



DOI: <https://doi.org/10.38035/jsmd.v4i1>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Studi Optimasi *Hybrid Power System* PLTS, Baterai, dan PLTD pada *Isolated System* Pulau Sarappo Lompo, Pangkep, Sulawesi

Lingga Aditya Prayuda¹, Fajar Sidiq², Jerry Kurniawan³.

¹Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, lingga2310514@itpln.ac.id

²Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, fajar2310511@itpln.ac.id

³Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, jerry2310504@itpln.ac.id

Corresponding Author: lingga2310514@itpln.ac.id

Abstract: *Sarappo Lompo Island is an inhabited small island located within the Spermonde Archipelago, in the Makassar Strait, approximately 30 km south of Makassar City. The island currently relies on a diesel generator (PLTD) for its electricity supply, which only operates 12 hours per day due to infrastructure and fuel limitations. However, Sarappo Lompo receives a high level of solar radiation, with daily solar insolation reaching up to 6.830 kWh/m²/day and an annual average of 5.668 kWh/m²/day, based on Global Horizontal Irradiation (GHI) data. This presents solar energy as a highly promising renewable energy source for the island, especially when combined with energy storage systems such as batteries. Together, they offer the potential to establish a hybrid power system that can better meet the island's energy needs. This study aims to reduce the island's dependency on diesel generators by harnessing its renewable energy potential, transitioning from the existing diesel-based system to a more efficient hybrid power system. The HOMER Pro software was used to simulate and analyze various hybrid configurations to identify the most economical solution. The optimal design found in this study—Model A, which includes PLTD 1 + PLTD 2 + PLTS + Battery + Converter—resulted in the lowest Net Present Cost (NPC) of Rp18,511,390,000.00 and a Levelized Cost of Energy (LCOE) of Rp1,894.16/kWh. Furthermore, this configuration produced annual carbon emissions of 32,533 kg CO₂, making it not only cost-effective but also environmentally friendlier. These study results provide a useful reference for implementing hybrid power systems in other small islands with similar characteristics.*

Keyword: *Sarappo Lompo, GHI, NPC, LCOE, Homer Pro, Hybrid.*

Abstrak: Pulau Sarappo Lompo merupakan pulau kecil yang terletak di gugusan Kepulauan Spermonde, perairan Selat Makassar. Pulau ini berjarak sekitar 30 km dari sebelah selatan Makassar, sehingga dikategorikan sebagai pulau terluar yang berpenghuni. Dengan sistem kelistrikan berbasis PLTD, sarana dan prasarana pulau ini hanya ditopang durasi pasokan listrik selama 12 jam per hari. Di sisi lain Pulau Sarappo Lompo memiliki tingkat radiasi sinar matahari mencapai 6.830 kWh/m²/hari dan rata-rata dalam satu tahun sebesar 5.668 kWh/m²/hari berdasarkan *Global Horizontal Irradiation (GHI)*. Dengan potensi sebesar itu menjadikan energi surya sebagai pilihan ideal untuk dijadikan sumber energi terbarukan, yang juga dapat dikombinasikan dengan media penyimpanan berupa baterai, sehingga dapat memenuhi kebutuhan kelistrikan di pulau tersebut, dengan terbentuknya sistem pembangkit listrik *hybrid*. Penelitian ini bertujuan mengetahui cara untuk menurunkan ketergantungan

terhadap pengoperasian PLTD dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang ada sehingga sistem kelistrikan eksisting menuju hybrid power system yang lebih efisien. Perangkat lunak Homer Pro dijadikan sebagai media simulasi guna menemukan model paling ideal untuk sistem pembangkitan listrik *hybrid*. Berdasarkan hasil simulasi, desain paling optimal terkait implementasi hybrid power system antara pembangkit eksisting satu-satunya (PLTD 1 dan PLTD 2) dengan potensi energi surya (PLTS), Baterai dan Converter di pulau Sarappo Lompo jika dilihat dari sisi keekonomiannya adalah Model A (PLTD 1 + PLTD 2 + PLTS + Baterai + Converter) dengan nilai NPC sebesar Rp18.511.390.000,00 dan LCOE sebesar Rp1.894,16/kWh. Sedangkan jika dilihat dari dampak emisi (CO₂) pada Model A sebesar 32.533 kg/tahun. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi penerapan sistem pembangkitan *hybrid* di pulau-pulau kecil yang karakteristiknya mirip dengan pulau Sarappo Lompo.

Kata Kunci: Sarappo Lompo, GHI, NPC, LCOE, Homer Pro, Hybrid.

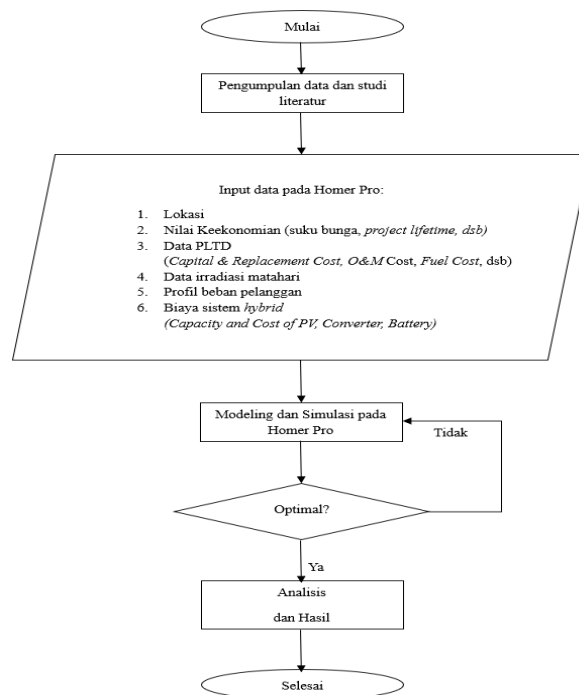
PENDAHULUAN

Terletak di kawasan Kepulauan Spermonde, Selat Makassar, Pulau Sarappo Lompo merupakan wilayah berpenghuni yang masuk dalam kategori pulau terluar. Dengan jarak kurang lebih 30 km ke arah selatan dari Kota Makassar, pulau kecil ini memiliki posisi geografis yang cukup strategis di perairan tersebut. Sistem kelistrikan *isolated* di Pulau Sarappo Lompo masih didominasi oleh PLTD dengan durasi pasokan terbatas (12 jam/hari) akibat kendala teknis dan logistik BBM. Untuk mengatasi defisit energi tersebut, pemanfaatan potensi energi surya lokal (rata-rata dalam satu tahun sebesar 5,67 kWh/m²/hari) melalui sistem *hybrid* menjadi solusi yang menjanjikan. Dengan mengombinasikan PLTD, PLTS, dan penyimpanan energi (baterai), stabilitas pasokan listrik dapat ditingkatkan menuju ketersediaan 24 jam.

Transformasi ini bertujuan untuk menciptakan kemandirian energi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan bagi masyarakat pulau terluar untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang berkelanjutan dengan mengombinasikan pada pembangkitan eksisting (PLTD) dengan potensi yang dimiliki pulau tersebut berupa energi terbarukan yang ada, seperti yang pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Pratama, 2025) dan (Kafil, 2024) di pulau Wangi Wangi, (Farid, 2020) dan (Halomoan, 2020) di desa Tomor, Papua, (Alvianingsih & Simanjuntak, 2021) di pulau Gersik, Belitung, (Novario, 2024) di pulau Baranglombo dan Laelae, dan (Salim, 2024) di pulau Selayar, Sulawesi Selatan.

METODE

Lokasi yang dijadikan bahan penelitian ini adalah pulau Sarappo Lompo yang berada di Kecamatan Liukang Tupabbiring, Kabupaten Pankajene dan Kepulauan, Sulawesi Selatan. Pulau dengan luas wilayah 121.778,1323440 m² ini memiliki sistem kelistrikan *isolated* yang mengandalkan PLTD sebagai satu-satunya sumber pembangkitan listrik yang beroperasi selama 12 jam setiap harinya. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan sistem kelistrikan eksisting menjadi sistem *hybrid* pada pulau-pulau kecil, khususnya Sarappo Lompo dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan yang dimiliki, salah satunya potensi energi surya. Dari pengembangan sistem kelistrikan tersebut dibutuhkan data terkait *capital & replacement cost*, *O&M cost*, dan *fuel cost* dari masing-masing komponen *renewable energy*nya guna kemudian dilakukan simulasi pada aplikasi perangkat lunak Homer Pro. Khusus untuk keperluan PLTS, dibutuhkan data terkait iradiasi matahari dan juga data profil beban pelanggan yang ada di pulau Sarappo Lompo. Selain itu dibutuhkan juga data-data keekonomian seperti suku bunga, inflasi, *project lifetime*. Untuk memudahkan penggambaran mengenai langkah-langkah yang diterapkan pada penelitian ini, berikut diagram alir untuk kegiatan, data yang dibutuhkan, hingga analisis dan hasil yang akan didapatkan ditunjukkan pada Gambar 1.

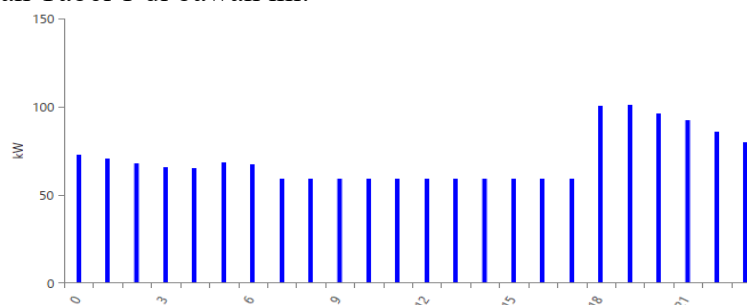


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan profil beban dan pemakaian daya dari generator diesel yang ada di pulau Sarappo Lompo, rata-rata profil beban dapat disimpulkan pada pulau tersebut hanya pada periode operasinya generator yakni selama kurang lebih 12 jam (18:00 – 06:00 WITA). Data beban ini didapat berdasarkan dari laporan “Kerja Mesin Diesel PLTD Sarappo Lompo” pada bulan Mei 2025. Beban yang tercatat hanya muncul di waktu PLTD beroperasi, yaitu terhitung dari jam 18:00 WITA hingga jam 06:00 WITA di esok harinya. Untuk estimasi konsumsi pemakaian listrik di siang hari (06:00 – 18:00 WITA), dikarenakan tidak adanya data aktual di pulau Sarappo Lompo ini, maka dilakukan pendekatan perbandingan konsumsi listrik di siang hari dengan di malam hari dalam satu hari konsumsi listrik total keseluruhan. Didapatkan data bahwa konsumsi listrik pada malam hari (termasuk sore hingga tengah malam) mencapai sekitar 61% dari total konsumsi harian, sementara siang hari (pagi hingga sore) sekitar 39% (CLASP & Ipsos, 2020). Sehingga didapatkan data beban puncak berada di malam hari sebesar 101,00 kW dan beban terendah di siang hari sebesar 59,19 kW.

Di sisi lain data iradiasi matahari sangat penting karena memegang peranan besar dalam perancangan sistem PLTS karena dapat menentukan potensi energi dari matahari yang akan dikonversi menjadi energi listrik nantinya. Berdasarkan *database* dari NASA POWER, yang terdapat pada perangkat lunak Homer Pro, telah merangkum data tren rata-rata bulanan selama 22 tahun (Juli 1983 – Juni 2005).

Untuk detail profil beban harian dan data iradiasi di pulau Sarappo Lompo ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 1 di bawah ini.



Gambar 2. Profil Beban pulau Sarappo Lompo

Tabel 1. Data iradiasi pulau Sarappo Lompo

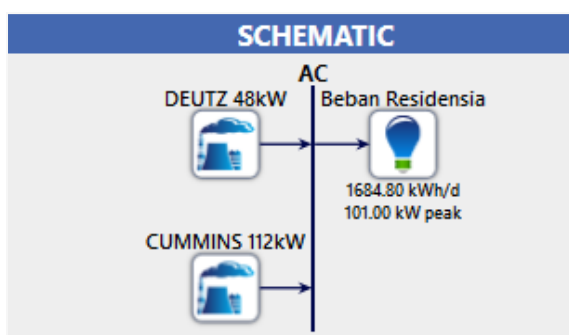
Bulan	Clearness Index	Radiasi harian (kWh/m ² /hari)
Januari	0,445	4,690
Februari	0,463	4,940
Maret	0,526	5,540
April	0,584	5,800
Mei	0,624	5,730
Juni	0,632	5,530
Juli	0,644	5,740
Agustus	0,677	6,480
September	0,667	6,830
Oktober	0,629	6,640
November	0,535	5,630
Desember	0,427	4,460
Rata-rata tahunan	0,5711	5,668

Terdapat dua generator diesel yang digunakan di pulau tersebut. Generator merk *Cummins* beroperasi pada pukul 18.00-06.00 WITA (12 jam) sedangkan merk *Deutz* beroperasi pada pukul 18.00-00.00 WITA (6 jam) setiap harinya. Berikut spesifikasi dan gambar PLTD yang digunakan sebagai pembangkitan eksisting di Sarappo Lompo ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

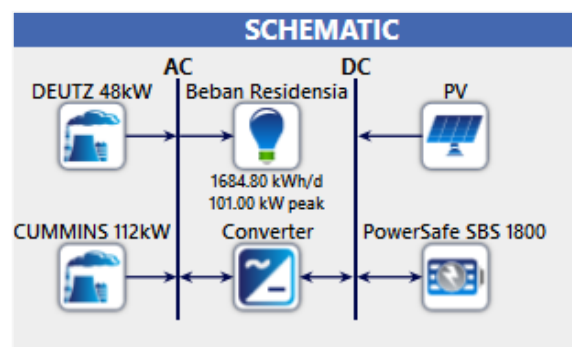
Tabel 2. Spesifikasi PLTD di Sarappo Lompo

Brand / Model	Cummins / 6BTAA5.9 G2	Deutz / F6L912
Manufacture	Dongfeng Cummins Engine Co., Ltd	DEUTZ AG
Serial Number	78450995.0	8783543
Rate Power Prime	138 kVA	50 kVA
Rate Power Standby	152 kVA	55 kVA
Fuel	Solar (diesel)	Solar (diesel)
Fuel Consumption	16 L/hr (50% load) 23 L/hr (75% load) 30 L/hr (100% load)	7.8 L/hr (50% load) 11 L/hr (75% load) 14.4 L/hr (100% load)
Rated Speed	1500 RPM	1500 RPM
Lifetime (hours)	86400	43200
Price	Rp469.999.900,00	Rp81.633.586,00
Sumber Harga	(Monotaro.id, n.d.)	(Alibaba.com, n.d.)

Pada penelitian ini dilakukan rancangan simulasi sistem kelistrikan dengan sumber utama AC menggunakan generator diesel sebagai pembangkit listrik eksisting, yang kemudian akan dilengkapi dengan PV, converter, dan baterai untuk membentuk sistem kelistrikan *hybrid*. Berikut skematik tampilan pada perangkat lunak Homer Pro untuk kondisi kelistrikan eksisting pada Gambar 3 dan sistem kelistrikan *hybrid* pada Gambar 4.



Gambar 3. Skema kelistrikan eksisting



Gambar 4. Skema kelistrikan hybrid

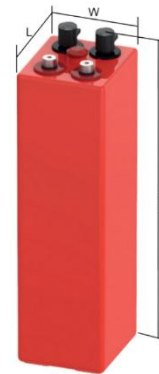
Sebagai referensi, pemilihan spesifikasi dan harga PV yang akan digunakan ialah sama seperti pada penelitian sebelumnya di pulau LaeLae (Novario, 2024) yaitu yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 5 di bawah ini.

Tabel 3. Spesifikasi PV

Brand / Model	Solarworld / SW 230	Operating Temp.	47,2°C
Rated Max Power	230 Wp	Efficiency	13 %
Max Power Point Voltage	29,8 Volt	Capital Cost	Rp700.000.000,00
Max Power Point Current	7,72 Ampere	Replacement	Rp466.666.666,00
Open Circuit Voltage	36,90 Volt	O&M	Rp2.100.000,00/tahun
Short Circuit Current	8,25 Ampere	Lifetime	25 tahun
Max System Voltage	1000 Volt	Derating Factor	85 %
Panel type	Flat Plate	Sizing	40,25
Temp. Coefficient	-0,456	Electrical bus	DC



Gambar 5. PV Solarworld SW230 poly



Gambar 6. EnerSys PowerSafe SBS 1800

Spesifikasi baterai yang digunakan berdasarkan kapasitas yang diasumsikan dapat memenuhi kebutuhan sistem pembangkitan *hybrid* Berikut spesifikasi baterai yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 6.

Tabel 3. Spesifikasi Baterai

Brand / Model	PowerSafe / SBS 1800	Capital Cost	Rp22.677.000,00
Manufacture	EnerSys	Replacement	Rp22.677.000,00
Nominal Voltage	12 volt	O&M	Rp226.770,00/tahun
Nominal Capacity	24,8 kWh	Lifetime	15 tahun
Maximum Capacity	2060 Ah	String size	1
Capacity ratio	0,298	Throughput	26.436,20 kWh
Roundtrip efficiency	97 %	Initial State of Charge	100 %
Maximum charge current	1800 A	Minimum State of Charge	20 %
Maximum discharge current	2300 A	Electrical bus	DC
Maximum charge rate	1 A/Ah		

Komponen *converter* selaku media penghubung jalur sistem kelistrikan dan penyalur energi antara komponen DC ke AC dan juga sebaliknya, maka perlu diperhatikan terkait kapasitas converter yang akan digunakan. Spesifikasi dan harga converter yang akan digunakan merujuk pada penelitian sebelumnya di pulau LaeLae (Novario, 2024) yaitu yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 7 di bawah ini.

Tabel 4. Spesifikasi Converter

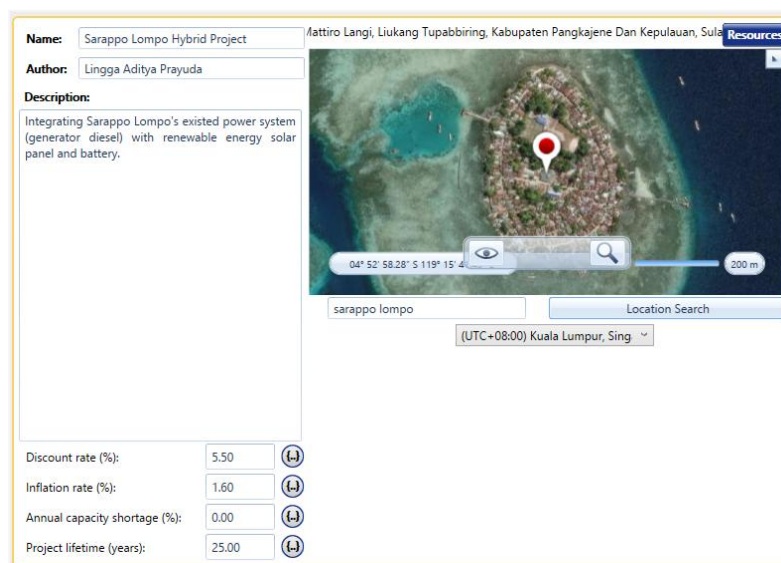
Merk	Apollo
Tipe	MTP-615F
Daya output	45 kW
Capital Cost	Rp400.000.000,00
Replacement	Rp266.666.667,00

O&M	Rp26.666.667,00/tahun
Lifetime	15 tahun
Efficiency	95 %
Relative Capacity Rectifier	100 %



Gambar 7. Three Phase Bidirectional Parallel Inverter Apollo MTP-615F

Sebelum memulai proses simulasi langkah pertama adalah data dimasukkan terkait lokasi penelitian, nilai *discount rate*, *inflation rate*, dan *Project Lifetime*. *Location* diisi dengan “Sarappo Lompo” sebagai lokasi penelitian, yang kemudian Homer Pro akan menuju titik pulau tersebut. Untuk *discount rate* dan *Inflation rate* diisi masing-masing dengan nilai 5.50% dan 1.60%, berdasarkan data dari Bank Indonesia pada bulan Mei 2025. Kemudian untuk *project lifetime* pada penelitian ini yang sudah ditentukan diisi dengan 25 tahun. Untuk tampilan pengisian pada tahap ini, ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini:



Gambar 8. Pengisian data awal project di Homer Pro

Selanjutnya isi masing-masing tiap komponen yang dibutuhkan dan yang akan digunakan. Pertama tambahkan komponen dua buah generator PLTD sebagai pembangkitan eksisting sesuai spesifikasi yang terpasang saat ini. Kemudian tambahkan juga komponen lainnya seperti spesifikasi *PV*, Baterai, hingga *Converter* yang sudah ditentukan tipe dan harga pada Gambar dan Tabel di atas.

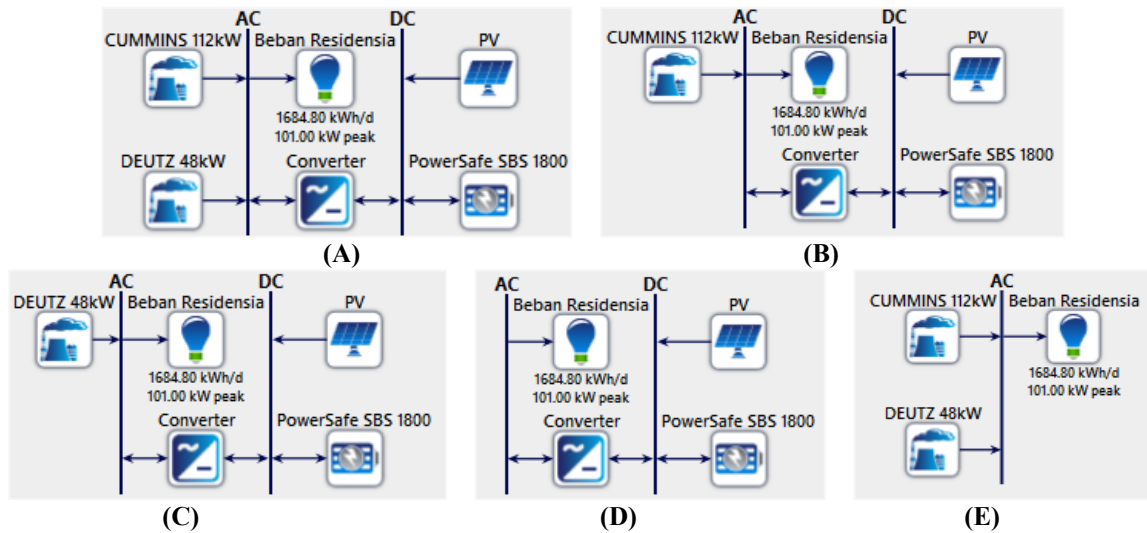
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada *software* Homer Pro, dengan berbagai data dan komponen-komponen yang dibutuhkan pada penelitian ini, didapatkan hasil ada 5 model sistem kelistrikan utama yang diterapkan, yaitu:

1. Model A: PLTD 1 + PLTD 2 + *PV* + Baterai + *Converter*
2. Model B: PLTD 1 + *PV* + Baterai + *Converter*

3. Model C: PLTD 2 + PV + Baterai + Converter
4. Model D: PV + Converter + Baterai
5. Model E: PLTD 1 + PLTD 2

Berdasarkan hasil model sistem kelistrikan yang didapat, berikut tampilan 5 model simulasi sistem kelistrikan *hybrid* di pulau Sarappo Lompo berdasarkan *software* Homer Pro ditunjukkan pada Gambar 10 di bawah ini:



Gambar 10. Tampilan model optimasi kelistrikan di Homer Pro

Setelah dilakukan simulasi di Homer Pro, dari sebanyak komponen dan konfigurasi *sizing* yang ditetapkan itu, maka didapatkan kombinasi solusi sebanyak 22.962 yang ditawarkan. Dari solusi sebanyak itu, kemudian disederhanakan dan dikategorikan menjadi 5 model saja. Berikut hasil tampilan dari hasil simulasi pada Homer Pro ditunjukkan pada Gambar 11 di bawah ini.

Architecture								Cost		
	PV (kW)	CUMMINS 112kW (kW)	DEUTZ 48kW (kW)	PowerSafe SBS 1800 (#)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	LCOE (Rp/kWh)	Operating cost (Rp/yr)	
	421	96.8	38.4	100	112	LF	Rp18.5B	Rp1,894	Rp498M	
	412	96.8		100	112	LF	Rp18.5B	Rp1,897	Rp509M	
	562		38.4	200	112	LF	Rp20.5B	Rp2,096	Rp325M	
	592			200	112	CC	Rp21.0B	Rp2,150	Rp325M	
		96.8	14.4			CC	Rp32.6B	Rp3,340	Rp2,058	

Gambar 11. Tampilan model konfigurasi dan hasil perhitungan pada Homer Pro

Setiap model akan menghasilkan daya total berdasarkan komponen - komponen yang ada di dalamnya. Berdasarkan hasil simulasi dan optimasi dari perangkat lunak Homer Pro, berikut hasil dari total daya per tahun yang ada pada model A, B, C, D, dan E, maka dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Kontribusi energi pada setiap model

	PLTD 1 (kWh/year)	PLTD 2 (kWh/year)	PV (kWh/year)	Total (kWh/year)
Model A	41.802	2.153	668.597	712.551
Model B	47.835	-	654.668	702.503
Model C	-	740	891.462	892.202
Model D	-	-	940.214	940.214
Model E	608.645	6.307	-	614.952

Namun, jika dilihat dari sisi kajian teknis, setiap model dapat diaplikasikan dengan hasil yang bervariasi, dari pola operasi, *renewable fraction*, hingga dampak emisi yang dihasilkan. Berikut hasil model optimasi dari Homer Pro jika dilihat dari sisi teknis ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil model optimasi teknis di Homer Pro

Model	Pola Operasi	Renewable fraction	Emisi (CO ₂) kg/tahun
Model A	PLTD 1 + PLTD 2 + PV + Baterai + Converter	92,9 %	32.533
Model B	PLTD 1 + PV + Baterai + Converter	92,2 %	35.091
Model C	PLTD 2 + PV + Baterai + Converter	99,9 %	618
Model D	PV + Baterai + Converter	100 %	0
Model E	PLTD 1 + PLTD 2	0%	443.809

Renewable fraction adalah satuan energi yang dikirim ke beban yang berasal dari sumber daya terbarukan (homerenergy, 2016). *Renewable fraction* dengan dampak emisi yang dihasilkan pada setiap model cenderung beriringan. Semakin besar nilai persentase *renewable fraction*, maka semakin minim pula nilai dampak dari emisi yang dihasilkan. Sehingga urutan paling optimal dari sisi teknis, khususnya *renewable fraction* dan dampak emisi yang dihasilkan adalah Model D, Model C, Model A, Model B dan Model E.

Selain dari sisi teknis, pada penelitian ini juga menemukan model yang paling optimal dari sisi keekonomian, yaitu yang dilihat dari nilai *NPC* dan *LCOE* nya yang paling rendah. *NPC* merupakan nilai dari biaya keseluruhan yang dikeluarkan selama masa pengoperasian yang dikurangi dengan nilai sisa (*salvage*). Biaya yang dimaksud adalah biaya modal awal, biaya penggantian, biaya terkait bahan bakar, dan biaya operasi dan pemeliharaan (*O&M*), yang dikeluarkan (Kanata, 2015). Sedangkan *LCOE* memperhitungkan biaya keseluruhan yang telah dikeluarkan selama umur sistem, termasuk biaya investasi awal, *O&M*, bahan bakar (jika ada), hingga suku bunga (diskonto) (Jamil et al., 2021). Selain itu *operating cost* merupakan biaya pengoperasian tahunan dengan menghitung dari nilai total biaya per tahun yang dikurangi dengan biaya *capital* per tahun dalam satuan dalam harga.

Dari beberapa hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa Model A merupakan model yang paling optimal dengan *NPC* dan *LCOE* terendah, yang disusul setelahnya ada Model B, Model C, Model D dan Model E. Untuk memudahkan dalam membaca, berikut tampilan urutan hasil dari model yang paling optimal hingga ke model yang kurang optimal pada Tabel 7 di bawah ini.

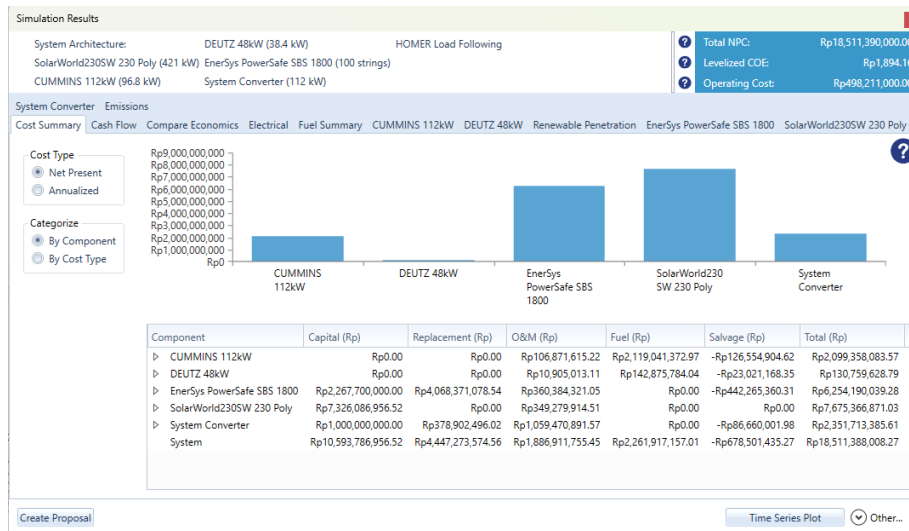
Tabel 7. Hasil model optimasi ekonomi di Homer Pro

	NPC (Rp)	Operating Cost (Rp/tahun)	LCOE (Rp/kWh)
1. Model A	Rp18.511.390.000,00	Rp498.211.016,86	Rp1.894,16/kWh
2. Model B	Rp18.537.440.000,00	Rp509.454.142,11	Rp1.897,10/kWh
3. Model C	Rp20.470.800.000,00	Rp325.148.865,82	Rp2.095,59/kWh
4. Model D	Rp20.998.390.000,00	Rp324.733.400,00	Rp2.149,77/kWh
5. Model E	Rp32.639.030.000,00	Rp2.053.794.011,71	Rp3.339,76/kWh

Berdasarkan data tabel di atas, model paling optimal yaitu Model A dengan konfigurasi komponen PLTD 1 (*Cummins 6BTAA5.9 G2*), PLTD 2 (*Deutz F6L912*), PV, *converter*, dan baterai. Model A memiliki *NPC* sebesar Rp18.511.390.000,00, *LCOE* sebesar Rp1.894,16/kWh, dan *Operating Cost* sebesar Rp498.211.016,86. Di posisi kedua adalah Model B memiliki konfigurasi komponen PLTD 1 (*Cummins 6BTAA5.9 G2*), PV, *converter*, dan baterai. Pada Model B ini memiliki nilai *NPC* sebesar Rp18.537.440.000,00, *LCOE* sebesar Rp1.897,10/kWh, dan *Operating Cost* sebesar Rp509.454.142,11. Berikutnya di posisi ketiga adalah Model C memiliki konfigurasi komponen PLTD 2 (*Deutz F6L912*), PV, *converter*, dan baterai. Pada Model C ini memiliki nilai *NPC* sebesar Rp20.470.800.000,00,

LCOE sebesar Rp2.095,59/kWh, dan *Operating Cost* sebesar Rp325.148.865,82. Selanjutnya di posisi keempat adalah Model D yang memiliki konfigurasi komponen full *Renewable Energy* yaitu PV, *converter*, dan baterai. Model D ini memiliki nilai *NPC* sebesar Rp20.998.390.000,00, *LCOE* sebesar Rp2.149,77/kWh, dan *Operating Cost* sebesar Rp324.733.400,00. Dan yang terakhir adalah model yang paling tidak optimal model E dengan konfigurasi sistem kelistrikan eksisting yaitu PLTD 1 (*Cummins 6BTAA5.9 G2*) dan PLTD 2 (*Deutz F6L912*). Pada Model E, memiliki nilai *NPC* sebesar Rp32.639.030.000,00, *LCOE* sebesar Rp3.339,76/kWh, dan *Operating Cost* sebesar Rp2.053.794.011,71. Berikut validasi perhitungan untuk model paling optimal yaitu Model A:

- *NPC Model A*



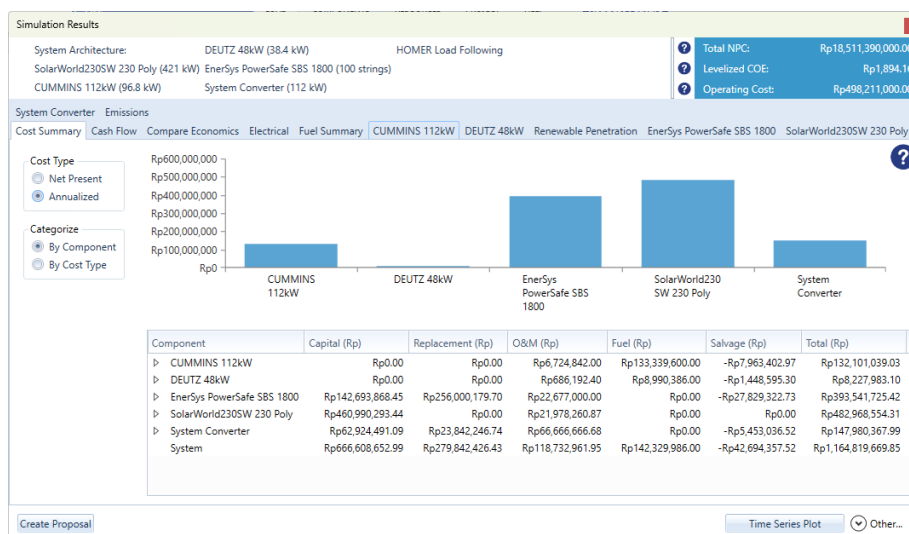
Gambar 12. NPC Model A

$$\text{Capital Cost} + \text{Replacement Cost} + \text{O\&M} + \text{Fuel Cost} - \text{Salvage} = \text{NPC}$$

$$\text{Rp}10.593.786.956,52 + \text{Rp}4.447.273.574,56 + \text{Rp}1.886.911.755,45 + \text{Rp}2.261.917.157,01 - \text{Rp}678.501.435,27 = \text{Rp}18.511.388.008,27$$

(dibulatkan menjadi Rp18.511.390.000,00).

- *Operating Cost Model A*

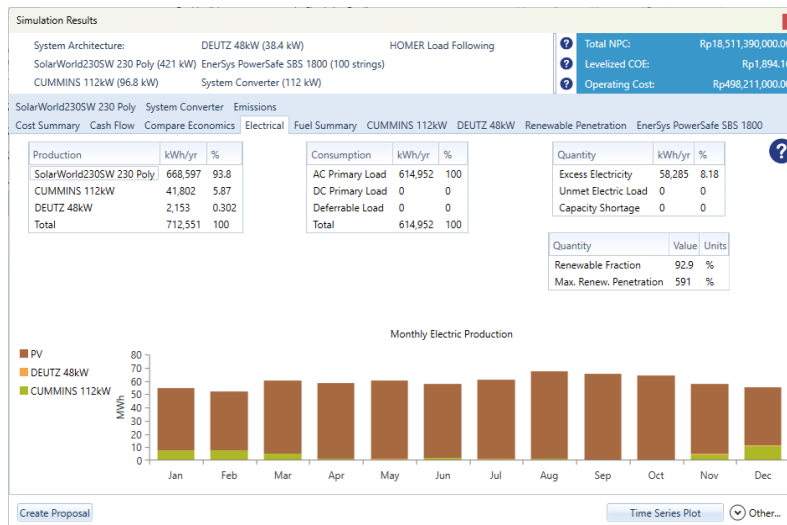


Gambar 13. Operating Cost Model A

$$\text{Total biaya per tahun (Rp/tahun)} - \text{Biaya Capital per tahun (Rp/tahun)} = \text{Operating Cost}$$

$$\text{Rp}1.164.819.669,85 - \text{Rp}666.608.652,99 = \text{Rp}498.211.016,86$$

- LCOE Model A



Gambar 14. LCOE Model A

$$\text{Total biaya per tahun (Rp/tahun) / Electrical Consumption (kWh/tahun)} = \text{LCOE}$$

$$\text{Rp1.164.819.669,85/614.952 kWh} = \text{Rp1.894,16/kWh}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, telah diketahui cara untuk menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar operasi PLTD adalah dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang ada di pulau Sarappo Lompo yaitu penerapan PLTS melalui energi surya yang dimiliki dan implementasi dengan baterai sebagai *energy storage*. Pemanfaatan potensi energi surya dan penggunaan baterai terhadap sistem kelistrikan eksisting menuju *hybrid power system*, setelah dilakukan simulasi didapatkan hasil yang efisien secara nilai keekonomiannya

Desain paling optimal terkait implementasi *hybrid power system* antara pembangkit eksisting satu-satunya (PLTD 1 dan PLTD 2) dengan potensi energi surya (PV), Baterai dan Converter di pulau Sarappo Lompo jika dilihat dari sisi keekonomiannya adalah Model A memiliki NPC sebesar Rp18.511.390.000,00 dan LCOE sebesar Rp1.894,16/kWh.

Berdasarkan hasil simulasi, nilai *renewable fraction* dengan dampak emisi yang dihasilkan pada setiap model cenderung beriringan. Semakin besar nilai persentase *renewable fraction*, maka semakin minim pula nilai dampak dari emisi yang dihasilkan, seperti pada model D (*renewable fraction* 100 % dan dampak emisi 0 kg/tahun). Sehingga urutan paling optimal dari sisi teknis *renewable fraction* dan dampak emisi yang paling rendah adalah Model D (100 % dan 0 kg/tahun), C (99,9 % dan dampak emisi 618 kg/tahun), B (92,2 % dan 35.091 kg/tahun), kemudian A (92,9 % dan 32.533 kg/tahun), yang terakhir E (0% dan 443.809 kg/tahun).

Saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat ditambahkannya pilihan pembangkitan sumber energi terbarukan lainnya yang dapat dikombinasikan dengan PLTD sebagai pembangkitan eksisting, misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut yang potensi tersebut dimiliki juga oleh wilayah pulau-pulau kecil. Sehingga ke depannya hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi penerapan sistem pembangkitan *hybrid* di pulau-pulau kecil yang karakteristiknya mirip dengan pulau Sarappo Lompo.

REFERENSI

- Alibaba.com. (n.d.). *Deutz 6 Silinder F6L912*. Retrieved July 7, 2025, from https://www.alibaba.com/product-detail/Deutz-6-Cylinder-F6L912-air-cooled_60749827118.html
- Alvianingsih, G., & Simanjuntak, J. C. H. (2021). Analisis Tekno-Ekonomi Hibrid Sistem PLTD PLTS Di Pulau Gersik, Belitung Menggunakan Perangkat Lunak Homer. *SUTET*, *11*(1), 1–12. <https://doi.org/10.33322/sutet.v11i1.1372>
- CLASP, & Ipsos. (2020). *Indonesia Residential End-Use Survey*. <https://www.clasp.ngo/wp-content/uploads/2021/01/Indonesia-Residential-End-Use-Survey.pdf>
- Farid, A. F. . (2020). *Pemodelan dan Analisis Sistem Hibrida PV-Baterai-Generator dengan Skema Cycle Charging untuk Desa Tomor, Papua*.
- Halomoan, Y. Sahat. (2020). *Perancangan, Pemodelan dan Analisis Sistem Off-Grid Hibrida PV-Baterai-Genset Untuk Beban Komunal dan Administratif Menggunakan Strategi Kontrol Load Following di Desa Tomor, Asmat, Papua*.
- homerenergy. (2016). *Homer Energy - Homer Pro version 3.7 User Manual*. <https://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>
- Jamil, S., Wang, L., Chunli, T., Khan, H. M. S., & Che, D. (2021). The role and impact of costing method in the decision-making of energy project: A comparative assessment between levelized cost of energy and benefit-to-cost ratio analysis. *International Journal of Energy Research*, *46*. <https://doi.org/10.1002/er.7470>
- Kafil, F. R. (2024). *Simulasi Optimasi Konfigurasi Hybrid Renewable Energy System (HRES) Menggunakan Software Homer Pro pada Sistem Kelistrikan Pulau Wangi Wangi, Sulawesi Tenggara*.
- Kanata, S. (2015). Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, *11*(2). <https://doi.org/10.17529/jre.v11i2.2288>
- Monotaro.id. (n.d.). *CUMMINS Genset Tipe Silent 6BTAA5.9-G2 1unit*. Retrieved July 7, 2025, from <https://www.monotaro.id/s024677158.html>
- Novario, L. Andika. (2024). *Desain Optimal untuk Pembangkit Hibrida PLTS, Baterai, Hydrogen Fuel Cells dan PLTD pada Pulau Baranglombo dan Laelae*.
- Pratama, A. Maulana. (2025). *Analisis Desain Sistem Hibrida PLTD, PLTS, dan Baterai pada Sistem Terisolasi Pulau Wangi Wangi dengan Perencanaan Multi Tahapan*.
- Salim, R. (2024). *Optimasi Pola Operasi dan Kinerja PLTD untuk Hybrid dengan PLTS pada Daerah Kepulauan (Studi Kasus PLTS Hybrid Pulau Selayar)*.