

Perancangan dan Analisis Tekno Ekonomi PLTH Diesel Generator-Photovoltaic Menggunakan Homer Di Pulau Sambu, Kepulauan Riau

Bagus Karnanto¹, Winasis winasis^{*2}, Yogi Ramadhani³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia
Email: ¹winasis@unsoed.ac.id

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH) merupakan salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan bahan bakar minyak. PLTH ini memiliki cara kerja yaitu mengintegrasikan dua atau lebih pembangkit listrik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan untuk mengintegrasikan antara dua pembangkit listrik yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). PLTD pada Pulau Sambu beroperasi selama 24 jam. Dengan pengoperasian PLTD yang bekerja 24 jam tersebut, maka biaya bahan bakar yang dikeluarkan untuk menggerakkan PLTD tersebut cukup mahal. Sehingga hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat mengurangi konsumsi biaya bahan bakar PLTD tersebut dan juga dapat mengurangi pengoperasian PLTD yang akan membuat umur dari PLTD tersebut semakin lama. Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan analisis tekno ekonomi dengan aplikasi Homer. Hasil penelitian memperoleh hasil desain PLTH di pulau Sambu dengan spesifikasi dan analisis energi yaitu Daya PLTS yang akan terpasang pada Pulau Sambu sebesar 833 kWp, Energi yang dihasilkan PLTH dalam setahun sebesar 3.059.065 kWh menggunakan PLTD dengan kapasitas 2180 kW, menggunakan ukuran Baterai sebesar 1200 kWh, dan PCS PLTH berukuran sebesar 368 kW. Sementara itu analisis ekonomi menunjukkan Biaya rata-rata energi listrik per kWh yang dihasilkan PLTH ini sebesar Rp3.710/kWh, Biaya investasi awal PLTH sebesar Rp10.465.295.346, biaya operation dan maintenance PLTH sebesar Rp 359.928.891, Potensi saving PLTD PLTH sebesar Rp4.059.730.570/tahun, Payback period PLTH sebesar 2.5 tahun.

Kata kunci: HOMER, Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Perancangan.

Design and Techno-Economic Analysis of Hybrid Power Plant Using Solar Power Plant- Diesel Power Plant Using Software Homer in Sambu Island, Riau Islands

Abstract

A hybrid power plant (PLTH) is one of the solutions to reduce dependence on fuel oil. This PLTH has a way of working, namely integrating two or more power plants. This study aims to design a way to integrate two power plants: a solar power plant (PLTS) and a diesel power plant (PLTD). PLTD on Sambu Island operates 24 hours a day. With the operation of the PLTD, which works 24 hours, the fuel costs incurred to run the PLTD are expensive. So that the results obtained from this research can reduce the fuel consumption of the PLTD and reduce the operation of the PLTD, which will make the life of the PLTD longer, this study uses design and techno-economic analysis methods with the Homer application. The results of the study obtained the PLTH design results on Sambu Island with specifications and energy analysis, namely the PLTS power that will be installed on Sambu Island is 833 kW, and the energy produced by PLTH in a year is 3,059,065 kWh using PLTD with a capacity of 2180 kW, using a battery size of 1200 kWh, and PCS PLTH measuring 368 kW. Meanwhile, economic analysis shows that the average cost of electrical energy per kWh produced by this PLTH is IDR 3,710/kWh, the initial investment cost for PLTH is IDR 10,465,295,346, the PLTH operation and maintenance costs are IDR 359,928,891, the potential for saving PLTD PLTH of IDR 4,059,730,570/year, PLTH payback period of 2.5 years correct according to the reviewer's suggestion.

Keywords: Design, Diesel Power Plant (PLTD), HOMER, Hybrid Power Plant (PLTH), Solar Power Plant (PLTS)

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya zaman kebutuhan listrik semakin menjadi kebutuhan yang wajib bagi setiap manusia. Energi listrik sendiri merupakan salah satu komponen penting dan vital untuk kebutuhan masyarakat di era modern ini. Oleh karena itu, jika ketiadaan energi listrik dapat mengganggu keberlangsungan aktivitas manusia [1]. Krisis energi yang terjadi saat ini khususnya energi fosil seperti contohnya minyak bumi. Permasalahan dampak lingkungan yang diakibatkan oleh energi yang tidak ramah dan dapat juga akan habis di masa yang akan datang. Untuk menangani permasalahan tersebut seluruh dunia termasuk pemerintah Indonesia sedang mempercepat pemanfaatan energi terbarukan seperti energi angin, energi matahari (surya), energi air, dan lain-lainnya [2].

Untuk mengurangi krisis energi yang akan terjadi di masa yang akan datang, maka munculah inovasi baru yaitu pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH). Pembangkit listrik tenaga hybrid yaitu sebuah sistem pembangkit listrik yang menggabungkan dari beberapa energi baru dan terbarukan (EBT). Pembangkit listrik tenaga hybrid yaitu salah satu solusi untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak (BBM) dan ketidaktersediaan listrik di pedesaan yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN [3]. Dalam penelitian ini integrasi pembangkit yang dipilih adalah PLTS pembangkit listrik tenaga diesel PLTD. Untuk skema operasi dari PLTH dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik dengan menggunakan sinar matahari melalui modul surya lalu modul surya tersebut Modul surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari bahan semi konduktor silikon (Si) murni, atau bahan semi konduktor lainnya yang akan menghasilkan listrik DC [9]. PLTD ini atau yang dikenal generator ini adalah sebuah pembangkit listrik yang merupakan kombinasi dari mesin diesel yang berbahan bakar solar dan generator listrik yang berfungsi untuk menghasilkan sebuah energi listrik. Generator ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang kecil atau hanya sebagai cadangan ketika listrik dari PLN mati [5].

Faktor utama yang sangat mempengaruhi hasil produksi energi listrik dari pembangkit listrik tenaga surya ini yaitu iradiasi matahari yang akan mempengaruhi arus listrik yang akan dihasilkan, shading yang terjadi saat pengoperasian akan mengakibatkan iradiasi matahari yang diterima oleh modul surya akan berkurang, dan temperature modul surya akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan [9]. Penelitian dari Dewi Purnama Sari dan Refdinal Nazir yang berjudul "Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus: Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)" memaparkan hasil perancangan PLTH menggunakan HOMER dengan pembangkit yang terintegrasi yaitu antara PLTS dan PLTD [5].

Prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga hybrid ini akan memadukan beberapa sumber energi baru dan terbarukan [3]. Di penelitian ini pembangkit listrik tenaga hybrid ini terdiri dari sebuah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). PLTS sendiri merupakan sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari yang diubah menjadi energi listrik melalui modul surya. PLTS ini merupakan salah satu sarana untuk menyuplai kebutuhan energi masyarakat menggunakan listrik yang ramah lingkungan. Selain itu, Indonesia sendiri juga merupakan daerah tropis yang sangat baik untuk pemasangan PLTS ini [4].

Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai , Dewi Purnama Sari dan Refdinal Nazir [5]. Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau , Kunaifi [6]. Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga menggunakan Software HOMER untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam , Ibnu Kahfi Bahtiar [7] Perancangan dan Analisis Kelayakan Tekno Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Kapasitas 1215 Wp dengan Sistem On Grid Skala Rumah Tangga Studi Kasus Perumahan Sambiroto Asri Kota Semarang , Dimas Adi Satrio [8].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, dimulai dari tahap persiapan awal, yaitu menyiapkan alat dan bahan serta studi pustaka, yang dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data dengan mengumpulkan data-data untuk melakukan penelitian seperti mengidentifikasi lokasi. Selanjutnya yaitu tahap simulasi dan analisis dimulai dengan membuat desain lalu melakukan analisis, setelah itu tahap terakhir adalah pembuatan laporan. Untuk diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

2.1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini merupakan persiapan awal yang dilakukan oleh penulis. Pada tahap ini, penulis melakukan studi pustaka melalui sumber website, jurnal, buku dan diskusi dengan karyawan PT. Pertamina Power Indonesia, teman internship, dan teman jurusan. Penulis mencari materi-materi terkait perancangan PLTS menggunakan perangkat lunak PVSyst, perancangan PLTH menggunakan perangkat lunak HOMER, dan

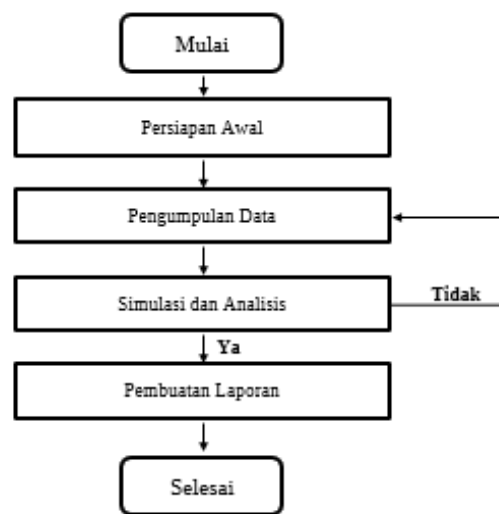
mempelajari output apa saja yang dikeluarkan oleh perangkat lunak HOMER. Dan juga penulis menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian berlangsung.

Perangkat lunak HOMER adalah sebuah singkatan dari The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables. HOMER merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh NREL yang berfungsi untuk mendesain sebuah sistem pembangkit listrik hybrid yang menggunakan energi baru dan terbarukan [14].

Perangkat lunak HOMER merupakan program simulasi untuk mengoptimalkan sistem pembangkit listrik off grid maupun grid connected yang terdiri dari pembangkit listrik energi baru dan terbarukan, pembangkit listrik konvensional, *battery*, bidirectional converter, serta mampu menghitung beban listrik [15].

2.2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini penulis mengumpulkan data-data terlebih dahulu. Data yang dibutuhkan yaitu data, lokasi perancangan, Global Horizontal Irradiance (GHI) dan suhu wilayah Pulau Sambu menggunakan website NASA *Prediction of Worldwide Energy Resources*, asesmen lokasi, data beban, dan biaya dari pengoperasian generator.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2.1. Lokasi Perancangan PLTH

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan PLTH di Pulau Sambu, kecamatan Tanjung Sari, Kota Batam, Kepulauan Riau. PLTH ini terdiri dari PLTS dan PLTD. Untuk PLTD sudah terpasang di lokasi, sedangkan untuk lokasi pemasangan PLTS berada di *scrapyard* bagian timur laut Pulau Sambu, pada koordinat garis lintang $1^{\circ} 9'50.91''\text{N}$, garis bujur $103^{\circ}53'55.05''\text{E}$. Lahan yang tersedia sekitar 1,1 hektar. Untuk lokasi perancangan melalui Google Earth dari PLTH ini lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2.2.2. Potensi Shading

Terdapat potensial *shading* dari bukit setinggi 60 meter yang ditumbuhi pohon di bagian barat area pemasangan dan terdapat pohon kelapa sepanjang jalan bagian timur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Potensi Shading Bagian Barat



Gambar 4 Potensi Shading Bagian Timur

2.2.3. Menentukan Komponen PLTS

Modul Surya

Untuk pemilihan komponen model surya pada PLTH Pulau Sambu dipertimbangkan beberapa aspek yaitu wajib tersertifikasi SNI terdapat minimal 2 manufaktur, tersertifikasi Anti Korosi (jika ada), dan Harga [12].

Inverter PV

Untuk pemilihan komponen inverter PV sendiri harus memperhatikan beberapa aspek dibawah ini yaitu terdapat local support di Indonesia, anti korosi, dan harga [12]

Baterai

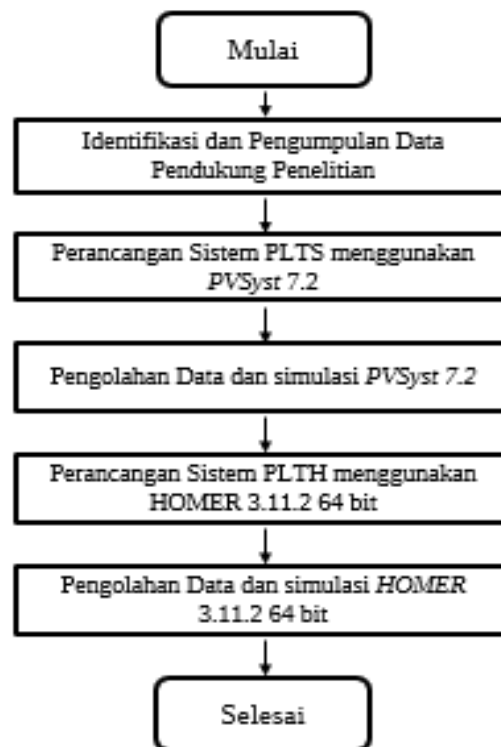
Untuk komponen baterai, aspek yang digunakan untuk pertimbangan yaitu Tipe lithium karena memiliki efisiensi, siklus, durasi charging, dan nilai DoD yang lebih baik, ompatibel dengan pabrikan inverter baterai yang telah dipilih dan bisa disusun seri menyesuaikan inverter baterai, dan *Performance Warranty* serta Harga [12].

Power Conditioning System (PCS)

Sedangkan untuk komponen inverter baterai, aspek yang digunakan sebagai pertimbangan yaitu Inverter baterai yang independen (pembelian tidak harus satu paket dengan baterai) dan harga [12].

2.3. Tahap Simulasi dan Analisis

Setelah mengumpulkan data, maka langkah selanjutnya adalah tahap simulasi dan analisis. Tahap simulasi di lakukan yaitu melakukan perancangan PLTS menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.2. Setelah melakukan perancangan PLTS, langkah selanjutnya yang akan dilakukan yaitu melakukan perancangan PLTH menggunakan perangkat lunak HOMER 3.11.2 64 bit. Tahap simulasi tampak pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Simulasi

2.4. Tahap Analisis

Tahap selanjutnya adalah tahap analisis melakukan analisis teknis dan ekonomi. Untuk analisis teknis yang akan dibahas yaitu analisis dari hasil simulasi perangkat lunak HOMER. Lalu untuk analisis ekonomi yang akan dibahas yaitu potensi saving PLTD per tahun, berapa banyak biaya oembangkitan genset, dan berapa lama balik modal/*payback period*.

2.5. Tahap Penulisan Laporan

Tahap pembuatan laporan merupakan tahap terakhir dalam penelitian ini. Pada tahap ini dituliskan hasil perancangan serta hasil analisis tekno ekonomi dari Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Diesel Generator-Photovoltaic Menggunakan Perangkat Lunak Homer Di Pulau Sambu, Kepulauan Riau”.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi pemanfaatan energi matahari data besar iradiasi matahari tahun 2020 di Pulau Sambu yang diperoleh melalui NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan data temperatur wilayah tahun 2020 di Pulau Sambu yang diperoleh melalui NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* dapat dilihat pada Tabel 2. Selanjutnya profil beban selama bulan Agustus hingga September 2021, diambil nilai rata-rata per jam untuk dilakukan pemodelan profil beban sehari yang disimulasikan bernilai sama sepanjang tahun. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1 Data Iradiasi Matahari

Bulan	Iradiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4.91
Februari	5.4
Maret	5.47
April	5.15
Mei	4.51
Juni	3.88
Juli	4.15

Agustus	4.51
September	4.24
Oktober	4.59
November	4.06
Desember	4.47
Rata-rata	4.61

Tabel 2 Temperatur Lokasi Penelitian

Bulan	Temperatur (°C)
Januari	27.51
Februari	27.78
Maret	28.57
April	28.96
Mei	29.15
Juni	28.4
Juli	27.88
Agustus	28.12
September	27.76
Oktober	28.01
November	27.58
Desember	27.23
Rata-rata	28.08

Tabel 3 Profil Beban

Pukul	Beban (kW)
00.00 – 01.00	340
01.00 – 02.00	349
02.00 – 03.00	345
03.00 – 04.00	342
04.00 – 05.00	340
05.00 – 06.00	336
06.00 – 07.00	325
07.00 – 08.00	332
08.00 – 09.00	334
09.00 – 10.00	347
10.00 – 11.00	359
11.00 – 12.00	357
12.00 – 13.00	362
13.00 – 14.00	360
14.00 – 15.00	368
15.00 – 16.00	348
16.00 – 17.00	350
17.00 – 18.00	358
18.00 – 19.00	362
19.00 – 20.00	362
20.00 – 21.00	356
21.00 – 22.00	356
22.00 – 23.00	354
23.00 – 00.00	340

3.1. Analisis Biaya Sebelum Ada PLTD

Berdasarkan data SCADA pada tanggal 5 Januari 2022 didapatkan total energi yang dihasilkan generator sebesar 7833 kWh dan konsumsi bahan bakar sebesar 3500 L, dalam menentukan biaya pembangkitan generator, yang diperlukan dahulu yaitu *Specific Fuel Consumption* (SFC). Pada persamaan 1 merupakan rumus untuk mencari SFC.

$$SFC = \frac{\text{Konsumsi bahan bakar genset}}{\text{Energi yang dihasilkan genset}} \quad (1)$$

$$SFC = \frac{3500 \text{ L}}{7833 \text{ kWh}}$$

$$SFC = 0,4468 \approx 0.45 \text{ L/KWh}$$

Selanjutnya menghitung biaya pembangkitan genset dapat dilihat pada persamaan (2).

$$\text{Biaya Bahan Bakar Genset} = \text{Harga Bahan Bakar} \times \text{SFC Genset} \quad (2)$$

$$\text{Biaya Bahan Bakar Genset} = \text{Rp}12.500/\text{Liter} \times 0.45 \text{ L/KWh} = \text{Rp}5.585,35/\text{kWh}$$

3.2. Analisis Teknis Sebelum Ada PLTH

Tabel 4 di bawah ini merupakan hasil simulasi perangkat lunak HOMER sebelum adanya PLTH.

Tabel 4 Rincian Sebelum Ada PLTH

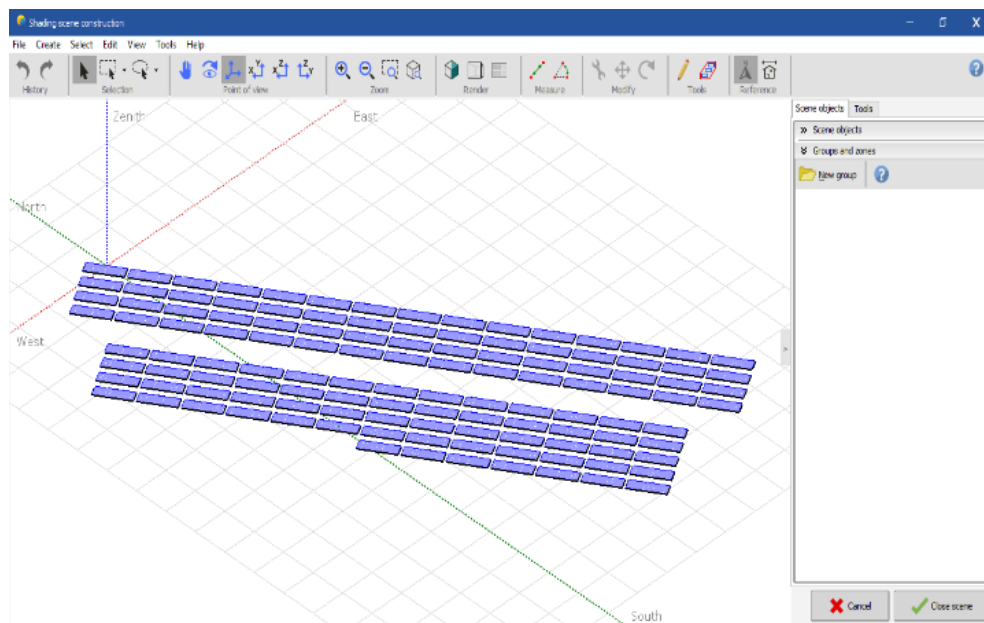
PLTD				
Jam operasi Per tahun	Energi Produksi (kWh/tahun)	Bahan Bakar (L)	Biaya O&M (\$/tahun)	Biaya Bahan Bakar (\$/tahun)
8.760	3.284.650	1.281.545	0	1.282.848

Berdasarkan Tabel 4 menampilkan Jam Operasi PLTD, Energi Produksi, Bahan Bakar, Biaya O&M, dan Biaya Bahan Bakar. Untuk Jam operasi dari PLTD sebesar 8.760 jam per tahun. Untuk energi yang dapat diproduksi oleh PLTD dari Tabel 4 yaitu sebesar 1.281.545 kWh/tahun. Selanjutnya terdapat bahan bakar yang diperlukan dalam setahun sebesar 1.282.848 Liter

3.3. Hasil Simulasi PLTH

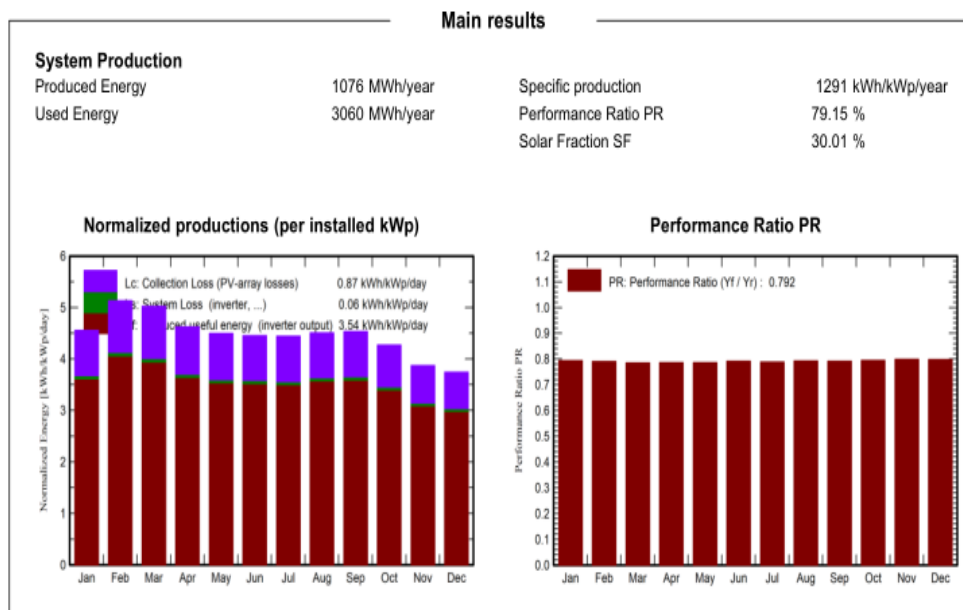
3.3.1. Simulasi PLTS Menggunakan PVSyst 7.2

Gambar 6 merupakan desain PLTS letak lokasi lahan yang akan dipasang PLTS serta mempertimbangkan *near shading* dari objek sekitar, maka dipilih desain PV menghadap timur/sisi pantai dengan *azimuth* -123°.



Gambar 6 Desain PLTS

Hasil simulasi PVSyst 7.2, PLTS dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1076 MWh setiap tahun. Berikut di bawah ini merupakan hasil simulasi PVSyst 7.2 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Produksi PLTS

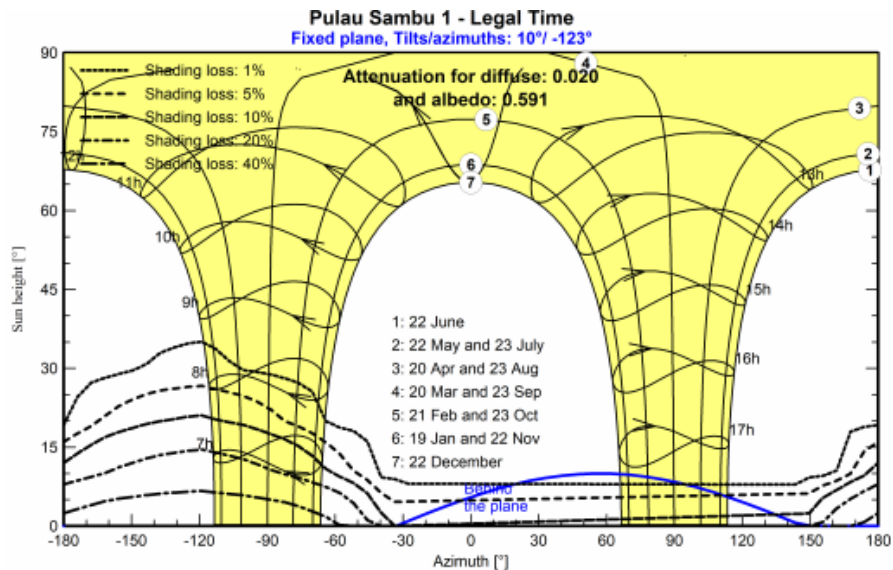
Berdasarkan Gambar 7, PLTS memproduksi energi listrik yang fluktuatif setiap tahunnya. Energi listrik yang rata-rata dapat digunakan yaitu sekitar 3.54 kWh/kWp/day, rata-rata pada array surya sebesar 0,87 kWh/kWp/day, dan rata-rata rugi-rugi pada inverter sebesar 0,06 kWh/kWp/day. *Performance Ratio* (PR) merupakan presentase energi yang dihasilkan dari sebuah sistem PLTS. PR dipengaruhi oleh *shading*, kotoran pada panel, kerugian sistem, dan lain-lain. Berdasarkan Gambar 7 *performance ratio* dari PLTS ini yaitu 79.15%. Berdasarkan Gambar 8, untuk keluaran dari PLTS ditunjukkan oleh kolom *EArray*. *EArray* yang dihasilkan dalam periode 1 tahun yaitu 1094.3 MWh.

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
January	146.6	75.82	27.25	141.2	135.7	95.1	259.9	78.88	14.56	181.0
February	147.3	78.43	27.74	143.7	138.5	96.4	234.8	78.67	16.05	156.1
March	157.4	85.81	28.26	155.7	150.4	103.7	259.9	83.09	18.81	176.8
April	139.7	76.94	28.30	138.9	134.0	92.6	251.5	75.98	15.07	175.5
May	137.0	79.72	29.12	139.4	133.3	93.0	259.9	79.26	12.18	180.6
June	130.6	72.27	28.48	133.6	128.4	89.7	251.5	75.30	12.84	176.2
July	135.6	71.29	28.63	137.7	132.4	92.1	259.9	76.50	13.98	183.4
August	138.4	83.88	28.47	139.8	134.6	94.0	259.9	79.02	13.37	180.9
September	136.1	81.81	28.10	136.1	130.8	91.4	251.5	76.88	12.97	174.6
October	135.3	88.18	28.37	132.4	127.0	89.3	259.9	77.18	10.62	182.7
November	118.6	77.65	27.38	116.1	110.9	78.6	251.5	69.11	8.21	182.4
December	121.3	72.49	27.48	116.0	110.9	78.5	259.9	68.54	8.58	191.4
Year	1644.0	944.29	28.14	1630.7	1566.9	1094.3	3060.2	918.42	157.24	2141.7

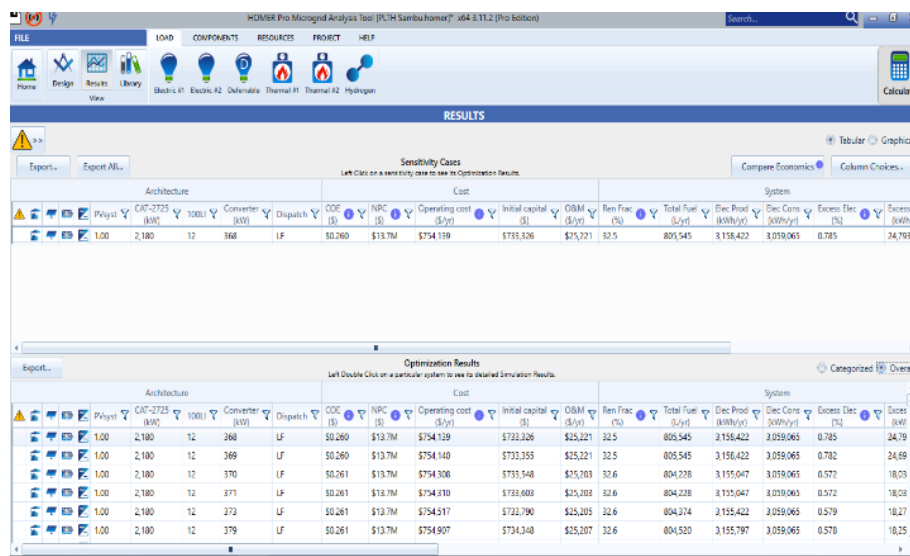
Gambar 8 Hasil Simulasi Setiap Bulan

Untuk potensi *shading* dapat dilihat pada Gambar 9, Berdasarkan Gambar 9, mulai memasuki pukul 7 pagi terdapat *shading losses* sebesar 10% sampai jam 8 pagi dengan *shading losses* 1%. Setelah jam 8 sampai jam

8.30 terdapat *shading losses* sebesar 10% kembali. Sedangkan Gambar 10 merupakan hasil simulasi dari perangkat lunak HOMER.



Gambar 9 Shading Diagram PLTS



Gambar 10 Hasil Simulasi PLTH.

3.4. Analisis Teknis dan Ekonomi PLTH

Untuk skenario yang dipilih dari penelitian ini yaitu skenario nomor pertama yang menggunakan keseluruhan komponen yaitu PLTD, PLTS, dan baterai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Skenario Yang Dipilih				
Arsitektur				
PLTS (kWp)	PLTD (kW)	Baterai (kWh)	PCS ((kW)	Dispatch
833 kWp	2.180	1200	368	LF

Berdasarkan pada Tabel 5 dapat dilihat jika PLTS yang akan dipasang sebesar 833 kWp, PLTD sebesar 2.180 kW, baterai sebesar 1.200 kWh, dan PCS sebesar 368 kW. Lalu Dispatch merupakan jenis keluaran dari baterai dan generator. Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat tertulis LF yang berarti *Line Following*.

yaitu keluaran dari PLTD dan baterai mengikuti beban. Jadi keluaran dari PLTD dan baterai tidak dikeluarkan semua, melainkan hanya mengikuti beban. Tabel 6 merupakan gambaran biaya yang akan dikeluarkan.

Tabel 6 Gambaran Biaya Sistem

Biaya				
COE (\$)	NPC (\$)	Operating Cost (\$/Tahun)	Initial cost (\$)	O&M (\$/Tahun)
\$0.260	\$13.7M	\$754.139	\$733.326	\$25.221

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa menampilkan COE, NPC, operating cost, *initial cost*, dan O&M. COE merupakan singkatan dari cost of estimation. COE merupakan biaya rata-rata energi listrik per kWh yang dihasilkan oleh sistem. Nilai COE dari Tabel 6 sebesar \$0.260. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya COE dapat dilihat pada persamaan (3).

$$\bullet \text{ Biaya COE} = \text{Nilai COE (\$)} \times \text{Rp 14.271} \quad (3)$$

- Biaya COE = 0.260 X 14.271
- Biaya COE = Rp 3.710 /kWh

Selanjutnya ada NPC merupakan singkatan dari *Net Present Cost*. NPC merupakan semua biaya dari pemasangan dan pengoperasian selama sistem masih berjalan. Nilai NPC dari Tabel 6 sebesar \$13.7M. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya NPC dapat dilihat pada persamaan (4).

$$\bullet \text{ Biaya NPC} = \text{Nilai NPC (\$)} \times \text{Rp 14.271} \quad (4)$$

- Biaya NPC = 13.700.000 X 14.271
- Biaya NPC = Rp 201.677.700.000

Operating cost merupakan biaya operasi yang diperlukan dalam setahun. Nilai *operating cost* dari Tabel 6 sebesar \$754.139. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya *operating cost* dapat dilihat pada persamaan (5).

$$\bullet \text{ Biaya operating cost} = \text{Nilai operating cost (\$)} \times \text{Rp 14.271} \quad (5)$$

- Biaya operating cost = 754.139 X 14.271
- Biaya operating cost = Rp 10.762.317.669 / tahun

Initial cost merupakan biaya awal yang diperlukan untuk membangun sistem ini. Nilai *initial cost* dari Tabel 6 sebesar \$733.326. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya *initial cost* dapat dilihat pada persamaan (6).

$$\bullet \text{ Biaya initial cost} = \text{Nilai initialcost (\$)} \times \text{Rp 14.271} \quad (6)$$

- Biaya initial cost = 733.326 X 14.271
- Biaya initial cost = Rp 10.465.295.346

O&M merupakan singkatan dari *Operation & Maintenance*. biaya O&M merupakan biaya operasi dan *maintenance* per tahun. Nilai O&M dari Tabel 6 sebesar \$25.221. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya *initial cost* dapat dilihat pada persamaan (7).

$$\bullet \text{ Biaya O\&M} = \text{Nilai O\&M (\$)} \times \text{Rp 14.271} \quad (7)$$

- Biaya O&M= 25.221 X 14.271
- Biaya O&M=Rp 359.928.891

Tabel 7 merupakan rincian sistem.

Tabel 7 Rincian Sistem					
Sistem					
Ren Frac (%)	Total Fuel (L/year)	Elec Prod (kWh/year)	Elec Cons (kWh/year)	Excess Elec (%)	Excess Elec (kWh)
32.5	805.542	3.158.142	3.059.065	0.785	24.793

Berdasarkan Tabel 7 menampilkan Ren Frac, Total Fuel, Elec Prod, Excess Elec. Ren Frac merupakan singkatan dari *Renewable Fraction*. Ren Frac merupakan berapa persen dari total beban yang dapat disuplai dari energi baru terbarukan yang dalam penelitian ini energi baru terbarukan yang dipakai adalah PLTS. Berdasarkan Tabel 7 Ren Frac mempunyai nilai sebesar 32.5% total dari beban yang dapat disuplai dari PLTS. *Total Fuel* adalah total bahan bakar yang diperlukan dalam setahun. Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa total bahan bakar yang diperlukan adalah sebesar 805.542 L/Tahun. Elec Prod merupakan singkatan dari *Electrical Production*. *Elec Prod* merupakan total energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTH ini dalam satu tahun. Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa energi listrik yang dihasilkan per tahun yaitu 3.158.142 kWh/tahun.

Elec Cons merupakan singkatan dari *Electrical Consumed*. Elec Cons merupakan total energi listrik yang dapat dikonsumsi. Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa energi listrik yang dapat dikonsumsi per tahun yaitu sebesar 3.059.065 kWh/tahun. Excess Elec merupakan singkatan dari *Excess Electrical*. *Excess Elec* merupakan energi listrik yang surplus atau yang tidak terpakai. Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat *Excess Electrical* yaitu sebesar 0.785 % dari total energi listrik yang dihasilkan atau sebesar 24.793 kWh/tahun. Tabel rincian dari PLTD dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Rincian PLTD				
PLTD				
Jam operasi Per tahun	Energi Produksi (kWh/tahun)	Bahan Bakar (L)	Biaya O&M (\$/tahun)	Biaya Bahan Bakar (\$/tahun)
5.505	2.064.155	805.545	10.845	708.879

Berdasarkan Tabel 8 menampilkan Jam Operasi PLTD, Energi Produksi, Bahan Bakar, Biaya O&M, dan Biaya Bahan Bakar. Untuk Jam operasi dari PLTD sebesar 5.505 jam per tahun. Jika sebelumnya PLTD dioperasikan selama 24 yang berarti dalam satu tahun PLTD beroperasi sebesar 8.760 jam per tahun. Yang berarti dengan dibangunnya PLTH ini, jumlah jam operasi dari PLTD dalam setahun berkurang 3.255 jam. Untuk selanjutnya terdapat energi yang dapat diproduksi oleh PLTD dari Berdasarkan Tabel 8 yaitu sebesar 2.064.155 kWh/tahun. Selanjutnya terdapat bahan bakar yang diperlukan dalam setahun sebesar 805.545 Liter. Berdasarkan energi yang dihasilkan PLTD dan biaya bahan bakar setelah dibangun PLTH, dapat didapatkan biaya yang dapat dihemat yaitu pertama menentukan biaya pembangkitan generator setelah adanya PLTH, yang diperlukan dahulu yaitu *specific fuel consumption* (SFC). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat persamaan (8).

$$\text{Specific Fuel Consumption (SFC)} = \frac{\text{Konsumsi bahan bakar genset (L)}}{\text{Energi yang dihasilkan genset (kWh)}} \quad (8)$$

$$\text{Specific Fuel Consumption (SFC)} = \frac{805.545 \text{ L}}{2.064.155 \text{ kWh}} = 0,3902 \approx 0.39 \frac{\text{L}}{\text{kWh}}$$

Harga pembelian bahan bakar untuk generator di Pulau Sambu didapatkan Rp. 12.500,00/Liter. Maka didapatkan biaya pembangkitan listrik setelah adanya PLTH terdapat pada persamaan (9).

$$\text{Biaya Bahan Bakar Genset} = \text{Harga Bahan Bakar} \times \text{SFC Genset} \quad (9)$$

$$\text{Biaya Bahan Bakar Genset} = \text{Rp}12.500/\text{Liter} \times 0.39 \text{ L/KWh} = = \frac{\text{Rp}4.878,17}{\text{kWh}}$$

Potensi *saving* PLTD dapat dilihat pada persamaan (10).

- Potensi Saving PLTD = Energi Listrik PLTS (kWh) X COE (Rp) (10)
- Potensi Saving PLTD = 1.094.267 X 3.710
- Potensi Saving PLTD = Rp. 4.059.730.570/tahun

Rincian PLTS dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Rincian PLTS		
PLTS		
Biaya Awal (\$)	Produksi (kWh/tahun)	Biaya O&M (\$)
334.038	1.094.267	11.302

Berdasarkan Tabel 9 menampilkan Biaya Awal, Produksi, dan Biaya O&M. Untuk biaya pemasangan awal PLTS sebesar \$334.038. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya *initial cost* dapat dilihat pada persamaan (11).

- Biaya awal PLTS (Rp) = Biaya awal (\$) X Rp 14.271 (11)
- Biaya awal PLTS (Rp)=Biaya awal (\$) X Rp 14.271
- Biaya Awal PLTS (Rp)= 334.038 X 14.271
- Biaya Awal PLTS=Rp4.767.056.298

Untuk energi yang dapat diproduksi dari PLTS sekitar 1.094.267 kWh/tahun. Lalu selanjutnya untuk biaya O&M sebesar \$11.302. Kurs dolar pada tanggal 18 Mei 2022 sebesar Rp 14.271 per \$1. Untuk menentukan biaya *initial cost* dapat dilihat pada persamaan (12).

- Biaya O&M PLTS (Rp) = Biaya O&M (\$) X Rp 14.271 (12)
- Biaya O&M (Rp)= 11.302X 14.271
- Biaya O&M PLTS=Rp161.290.842

Rincian baterai dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Rincian Baterai			
Baterai			
Rata-Rata Per Hari (Jam)	Energi Yang Dihasilkan (kWh/tahun)	Kapasitas Baterai (kWh)	Energi Yang Digunakan (kWh)
2.75	356.040	1200	960

Berdasarkan Tabel 10 menampilkan Rata-Rata Per Hari, Energi Yang Dihasilkan, Kapasitas Baterai, dan Energi yang digunakan. Rata-rata baterai dapat menyuplai beban sebesar 2.75 jam. Untuk energi yang dapat digunakan sebesar 960 kWh dan 356 kWh/tahun. Untuk kapasitas baterai sendiri yang nantinya akan dipasang sebesar 1200 kWh.

Tabel 11 Tabel rincian PCS	
PCS	
Rectifier Mean Output	Inverter Mean Output
42.9 kW	26.6 kW

Berdasarkan Tabel 11 menampilkan *Rectifier Mean Output* dan *Inverter Mean Output*. *Rectifier Mean Output* merupakan output dari PCS yang berupa arus dc yang digunakan untuk melakukan charge pada baterai.

Berdasarkan Tabel 11 dapat dilihat bahwa hasil *Rectifier Mean Output* sebesar 42.9 kW. Sedangkan untuk *Inverter Mean Output* merupakan output dari PCS yang berupa arus ac yang mengarah ke inverter. Berdasarkan Tabel 11 bahwa hasil *Inverter Mean Output* sebesar 26.6 kW. Selanjutnya untuk menghitung berapa tahun *payback period* dapat dilihat pada persamaan (13).

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Biaya Investasi Awal (Rp)}}{\text{Potensi Saving PLTD (Rp)}} \quad (13)$$

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Rp}10.465.295.346}{\text{Rp}4.059.730.570} = 2.5 \text{ tahun}$$

3.5. Contoh Sub-Bab Kedua

Ini merupakan contoh sub-bab kedua. Isinya dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

3.5.1. Simulasi PLTS Menggunakan PVSyst 7.2

Gambar 6 merupakan desain PLTS letak lokasi lahan yang akan dipasang PLTS serta mempertimbangkan *near shading* dari objek sekitar, maka dipilih desain PV menghadap timur/sisi pantai dengan *azimuth* -123°.

3.5.2. Pola Operasi Setelah Adanya PLTH

Pola operasi setelah adanya PLTH dapat dilihat Gambar 11.



Gambar 11 Pola Operasi PLTH

Berdasarkan Gambar 12 menjadi contoh yaitu data pada tanggal 6 maret dapat dilihat bahwa garis yang berwarna hitam menandakan beban, lalu yang berwarna biru menandakan output dari PLTS, lalu yang berwarna cokelat menandakan input dari baterai, dan yang berwarna hijau menandakan output dari PLTD. Saat jam 00.00 – 05.00 output dari PLTD sekitar 400 kW, lalu beban tidak sampai 400 kW. Pada waktu tersebut beban sepenuhnya disuplai oleh PLTD dan daya PLTD yang tersisa digunakan untuk melakukan *charge* baterai. Setelah itu dari pukul 05.00 – 06.00 beban tidak lagi disuplai oleh PLTD melainkan beban keseluruhan di suplai oleh baterai. Lalu setelah pukul 06.00 hingga pukul 08.00 saat matahari mulai terbit, beban tidak disuplai sepenuhnya oleh baterai tetapi disuplai juga oleh PLTS. Saat matahari mulai naik, setelah jam 08.00 – 15.00 beban disuplai sepenuhnya oleh PLTS dan daya berlebih yang dihasilkan oleh PLTS digunakan untuk melakukan *charge* baterai. Setelah pukul 15.00 – 17.00 saat matahari sudah mulai turun maka daya output PLTS juga akan turun dan tidak dapat lagi sepenuhnya menyuplai beban. Oleh karena itu beban sebagiannya disuplai oleh baterai. Setelah pukul 17.00 saat matahari sudah mulai benar-benar turun maka daya yang dihasilkan PLTS juga semakin sedikit maka beban disuplai oleh PLTS, baterai, dan PLTD. Mulai pukul 18.00 saat matahari sepenuhnya terbenam maka PLTS tidak lagi dapat menghasilkan daya output, beban sepenuhnya disuplai oleh PLTD. Setelah pukul 18.00 – 23.00 beban sepenuhnya disuplai oleh PLTD dan daya PLTD yang tersisa digunakan untuk melakukan *charge* baterai.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh hasil, suatu desain PLTH di pulau Sambu, dengan spesifikasi dan analisis energi yaitu Daya PLTS yang akan terpasang pada Pulau Sambu sebesar 833 kWp, Energi yang dihasilkan PLTH dalam setahun sebesar 3.059.065 kWh, PLTD yang digunakan pada perancangan PLTH ini adalah brand Caterpillar dengan kapasitas 2180 kW, Baterai yang digunakan pada perancangan PLTH ini sebesar 1200 kWh, dan PCS yang digunakan pada perancangan PLTH ini sebesar 368 kW.

Berdasarkan desain yang telah dibuat, maka operasi PLTH diesel generator – *photovoltaic* yaitu Beban pada malam hari disuplai oleh PLTD, Beban pada siang hari disuplai oleh PLTS, Jika siang hari tidak terdapat matahari maka beban disuplai oleh PLTD, Selama proses *switch* ketika malam hari beralih ke pagi hari atau sore hari beralih ke malam hari maka beban disuplai oleh baterai.

Telah dihasilkan suatu analisis ekonomi secara singkat yaitu Biaya COE atau biaya rata-rata energi listrik per kWh yang dihasilkan pada perancangan PLTH ini sebesar Rp3.710/kWh, Biaya investasi awal pada perancangan PLTH ini sebesar Rp10.465.295.346, Biaya *operation* dan *maintenance* pada perancangan PLTH ini sebesar Rp 359.928.891, Potensi *saving* PLTD pada perancangan PLTH ini sebesar Rp4.059.730.570/tahun, *Payback period* yang dihasilkan dari perancangan PLTH ini sebesar 2.5 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gifson, M. R. Siregar and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol," *Tesla*, vol. 22, p. 1, 2020.
- [2] W. Noviandi, A. Hiedro and J. , "Rancang Bangun Solar Sel Pada Gedung Perkantoran Sebagai Energi Listrik Alternatif Studi Kasus : Gedung Kantor Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Sintang Provinsi Kalimantan Barat)," p. 1.
- [3] O. A. Rosyid, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida Untuk Listrik Pedesaan di Indonesia," *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. I, no. 1, pp. 31-32, 2011.
- [4] G. R. S. and R. Ch, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti," p. 1, 2016.
- [5] R. N. Dewi Purnama Sari, "Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic Arrar Menggunakan Homer (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro* , vol. IV, no. 1, pp. 1-12, 2015.
- [6] Kunaifi, "Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau," *Seminar Nasional Informatika 2010*, pp. 18-20, 2010.
- [7] I. K. Bachtiar, "Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga menggunakan Software HOMER untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam," *JURNAL SUSTAINABLE*, vol. V, no. 2, pp. 17-25, 2016.
- [8] D. A. Satrio, "Perancangan dan Analisis Kelayakan Tekno Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Kapasitas 1215 Wp dengan Sistem On Grid Skala Rumah Tangga Studi Kasus Perumahan Sambiroto Asri Kota Semarang," Universitas Diponegoro, Semarang, 2021.
- [9] I. K. A. Setiawa, I. N. S. Kumara and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli," vol. XIII, no. 1, p. 27, 2014.
- [10] M. Naim, "Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti," *Vertex Elektro*, vol. XII, no. 1, pp. 17-25, 2020.
- [11] S. Enjiniring, "Conceptual Study Pulau Sambu," Jakarta, 2021.
- [12] Subandi and S. Hani, "Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air dengan Menggunakan Solar Cell," *Jurnal Teknologi Technoscientia*, vol. VII, no. 2, pp. 159-160, 2015.
- [13] A. N. A., "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli," *Teknol. Elektro*, vol. XVI, no. 1, 2017.
- [14] T. Lambert, "Micropower System," in *Integration of*, United State Of America, John Wiley & Sons Inc., 2006, pp. 379-418
- [15] N. R. E. Laboratory, "Homer Energy Modelling Software for Hybrid Renewable Energy System," USA, 28 November 2012. [Online]. Available: <http://www.homerenergy.com>. [Accessed 17 Januari 2021].