

# Analisis Harga Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid 3kwp Di Taman Sentosa Cikarang

Muhammad Zein Al Farizi  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
[zeinzeinn@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:zeinzeinn@student.telkomuniversity.ac.id)

Ekki Kurniawan  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
[ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id](mailto:ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id)

Faisal Budiman  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
[faisalbudiman@telkomuniversity.ac.id](mailto:faisalbudiman@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak** — PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah sistem pemanfaatan energi terbarukan yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Untuk memantau kinerjanya, sistem monitoring real-time diperlukan. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan pada jam tertentu untuk mengetahui cara memonitoring dan harga balik modal PLTS Hybrid melalui akses web server melalui Growatt Shine Server dan inverter PLTS. Data yang diperlukan seperti arus, daya, dan tegangan kemudian dianalisa di Ms. Excel untuk mengetahui kinerja PLTS dan waktu yang diperlukan untuk balik modal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi tercatat paling tinggi pada bulan Agustus dan terendah pada bulan Januari. Rata-rata per-bulan PLTS Hybrid 3kwp di Taman Sentosa menghasilkan 162.4 kWh. Desain dan simulasi aplikasi PVsyst memberikan informasi seperti total biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, LCOE, dan harga balik modal selama 12,5 tahun

**Kata kunci** — Inverter, PLTS Hybrid, Monitoring, Growatt Shine Server.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia sangat membutuhkan tenaga listrik untuk kegiatan sehari-hari. Dengan peningkatan ekonomi, pemakaian listrik akan terus meningkat. Perkembangan energi terbarukan seperti mengubah energi matahari menjadi tenaga listrik dapat menggantikan energi dari pembangkit listrik konvensional [1].

PLTS dapat terpasang di rumah, sekolah, dan bangunan pribadi untuk mengubah energi surya menjadi tenaga listrik. Namun, energi listrik yang dihasilkan belum bisa dipantau secara otomatis melalui internet, hanya bisa dipantau langsung melalui sistem yang terpasang di lingkungan PLTS [2].

Untuk menjaga kualitas dan memastikan kinerja panel surya tetap optimal, dilakukan sistem monitoring berkaitan dengan data produksi dari panel surya melalui server web. Monitoring ini menggunakan Growatt Shine Server untuk memantau arus (I), tegangan (V), dan daya keluaran dari inverter [3]. Metode ini hanya memantau panel surya dan mengumpulkan data hasil produksi dalam bentuk file teks dengan format tertentu. Hasil dari sistem monitoring ini akan dikumpulkan dan dianalisis dengan menggunakan spreadsheet Excel [2].

Investasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di lokasi penelitian diperhitungkan berdasarkan Net Present Value (NPV) dan Metode Payback Period (PBP). Keputusan

tergantung pada biaya investasi, penghematan dan penjualan energi listrik, biaya operasional, tingkat diskon, dan nilai inflasi pada tahun tertentu [4]. Biaya investasi setiap komponen dapat berbeda berdasarkan harga pasar yang ditentukan oleh pemborong yang membangun PLTS.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sebuah sistem yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Ini merupakan solusi untuk meningkatkan ramah lingkungan dan memiliki potensi jangka panjang [5]. PLTS atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi listrik. Sistem ini hanya bisa beroperasi pada saat panel surya menerima cahaya matahari selama siang hari. Komponen utama dalam PLTS meliputi panel surya, modul pengatur daya, baterai, dan beban pengguna [6].

Sejak tahun 2010, PLN sudah memulai pemanfaatan tenaga surya untuk daerah yang belum tercover oleh jaringan listriknya. Proyek percobaan ini diawali dengan pembangunan beberapa PLTS dan bertujuan untuk meningkatkan pengalaman dan pengetahuan dalam pembangunan PLTS untuk program selanjutnya [7]. Energi surya yang dapat dimanfaatkan untuk daratan Indonesia mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari atau setara dengan 112.000 GWp. Saat ini, Indonesia sudah memanfaatkan sekitar 10 MWp dari energi surya, yang masih banyak potensinya untuk dikembangkan lebih lanjut dalam memanfaatkan PLTS [1].

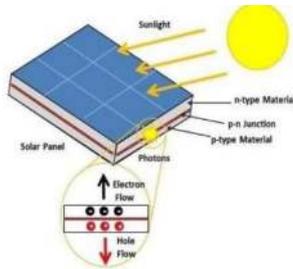
### B. PLTS Hybrid

PLTS Hybrid menjadi salah satu struktur yang bisa diterapkan di Indonesia. Sistem dari stuktur ini diperoleh dari energi surya yang akan disimpan melalui baterai cadangan namun tetap terhubung terhadap PLN. Lalu, tenaga listrik dari PLN akan otomatis mengirimkan listrik cadangan jika kekurangan cadangan listrik dari baterai tersebut.

### C. Panel Surya

Panel Surya adalah bagian penting dalam sistem PLTS yang mengubah cahaya matahari menjadi tenaga listrik melalui material semikonduktor. Saat cahaya matahari yang mengandung energi foton mengenai panel, energi foton tersebut akan melepaskan elektron-elektron dan menimbulkan arus listrik. Intensitas cahaya matahari pada siang hari adalah tertinggi dan bisa menghasilkan energi surya sekitar 120.000 terra watt. Saat foton dari sinar

matahari mengenai atom semikonduktor silikon dalam sel surya, energi yang cukup besar tercipta untuk memisahkan elektron dari struktur atom, sehingga elektron yang bermuatan negatif bebas bergerak dan atom yang kehilangan elektron menimbulkan kekosongan dengan muatan positif [8].



GAMBAR 1  
Efek Fotovoltaik

#### D. Monokristal

Pada jenis sel surya ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis berwarna hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya dan biasanya dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada lokasi yang beriklim ekstrim. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi sampai dengan 14%-17% dan memiliki kelemahan akan menurun efisiensinya saat cuaca berawan.

#### E. Tarif Harga Listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN)

Menurut peraturan Menteri, tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PLN hanya dapat dibeli oleh konsumen yaitu orang atau badan yang membeli tenaga listrik dari PLN sebagai pemegang izin usaha penyedia tenaga listrik. Tarif tenaga listrik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu reguler yang dibayarkan setelah pemakaian dan Prabayar yang dibayarkan sebelum pemakaian oleh konsumen. [9]

Tarif tenaga listrik itu sendiri terbagi dari beberapa macam, salah satunya yaitu untuk keperluan rumah tangga. Karena pada penelitian ini dilakukan di rumah yang berada di Taman Sentosa, maka berikut disertakan beberapa golongan tarif tenaga listrik untuk rumah tangga:

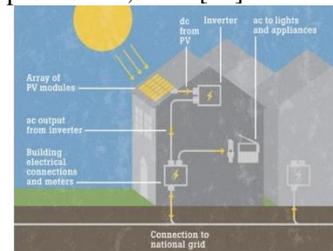
- Golongan tarif bagi keperluan rumah tangga kecil bertegangan rendah, dengan daya sampai dengan 450 VA, 900 VA, 900 VA-RTM, 1.300 VA, dan 2.200 VA (R-1/TR).
- Golongan tarif bagi keperluan rumah tangga menengah bertegangan rendah, dengan daya 3.500 VA sampai dengan 5.500 VA (R-2/TR).
- Golongan tarif bagi keperluan rumah tangga besar bertegangan rendah, dengan daya 6.600 VA ke atas (R-3/TR) [10].

Pada penelitian ini, rumah tempat PLTS 3KWP di Taman Sentosa Cikarang termasuk dalam golongan tarif menengah bertegangan rendah (R-2/TR) dengan biaya pemakaian Rp. 1.699,53.

#### F. PLTS Rooftop Grid Connected

Harga energi listrik beragam di berbagai negara, tergantung pada sumber pembangkit listrik negara tersebut. Negara-negara tetangga, misalnya, sudah menerapkan berbagai jenis sumber energi alternatif. Penerapan sistem PLTS rooftop grid-connected dengan kapasitas 1 MW atau lebih besar sudah banyak diterapkan di negara-negara maju

dan Asia. China saat ini sedang membangun PLTS dengan kapasitas 5,8 MW, sementara Singapura telah membangun PLTS dengan kapasitas 142,5 kW [11].



GAMBAR 2

Contoh Skema Sistem PLTS Rooftop Grid Connected

#### G. PLTS Hybrid Taman Sentosa Cikarang

Pada penelitian kali ini, pembangkit listrik tenaga surya yang terpasang di Taman Sentosa berada pada latitude -6.323765° dan longitude 107.143051° dan berada dalam perumahan Taman Sentosa.



GAMBAR 3

Lokasi PLTS Hybrid Taman Sentosa Cikarang

PLTS Hybrid Taman Sentosa Cikarang memiliki 9 panel surya berkekuatan 335 Wp yang terpasang secara seri dan dilengkapi dengan inverter hybrid 1 fasa sebesar 3 kW. Sistem ini juga memiliki 2 unit baterai lithium dengan tegangan 24 Vdc dan kapasitas 70 Ah, dan terhubung dengan jaringan listrik PLN sebagai sumber daya tambahan. PLTS ini dibangun pada 13 Januari 2022.



GAMBAR 4

PLTS Hybrid Taman Sentosa Cikarang

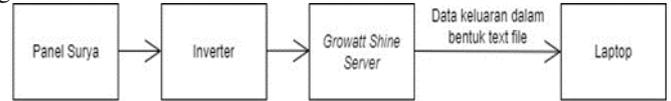
#### H. Growatt Shine Server

Growatt adalah perusahaan global terkemuka yang menyediakan berbagai solusi energi pintar, seperti inverter dan penyimpanan energi, bagi berbagai jenis fasilitas, seperti rumah, komersial, dan fasilitas besar lainnya. Selain itu, mereka juga menawarkan solusi microgrid dan smart energy management. Berdiri sejak tahun 2010, Growatt memiliki sistem database bernama Growatt Shine Server yang memantau dan menyimpan data dari inverter penggunaannya melalui koneksi wifi setempat.



GAMBAR 5  
Tampilan Growatt Shine Server

Tugas akhir akan memantau inverter melalui aplikasi Growatt Shine Server yang terhubung internet dan terintegrasi dengan database. Data arus, tegangan, dan daya akan ditampilkan secara real-time dalam bentuk grafik dan dapat dimonitor melalui internet. Diagram blok sistem monitoring juga tersedia.



GAMBAR 6  
Diagram Blok Sistem

I. Metode Pengambilan Data

Setelah melakukan pengumpulan data maka dilakukan pengolahan data dengan persamaan-persamaan berikut [12]:

1. Daya

Untuk memperoleh daya, diperlukan tegangan dan arus, oleh sebab itu rumus dituliskan sebagai berikut :

$$P = V \times I \tag{2.1}$$

- P = Daya
- V = Tegangan
- I = Arus

2. Biaya (cost)

Besar biaya operasional dan perawatan sebesar 1% dari biaya investasi. Sehingga didapatkan total biaya menggunakan Persamaan sebagai berikut :

$$\text{Total Biaya} = \text{Biaya investasi} + \text{Biaya operasional dan perawatan} \tag{2.2}$$

3. Payback Period (PP) / Balik Modal

Berikut merupakan suatu metode untuk mengetahui berapa lama investasi modal akan kembali atau berapa lama waktu yang diperlukan kembali pengeluaran investasi dengan rumus :

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Initial Investment}}{\text{Cash Flow}} \times 1 \text{ tahun} \tag{2.3}$$

4. LCOE

Merupakan ukuran keekonomian tarif listrik yang didapatkan dari rata-rata penghasilan energi listrik. Ini dievaluasi dengan mempertimbangkan seluruh komponen biaya dengan metode Levelized Cost of Electricity Generation sebagai berikut :

$$CRF = \frac{r \times (1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \tag{2.4}$$

$$LCOE = \frac{OC}{CF \times 8.760} \times CRF + OMC + FC \tag{2.5}$$

Dimana :

- OC : Biaya Investasi Awal
- OMC : Biaya Operasi dan Pemeliharaan
- FC : Biaya Bahan Bakar

5. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan PLTS di Taman Sentosa Cikarang ditentukan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Untuk itu, biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) tahunan PLTS di Taman Sentosa Cikarang adalah diperhitungkan sebagai berikut:

$$O\&M = 1\% \times S \tag{2.6}$$

$$O\&Mp = O\&M \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \tag{2.7}$$

Dimana:

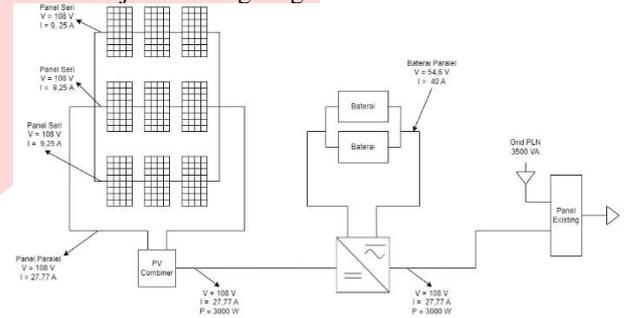
- S = Total investasi awal
- I = Tingkat suku bunga
- n = Life Time PLTS

III. METODE

A. Desain Sistem

B. Desain Perangkat Keras

Rancangan berupa pemetaan wiring diagram untuk mempermudah instalasi sistem dan menghindari kesalahan yang mungkin terjadi pada bagian tertentu sistem [13]. Berikut disajikan wiring diagram:



GAMBAR 7  
Wiring Diagram

Pada gambar 7 diatas 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

Pada penelitian kali ini akan difokuskan dalam memonitoring inverter melalui web server. Dengan ini akan dijelaskan pada diagram alir sistem yang dapat dilihat pada Gambar 8.



GAMBAR 8  
Diagram Alir Penelitian

Tahap pertama pada flowchart dimulai dengan mendesain dan simulasi sistem PLTS pada aplikasi PVsyst, simulasi disini dibutuhkan karena untuk mengetahui apakah sistem yang ingin dibangun ini sesuai standart atau tidak. Setelah dilakukan simulasi jika hasil LCOE dan Payback Period tidak sesuai dengan yang diinginkan maka akan di desain ulang dan jika sesuai dengan yang diinginkan maka akan lanjut dengan mengambil data pada Growatt Shine Server. Data yang diambil pada Growatt Shine Server ada 4 yaitu tegangan, arus, daya, dan energi. Setelah data-data yang diambil sudah cukup selanjutnya data akan dianalisa dan diambil kesimpulan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Data Tegangan dan Arus Rata-Rata

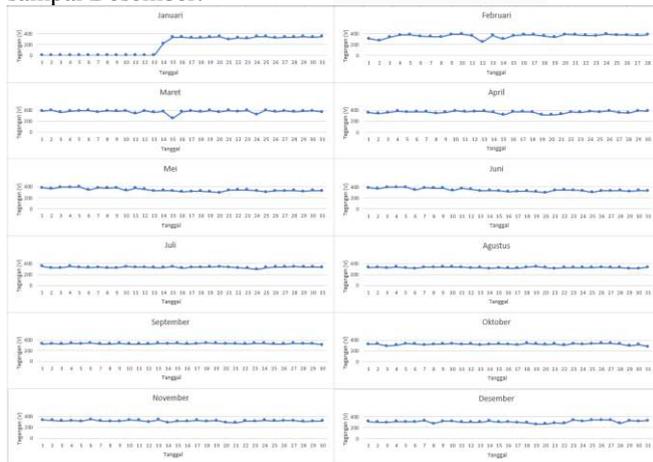
Pengujian data tegangan dan arus rata-rata pada monitoring PLTS hybrid ini dilakukan melalui web Growatt Shine Server untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dari solar panel ke inverter saat pengisian.

Alat Uji :

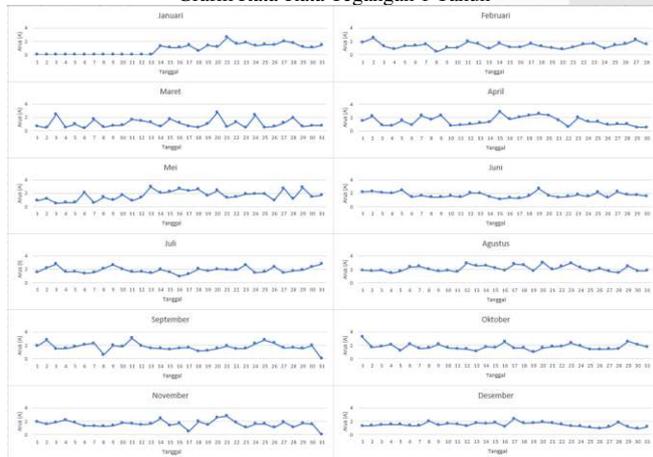
1. Laptop
2. Inverter Growatt
3. Web Growatt Shine Server

Hasil Monitoring dan Analisis :

Berikut hasil monitoring data tegangan dan arus rata-rata pada inverter pada 12 bulan terhitung dari bulan Januari sampai Desember.



GAMBAR 9  
Grafik Rata-Rata Tegangan 1 Tahun



GAMBAR 10  
Grafik Rata-Rata Arus 1 Tahun

Pada gambar 9 dan 10 diatas merupakan grafik hasil monitoring rata-rata tegangan dan arus selama 12 bulan, dimulai pada tanggal 14 Januari 2022 dikarenakan PLTS Hybrid Taman Sentosa baru selesai di bangun pada tanggal 13 Januari 2022.

Tegangan rata-rata tertinggi dalam grafik diambil melalui inverter pada bulan Maret sebesar 369,12 V, sedangkan tegangan rata-rata terendah pada bulan Desember sebesar 305.3 V. Rata-rata arus tertinggi tercatat pada bulan Agustus sebesar 2,12 A dan rata-rata arus terendah pada bulan Maret sebesar 1,07 A.

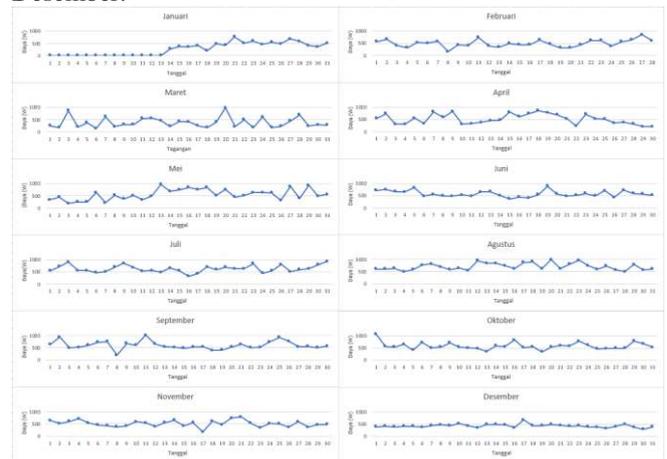
B. Pengujian Data Daya Rata-Rata

Pengujian data tegangan dan arus rata-rata pada monitoring PLTS hybrid ini dilakukan melalui web Growatt Shine Server untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dari solar panel ke inverter saat pengisian.

Alat Uji :

1. Laptop
  2. Inverter Growatt
  3. Web Growatt Shine Server
- Hasil Monitoring dan Analisis :

Berikut hasil monitoring data tegangan dan arus rata-rata pada inverter pada 12 bulan terhitung dari bulan Januari sampai Desember.



GAMBAR 11  
Grafik Rata-Rata Daya 1 Tahun

Pada grafik diatas daya rata-rata tertinggi yang diperoleh melalui inverter tercatat pada bulan Agustus dengan rata-rata 698,60 W, dan daya rata-rata terendah tercatat pada bulan Maret dengan rata-rata 373,47 W.

C. Pengujian Data Energi Rata-Rata

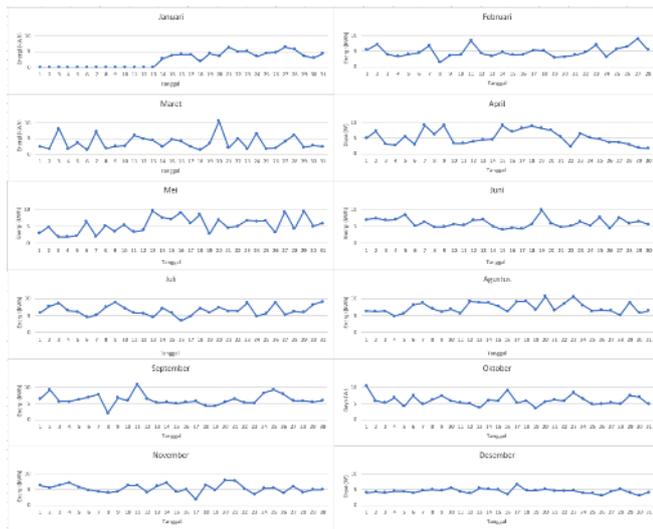
Pengujian data tegangan dan arus rata-rata pada monitoring PLTS hybrid ini dilakukan melalui web Growatt Shine Server untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dari solar panel ke inverter saat pengisian.

Alat Uji :

1. Laptop
2. Inverter Growatt
3. Web Growatt Shine Server

Hasil Monitoring dan Analisis :

Berikut hasil monitoring data tegangan dan arus rata-rata pada inverter pada 12 bulan terhitung dari bulan Januari sampai Desember.



GAMBAR 12  
Grafik Rata-Rata Energi 1 Tahun

Pada grafik diatas energi rata-rata tertinggi yang diperoleh melalui inverter tercatat pada bulan Agustus dengan rata-rata 7,4 kWh, dan energi rata-rata terendah tercatat pada bulan Maret dengan rata-rata 3,7 kWh.

D. Analisis Tekno Ekonomi PLTS

a. Analisis Biaya PLTS

Biaya pembangunan PLTS termasuk dalam biaya investasi awal. Rencana pembangunan PLTS di Taman Sentosa Cikarang adalah PLTS + baterai. Oleh karena itu, komponen yang melengkapi sistem PLTS terdiri dari panel surya, inverter, baterai, panel combiner, dan biaya pemasangan.

TABEL 1  
Biaya Investasi Awal PLTS Taman Sentosa Cikarang

No.	Komponen	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Panel Surya	9	2.405.902	21.653.118
2.	Support PV Array	1	2.868.878	2.868.878
3.	Inverter	1	7.800.000	7.800.000
4.	Baterai	2	4.070.000	8.140.000
5.	Panel Combiner	1	4.500.000	4.500.000
6.	Wiring	1	4.550.000	4.550.000
7.	Biaya Pemasangan	1	10.000.000	10.000.000
Total Investasi Awal				Rp. 54.511.996

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Untuk biaya operasional dan pemeliharaan PLTS di Taman Sentosa Cikarang ditentukan dengan 1% dari total biaya investasi awal, untuk ini rincian biayanya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 O\&M &= 1\% \times S \\
 &= 1\% \times \text{Rp. } 54.511.996 \\
 &= \text{Rp. } 545.119,96
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 O\&Mp &= 545.119,96 \left[ \frac{(1 + 0,07)^{25} - 1}{0,07(1 + 0,07)^{25}} \right] \\
 &= \text{Rp. } 6.352.600
 \end{aligned}$$

c. LCOE dan Payback Period

Berdasarkan parameter-parameter yang telah dimasukan ke-software PVSyst maka diperoleh hasil LCOE dan Payback Period dari desain permodelan PLTS di Taman Sentosa Cikarang sebagai berikut:

Installation costs (CAPEX)	
Total installation cost	54511996 IDR
Depreciable asset	40461996 IDR
Financing	
Own funds	54511996 IDR
Subsidies	0.00 IDR
Loans	0.00 IDR
Total	54511996 IDR
Expenses	
Operating costs(OPEX)	545119.96 IDR/year
Loan annuities	0.00 IDR/year
Total	545119.96 IDR/year
LCOE	1154.87 IDR/kWh
Return on investment	
Net present value (NPV)	22996111 IDR
Payback period	12.5 years
Return on investment (ROI)	42.2 %

GAMBAR 13  
LCOE dan Payback Period

Berdasarkan data investasi awal, biaya operasional, dan pemeliharaan, LCOE diperoleh sebesar Rp. 1.154,87/kWh. Dengan LCOE tersebut, Payback Period atau waktu balik modal selama 12,5 tahun diperoleh.

V. KESIMPULAN

Dalam sistem monitoring selama 12 bulan, rata-rata tegangan yang tercatat adalah 332,97 V, rata-rata arus adalah 1,65 A, dan rata-rata daya adalah 542,03 W. Perolehan energi tertinggi pada tahun tercatat pada bulan Agustus sebesar 228.3 kWh, sementara perolehan energi terendah pada bulan Januari sebesar 78.6 kWh karena data diambil setelah instalasi PLTS selesai. Biaya investasi awal pada PLTS Hybrid 3kWp di Taman Sentosa Cikarang adalah Rp. 54.511.996 dan biaya operasional dan pemeliharaan adalah Rp. 6.352.600. LCOE pada PLTS Taman Sentosa Cikarang adalah Rp. 1.154,87/kWh, sehingga waktu balik modal adalah 12,5 tahun.

REFERENSI

[1] 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.

[2] and L. Siregar, R. R. A., Wardana, N., "Sistem Monitoring Kinerja Panel Listrik Tenaga Surya Menggunakan Arduino Uno, Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta," JETri J. Ilm. Tek. Elektro, vol. 14, no. 2, pp. 81–100, 2017, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.25105/jetri.v14i2.1607>.

[3] K. K. Siahaan, E. Kurniawan, K. B. Adam, F. Teknik, U. Telkom, and G. S. Server, "Analisi Harga Energi Pemanfaatan Tenaga Surya Atap di Pesantren Al

- Mukaromah,” pp. 2–11, 2021.
- [4] J. Windarta, Denis, A. I. Avinda, I. A. Kusuma, and A. Firmansyah, “Studi Perancangan PLTS On-Grid 1200WP Ditinjau Teknik dan Ekonomis di Pondok Pesantren Tanbihul Ghofilin Banjarnegara,” *Pros. PKM-CSR*, Vol. 4, vol. 4, pp. 234–241, 2021.
- [5] A. G. Hutajulu, M. RT Siregar, and M. P. Pambudi, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) on Grid Di Ecopark Ancol,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 23, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7333.
- [6] M. S. Boedoyo, “Potensi Dan Peranan Plts Sebagai Energi Alternatif Masa Depan Di Indonesia,” *J. Sains dan Teknol. Indones.*, vol. 14, no. 2, pp. 146–152, 2013, doi: 10.29122/jsti.v14i2.919.
- [7] R. Sianipar, “Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2014.
- [8] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, “Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1198–1208, 2009, doi: 10.1109/TPEL.2009.2013862.
- [9] M. Nurdiansyah, E. C. Sinurat, M. Bakri, and I. Ahmad, “Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino UNO,” *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 7–12, 2020, doi: 10.33365/jtikom.v1i2.14.
- [10] Permen ESDM No. 28 Tahun 2016, “Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No.28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Pt Perusahaan Listrik Negara (Persero).” p. 24, 2016, [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1561/detail>.
- [11] “X-LFP48100,” vol. 48, p. 48100, 2000.
- [12] B. Winardi, A. Nugroho, and E. Dolphina, “Perencanaan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Untuk Desa Mandiri,” *J. Tekno*, vol. 16, no. 2, pp. 1–11, 2019, doi: 10.33557/jtekno.v16i1.603.
- [13] 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