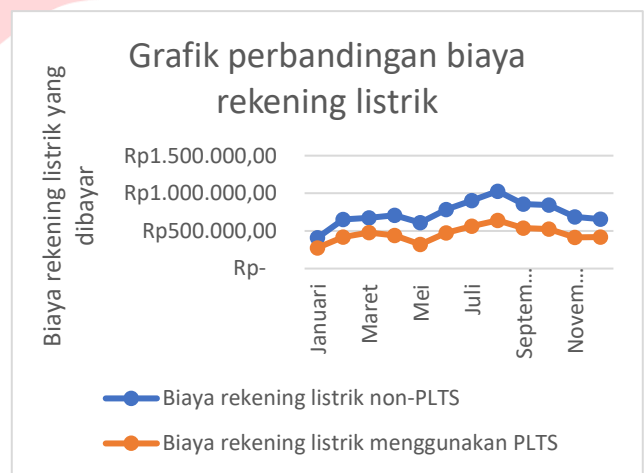
l. Menghitung faktor pemulihan modal

$$\begin{aligned}
 CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 &= \frac{0,07(1 + 0,07)^{25}}{(1 + 0,07)^{25} - 1} \\
 &= 0,085
 \end{aligned}$$

m. Menghitung biaya energi PLTS

$$\begin{aligned}
 COE &= \frac{LCC \times CRF}{kWh} \\
 COE &= \frac{58.512.904,48 \times 0,085}{1.948,7} \\
 COE &= Rp\ 2.552,26 / kWh
 \end{aligned}$$

n. Pengurangan biaya rekening listrik



GAMBAR 12
Grafik perbandingan biaya

Gambar diatas menunjukkan bahwa biaya rekening listrik menurun sebesar 37,56% dari Rp 8.814.612,32 menjadi Rp 5.503.927,91 setelah pemanfaatan PLTS.

V. KESIMPULAN

Energi terbarukan dapat terrealisasi di Taman Sentosa melalui sistem PLTS PV + Baterai. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan tilt 11° dan azimuth 0°, global on collector plane sebesar 1784 kWh/m². Oleh karena itu, rancangan PLTS PV + baterai bisa diterapkan di lingkungan Taman Sentosa. Setelah melakukan pengujian performansi PLTS PV + Baterai di Taman Sentosa Cikarang, hasil uji menunjukkan bahwa performansi sistem baik. Total energi yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 4314 kWh/tahun, dengan Performance ratio sebesar 80.56% yang dianggap baik. Dalam pengujian losses, energi nominal photovoltaic adalah 5239 kWh, dan terdapat berbagai jenis losses yang mempengaruhi energi yang dihasilkan menjadi 4314 kWh dan persentase losses sebesar 17,65%. Adapun pengurangan rekening listrik dalam setahun dengan pemanfaatan PLTS PV + Baterai sebesar Rp 3.310.684,44 atau 37,56%. Dari sudut

pandang teknis dan ekonomis, penggunaan PLTS PV + Baterai di Taman Sentosa layak dijalankan.

REFERENSI

- [1] P. Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia *et al.*, "Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)," 2010.
- [2] A. E. Setyono and B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- [3] S. S. Mohammad Hafidz;, "Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta," *Jur. Tek. Elektro, Sekol. Tinggi Tek. PLN*, vol. 7, no. JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 7 NO. 1, JANUARI-MEI 2015, p. 49, 2015.
- [4] A. Lubis, "Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 8, no. 2, pp. 155–162, 2007.
- [5] N. Sabbaha, E. Susanto, E. Kurniawan, F. T. Elektro, U. Telkom, and T. Angin, "Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Surya Dan Angin Untuk Design and Implementation of Converter for Hybrid Solar Panel and," vol. 4, no. 2, p. 9, 2016.
- [6] A. Kodir Al Bahar and A. T. Maulana, "Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Off-Grid Untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik UNKRIS," *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 6, no. 3, pp. 97–107, 2018.
- [7] K. K. Siahaan, E. Kurniawan, K. B. Adam, F. Teknik, U. Telkom, and G. S. Server, "Analisis Harga Energi Pemanfaatan Tenaga Surya Atap Di Pesantren Al Mukaromah Analysis of Energy Prices for the Utilization of Roof," pp. 2–11.
- [8] I. K. Adi, F. Putra, I. Ayu, D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, "DAN ESDM PROVINSI BALI PASCA TERPASANG PLTS ATAP 40 KWP," vol. 9, no. 2, pp. 138–147, 2022.
- [9] A. Mansur, "ANALISA KINERJA PLTS ON GRID 50 KWP AKIBAT EFEK BAYANGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY," no. 1, pp. 28–33, 2021.
- [10] W. Pasek and D. Wahyudi1, "Pembangkit Hibrida Panel Surya Dan Lintasan Catu Pln Hybrid Solar Cell and Power Line Pln," vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2021.
- [11] Sun Energy, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap," *Sunenergy.Id*, vol. 8, no. 4, pp. 20–28, 2022, [Online]. Available: <https://sunenergy.id/blog/pembangkit-listrik-tenaga-surya/>
- [12] A. A. N. B. B. Nathawibawa, I. N. S. Kumara, and W. G. Ariastina, "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, p. 131, 2016, doi: 10.24843/mite.1601.18.
- [13] N. S. Gunawan, N. I.N, and R. Irawati, "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga," *SPEKTRUM Univ. Udayana*, vol. 6, no. September, pp. 1–9, 2019.
- [14] S. Kanata, A. Muhtar, S. Pd, and M. Eng, "Analisis Rugi-Rugi Daya Kabel Dc Pada Plts 1 Mwp on-Grid," pp. 196–200, 2022.