

ANALISA PEMODELAN MICROGRID PLTHOFF-GRID DI DANAU SITU RAWABADUNG BERBASIS HOMER

Abi Nurhidayat*, Yanuar Zulardiansyah Arief, Sinka Wilyanti

Magister Teknik Elektro, Universitas Global Jakarta, Depok, Indonesia

Email: abinurhidayat@gmail.com*, yanuar@jgu.ac.id, sinka@jgu.ac.id

Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima Sep 01, 2024

Direvisi Sep 28, 2024

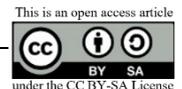
Disetujui Okt 16, 2024



ABSTRACT

This study aims to evaluate the potential of renewable energy in Badung Swamp Lake, East Jakarta, as an off-grid power plant that supports the self-generation program. The renewable energy sources analyzed include solar, wind, micro-hydro, and biomass energy, which are then integrated into a hybrid power generation system. Through simulations using HOMER software, it was found that the best configuration of the system is capable of producing a total energy production of 321,436 kWh per year. Solar energy is the main source, with a contribution of 241,480 kWh per year, followed by wind energy of 66,053 kWh per year, micro hydro of 12,852 kWh per year, and generators of 1,151 kWh per year. From an economic perspective, this system is considered feasible with a Net Present Cost (NPC) of IDR 13.54 billion, a Levelized Cost of Energy (LCOE) of IDR 5,884 per kWh, and a payback period of 13 years. From an environmental perspective, the hybrid system is able to significantly reduce greenhouse gas emissions, with carbon dioxide emissions of only 0.082 kg per year, compared to 920 kg per year in the diesel-based system. With the renewable fraction reaching 100%, this study shows that the hybrid power generation system at Badung Swamp Lake is feasible to implement.

Keywords: PLTH; Rawa Badung Lake; Environment; economy; Energy; HOMER



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi energi terbarukan di Danau Rawa Badung, Jakarta Timur, sebagai pembangkit listrik off-grid yang mendukung program pembangkit mandiri. Sumber energi terbarukan yang dianalisis mencakup energi matahari, angin, mikrohidro, dan biomassa, yang kemudian diintegrasikan dalam sebuah sistem pembangkit listrik hibrida. Melalui simulasi menggunakan software HOMER, diperoleh hasil bahwa konfigurasi terbaik sistem ini mampu menghasilkan total produksi energi sebesar 321.436 kWh per tahun. Energi matahari menjadi sumber utama dengan kontribusi sebesar 241.480 kWh per tahun, diikuti oleh energi angin sebesar 66.053 kWh per tahun, mikrohidro sebesar 12.852 kWh per tahun, dan genset sebesar 1.151 kWh per tahun. Dari segi ekonomi, sistem ini dinilai layak dengan Net Present Cost (NPC) sebesar Rp. 13,54 miliar, Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar Rp. 5.884 per kWh, dan payback period selama 13 tahun. Dari sisi lingkungan, sistem hibrida ini mampu mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan, dengan emisi karbon dioksida hanya sebesar 0,082 kg per tahun, dibandingkan dengan 920 kg per tahun pada sistem berbasis diesel. Dengan renewable fraction mencapai 100%, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pembangkit listrik hibrida di Danau Rawa Badung layak untuk diimplementasikan.

Kata Kunci: PLTH; Danau Rawa Badung; Lingkungan; ekonomi; Energi; HOMER

Penulis Korespondensi:

Abi Nurhidayat,

Magister Teknik Elektro,

Universitas Global Jakarta,

Kp. Rawa Badung, Jakarta.

abinurhidayat@gmail.com



1. PENDAHULUAN

DKI Jakarta dapat menjadi alternatif penting dalam diversifikasi sumber energi. Selain manfaat lingkungan, penggunaan energi terbarukan juga dapat membantu mengurangi biaya jangka panjang, karena sumber energi ini tidak memerlukan bahan bakar fosil yang mahal. Selain itu, program-program efisiensi energi dapat membantu mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan[1]. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, bersama dengan perusahaan listrik dan pemangku kepentingan lainnya, perlu mengembangkan kebijakan dan insentif untuk mendorong investasi dalam energi terbarukan, serta mempromosikan kesadaran masyarakat tentang pentingnya beralih ke energi bersih. Hal ini akan membantu menjaga keberlanjutan lingkungan, mengurangi polusi udara, dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan bagi penduduk Jakarta[2]. Dengan langkah-langkah strategis ini, DKI Jakarta dapat menjadi contoh bagi kota-kota besar lainnya di Indonesia dalam mengadopsi energi terbarukan untuk masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan di Pulau Moti, Kota Ternate, meneliti potensi energi terbarukan dan mengembangkan model konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal menggunakan software HOMER. Simulasi yang dilakukan menghasilkan dua konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal. Konfigurasi pertama, yaitu PV (50%) dan Diesel (50%), menghasilkan Net Present Cost (NPC) terendah sebesar US\$ 1.531.546 dan mampu mengurangi pemakaian bahan bakar hingga 47,1% dibandingkan dengan kondisi sebelumnya. Alternatif kedua adalah konfigurasi PV (70%) dan Diesel (30%), yang menawarkan pendekatan berbeda namun tetap efisien[3]. Sejalan dengan penelitian tersebut, studi lain di Pondok Pesantren Baiturrahman Ciparay, Bandung, juga menggunakan software HOMER untuk menemukan model konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal, namun kali ini dengan fokus pada integrasi PV dan biogas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa meskipun konfigurasi ini dapat berfungsi, nilai Cost of Energy (COE) meningkat dari \$0,113/kWh (sumber PLN) menjadi \$0,186/kWh, yang menegaskan bahwa pembangkit listrik berbasis energi terbarukan masih memerlukan dukungan kebijakan pemerintah, seperti subsidi, untuk menjadi lebih kompetitif secara ekonomi[4]. Pada penelitian dengan mengambil pendekatan yang berbeda dengan merancang pembangkit listrik tenaga hibrid yang terhubung grid, mengintegrasikan PLTMH dan PLTS. Melalui simulasi dengan HOMER, ia berhasil menunjukkan

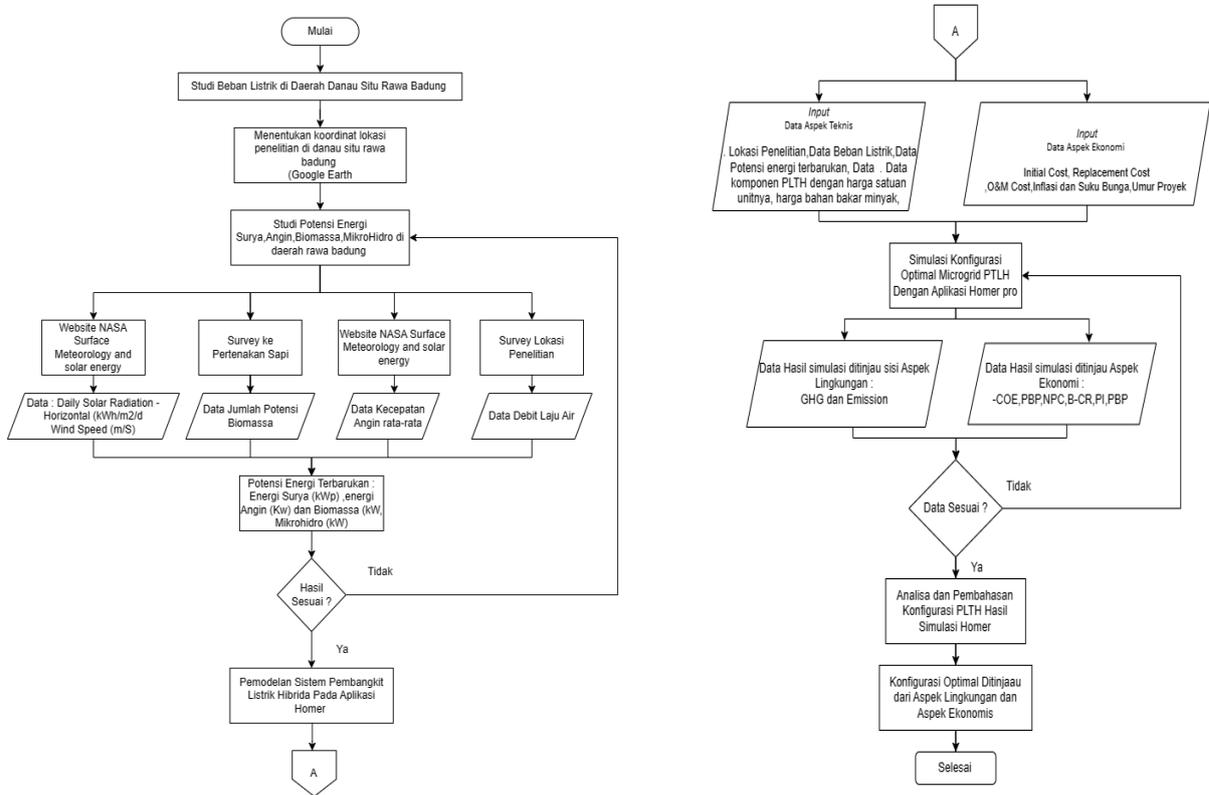
bahwa produksi energi tahunan dari kedua pembangkit mencapai 1.301.169 kWh, dengan NPC terendah sebesar -\$941.597 dan biaya pembangkitan listrik (COE) sebesar -\$0,056/kWh. Hasil ini menunjukkan efisiensi tinggi dalam pemanfaatan energi dari PV sepanjang tahun[5]. Selain itu, penelitian di Pantai Sedari, Karawang, yang dilakukan untuk menganalisis potensi pembangkit listrik tenaga *Photovoltaic-Wind Turbines*, juga menambah wawasan mengenai konfigurasi pembangkit terbaik di wilayah tersebut. Dengan menggunakan software HOMER, penelitian ini mengidentifikasi potensi energi matahari dan angin yang signifikan, yang memungkinkan desain pembangkit *hybrid* dengan NPC sebesar \$82.080,25. Studi ini memberikan pandangan penting mengenai potensi dan tantangan dalam memanfaatkan energi terbarukan di daerah pesisir. Studi di Pantai Indrayanti, Gunung Kidul, menggunakan program HOMER untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH). Penelitian ini memperlihatkan bagaimana potensi energi terbarukan dapat berfluktuasi dan memengaruhi performa pembangkit listrik. Pada skenario optimis, energi listrik yang dihasilkan mencapai 386.832 kWh/tahun dengan NPC Rp.1.929.310.277,06 dan COE Rp.408,23/kWh, memberikan peluang keuntungan melalui penjualan listrik ke PLN. Namun, pada skenario pesimis, energi yang dihasilkan lebih rendah, dengan NPC sebesar Rp.3.318.246.000 dan COE Rp.941,45/kWh, yang tidak cukup menguntungkan untuk menjual kelebihan listrik. Ini menunjukkan pentingnya akurasi dalam perkiraan potensi energi terbarukan untuk memastikan kelayakan ekonomi proyek-proyek energi terbarukan[6]. Berdasarkan latar belakang dan penelitian sebelumnya, penelitian ini berupaya mengisi celah yang ada dalam studi-studi sebelumnya terkait sistem pembangkit listrik *hybrid* berbasis energi terbarukan. Penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan di Pulau Moti dan Pondok Pesantren Baiturrahman Ciparay, telah berhasil mengidentifikasi potensi energi terbarukan, terutama energi surya, angin, dan biogas. Namun, studi tersebut masih terbatas pada penggunaan dua sumber energi, yang mengakibatkan masalah ketidakstabilan dalam pasokan energi, terutama saat salah satu sumber mengalami penurunan produksi. Dalam penelitian ini, desain sistem pembangkit listrik *hybrid* diperluas dengan mengintegrasikan empat sumber energi terbarukan: PV, turbin angin, mikro hidro, dan biomasa. Tujuannya adalah untuk meminimalkan ketidakstabilan energi yang dihasilkan dan mencari solusi investasi yang lebih baik. Pemodelan menggunakan aplikasi HOMER

Pro memungkinkan simulasi berbagai skenario konfigurasi sistem untuk menemukan solusi yang optimal dari segi teknis, ekonomi, dan lingkungan[7].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental atau penelitian terapan. Penelitian dimulai dengan

menggambarkan diagram alir, kemudian menggambarkan langkah-langkah utama dalam mengeksplorasi potensi energi terbarukan dan memodelkan *system* PLTH[8]. Tahapan penelitian secara rinci ditampilkan dalam gambar diagram alir yang memandu setiap langkah yang diambil dalam penelitian ini.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan melalui observasi dan referensi pustaka[9]. Data yang diperoleh meliputi penggunaan energi listrik pada masyarakat sekitar danau situ rawa badung, data potensi energi terbarukan (energi surya, angin, mikrohidro dan biomassa) di lokasi penelitian, serta

data terkait komponen PLTH. Penelitian dilaksanakan di wilayah Danau Situ Rawa Badung ,Jakarta Timur pada koordinat 06°14'44.98" S 106° 55' 09.70" E. Penentuan titik koordinat untuk mengetahui data radiasi matahari (data NASA download dari HOMER)[10].

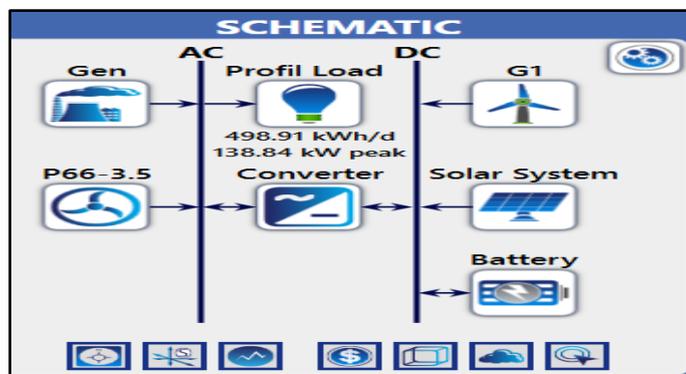


Gambar 2 Lokasi Penelitian

Tabel 1 Hasil Tabulasi Konsumsi Energi Beban Harian per jam

Hour	Load (kWh)
00 - 01	28,9
01 - 02	28,9
02 - 03	28,9
04 - 05	29,6
05 - 06	57,4
06 - 07	23,3
07 - 08	0,8
08 - 09	5,3
09 - 10	5,3
10 - 11	5,3
11 - 12	5,3
12 - 13	1,1
13 - 14	0,8
14 - 15	16,8
15 - 16	17,1
16 - 17	16,3
17 - 18	51,5
18 - 19	88,9
19 - 20	105,2
20 - 21	104,4
21 - 22	45,2
22 - 23	45,2
23 - 24	28,9
Total KWh	498,91 kW ≈ 500kW
Rata rata KWh	32,04
Beban Puncak KW	105,19
Beban Dasar KW	0,8

Data Primer berupa rata-rata bulanan *Global Energy Resources* yang dikeluarkan oleh NASA *Horizontal Irradiation* (GHI) pada lokasi penelitian (juli 1983- juni 2005)[11]. diperoleh berdasarkan *Prediction Worldwide*



Gambar 3 Konfigurasi Kombinasi konfigurasi PLTH dalam aplikasi HOMER.

Tabel 2 Biaya Komponen untuk PLTH di website <https://www.alibaba.com/> per kw

Komponen	Biaya Pengadaan	Biaya Penggantian	O & M
Gen Diesel	RP. 3,000,000	RP.3,000,000	Rp. 30,000.000
PV	RP. 17,000,000	Rp.10,000,000	Rp. 500,000.00
Konverter	Rp. 3,000,000	Rp. 2,000,000	Rp. 200,000.00
Battery	Rp. 2,500,000	Rp. 0	Rp. 100,000.00
Wind Tubine	Rp. 10,000,000	Rp.8,000,000	Rp. 200,000.00
Hidrokinetic	Rp. 10,000,000	Rp8,000,000	Rp. 300,000.00

Dalam konteks emisi, berdasarkan konstanta Ekuivalensi CO₂ yang diatur dalam surat Menteri ESDM no. 3783 / 21 / 600.5 / 2008, setiap 1 kWh

energi yang diproduksi menghasilkan emisi sebesar 0,9936 kg CO₂, 0,01 kg SO₂, dan 0,0019 kg NO₂[12].

Tabel 3 Parameter nilai konstanta emisi yang dihasilkan dalam perencanaan PLTH *off-grid*

Pollutant	Corrected electricity emission factors	Unit
CO ²	0,993622	Kg CO ² /kWh
NO ^x	0,001968	Kg NO ^x /kWh
SO ²	0,010067	Kg SO ² /kWh

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang diperoleh disajikan dalam bentuk uraian teoritik secara kualitatif maupun kuantitatif. Bab ini terdiri dari 2 bagian yaitu hasil penelitian dan pembahasan hasil penelitian[13].

3.1. Hasil Penelitian

Pemodelan PLTH di Danau Situ Rawa Badung telah dilakukan menggunakan aplikasi Homer Pro, yang menghasilkan konfigurasi sistem optimal untuk memenuhi kebutuhan energi di lokasi tersebut. Arsitektur sistem mencakup beberapa komponen utama, seperti HOMER *Load Following* yang mengoptimalkan pengendalian beban untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan energi. Generator dengan kapasitas 160 kW berfungsi sebagai sumber utama energi,

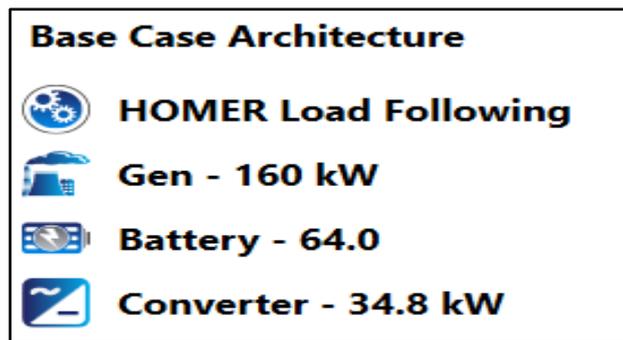
memastikan kontinuitas suplai listrik ketika sumber terbarukan tidak mencukupi. Sistem tenaga surya berkapasitas 173 kW memanfaatkan radiasi matahari yang tinggi, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada generator konvensional. Selain itu, terdapat baterai sebanyak 1,012 unit yang menyimpan energi berlebih dari sumber terbarukan untuk digunakan saat produksi energi rendah. Konverter 136 kW digunakan untuk mengubah arus DC dari panel surya dan baterai menjadi arus AC yang dapat dimanfaatkan oleh peralatan listrik. Turbin angin dengan kapasitas 175 kW memberikan kontribusi tambahan, terutama saat kondisi angin optimal, meningkatkan diversifikasi sumber energi. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kombinasi berbagai sumber energi ini menghasilkan sistem yang efisien dan handal, serta mendukung transisi menuju energi terbarukan.



Gambar 4 Konfigurasi *winning system* PLTH *off-grid*

Dalam studi pemodelan PLTH di Danau Situ Rawa Badung, konfigurasi *base case* digunakan sebagai dasar analisis untuk membandingkan skenario dan mengidentifikasi sistem yang paling efisien serta ekonomis. Konfigurasi ini mempertimbangkan potensi sumber daya energi terbarukan dan kebutuhan energi di lokasi tersebut, meliputi komponen kunci seperti generator diesel, baterai, dan konverter. Generator diesel dengan kapasitas 160 kW berfungsi sebagai sumber utama dalam

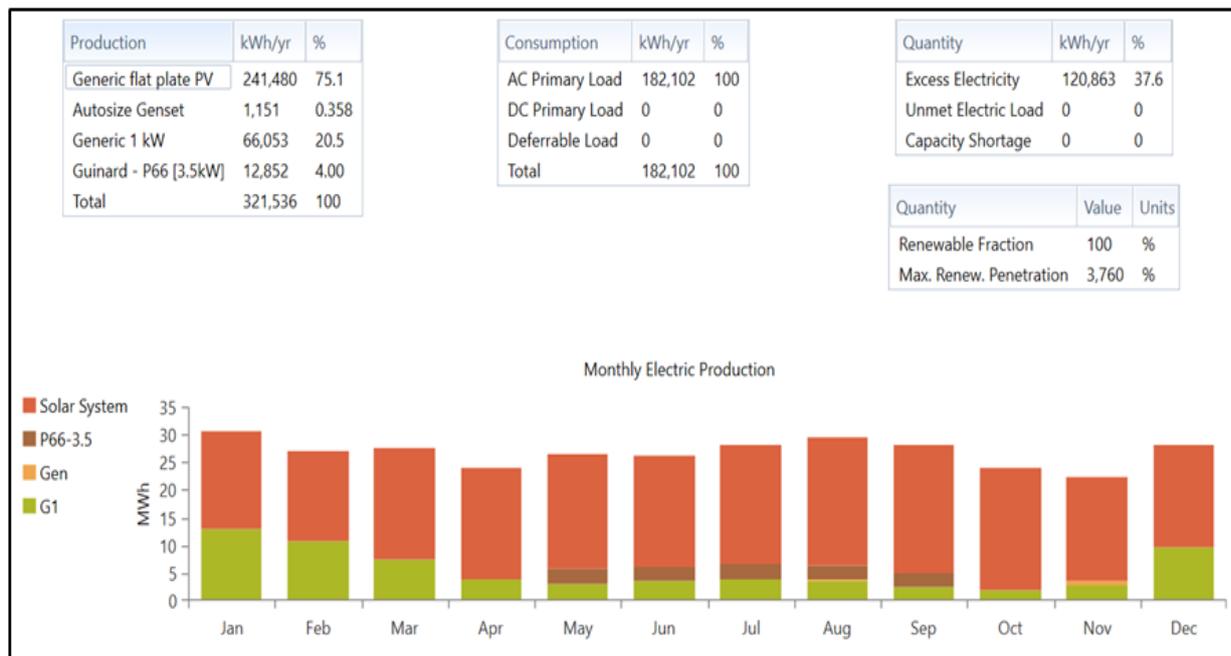
menyediakan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan baterai dengan kapasitas 64 kWh difungsikan untuk menyimpan energi untuk mengatasi fluktuasi beban dan sebagai cadangan saat generator tidak beroperasi. Selain itu, konverter dengan daya 34.8 kW berperan mengubah energi dari baterai menjadi energi yang dapat digunakan oleh peralatan listrik, sehingga memastikan aksesibilitas energi yang dihasilkan dan disimpan dalam sistem ini dapat digunakan.



Gambar 5 Konfigurasi *Base case* PLTH *off-grid*

Hasil simulasi dari perangkat lunak HOMER yang berfokus pada produksi dan konsumsi listrik bulanan dari sistem energi terbarukan. Energi terbarukan yang digunakan meliputi panel surya, turbin angin, genset biomassa, (*solar system*) dan generator lain seperti PBG-3.5 serta Gen1. Total produksi mencapai 321.256 kWh per tahun, di mana kontribusi terbesar berasal dari sistem tenaga surya. Total konsumsi listrik (AC dan DC) mencapai 182.102 kWh per tahun, terdiri dari beban utama

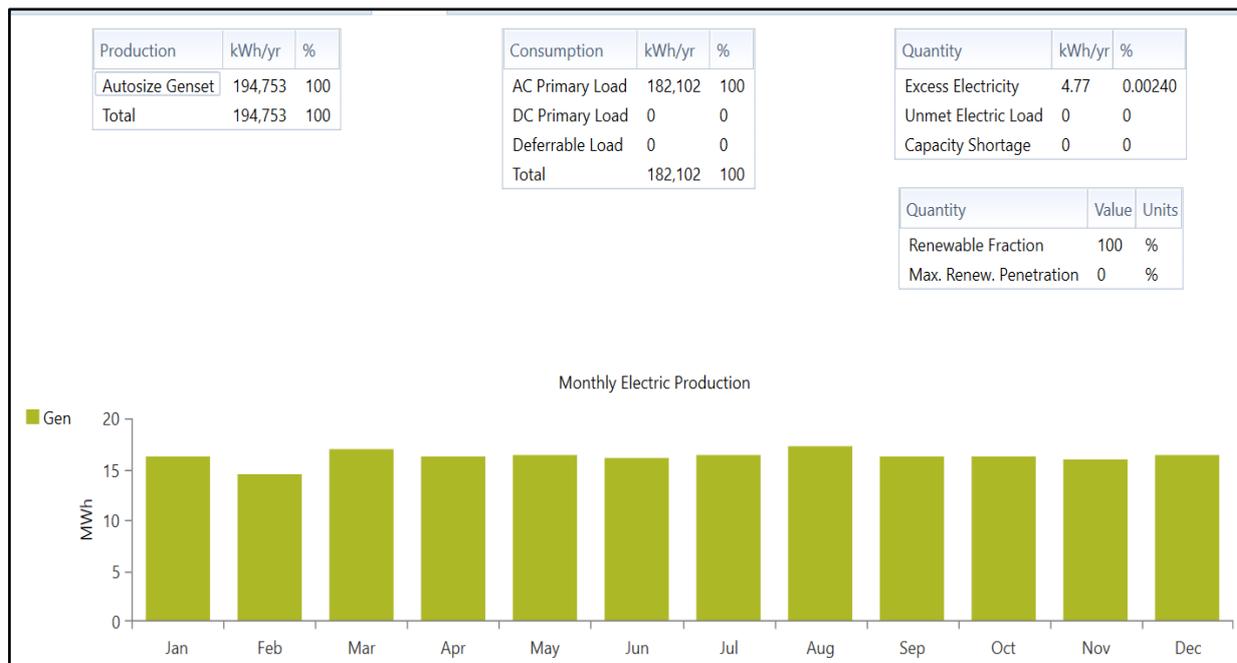
dan beban yang bisa ditunda. Sistem ini menghasilkan 120.863 kWh energi berlebih yang tidak terpakai, dengan kapasitas cadangan yang memadai. Selain itu, matahari sebagai pusat energi terbarukan menyumbangkan energi terbesar hingga mencapai 100%, dengan tingkat penetrasi mencapai 3.760%. Grafik bulanan menunjukkan bahwa produksi energi dari sumber terbarukan tetap stabil sepanjang tahun, dengan sebagian besar berasal dari panel surya.



Gambar 6 Produksi Tenaga Listrik Dari *Winning System* (Konfigurasi 1)

Sedangkan pada konfigurasi *base case*, menunjukkan sistem energi yang sepenuhnya bergantung pada generator, dengan produksi tahunan sebesar 194,753 kWh dan konsumsi 182,102 kWh. Tidak ada kontribusi dari sumber energi terbarukan. Produksi bulanan stabil antara 15 hingga 18 MWh, dengan kelebihan listrik yang

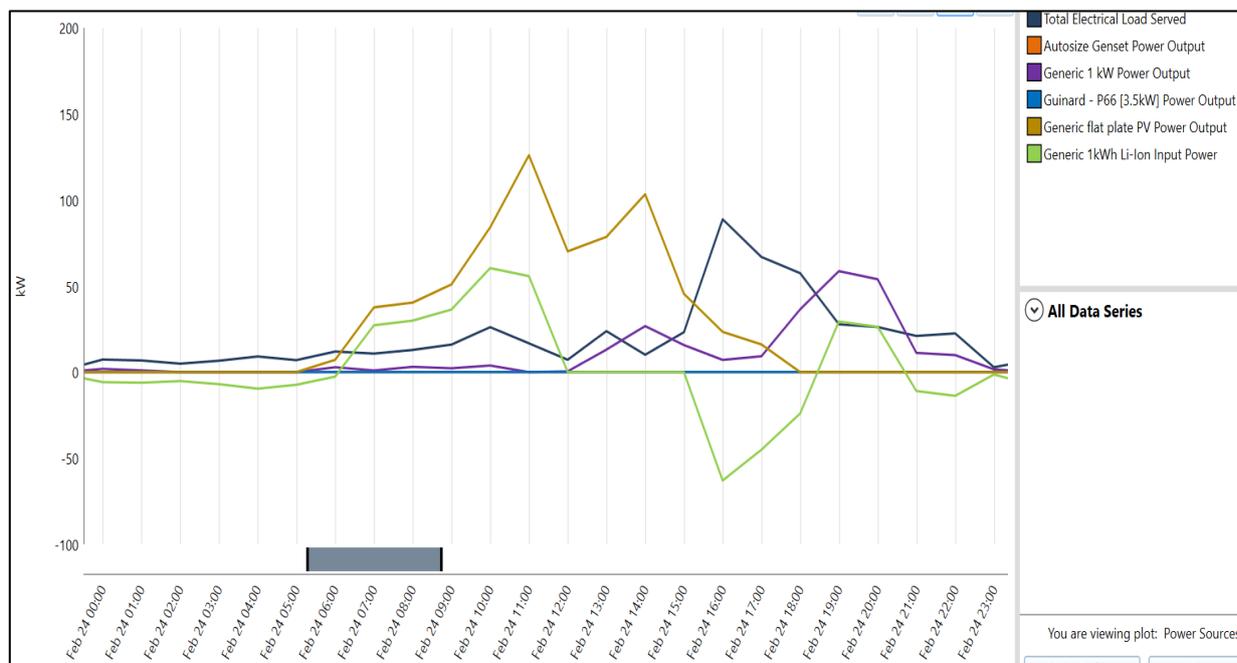
sangat kecil. Meskipun data menyebutkan fraksi energi terbarukan 100%, sebenarnya tidak ada penetrasi energi terbarukan. Sistem ini memiliki potensi untuk dioptimalkan dengan cara menambahkan energi terbarukan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya serta emisi.



Gambar 7 Produksi Tenaga Listrik Konfigurasi Dasar

Grafik pada Gambar 8 menunjukkan distribusi tenaga listrik dalam sistem PLTH selama 24 jam. Pada dini hari, baterai digunakan karena produksi energi terbarukan rendah. Pagi hingga sore, energi dari panel surya dan turbin angin meningkat, dengan puncaknya terjadi di siang hari saat beban sistem tinggi. Malam hari, produksi terbarukan menurun, dan baterai serta generator menjaga pasokan listrik. Strategi *scheduling* yang efektif sangat penting

untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan. Ini meliputi memaksimalkan penggunaan energi terbarukan di siang hari, menggunakan baterai untuk memenuhi kebutuhan energi di malam hari dan dini hari, serta mengaktifkan generator disaat beban puncak atau disaat baterai tidak mencukupi. Jika terhubung ke grid, surplus energi dapat dijual, dan grid berfungsi sebagai cadangan.



Gambar 8 Sistem Penjadwalan

Dalam simulasi sistem yang terhubung ke jaringan, HOMER menghitung pembelian jaringan bersih

dengan mengurangi total penjualan dari total pembelian jaringan. Emisi polutan dihitung dengan

mengalikan pembelian bersih (kWh) dengan faktor emisi (g/kWh) untuk setiap polutan. Jika lebih banyak daya dijual ke jaringan daripada yang dibeli, emisi bersih menjadi negatif. Penurunan emisi dari sistem PLTH dihitung berdasarkan selisih emisi

baseline dan mitigasi, di mana emisi PLTH adalah nol. Berdasarkan konstanta ekivalensi CO₂, SO₂, dan NO₂, penurunan emisi tahunan dihitung menjadi 285.314 kg CO₂, 3.302,18 kg SO₂, dan 627,4 kg NO₂. [14].

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0.0820	kg/yr
Carbon Monoxide	0.00861	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0.000376	kg/yr
Particulate Matter	0.0000520	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0.00808	kg/yr

Gambar 9 Emisi PLTH Off-Grid

3.1 Pembahasan Hasil Penelitian

Gambar 10 menunjukkan faktor-faktor ekonomi untuk analisis proyek, termasuk tingkat diskonto nominal 8.00% dan inflasi tahunan 2.00%. Umur proyek adalah 25 tahun, tanpa biaya modal tetap

atau biaya operasi, serta tanpa penalti kekurangan kapasitas [15]. Semua nilai dinyatakan dalam Rupiah Indonesia, menunjukkan konteks lokal, dan digunakan sebagai input untuk analisis kelayakan finansial proyek.

ECONOMICS ⓘ \$

Nominal discount rate (%): ⓘ

Expected inflation rate (%): ⓘ

Project lifetime (years): ⓘ

System fixed capital cost (Rp): ⓘ

System fixed O&M cost (Rp/yr) ⓘ

Capacity shortage penalty (Rp/kWh) ⓘ

Currency: Indonesian Rupiah (Rp) ▾

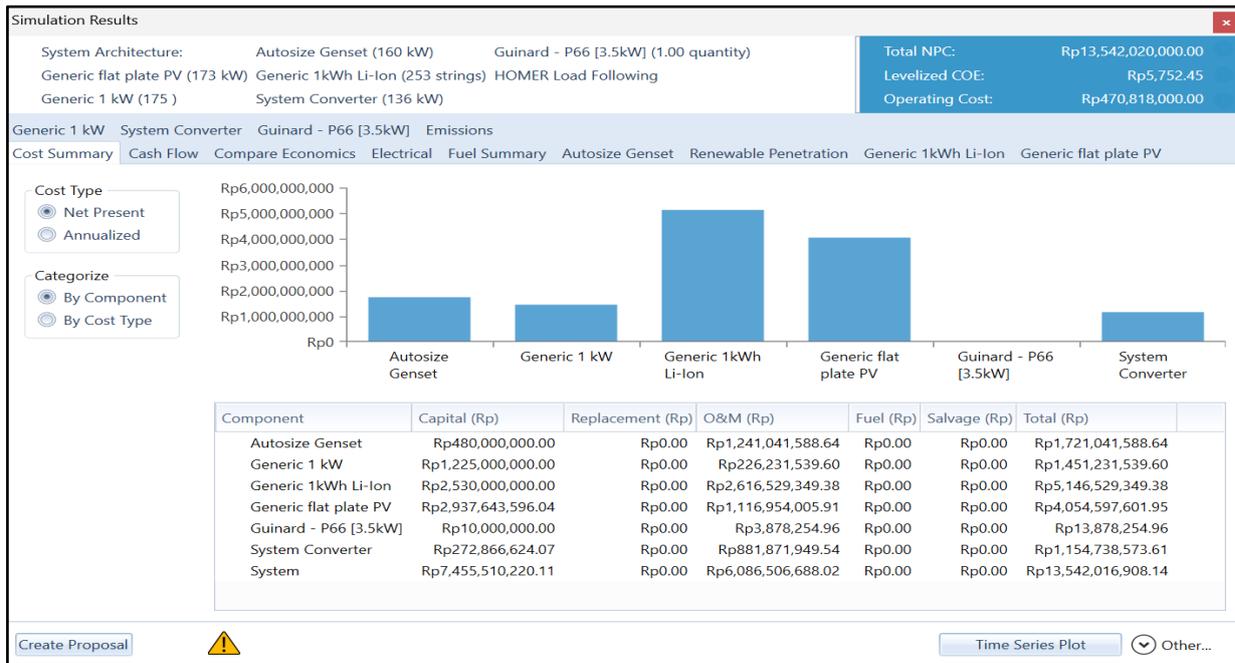
Gambar 10 Ekonomi Faktor

Dalam simulasi ini, sistem PLTH terdiri dari beberapa komponen utama yaitu Autosize Genset (160 kW), Guinard - P66 (3.5 kW), Generic flat

plate PV (173 kW), Generic 1kWh Li-Ion (253 strings), Generic 1 kW (175 kW), dan System Converter (136 kW). Total Net Present Cost (NPC)

dari sistem ini adalah Rp.13,542,000,000.00. *Levelized Cost of Energy* (COE) dari sistem ini adalah Rp.757.45 per kWh, dan biaya operasional tahunan (*Operating Cost*) adalah Rp.470,818,000.00.. Simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTH ini memiliki total NPC sebesar Rp.13,542,000,000.00 dengan biaya operasional tahunan yang cukup signifikan. Komponen dengan biaya tertinggi adalah *Generic 1kWh Li-Ion battery*, yang mencakup sekitar 70% dari total NPC sistem. Sementara itu, komponen seperti Autosize Genset

dan *Generic flat plate PV* juga memberikan kontribusi signifikan terhadap biaya keseluruhan. Sistem ini mencakup berbagai teknologi untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi energi dalam jangka panjang, meskipun dengan biaya operasional dan pemeliharaan yang cukup tinggi. Implementasi sistem PLTH ini dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi emisi karbon, namun memerlukan investasi awal yang besar serta biaya pemeliharaan yang konsisten.



Gambar 11 Cost summary

Gambar 12 menunjukkan biaya dan metrik ekonomi dari simulasi sistem PLTH, dengan fokus pada *Levelized Cost of Energy* (LCOE). Pada skenario Base Case, LCOE adalah Rp.108,776/kWh, menunjukkan biaya tinggi per kWh akibat modal awal dan biaya operasi yang besar. Sebaliknya, sistem dengan biaya terendah memiliki LCOE sebesar Rp.5,752/kWh, yang jauh lebih efisien. Penurunan signifikan ini disebabkan oleh pengurangan biaya modal dan operasi. Selain itu, metrik seperti IRR (286%), ROI (282%), dan *Simple Payback Period* (0.35 tahun) menunjukkan bahwa sistem teroptimisasi ini memberikan pengembalian investasi yang sangat cepat dan efisien, menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis dan berkelanjutan.

Konfigurasi <i>Winning system</i>	Konfigurasi <i>Base Case</i>
$COE = \frac{1.047.534.293}{182.102} = 5.752 \text{ Rp/kWh}$	$COE = \frac{19.808.312.490}{182.102} = 108.775 \text{ Rp/kWh}$

Gambar 12 Levelized Cost Of Energy

Pada Tabel 4 menunjukkan analisis kelayakan proyek PLTH menggunakan kriteria seperti *Net Present Value* (NPV), *Discounted Payback Period* (DPP), dan *Benefit-Cost Ratio* (B-CR) untuk menilai manfaat ekonomi dibandingkan biaya. Hasil dari optimasi perangkat lunak HOMER menunjukkan NPV sebesar Rp.409.000.000, menandakan proyek ini layak dan menghasilkan keuntungan bersih. DPP adalah 6 tahun, yang menunjukkan pengembalian modal dalam waktu yang wajar, sementara B-CR mencapai 1.66, berarti manfaat proyek melebihi biaya. Secara keseluruhan, ketiga indikator ini menunjukkan bahwa investasi dalam PLTH tidak hanya layak secara finansial tetapi juga dapat memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, menjadikannya pilihan yang bijak untuk keberlanjutan energi dan ekonomi lokal. Pada Tabel 5 menunjukkan perbandingan dua konfigurasi sistem energi: "*Winning System*" dan "Konfigurasi Dasar". Produksi energi dari *Winning System* mencapai 321,436 kWh/tahun, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan 194,753 kWh/tahun pada

Konfigurasi Dasar, yang hanya mengandalkan generator. Konsumsi energi keduanya sama, yakni 182,102 kWh/tahun. Dari segi biaya energi, *Winning System* memiliki biaya Rp. 5,752 per kWh, sementara Konfigurasi Dasar sangat tinggi, mencapai Rp. 108,755 per kWh. Total biaya sistem juga menunjukkan perbedaan signifikan, dengan *Winning System* sebesar Rp 13,542,016,908 dan Konfigurasi Dasar Rp. 256,072,287,510, di mana biaya O&M Konfigurasi Dasar sangat tinggi akibat ketergantungan pada generator diesel. Dalam hal emisi, *Winning System* memproduksi 2,304 kg CO₂,

sedangkan Konfigurasi Dasar menghasilkan 173,527 kg CO₂, mencerminkan dampak lingkungan yang besar. *Winning System* juga memiliki fraksi energi terbarukan 100%, sedangkan Konfigurasi Dasar persen, menunjukkan ketergantungan pada sumber non-terbarukan. Terakhir, listrik berlebih di *Winning System* mencapai 120,863 kWh/tahun, sedangkan Konfigurasi Dasar hanya 4.77 kWh/tahun, menandakan ketidakmampuan sistem ini untuk memenuhi kebutuhan energi dengan cadangan yang memadai

Tabel 4 Analisa Kelayakan PLTH

Analisis Kelayakan	Kriteria Kelayakan	Hasil Optimasi HOMER	Kesimpulan
Net Present Value (NPV)	Kriteria Kelayakan Layak (NPV > 0) Tidak Layak (NPV < 0)	Rp. 3.542.016.908	Investasi dinyatakan layak karena nilai NPV selama periode umur proyek lebih besar dari 0.
Discounted Payback Period (DPP)	Layak (DPP lebih pendek dari umur proyek), Tidak Layak (DPP lebih panjang dari umur proyek)	13 Tahun	Pengembalian modal terjadi setelah tahun ke 13, pendapatan selama periode umur proyek lebih besar dari modal awal, sehingga investasi dinyatakan layak.
Benefit – Cost Ratio (B-CR)	Layak (B-CR > 1)	1,66	Investasi dianggap layak karena selisih antara pendapatan dan biaya bernilai lebih besar dari 1.

Tabel 5 Perbandingan Konfigurasi PLTH dan Konfigurasi Dasar

No	Uraian	<i>Winning sistem</i> (konfigurasi 1)	Konfigurasi Dasar
1	<i>Production (kWh/yr)</i>	321.436	194.753
2	<i>Consumption ((kWh/yr)</i>	182.102	182.102
3	<i>COE</i>	Rp. 5.752	Rp.108.755
4	<i>NPC</i>	Rp. 13.542.016.908	Rp. 256.072.287.510
	<i>Capital</i>	Rp. 7.455.510.220	Rp.709.666.666.67
	<i>O&M</i>	Rp. 6.086.506.688	Rp.255.362.630.844
5	<i>Emission (Kg/yr)</i>		
	- CO ₂ ,	2.304	173.527
	- SO ₂ ,	9.99	425
	- NO ₂	4,89	1.028
6	<i>Renewable Fraction (%)</i>	100 %	0%
7	<i>Excess Electricity (%)</i> - kWh/yr	37% 120.863 kWh/yr	0.0024% 4.77 kWh/yr

Gambar 13 menunjukkan perbandingan emisi dari generator berbahan bakar diesel dan biogas. *Carbon Dioxide* (CO₂) dari generator diesel mencapai 920 kg/tahun, sementara biogas hanya 0.0820 kg/tahun, hal ini menunjukkan pengurangan signifikan dalam jejak karbon. Emisi *Carbon Monoxide* (CO) dari diesel adalah 5.80 kg/tahun, sedangkan biogas hanya 0.00861 kg/tahun, hal ini menunjukkan keuntungan dalam mengurangi polusi udara. Untuk

Unburned Hydrocarbons (UHC), diesel mengemisikan 0.253 kg/tahun, sementara biogas hanya 0.000376 kg/tahun. Sementara itu, *Particulate Matter* (PM) dari diesel mencapai 0.0351 kg/tahun, dibandingkan dengan hanya 0.0000520 kg/tahun dari biogas. Tentu ini sangat bagus bagi kesehatan manusia. Diesel juga menghasilkan 2,25 kilogram sulfur dioksida (SO₂) per tahun, sementara biogas tidak menghasilkan

emisi SO₂ sama sekali. Hal ini berkontribusi dalam upaya mengurangi hujan asam dan masalah pernapasan. Untuk *Nitrogen Oxides* (NO_x), diesel mengemisikan 5.44 kg/tahun, sementara biogas hanya 0.00808 kg/tahun. Secara keseluruhan,

penggunaan biogas jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan diesel, karena emisi polutan yang dihasilkan jauh lebih rendah, sehingga meningkatkan kualitas udara dan mendukung kesehatan masyarakat.

<i>Emisi Generator Bahan Bakar Diesel</i>			<i>Emisi Generator Bahan Bakar Biogas</i>		
Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	920	kg/yr	Carbon Dioxide	0.0820	kg/yr
Carbon Monoxide	5.80	kg/yr	Carbon Monoxide	0.00861	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0.253	kg/yr	Unburned Hydrocarbons	0.000376	kg/yr
Particulate Matter	0.0351	kg/yr	Particulate Matter	0.0000520	kg/yr
Sulfur Dioxide	2.25	kg/yr	Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	5.44	kg/yr	Nitrogen Oxides	0.00808	kg/yr

Gambar 13 Perbandingan Emisi Generator Diesel dan Biogas

Gambar 14 menunjukkan perbandingan nilai investasi antara generator berbahan bakar biogas dan diesel. Modal (Capital) untuk kedua jenis generator adalah Rp. 480,000,000.00, yang menunjukkan biaya awal yang sama. Dengan asumsi tidak ada biaya penggantian (Replacement) yang diperlukan, dan biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), biogas menghabiskan Rp.1,241,041,588.64, sedangkan diesel mencapai Rp.1,427,197,826.93 dengan selisih yang lebih tinggi yakni sekitar Rp.186,156,238.29. Biaya bahan bakar untuk biogas adalah Rp.0.00, karena

mungkin sudah termasuk dalam O&M, sementara diesel menghabiskan Rp. 22,706,173.44 dengan asumsi tidak ada nilai penjualan kembali (Salvage) yang tercatat untuk kedua jenis generator. Total biaya investasi untuk generator biogas adalah Rp. 1,721,041,588.64, sedangkan diesel sebesar Rp. 1,929,904,000.37, dengan diesel lebih mahal sekitar Rp.208,862,411.73. Meskipun biaya modal awal sama, total biaya operasional dan bahan bakar lebih tinggi untuk diesel, menjadikan biogas lebih ekonomis dan ramah lingkungan dalam jangka panjang.

Nilai Investasi Generator Bahan Bakar Biogas						
Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Autosize Genset	Rp480,000,000.00	Rp0.00	Rp1,241,041,588.64	Rp0.00	Rp0.00	Rp1,721,041,588.64

Nilai Investasi Generator Bahan Bakar Diesel						
Component	Capital (Rp)	Replacement (Rp)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Autosize Genset	Rp480,000,000.00	Rp0.00	Rp1,427,197,826.93	Rp22,706,173.44	Rp0.00	Rp1,929,904,000.37

Gambar 14 Perbandingan Nilai Investasi Generator Biogas dan Diesel

4. KESIMPULAN

Desain PLTH di Danau Situ Rawa Badung menggunakan sistem *on-grid* menunjukkan kelayakan ekonomi dengan NPC sebesar Rp. 13,542 miliar, LCOE Rp. 5.884/kWh, PBP 13 tahun, dan BCR 1,66, yang menandakan proyek ini layak. Namun, dengan LCOE sebesar Rp. 5.884/kWh, energi terbarukan masih tergolong mahal, sehingga diperlukan subsidi pemerintah. Potensi sumber energi terbarukan di daerah ini cukup besar, dengan potensi matahari 4,76 kWh/m²/hari, angin 4 m/s, serta biomassa, yang menghasilkan fraksi terbarukan 100%. Total produksi energi mencapai 321.436 kWh/tahun dengan kontribusi terbesar dari PV, diikuti angin, genset, dan hidrokinetika. Konfigurasi ini secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan penggunaan diesel, di mana emisi karbon turun dari 920 kg/tahun menjadi hanya 0,082 kg/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Kahar, "Studi Dan Pemodelan Penyediaan Energi Di Pulau Moti Kota Ternate Berbasis Energi Terbarukan," *Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*, 2016. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/reader/291465650>.
- [2] A. Budiyanto, "Analisis Potensi PLTH (Angin Dan Surya) di Pantai Losari Makassar Menggunakan HOMER," 2020. [Online]. Available: <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/30524>.
- [3] A. N. Azizah and S. Purbawanto, "Perencanaan pembangkit listrik tenaga hibrid (PV dan Mikrohidro) terhubung grid (Studi kasus desa Merden, Kecamatan Padureso, Kebumen)," *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 2, no. 1, 2021. [Online]. Available: <https://journal.ugm.ac.id/juliet/article/view/64365>.
- [4] C. A. Nugraha, "Analisa Potensi Sumber Daya Angin Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Di Pantai Congot, Kulonprogo," Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2015. [Online]. Available: <https://etd.ums.ac.id/id/eprint/16502/>
- [5] A. Rajani, K. Kusnadi, and R. Darussalam, "Simulasi Integrasi PV-Biogas Menggunakan Homer Pada Pembangkit Listrik *Hybrid On-Grid*: Studi Kasus Ponpes Baiturrahman Ciparay Bandung," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 2016, vol. 5, pp. SNF2016-ERE-55-60, doi: <https://doi.org/10.21009/0305020611>.
- [6] R. N. Haliim and A. Syofian, "Studi Evaluasi Sistem Pembangkit *Hybrid* PLN dan PLTMH Dengan Aplikasi Homer," *Rang Teknik Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 147-153, 2023, doi: <https://doi.org/10.31869/rtj.v6i2.4148>.
- [7] M. Ali and H. S. Wibowo, "Perancangan Sistem Mikrogrid Cerdas Berbasis Energi Terbarukan Untuk Pabrik Es Nelayan Kapasitas 4 kW Design of Smart Microgrid System Based On Renewable Energy For Fishermen's Ice Factory 4 kW Capacity," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik Vol*, vol. 9, no. 2, pp. 55-62, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbtt.v9i2.103>.
- [8] A. Pratama, K. B. Adam, and J. Raharjo, "Simulasi Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Nusa Penida Menggunakan Aplikasi Homer," *eProceedings of Engineering*, vol. 9, no. 5, 2022. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversi ty.ac.id/index.php/engineering/article/view/18511>.
- [9] J. Indrawan, K. H. Khwee, and A. Hiendro, "Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrida Angin-Biomassa-Diesel-Surya Di Desa Penjernang, Kecamatan Sungai Tebelian, Kabupaten Sintang, Kalimantan Barat," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 10, no. 1, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/j3eit.v10i1.52518>.
- [10] I. Saputra, "Analisa Daya Pembangkit Listrik Pada Pesisir Pantai Labu Menggunakan Software Homer Tenaga Hibrida," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, vol. 1, no. 3, 2021. [Online]. Available: <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/569>.
- [11] M. I. Ramadhan, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) Berbasis Software Homer di Pantai Parangtritis," Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2022. [Online]. Available: <https://etd.ums.ac.id/id/eprint/35663/>
- [12] M. Rohman, "Optimalisasi Perancangan Solar Home System Menggunakan Homer," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2012. [Online]. Available: <https://eprints.ums.ac.id/20206/>
- [13] M. Sukmawidjaja and I. Akbar, "Simulasi Optimasi Sistem Plth Menggunakan Software Homer Untuk Menghemat Pemakaian Bbm Di Pulau Penyengat Tanjung Pinang Kepulauan

- Riau," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, pp. 17-42, 2013, doi: <https://doi.org/10.25105/jetri.v11i1.1626>.
- [14] M. Reza, "Studi Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* di Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Morodemak dengan Menggunakan Software Homer," Universitas Sultan Agung, 2021. [Online]. Available: <https://repository.unissula.ac.id/24025/>
- [15] S. Ramadhan, "Analisis Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Dengan Homer Pro di Pantai Liang Ambon Maluku: Analysis Of *Hybrid* Power Plant System Planning With Homer Pro On Liang Beach Ambon, Maluku," *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, vol. 13, no. 2, pp. 15-32, 2023, doi: <https://doi.org/10.37525/sp/2023-2/453>.